

# STAVEBNÍ OBZOR

## ROČNÍK 13 ČÍSLO 01/2004

### Navigace v dokumentu

#### OBSAH

Čepička, D. – Macháček, J. <b>Smykové diafragma v plášťovém chování vaznicové střechy</b>	1
Kuneš, P. <b>Konstrukční lehké betony</b>	7
Králík, J. – Králík, J. jr. <b>Výpočet teplot v transparentných dvojplášťových fasádách budov s tienidlom</b>	12
Florian, A. – Žák, J. – Hradil, P. <b>Využití metody Updated Latin Hypercube Sampling při optimalizaci parametrických studií</b>	15
Ficker, T. – Podešvová, Z. <b>I. Neizotermická difúze vodních par v obvodových konstrukcích – odvození neizotermických modelů</b>	19
Baláž, I. <b>Vzperné dížky stípkov rámov v ČSN 73 1401</b>	23

**1 • 2004**

**ročník 13**

# STAVEBNÍ OBZOR

pozemní stavby  
dopravní stavby  
vodohospodářské stavby  
geotechnika  
konstrukce a materiály  
technologie  
životní prostředí  
geodézie a kartografie  
mechanizace  
informatika  
ekonomika  
software



Fakulta stavební  
ČVUT v Praze



Česká komora autorizovaných  
inženýrů a techniků



Český svaz  
stavebních inženýrů



Fakulta stavební  
VUT v Brně



Fakulta stavební  
VŠB TU-Ostrava

<b>OBSAH</b>	<b>CONTENTS</b>	<b>INHALT</b>
Čepička, D. – Macháček, J. <b>Smykové diafragma v plášťovém chování vaznicové střechy</b> ..... 1	Čepička, D. – Macháček, J. <b>Shear Diaphragm in Stressed Skin Design of Purlin Roofs</b> ..... 1	Čepička, D. – Macháček, J. <b>Schubschott beim plastischen Verhalten eines Binderdachs</b> ..... 1
Kuneš, P. <b>Konstrukční lehké betony</b> ..... 7	Kuneš, P. <b>Lightweight Structural Concretes</b> ..... 7	Kuneš, P. <b>Leichte Konstruktionsbetone</b> ..... 7
Králik, J. – Králik, J. jr. <b>Výpočet teplot v transparentních dvojitých fasádách budov s tienidlom</b> ..... 12	Králik, J. – Králik, J. jr. <b>Computation of Temperatures in Transparent Double-Skin Facades of Buildings with a Shade</b> ..... 12	Králik, J. – Králik, J. jr. <b>Berechnung der Temperaturen in transparenten zweischaligen Gebäudefassaden mit Sonnenblende</b> ..... 12
Florian, A. – Žák, J. – Hradil, P. <b>Využití metody Updated Latin Hypercube Sampling při optimalizaci parametrických studií</b> .... 15	Florian, A. – Žák, J. – Hradil, P. <b>Optimization of Parametric Studies Using Updated Latin Hypercube Sampling</b> ..... 15	Florian, A. – Žák, J. – Hradil, P. <b>Anwendung der Methode Updated Latin Hypercube Sampling bei der Optimierung von Parameterstudien</b> ..... 15
Ficker, T. – Podešvová, Z. <b>I. Neizotermická difúze vodních par v obvodových konstrukcích – odvození neizotermických modelů</b> ..... 19	Ficker, T. – Podešvová, Z. <b>I. Non-Isothermal Difusion of Water Vapour in Peripheral Structures – Derivation of Non-Isothermal Models</b> ..... 19	Ficker, T. – Podešvová, Z. <b>I. Nichtisothermische Diffusion von Wasserdämpfen in Außenwandbauteilen – Ableitung nichtisothermischer Modelle</b> ..... 19
Baláž, I. <b>Vzperné dížky střepů rámov v ČSN 73 1401</b> ..... 23	Baláž, I. <b>Buckling Lengths of Frame Columns in ČSN 73 1401</b> ..... 23	Baláž, I. <b>Knicklängen von Rahmenstielen in der ČSN 73 1401</b> ..... 23

## REDAKČNÍ RADA

### Předseda:

prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.

### Místopředseda:

doc. Ing. Alois MATERNA, CSc.

### Tajemníci:

doc. Ing. Milan KAŠPAR, CSc.

doc. Ing. Jindřich ŠMEJČKÝ, CSc.

### Členové:

Ing. Miroslav BAJER, CSc.

doc. Ing. Pavel HÁNEK, CSc.

Ing. Jiří HIRŠ, CSc.

Ing. Ivan HRDINA

doc. Ing. Vladimír JELÍNEK, CSc.

Ing. Miroslav JEŽEK, CSc.

doc. Ing. Miroslav KAUN, CSc.

Ing. Jana KORYTÁROVÁ, PhD.

Ing. Karel KUBEČKA

Ing. Petr KUNEŠ, CSc.

doc. Ing. Ladislav LAMBOJ, CSc.

doc. Ing. Ivan MOUDRÝ, CSc.

doc. Ing. Jaroslav NOVÁK, CSc.

doc. Ing. Luděk NOVÁK, CSc.

doc. Ing. Miloslav PAVLÍK, CSc.

prof. Ing. J. PROCHÁZKA, CSc.

doc. Ing. Vlastimil STARÁ, CSc.

Ing. Karel SVOBODA

doc. Ing. Jiří VÁŠKA, CSc.

doc. Ing. Josef VITÁSEK, CSc.

prof. Ing. Jiří WITZANY, DrSc.

Ing. Renata ZDAŘILOVÁ

**STAVEBNÍ OBZOR**, odborný měsíčník, vydává  
Fakulta stavební ČVUT Praha společně s Fakultou  
stavební VUT Brno, Fakultou stavební VŠB TU  
Ostrava, Českou komorou autorizovaných inženýrů  
a techniků činných ve výstavbě a Českým svazem  
stavebních inženýrů. Řídí redakční rada, vedoucí  
redaktorka Marcela Klímová. Adresa redakce:  
Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel./fax: 224 354 596,  
klimova@fsv.cvut.cz, http://web.fsv.cvut.cz/obzor.  
Vychází každý měsíc kromě července a srpna,  
cena za výtisk je 40 Kč včetně DPH (+ poštovné a  
balné). Objednávky odběru i reklamace přijímá  
Ing. Milan Gattringer, MG DTP, Borovanská 3388, 143 00  
Praha 4, tel./fax: 241 770 220, e-mail: mgdtp@volny.cz.  
Odběr je možné zrušit až po vyčerpání zaplaceného  
předplatného. Inzerce adresujte redakci. Technická  
redakce a realizace: Ing. Milan Gattringer. Po-  
dávání novinových zásilek povoleno Ředitelstvím  
pošt Praha, č. j. NP 144/1994, ze dne 21. 10. 1994. Do  
tisku 3. 12. 2003. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

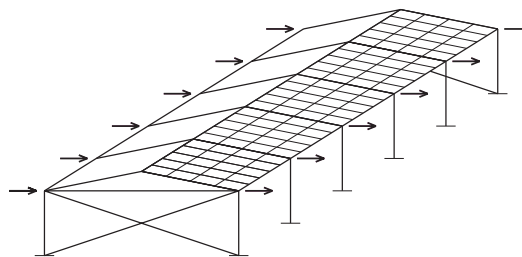
INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

## Smykové diafragma v plášťovém chování vaznicové střechy

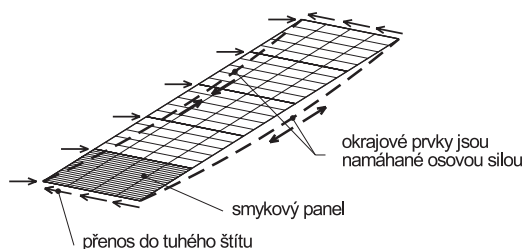
Ing. Dušan ČEPIČKA, PhD.  
prof. Ing. Josef MACHÁČEK, DrSc.  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

Článek popisuje experimentální a teoretické vyšetřování chování střešních smykových diafragmat, která mohou nejen nahradit klasické střešní ztužení, ale mohou též působit v plášťovém chování hal. Vyšetřuje se smykový panel sestávající z trapézového plechu, tenkostěnných vaznic a tuhých rámových příčlí bez dalšího ztužení i s klasickým diagonálním ztužením. Všechny použité prvky odpovídají současné praxi. Vyšetřováno je nelineární chování prvků i přípojí až do kolapsu panelu ve smyku. Uvedeny jsou materiálové charakteristiky a pracovní diagramy všech prvků, spojů i přípojí. V numerické analýze metodou konečných prvků je analyzován význam různých nelinearit na chování panelu. Geometrická nelinearita, zejména boulení, je v tomto případě nevýznamná a rozhodující vliv má nelineární chování spojů a přípojí. V numerickém řešení má rozhodující význam zavedení kontaktních prvků v místě tlakových kontaktů tenkostěnných prvků. Navržený numerický model dává výsledky ve shodě s experimentem. V závěru je uvedeno porovnání s analytickým řešením podle směrnice ECCS a doporučení pro její úpravu.

jeho pásnice tvoří krajní vaznice. U krátkých budov, s délkou zhruba do čtyřnásobku šířky, tyto nosníky velmi účinně spolupůsobí s vnitřními příčnými vazbami. Vytvářejí ve střeše poddajnou podporu vazbám, takže omezují vodorovný posun vazeb od příčného zatížení, popř. i vzájemné zvětšování vzdálenosti horních konců sloupů vazby od svislého zatížení. Vnitřní síly vazeb od takových účinků jsou proto podstatně redukovány, zejména v blízkosti tuhých štítů. Celkově lze očekávat, že dimenzování vnitřních vazeb plášťové haly závisí zejména na svislém zatížení, zatímco vodorovné zatížení přenáší zejména štíty. Další významnou úsporu při dimenzování přináší skutečnost, že vnitřní vazby haly se obvykle stanou ve smyslu Eurokódu 3 pro všechny zatěžovací stavy „soustavou s neposuvnými styčníky“. Tato klasifikace přináší podstatné úspory v návrhu sloupů haly (v důsledku zvýšení jejich kritického zatížení). Podrobnosti a praktický výpočet uvádí [2].



"vysoký stěnový nosník"



Obr. 1. Princip plášťového chování haly s vaznicovou střechou

### 1. Úvod

Plášťové chování hal se smykovými diafragmaty tvořenými trapézovým plechem v různém uspořádání, popř. i jiným souvislým druhem pláště, je v principu popsáno v Doporučení ECCS [1]. V tomto dokumentu jsou uvedeny i mnohé detaily pro praktické aplikace. V současnosti se však pro střešní a stěnové opláštění ocelových hal používá rozsáhlý sortiment tenkostěnných prvků a spojovacího materiálu, který se navíc nadále rozšiřuje a mění a nemůže být výše uvedeným doporučením plně zachycen. V tomto příspěvku je cílem ukázat limity a nedostatky používaných procedur pro návrh plášťového chování běžné haly se sedlovou střechou tvořenou trapézovým plechem, tenkostěnnými vaznicemi a spojovacími prvky používanými v ČR.

Zahrnutí plášťového chování do návrhu běžné haly podle obr. 1 má řadu výhod. Za předpokladu dostatečně tuhých štítů se střešní plášť chová jako dva vysoké plnostěnné nosníky, ve kterých vrcholová a okapová vaznice tvoří pásnice a trapézový plech stojinu nosníků. Mezilehlé vaznice jsou mezilehlými pásnicemi nosníku (resp. výztuhami jeho stojiny). U pultových střech je obdobně nosník pouze jeden a

Potřebné požadavky na štíty, montážní postup, podrobný návrh smykového panelu (zejména šroubových přípojí trapézového plechu k vaznicím i plechů mezi sebou, přípojí vaznic a jejich tuhost atd.), nutnost respektování požadavků takto navržené haly během životnosti konstrukce a další požadavky jsou popsány v [1], [2]. Nové výzkumy provedené Biegusem a Gierczakem [3] doplnily poznání o významný fakt, že není zapotřebí posuzovat interakci smykového namáhání trapézového plechu z plášťového chování spolu s jeho ohybem od běžného namáhání, pokud namáhá-

ní plechu ve smyku nepřesáhne 80 % jeho smykové únosnosti (v praxi je vždy splněno).

V tomto článku je podrobně zkoumán základní prvek střešního pláště, tzv. smykový panel (diafragma), tvořený trapézovým plechem s tenkostěnnými vaznicemi a vymezený vzdáleností vazeb (příčlemi rámu, popř. vazníky). Použity jsou prvky běžné v současné praxi. Vychází se z experimentálního šetření na reálném modelu, a poté je provedena numerická a analytická analýza v několika variantách. Velká pozornost je věnována spojovacím a přípojným mechanickým prostředkům, které jsou pro chování smykového panelu rozhodující.

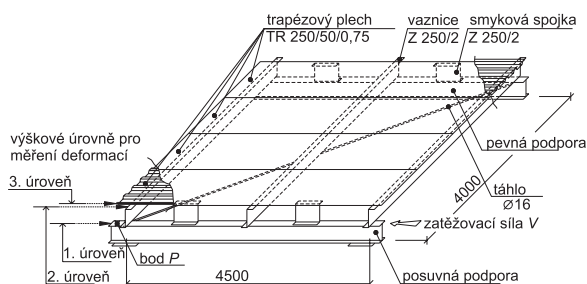
## 2. Experimentální vyšetřování

### 2.1 Uspořádání experimentů a postup zatěžování

Vyšetřovány byly tři různé smykové střešní panely téměř reálné velikosti, s uspořádáním podle obr. 2. Podpory modelovaly tuhé příčle vazeb, jedna byla neposuvná (přípevněná k podlaze zkušebny), druhá pohyblivá, zatěžovaná silou  $V$  namáhající panel smykem. K monitorování komplexního chování panelů byly měřeny všechny potřebné posuny. Vyšetřované panely se lišily ve způsobu přenašení smykové síly:

- test A – panel s diagonálním ztužením, bez trapézového plechu,
- test B – panel s trapézovým plechem, bez diagonálního ztužení,
- test C – panel s trapézovým plechem i s diagonálním ztužením.

Pro podpory modelující rámové příčle byly použity nosníky HEB 180 s širokou přírubou. Jako vaznice byly navrženy tenkostěnné profily „zeta“ Z250/2, přípevněné k příčlím pomocí standardních botek (fa Kovové profily) a šesti šroubů M16 (2 šrouby pro přípoj botky k příčli, 4 šrouby pro přípoj vaznice k botce).



Obr. 2. Uspořádání smykového panelu při zkoušce

K přípoji trapézového plechu na příčle mezi vaznicemi byly použity „smykové spojky“ délky 540 mm, vyrobené z odřezků běžných vaznic a připojených mechanicky přes vyrovnávací podložku k příčlím. Vlastní trapézový plech TR 250/50/0,75 byl připojen k vaznicím a smykovým spojkám pomocí závitotvorných šroubů JZ 2 – 6,3 x 19 – V 16 (fa EJOT), s roztečí 250 mm (na vaznicích jeden šroub v každé vlně a 2 šrouby ve smykové spojkě). Pro spojení tabulí trapézového plechu mezi sebou (spoj plech-plech) byly použity závitotvorné šrouby JA 2 – 6,5 x 19 – V 19 (EJOT) s roztečí 375 mm. Diagonální ztužení (v testech A a C) bylo navrženo jako táhlo z oceli kruhového průřezu s oslabenou plochou 157 mm<sup>2</sup>.

Posuny a protažení táhla byly v průběhu zkoušek pečlivě monitorovány. Snímače posunů (potenciometry, popř. in-

duktivní snímače) byly umístěny ve všech rozích panelu kolmo na obě jeho strany, ve třech výškových úrovních (horní povrch příčle, vaznice a plechu), viz obr. 2. Celkově bylo použito 25 snímačů.

### Průběh zatěžování

● test A – zatěžování řízené zatěžovací silou bylo zvyšováno po přírůstcích 5 kN až do hodnoty síly 20 kN. Po každém přírůstku následovalo odlehčení, měření posunů se provádělo po ustálení všech hodnot. Test byl ukončen po dosažení síly 20 kN, dostatečné k ověření tuhosti modelu (vypočítaná síla pro přetržení táhla činí cca 64 kN);

● test B – zatěžování řízené posunem bylo zvyšováno tak, aby odpovídalo posunu 4 mm v místě působící síly. Po každém třetím přírůstku následovalo odlehčení a bylo pokračováno až do kolapsu panelu, dosaženém při smykové síle  $V = 27,1$  kN. Kolaps nastal v důsledku roztržení trapézového plechu v přípoji ke smykovým spojkám;

● test C – procedura byla obdobná jako u testu B. Kolaps nastal v důsledku velkých deformací stojiny tenkostěnných vaznic nad jejich přípojem k příčli, při smykové síle  $V = 55,3$  kN.

Vzhledem k velkému významu spojovacího materiálu byla značná část experimentálního vyšetřování věnována nalezení materiálových charakteristik šroubů použitých pro spoje plech-plech a pro přípoj plechů k vaznicím. Metodika stanovení hodnot únosnosti a poddajnosti přípoje byla převzata ze standardní procedury podle Strnada [5] a doporučení ve směrnici ECCS [4]. Byla provedena série zkoušek spojených trapézových plechů nebo plechů připojených k části vaznice, s různými typy šroubů. Protože se spoje téměř od počátku zatěžování chovají nelineárně, byly pro následné numerické, popř. i analytické řešení, odvozeny z naměřených výsledků vhodné empirické trilineární (ve zjednodušení i bilineární) idealizace pracovních diagramů (obr. 3, obr. 4).

Podle metodiky [5] byly též stanoveny konzervativní „pružné“ parametry spoje, odpovídající plastické deformaci 0,3 mm. Jde o charakteristickou únosnost  $F$  a poddajnost  $s$ :

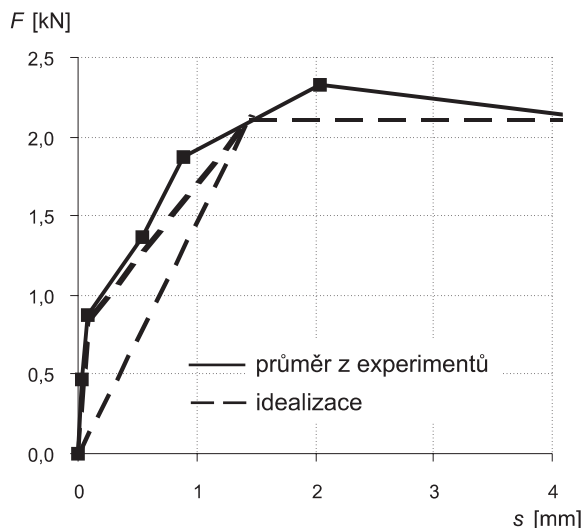
$$\begin{aligned} \text{spoj plech-plech:} \quad & F_s = 0,96 \text{ kN} \quad s_s = 0,15 \text{ mm/kN} \\ \text{přípoj plech-vaznice:} \quad & F_p = 1,81 \text{ kN} \quad s_p = 0,18 \text{ mm/kN} \end{aligned}$$

Materiálové charakteristiky trapézového plechu (ocel S320G), tenkostěnných vaznic (ocel S320GD) a táhla diagonály ztužení byly zjišťovány na pěti vzorcích (obr. 5). Pro následnou numerickou analýzu jsou pracovní diagramy nahrazeny trilineárním vyjádřením.

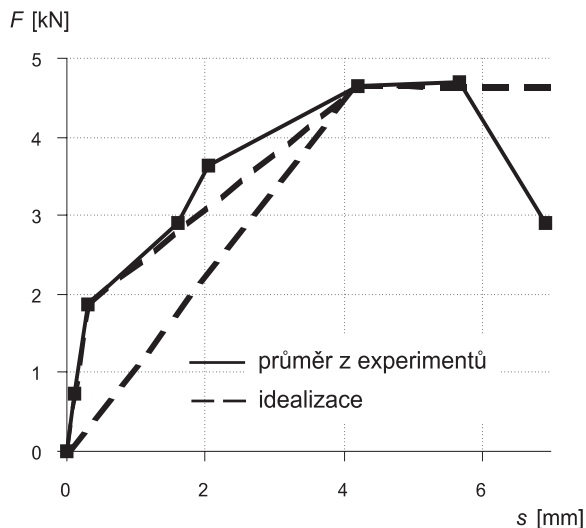
### 2.2 Výsledky zkoušek

Hlavní výsledek představují pracovní diagramy smykového panelu, stanovené pro bod  $P$  na pohyblivé příčli rámu (obr. 2). Na svislé ose diagramu je uvedeno působící zatížení  $V$  a na vodorovné ose měřený posun  $\delta$ . Na obrázku 6 jsou uvedeny pracovní diagramy pro všechny tři zkoušky (testy A, B, C), zahrnující celkové posuny modelů včetně rotací panelů jako celku (pracovní diagramy s „čistými posuny“ v, tj. po vyloučení posunů panelů jako tuhých těles jsou uvedeny na obr. 10 a obr. 11). Pro zvýšení čitelnosti grafu jsou na obr. 6 uvedena odlehčení pouze pro test B.

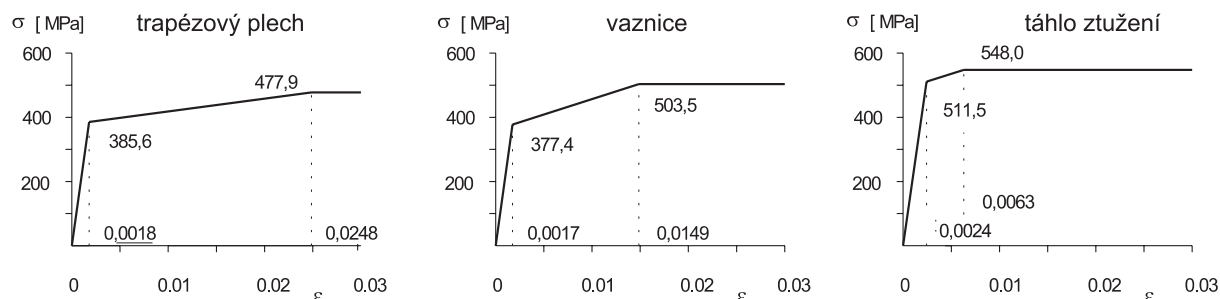
Z grafu je při podrobnějším zkoumání patrné, že zavedením pláště do spolupůsobení (testy B a C) klesá úroveň lineárního chování smykového panelu (v případě diagonálního ztužení činí zhruba 10 kN, pro panely s pláštěm zhruba 6 kN) a v další fázi je nelinearita výrazná. Důvodem je zejména nelineární chování šroubových spojů plech-plech a



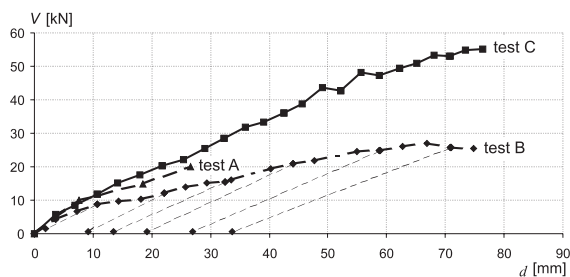
Obr. 3. Pracovní diagram (síla-posun) pro šroub spoje plech-plech a jeho idealizace



Obr. 4. Pracovní diagram (síla-posun) pro šroub přípoje plech-vaznice a jeho idealizace



Obr. 5. Pracovní diagramy materiálu trapézového plechu, tenkostěnných vaznic a táhla ztužení



Obr. 6. Pracovní diagramy pro testy A, B, C

přípojů plech-vaznice. Další nelinearity vznikají u plášťových panelů při vyšším stupni zatížení v důsledku distorze příčného řezu trapézového plechu, vaznic a přípojních botek. Nicméně odlehčení a opětovné zatížení bylo víceméně lineární.

V testu C byla smyková tuhost panelu vůči testu A zvýšena přidáním trapézového plechu a únosnost byla očekávána vyšší než vypočtená pro test A (64 kN). V důsledku kolapsu tenkostěnné vaznice však únosnost dosáhla pouze 55,3 kN a zvýšení tuhosti bylo pouze částečné, neodpovídající předpokladům.

Kolaps u testu B nastal trháním trapézového plechu v přípoji ke smykovým spojkám, doprovázeným distorzí příčného řezu vaznic (obr. 7). Kolaps u testu C nastal borcením příčného řezu vaznic v místě podepření botkami (obr. 8).

### 3. Teoretické vyšetřování

#### 3.1 Numerický model

Zkoušené smykové panely byly vyšetřovány metodou konečných prvků a pomocí standardního programu LUSAS 13.2. Byla provedena lineární analýza a různé druhy nelineárních analýz ke stanovení jejich významu ve srovnání s experimentálními výsledky. Pro trapézový plech a tenkostěnné vaznice byly použity skořepinové tenkostěnné prvky, pro příčle vazeb skořepinové silnostěnné prvky, prutové prvky pro táhlo ztužení a kontaktní prvky pro spoje, popř. tlakové dotyky prvků (tab. 1).

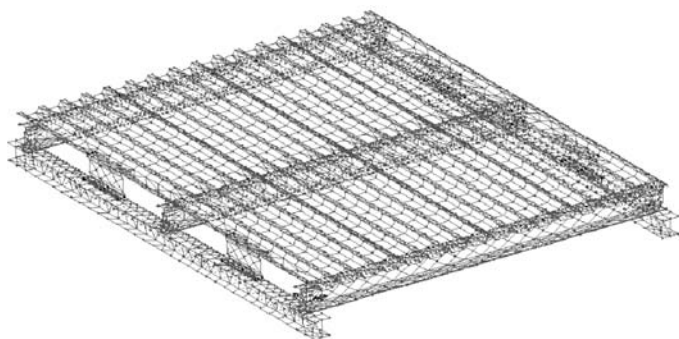
Výběr prvků a hustota sítě byly podrobně vyšetřovány v [6], kde jsou uvedeny podrobnosti v závislosti na druhu analýzy. Pro numerické vyšetřování byla použita:

- LA – lineární analýza;
- GNA – geometricky nelineární analýza;
- MNA – materiálově nelineární (pružně plastická) analýza s lineárním chováním spojů a přípojů;
- MNCNA – materiálově nelineární analýza s nelineárním chováním spojů a přípojů (angl. Materially Non-linear and Connection Non-linear Analysis).

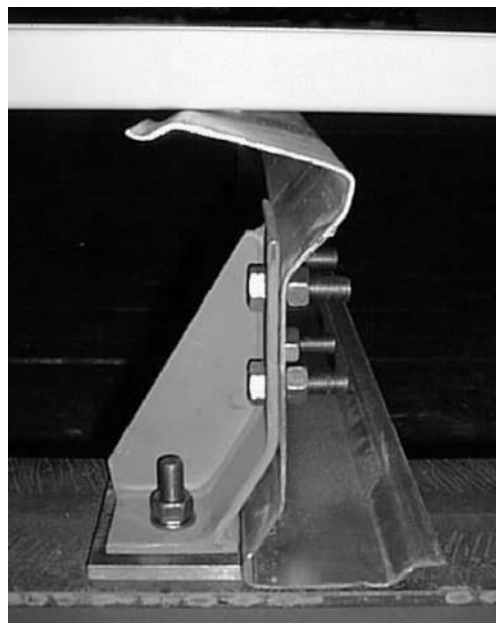
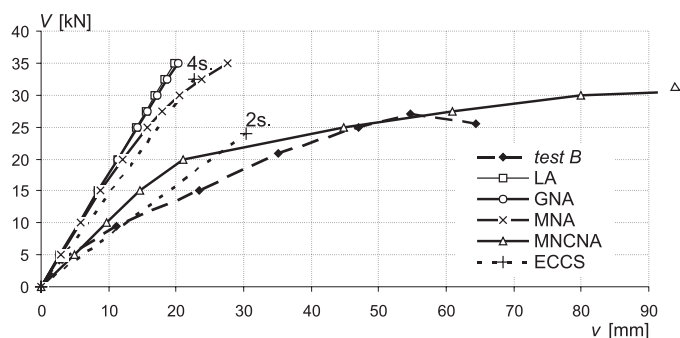
Velmi důležité bylo správné modelování kontaktů prvků, které nebyly fyzicky spojeny, ale pouze se vzájemně dotýkaly. Model, který umožňoval „prolínání“ deformovaných prvků, vedl k nereálným deformacím a nesprávným smykovým deformacím, které byly podstatně vyšší než deformace změřené při experimentech. V odhadnutých místech (s mini-

Tab. 1. Prvky použité pro modelování MKP

Název	Typ prvku	Počet uzlů	Stupně volnosti	Možnost nelinearity	
				materiálové	geometrické
BRS2	3D, prutový	2	$u, v, w$	ano	ano
QSI4	3D, tenkostěnný skořepinový	4	$u, v, w, \theta_x, \theta_y, \theta_z$	ne	ne
TS3	3D, tenkostěnný skořepinový	3	$u, v, w, \theta_x, \theta_y, \theta_z$	ne	ne
QSL8	3D, tenkostěnný skořepinový	8	rohové uzly $u, v, w$ vnitřní uzly $u, v, w, \theta_1, \theta_2$	ano	ano
TSL6	3D, tenkostěnný skořepinový	6	rohové uzly $u, v, w$ vnitřní uzly $u, v, w, \theta_1, \theta_2$	ano	ano
QTS4	3D, skořepinový silnostěnný	4	$u, v, w, \theta_x, \theta_y, \theta_z$	ano	ano
TTS3	3D, skořepinový silnostěnný	3	$u, v, w, \theta_x, \theta_y, \theta_z$	ano	ano
JNT4	3D, kontaktní	2	$u, v, w$	ano	ne
JL43	3D, kontaktní	2	$u, v, w$	ano	ne



Obr. 9. Prvkový model panelu a umístění kontaktních prvků



Obr. 7. Distorze vaznice v testu B



Obr. 8. Kolaps vaznice v testu C

Obr. 10. Test B – pracovní diagram chování smykového panelu

malizovaným počtem pro úsporu modelování) byly proto mezi trapezový plech a smykové spojky, trapezový plech a vaznice a mezi vaznice a botky zavedeny kontaktní prvky JNT4 a JL3 (obr. 9). Tuhost kontaktních prvků ve směru kontaktu (pro tlak) byla nekonečná, v ostatních směrech nulová.

### 3.2 Porovnání výsledků experimentů a numerického řešení

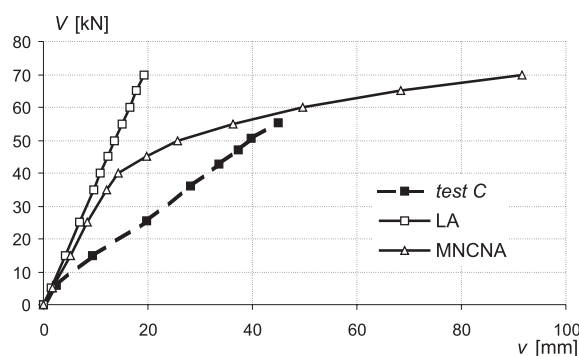
Na obrázku 10 je uvedeno porovnání výsledků numerických analýz a naměřených hodnot pro test B. Jde o závislost čistého posunu  $v$  (ve směru síly  $V$  namáhající panel smykem) na velikosti síly  $V$ . Z výsledků je zřejmé, že geo-

metricky nelineární řešení se téměř neliší od lineární analýzy a nemá pro tuto konstrukci opodstatnění. Ani zavedení pružně plastického chování tenkostěnných prvků do analýz však není dostatečné a výsledky se velmi liší od skutečného chování konstrukce. Pro korektní výsledky numerického řešení je podstatné zavedení nelineárního chování spojů a přípojí (MNCNA) a aplikace kontaktních prvků. Teprve výsledky takové analýzy jsou v dobré shodě s experimentem ve smykové tuhosti i ve smykové únosnosti panelu.

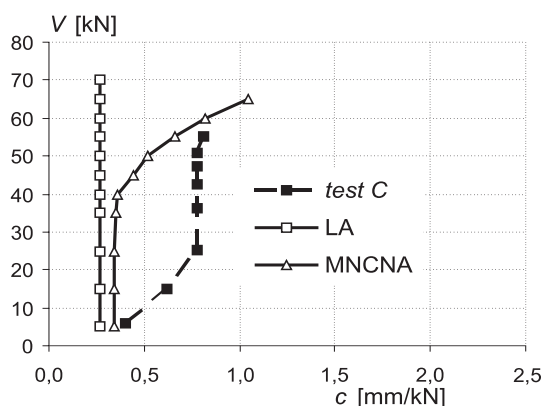
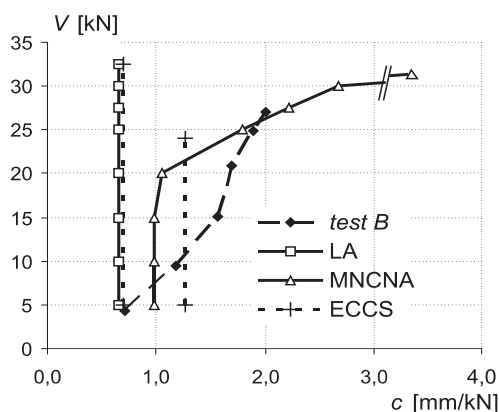
Podobné výsledky pro test C jsou na obr. 11 (nevýstižné analýzy GNA a MNA již nejsou pro přehlednost uváděny). Z grafu je zřejmé, že skutečná změřená tuhost je v počátečním stadiu mnohem menší než numericky stanovená. Roz-

bor výsledků prokázal, že příčinou byla počáteční volnost táhla ztužení, a teprve pozdější zapojení táhla do spolupůsobení. V praxi lze takovému chování předejít mírným předepnutím táhla ztužení.

Smyková poddajnost panelu *c* (tj. smyková deformace od jednotkového namáhání), která je vedle smykové únosnosti panelu jeho hlavní charakteristikou pro analytická posuzování podle [1], není v průběhu zatěžování konstantní. Numerické řešení MNCNA umožňuje získat hodnoty, které jsou v dobré shodě s experimenty jak pro úvodní fázi pružného chování, tak při kolapsu smykového panelu. Z křivek získaných z měření je patrné, že v počáteční fázi dochází ke zvyšování tuhosti postupným zapojováním celé konstrukce, zatímco numerické řešení dosahuje změřených hodnot až při vyšším zatížení, v závislosti na modelu chování jednotlivých spojů a přípojí.



Obr. 11. Test C – pracovní diagram chování smykového panelu



Obr. 12. Závislost poddajnosti panelu *c* na namáhání smykem *V* pro testy B a C

### 3.3 Porovnání výsledků testů a analytického řešení podle [1]

#### Test B

Pro porovnání výsledků testu B s analytickým řešením podle doporučení [1] lze z průměrných experimentálních vstupních hodnot stanovit smykovou únosnost  $V$  a smykovou poddajnost  $c$ . Pro tento výpočet bylo zavedeno:

$$f_{y,vaznice} = 377 \text{ MPa} \quad \text{– průměrná mez kluzu oceli vaznice;}$$

$$f_{y,plech} = 386 \text{ MPa} \quad \text{– průměrná mez kluzu trapézového plechu;}$$

$$F_{s,max} = 2,1 \text{ kN} \quad \text{– průměrná únosnost spoje plech-plech;}$$

$$F_{p,max} = 4,6 \text{ kN} \quad \text{– průměrná únosnost přípoje plech-vaznice;}$$

$$s_{s,ideal} = 0,7 \text{ mm/kN} \quad \text{– průměrná smyková poddajnost spoje plech-plech;}$$

$$s_{p,ideal} = 0,9 \text{ mm/kN} \quad \text{– průměrná smyková poddajnost přípoje plech-vaznice;}$$

$$s_{pr} = 0,4 \text{ mm/kN} \quad \text{– doporučená hodnota smykové poddajnosti přípoje vaznice-příčle vazby podle [1]; přímým výpočtem metodou konečných prvků lze pro daný přípoj stanovit } s_{pr} = 1,6 \text{ mm/kN [6].}$$

Postupem podle [1] bylo vypočítáno (obr. 10, obr. 12):

a) za předpokladu podepření po 4 stranách (se smykovými spojkami, skutečné provedení)

$$V_{(4s)} = 32,5 \text{ kN,}$$

$$c_{(4s)} = 0,69 \text{ mm/kN;}$$

b) za předpokladu podepření po 2 stranách (bez smykových spojek)

$$V_{(2s)} = 24,0 \text{ kN,}$$

$$c_{(2s)} = 1,26 \text{ mm/kN}$$

(pro  $s_{pr} = 1,6 \text{ mm/kN}$  vychází  $c_{(2s)} = 1,98 \text{ mm/kN}$ ).

Z porovnání s experimentální hodnotou smykové únosnosti  $V_{test} = 27,1 \text{ kN}$  je zřejmé, že ve skutečném chování panelu není podepření na smykových spojkách tak účinné, jak předpokládá směrnice [1]. Podle [6] lze provést interpolaci mezi případy podepření na čtyřech stranách (stejná únosnost přípojí ve směru vaznic jako kolmo na vaznice), resp. dvou stranách (únosnost kolmo na vaznice pouze v místě vaznic) podle skutečné únosnosti přípojí kolmo na vaznice. Pro test B dává interpolace smykovou únosnost  $V_{inter} = 27,1 \text{ kN}$ , která se ztotožňuje s výsledkem experimentu. Experimentální smyková poddajnost  $c_{test} = 2,01 \text{ mm/kN}$  však takovou shodu pro doporučené hodnoty směrnice [1] nevykazuje. Je zřejmé, že poddajnost přípoje vaznice-příčle vazby je větší, než uvádí směrnice [1], a odpovídá hodnotě stanovené výpočtem metodou konečných prvků. Poddajnost panelu se potom téměř shoduje s případem podepření po dvou stranách.

#### Test C

Smykovou poddajnost smykového panelu tvořeného trapézovým plechem v kombinaci s tyčovým ztužidlem (test C) lze stanovit s uvážením smykové deformace od protažení táhla  $c_t$ , osově deformace vaznic  $c_v$ , poddajnosti botky přípojí všech vaznic  $c_{pr}$  (stanovené pro  $s_{pr} = 1,6 \text{ mm/kN}$ ) a poddajnosti panelu s trapézovým plechem  $c_{2s}$ . Převrácená hodnota celkové poddajnosti kombinovaného panelu  $c$  je vyjádřena součtem převrácených hodnot dílčích poddajností [6]

$$\frac{1}{c} = \frac{1}{c_t + c_v + c_{pr}} + \frac{1}{c_{2s}} = \frac{1}{0,327 + 0,050 + 0,54} + \frac{1}{1,26}.$$



Vypočtená poddajnost odtud vychází  $c = 0,53$ , zatímco experimentální hodnota je  $c_{\text{test}} = 0,8$  mm/kN.

Pro určení smykové únosnosti panelu s trapézovým plechem a ztužidlem lze vycházet z únosnosti obou komponentů: únosnost panelu se samotným tyčovým ztužidlem je  $V_A = 60,0$  kN (poddajnost  $c_A = 0,92$  mm/kN), únosnost panelu se samotným trapézovým plechem je  $V_B = 27,1$  kN (poddajnost  $c_B = 2,01$  mm/kN). Rozhoduje vyšší únosnost, tj.  $V = 60,0$  kN (experimentálně však bylo dosaženo únosnosti  $V_{\text{testC}} = 55,3$  kN, kdy konstrukce pláště byla znehodnocena a experiment ukončen bez dosažení únosnosti tyčového ztužidla).

#### 4. Závěr

V článku je navržen numerický model pro korektní monitorování složitě chování střešního pláště složeného z trapézového plechu a tenkostěnných vaznic jako smykového diafragmatu. Autoři potvrdili, že model na bázi metody konečných prvků vyžaduje nejen pružně plastické řešení vlastních tenkostěnných prvků, ale zejména zahrnutí pružně plastického chování spojovacích a přípojných prvků – šroubů (analýza MNCNA). Důležité je rovněž zabránit prolínání deformovaných částí konstrukce zavedením kontaktních prvků. Výsledky takové analýzy jsou v dobré shodě s experimentem.

Při aplikaci analytického řešení podle [1] se doporučuje započítat poddajnost připojení smykových panelů po obvodu (zavedením korekce, která zohledňuje skutečné připojení panelů po obvodu, tj. stavu mezi limitními případy připojení po čtyřech stranách, resp. po dvou stranách, popř. uvažovat konzervativně připojení pouze po dvou stranách). Dále je vhodné provést analýzu chování přípoje vaznice-příčle (experimentálně nebo numericky), který výrazně ovlivňuje poddajnost smykového panelu a jehož smyková poddajnost a únosnost není v [1] pro aktuální konstrukce uvedena (tomuto aspektu bude věnován návazný výzkum).

**Článek byl vypracován na Katedře ocelových konstrukcí FSv ČVUT za spolupráce Experimentálního centra FSv ČVUT. Teoretické práce byly podpořeny grantem č. 103/01/1009 GA ČR, experimentální práce a ověřovací analýzy výzkumným záměrem č. 21000001 MSM.**

#### Literatura

- [1] European Recommendation for the Application of Metal Sheeting Acting as a Diaphragm. ECCS Publ. No. 88, Brussel, 1995, 262 p.
- [2] Čepička, D. – Macháček, J.: Spolupůsobení střešního pláště z tenkostěnných profilů s nosnou konstrukcí. [Sborník], konference „Ocelové konstrukce“, FSv ČVUT, 2002, s. 38–59.
- [3] Biegus, A. – Gierczak, J.: Test of Load-Displacement Curves for Corrugated Sheet under Bending, Shear and Compression Loads. [Proceeding], Nordic Construction Conference, Bergen, 1998, pp. 325–336.
- [4] European Recommendations for Steel Construction. The Design and Testing of Connections in Steel Sheeting and Sections. ECCS Publ. No. 21, Brussel, 1983.
- [5] Strnad, M.: Experimentální určování výpočetních parametrů mechanických spojů tenkostěnných ocelových konstrukcí. VÚS 1/1981, Praha, 1980, 88 s.
- [6] Čepička, D.: Smykové spolupůsobení pláštů z tenkostěnných profilů. [Doktorská dizertační práce], FSv ČVUT, 2003, 119 s.

#### Čepička, D. – Macháček, J.: Shear Diaphragm in Stressed Skin Design of Purlin Roofs

This article describes an experimental and theoretical investigation of roof shear diaphragms which can not only substitute classical roof bracings but may also form a stressed skin behaviour of a hall frame structure. The diaphragms consisting of trapezoidal steel sheeting, thin-walled purlins and stiff rafters, with and without bar bracing, were experimentally and theoretically investigated under shear loading. Current available structural elements were used. Non-linear behaviour due to the connections and thin-walled elements was monitored up to their collapse. Material and load-deflection properties of all the elements and connections as well as details of the main tests are presented in this paper. Numerical FE analyses with various types of non-linear behaviour were conducted to study the diaphragm behaviour. Geometrical non-linearity (buckling) was found to be insignificant in the studied case, however, the non-linear behaviour of the connections and the introduction of contact elements to model the interaction of the elements in contact but otherwise independent proved to be important. The resulting numerical model gave results in reasonable agreement with the tests. Finally, a comparison with calculations in accordance with the ECCS Recommendation on stressed skin design and recommendation on its improvement is presented.

#### Čepička, D. – Macháček, J.: Schubschott beim plastischen Verhalten eines Binderdachs

Der Artikel beschreibt eine experimentelle und theoretische Untersuchung des Verhaltens von Schubschotten in Dachkonstruktionen, die nicht nur die klassische Dachaussteifung ersetzen, sondern auch in dem Hüllverhalten von Hallen wirken können. Es wird ein aus Trapezblech, dünnwandigen Pfetten und steifen Rahmensprossen bestehendes Schubpaneel ohne weitere Aussteifung und mit klassischer Diagonalaussteifung untersucht. Alle verwendeten Elemente entsprechen der gegenwärtigen Praxis. Untersucht werden das nichtlineare Verhalten der Elemente und die Anschlüsse bis zum Kollaps des unter Schubwirkung stehenden Paneels. Es werden die erforderlichen Materialcharakteristiken und Arbeitsdiagramme aller Elemente, Verbindungen und Anschlüsse angeführt. In einer numerischen MKP-Analyse wird die Bedeutung verschiedener Nichtlinearitäten auf das Verhalten des Paneels analysiert. Die geometrische Nichtlinearität (insbesondere das Beulen) ist in diesem Fall nicht bedeutsam, und den entscheidenden Einfluss hat das nichtlineare Verhalten der Verbindungen und Anschlüsse. In der numerischen Lösung hat die Einführung von Kontaktelementen entscheidende Bedeutung an der Stelle von Druckkontakten der dünnwandigen Elemente. Das entworfene numerische Modell erbringt Ergebnisse in Übereinstimmung mit dem Experiment. Zum Schluss werden ein Vergleich mit einer analytischen Lösung nach der ECCS-Richtlinie und Empfehlungen für deren Abänderung angeführt

## Konstrukční lehké betony

Ing. Petr KUNEŠ, CSc.

Lias Vintířov, Lehký stavební materiál, k. s.

Lehké betony z keramzitu jsou u nás známy především jako konstrukčně izolační materiály pro výrobu obvodových plášťů budov, a to v prefabrikované formě nebo jako zděné konstrukce. Technologie jejich výroby byla zaměřena na získání co nejnižší tepelné vodivosti při dosažení potřebné pevnosti, která při mezerovité struktuře obvykle nepřesahuje 5 až 10 MPa. Lehké betony z expandovaného kameniva však mají daleko širší možnosti uplatnění, a pokud jde o rozsah pevnostních tříd, jsou srovnatelné s normálním betonem.

Konstrukční lehké betony pevnosti od 25 do 60 MPa se v zahraničí používají v posledních třiceti letech jak v pozemních stavbách, tak v mostním stavitelství. U nás se objevily první úspěšné aplikace v posledních letech a lze očekávat, že jejich využití se bude rozšiřovat. Hlavním předpokladem je výrobní základna kvalitního lehkého kameniva, které je v současné době k dispozici pod značkou Liapor.

### Lehké kamenivo

Pro výrobu konstrukčních lehkých betonů jsou nevhodnější průmyslově vyráběná lehká kameniva typu expandovaného jílu nebo expandované břidlice. Na rozdíl od přírodní sopečné pemzy lze u průmyslově vyráběných kameniv technologicky řídit technické vlastnosti, což je pro výrobu lehkých betonů vyšších tříd nezbytné. Zatímco dříve se u nás vyráběl keramzit pouze v jedné sypné hmotnosti, současná technologie umožňuje výrobu lehkého kameniva (tab. 1)

Tab. 1. Sortiment a základní vlastnosti Liaporu

Označení	Frakce [mm]	Sypná hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Tolerance [kg]	Objemová hmotnost zrna [kg/m <sup>3</sup> ]	Mezerovitost [%]	Pevnost při stlačení ve válci [MPa]	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ [W.m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	Nasákavost	
								30 min. [% hmot.]	120 min. [% hmot.]
8-16/275	8–16	275	± 40	550	47	0,7	0,09	6,0	8,0
8-16/600	8–16	600	± 50	1 100	45	4,5	0,14	5,0	7,0
4-8/350	4–8	350	± 35	625	44	1,1	0,10	4,5	7,5
4-8/450	4–8	450	± 45	850	44	2,0	0,11	4,0	6,0
4-8/600	4–8	650	± 50	1 200	45	7,0	0,14	3,5	5,5
4-8/800	4–8	800	± 50	1 500	47	10,0	0,19	3,0	5,0
1-4/500	0–4	500	± 75	875	43	4,0	0,11	3,5	5,0
1-4/625	0–4	625	± 90	1 050	40	6,0	0,14	3,0	4,5
2-4/450	2–4	450	± 65	800	44	3,0	0,11	3,5	4,5
0-2/575	0–2	575	± 85	1 050	43	6,0	0,12	2,0	3,0

Tab. 2. Klasifikace lehkého betonu podle objemové hmotnosti

Třída objemové hmotnosti	D 1,0	D 1,2	D 1,4	D 1,6	D 1,8	D 2,0
Rozsah objemové hmotnosti [kg/m <sup>3</sup> ]	≥ 800 a ≤ 1000	> 1000 a ≤ 1200	> 1200 a ≤ 1400	> 1400 a ≤ 1600	> 1600 a ≤ 1800	> 1800 a ≤ 2000

s přesně stanovenými parametry. Pevnost, závislá na sypné hmotnosti (resp. na objemové hmotnosti zrna), se zkouší při stlačení ve válci, resp. podle nové ČSN EN 13055-1 [8] jako odolnost lehkého kameniva vůči drčení. Pro lehké betony je základní frakce 4–8 mm, vyráběná v několika sypných hmotnostech a je určující pro jejich pevnostní třídu. Pro betony pevnosti do cca 45 MPa se používá Liapor 4–8/600, pro vyšší pevnosti je třeba použít Liapor vyšší hmotnosti, např. 4–8/800. U drobného kameniva lze volit frakci 1–4 mm v různé hmotnosti a podílu zrnitosti, k dispozici je i drčený Liapor s vysokým podílem jemné zrnitosti. Zajímavé je použití nejjemnějších frakcí, u prachových podílů menších než 0,1 mm se příznivě projevují hydraulické vlastnosti vypáleného jílu.

### Normy

Konstrukční lehké betony se řadí mezi hutné betony a platí pro ně nová ČSN EN 206-1 Beton- Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda [7]. Její předností je, že poprvé je ve společné normě zahrnut normální a lehký beton. Lehký beton je klasifikován jako beton, který má po vysušení objemovou hmotnost větší než 800 kg/m<sup>3</sup> a menší než 2 000 kg/m<sup>3</sup>. Pevnostní třídy v tlaku jsou zde uvedeny v rozsahu od LC 8/9 do LC 80/88, norma uvádí též třídy objemové hmotnosti (tab. 2). Pro použité lehké kamenivo platí norma [8].

### Hlavní přednosti a specifické vlastnosti

V porovnání s normálním betonem mají hutné lehké betony řadu technologických předností, zejména výrazně nižší objemovou hmotnost, která se příznivě projevuje:

- menším vlastním zatížením konstrukce (úspora dimenzí vč. základů);

- úsporou bednění a forem;
- snížením nákladů na dopravu a montáž u prefabrikace;
- úsporou ocelové armatury.

Při zjišťování vlastností normálního a lehkého betonu vyplyne zajímavý poměr jejich pevnosti a objemové hmotnosti. Při porovnání tohoto „výkonového parametru“ vynikají základní mechanické vlastnosti lehkého betonu, tj. pevnost [MPa] a objemová hmotnost [ $t/m^3$ ]:

- obyčejné betony 25/2,4 až 60/2,5 = 10,4 až 24,
- lehké betony 25/1,5 až 60/2,0 = 16,6 až 30.

Podle tohoto parametru lze zařadit lehké betony mezi vysokohodnotné materiály již od třídy LC 40/44 [4].

Významnou předností je nízká tepelná vodivost a z toho vyplývající tepelně izolační schopnost. Rovněž teplotní roztažnost je v porovnání s normálním betonem o 20 až 30 % nižší. To příznivě ovlivňuje napjatost v konstrukci a snižuje riziko vzniku trhlin. Snížená teplotní roztažnost i tepelná vodivost společně s lepší tvárností mají za následek zvýšenou ohnivzdornost konstrukcí z lehkých betonů.

Kromě jmenovaných předností mají tyto materiály i některé nevýhody. Jsou to především deformační vlastnosti, zejména smršťování a dotvarování je v důsledku nižší tuhosti lehkého kameniva v porovnání s normálním betonem o něco vyšší. Nižší modul pružnosti však příznivě působí na pokles napjatosti v dílcích a konstrukcích. Mezi nevýhody patří jistě i vyšší cena, která by však měla být kompenzována využitím jmenovaných předností.

V porovnání s normálním betonem mají lehké betony specifické požadavky na míchání a zpracování směsí. U masivních konstrukcí je třeba řešit jako technologický důsledek jejich tepelně technických vlastností koncentraci hydratačního tepla.

## Technologie výroby

### Obecné zásady

Pro míchání betonových směsí, jejich dopravu a zpracování platí některé odlišné zásady, které vycházejí ze specifických vlastností lehkého kameniva. Jsou to především vlhkostní vlastnosti, zejména nasákavost kameniva, dále rozdílná objemová hmotnost a pevnost jednotlivých frakcí, objemová hmotnost zrn nižší než vody aj. Vlhkost se může pohybovat ve značném rozpětí, což výrazně ovlivňuje jeho sypanou hmotnost. Proto je vhodnější dávkovat lehké kamenivo objemově. Při hmotnostním dávkování je třeba častěji kontrolovat jeho vlhkost, resp. sypanou hmotnost. Vnitřní vlhkost kameniva na konzistenci míchané směsi v podstatě nepůsobí, ovlivňuje však její zpracovatelnost v čase, její čerpateľnost a dobu vysychání. Vlhkost v zrnech kameniva velmi příznivě působí na průběh hydratace cementového tmelu, neboť zajišťuje jakési vnitřní ošetřování zrajícího betonu.

Nasákavost lehkého kameniva je třeba upravit při návrhu dávkování záměsové vody. Vedle účinné vody je třeba počítat s přídatnou vodou v závislosti na typu kameniva, jeho vlhkosti a předpokládané době zpracování. V této souvislosti se doporučuje aplikovat lehké kamenivo s určitou vlhkostí, což lze řešit předvlhčením, a omezit tak jeho nasákavost po namíchání směsi [2].

### Čerpateľné směsi

Při návrhu směsí lehkých betonů pro čerpání je třeba si uvědomit především rozdílné vlhkostní vlastnosti lehkého pórovitého kameniva. Kromě nasákavosti za normálních

podmínek je hlavním důvodem jejich odlišného chování při čerpání zvýšená nasákavost kameniva pod tlakem. Při čerpání je betonová směs vystavena tlaku deseti a více barů, a dochází při tom ke vtačování vody z cementového tmelu do zrn lehkého kameniva. Směs horší konzistence pak může ucpat čerpací potrubí. Tomuto problému byla věnována značná pozornost. Na základě experimentálních měření nasákavosti pod tlakem u různých typů kameniva byl vyvinut exaktní model čerpatelných směsí. Při návrhu směsi je třeba uvažovat s přídatnou dávkou vody, která bude při čerpání vtačena do zrn. Doporučuje se rovněž zlepšit pohyblivost směsi přidáním vyššího podílu drobných částic a zvýšit stabilitu směsi vhodnou přísadou. Ověřovací zkoušky a zkušenosti ze staveb potvrzují, že při respektování těchto zásad lze směsi lehkých betonů úspěšně čerpat [2].

Jinou možností, jak zajistit jejich dobrou čerpateľnost, je omezení nasákavosti lehkého kameniva. Jde o dokonalejší uzavření povrchu pórovitých zrn buď keramickou technologií, nebo jinou dodatečnou úpravou. Jednou z možností je obalení zrn lehkého kameniva cementem. Tato úprava vychází z betonářské technologie a lze ji aplikovat bez nároků na speciální vybavení. V principu jde o máčení lehkého kameniva v cementovém tmelu a následně zaprášení cementem, které zabrání slepování zrn. Cementový obal tl. 0,25–0,35 mm nejen podstatně sníží nasákavost, ale současně zvýší pevnost zrn, a samozřejmě i jeho objemovou hmotnost [5].

### Samozhutnitelný lehký beton z Liaporu

V posledních letech se v betonářské technologii úspěšně uplatňují samozhutnitelné betony. Aplikace této technologie v oblasti lehkých betonů může být stejně úspěšná, pokud se respektují dané specifické podmínky. Charakteristické vlastnosti samozhutnitelného lehkého betonu:

- vysoká tekutost musí zajistit vyplnění i odlehklých částí bednění ve vodorovném směru a nivelování povrchu;
- schopnost obtékat výztuž bez blokování a rozměšování;
- vysoce kohezní směs musí vyloučit sednutí těžších zrn nebo vyplavení lehkých zrn.

Dostatečná tekutost a samozhutnitelnost v čerstvém stavu se získá vysokým obsahem drobných částic ve směsi a přidáním superplastifikátoru. Jemné složky mohou být tvořeny filery (kamenná moučka, popílek, křemičitá moučka), které se používají do normálních betonů, nebo lehkým filerem ve formě jemně drceného nebo prachového Liaporu. Superplastifikátory obsahují polykarboxyláty, jejichž molekulární stavba působí sférickým roztláčováním jemných zrn betonové směsi, a udržují tak směs v tekutém – samozhutnitelném – stavu. Tento účinek je stejný u normálních i lehkých betonů.

Pro dosažení a udržení reologických vlastností je nutné respektovat specifické vlastnosti lehkých kameniv. Při rozdílné objemové hmotnosti hrubého lehkého kameniva a maltové složky vzniká nebezpečí vyplavování hrubých zrn. Tomuto rozměšování se musí zabránit úpravou vlastností cementové a maltové matrice. Nasákové lehké kamenivo může odebrat směsi záměsovou vodu a způsobit předčasnou ztrátu samozhutňujících vlastností. Tomu lze předejít jeho cíleným předmáčením.

Aplikace těchto betonů je efektivní jak v prefabrikaci, tak u konstrukcí monolitických. V prefabrikaci obvykle stačí zajistit kratší dobu zpracovatelnosti (cca 30 minut), ale je požadován rychlý nárůst pevnosti (odstranění forem max. do 20 hodin). U monolitických staveb se často směs dopravuje čerpáním, což se děje při respektování stanovených podmínek bez větších problémů [1].

Výhodou samozhutnitelných lehkých betonů v porovnání s normálním samozhutnitelným betonem je podstatně nižší hydrostatický tlak, kterým působí čerstvá směs na bednění nebo formu. Úspory při dimenzování forem, vyplývající z nižší hmotnosti lehkého betonu, jsou tak zvýrazněny menším zatížením od hydrostatického tlaku.

### Příklady uplatnění

V zahraničí byly přednosti lehkých betonů využity na různých stavbách v pozemním i mostním stavitelství. I u nás již bylo realizováno několik zajímavých konstrukcí, které mohou být inspirací [3].



Obr. 1. Prefabrikovaná konstrukce tribun ve Wolfsburgu

### ■ Fotbalový stadion ve Wolfsburgu

Prvním příkladem mohou být prefabrikované dílce pro konstrukci tribun fotbalového stadionu ve Wolfsburgu. Konstrukce tribun je montovaná ze železobetonových dílců. Hlavní příčné nosné rámy přenášejí podélné stupňovité dílce hlediště a na konzolách těchto hlavních šikmých rámu byly ze statických důvodů navrženy dílce z lehkého betonu. Jde o dílce tvořící střední ochoz hlediště ve tvaru malého písmene h (obr. 1) a dílce tvaru položeného T (obr. 2), které tvoří horní obvodovou stěnu tribun. Tyto prostorově tvarované dílce jsou až 10 m dlouhé s tloušťkou stěn 12 a 15 cm. Tvarová složitost, hustá armatura a požadavek na kvalitní povrch byly výzvou pro aplikaci samozhutnitelných lehkých betonů.

Pro dílce byl navržen beton třídy LC 25/28-D 1,6-XF 1 podle [7], jehož složení je uvedeno v tab. 4. Pro výrobu bylo použito lehké kamenivo Liapor frakce 4–8 mm sypané hmotností 600 kg/m<sup>3</sup> a Liapor frakce 1–4 mm sypané hmotností 625 kg/m<sup>3</sup>. Kamenivo bylo odebíráno z otevřené skládky a mělo hmotnostní vlhkost 8 až 12 %. Vývoj pevnosti tohoto materiálu byl příznivý pro prefabrikovanou výrobu (tab. 3). Konzistence betonové směsi byla ověřována zkouškou rozlití betonu z kužele (rozlití po 5 minutách činilo 75 cm, po 30 minutách 70 cm). Byl rovněž ověřen statický modul pružnosti a zjištěná hodnota  $E = 19\,500$  MPa dobře odpovídá hodnotě uvedené v ČSN P ENV 1992-1-4 [9]. Tato aplikace byla zdařilá, neboť zajistila vysokou kvalitu vyráběných prostorových dílců.

Tab. 3. Vývoj objemové hmotnosti, pevnosti a vlhkosti směsi LC 25/28 D 1,6

Stáří betonu při zkoušce	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]			Pevnost na krychli 150 mm [MPa]	Vlhkost betonu při zkoušce [% hmot.]
	betonu	při zkoušce	stavu		
16 hodin	1 770	1 760	1 520	20,7	15,8
7 dnů		1 750	1 525	30,4	14,8
28 dnů		1 750	1 550	35,5	12,9

Tab. 4. Skladba směsi a vlastnosti lehkých betonů

Složky	Jednotky	Třída betonu [7]			
		LC 16-18 D 1,2-XF1	LC 25-28 D 1,6-XF1	LC 35-38 D 1,8-XF4	LC 40-44 D 2,0-XF4
Liapor 4-8-350	m <sup>3</sup>	500	–	–	–
Liapor 4-8-600		–	500	600	–
Liapor 4-8-800		–	–	–	550
Liapor 0-2-575		400	–	–	–
Liapor 1-4-625		–	130	–	–
přírodní kamenivo 0–1	kg	250	500	200	–
0–4		–	–	500	570
4–8		–	–	150	–
8–16		–	–	–	370
cement I-42,5 R		400	375	400	420
popílek	60	100	40	–	
vápencová moučka	–	150	–	–	
mikrosilika	–	–	–	30	
superplastifikátor	5	5	5	4,6	
provzdušňující přísada	–	–	0,06	0,06	
vodní součinitel	v/(c+p)	0,5	0,5	0,4	0,35
objemová hmotnost čerstvé směsi	kg/m <sup>3</sup>	1 340	1 750	1 890	1 960
objemová hmotnost vysušeného betonu		1 190	1 600	1 770	1 900
pevnost $f_{ck, cube}$	MPa	22	35,5	44,5	50,5
modul pružnosti		–	19 500	21 500	25 500



Obr. 2. Výroba dílců z lehkého betonu



Obr. 3. Lávka pro chodce přes Vltavu v Českých Budějovicích

### ■ Most v Českých Budějovicích

Dalším příkladem je první mostní konstrukce z předpjatého lehkého betonu v České republice. Lávka pro chodce přes Vltavu byla realizována v roce 2002. Autor projektu VPÚ DECO Praha, a. s., pod vedením ing. Macha zvolil konstrukci předpjatého pásu z lehkého betonu. Délka mostu je 144,5 m a rozpětí středního pole činí 76 m. Nosná deska mostovky tl. 25 cm je montovaná z dílců a po montáži pře-depnutá.

Prefabrikované dílce rozměru 4 000 x 2 050 x 250 mm byly vyrobeny z lehkého betonu z Liaporu třídy LC 35/38-D 1,8-XF 4 podle [7]. V dílcích je osm podélných kanálků pro předpínací lana, dvě polokruhová vybrání pro osazení na montážní lana a jsou opatřeny kotvami pro zábradlí (tab. 4). Kromě statického modulu pružnosti byla experimentálně ověřena odolnost povrchu proti účinkům chemických rozmrazovacích látek a pevnost v tahu povrchových vrstev. Příznivé výsledky umožnily použít tenkovrstvou úpravu povrchu vozovky přímo na prefabrikovaných dílcích.

Aplikace lehkého betonu výrazně snížila hmotnost konstrukce, a tím i vodorovné zatížení kotevních základových bloků. Most byl dokončen v červnu 2002 a dva měsíce poté obstál při srpnové povodni. Tato technicky i architektonicky velmi zdařilá konstrukce byla znovu použita o rok později v Písku (obr. 3 až obr. 5)

### Perspektivy

Hutné lehké betony nižších pevnostních tříd mají všechny předpoklady pro použití v bytových stavbách. Zejména v prefabrikované výstavbě představují ideální materiál, který eliminuje nedostatky betonových panelových staveb. Poněkud vyšší cena je vyrovnána hospodárností, která vyplývá z poloviční hmotnosti lehkých betonů (nižší dopravní a montážní náklady, větší rozměry dílců). Významné je příznivé ovlivnění mikroklimatu bytového interiéru způsobené fyzikálními vlastnostmi směsi s lehkým keramickým kamenivem. Příklad skladby vhodného LC 16/18 je v tab. 4.

Další úspěšnou aplikací jsou prefabrikované dílce, u nichž je z ekonomického hlediska rozhodující celková hmotnost. Týká se to zejména prostorových prefabrikátů pro garáže, sanitární buňky, prostorová schodiště, buňky pro rozvodná a regulační zařízení apod. Obvykle se kompletují ve výrobnách a dopravují na místo určení. Jejich transportní a manipulační hmotnost může být rozhodující. U složitějších prostorových dílců lze s výhodou použít samozhutnitelnou směs.



Obr. 4. Smontovaný předpjatý pás z lehkého betonu



Obr. 5. Montáž dílců z lehkého betonu

Nízká objemová hmotnost konstrukčních lehkých betonů může být úspěšně využita též při výstavbě výškových budov (BMW v Mnichově, Tore Picasso v Madridu aj.) nebo u speciálních konstrukcí, jako je např. předsazená fasádní stěna na objektu Kai-Center v Düsseldorfu [6]. Tyto konstrukce by nebyly realizovatelné bez použití lehkého betonu.

Příklad aplikace v mostním stavitelství byl již uveden. V zahraničí je mnoho podstatně rozsáhlejších staveb, kde byl uplatněn lehký beton. V posledních letech byly realizovány velmi zajímavé konstrukce mostů v Norsku (Grenland, Stolma, Stovset, Eidsvoll Sund, plovoucí Nordhordland aj.) [6]. U těchto konstrukcí se kromě nízké objemové hmotnosti osvědčuje i jeho vysoká trvanlivost, mrazuvzdornost a zvýšená odolnost proti účinkům chemických rozmra-

zovacích látek. Laboratorně prokázané vlastnosti byly ověřeny i při stavbě námořních lodí. V poslední době je nejlepší referencí plovoucí vrtná plošina Heidrun v Severním moři, která byla realizována z lehkého betonu z Liaporu. U dalších vrtných plošin v Severním moři byl použit lehký beton zčásti nebo beton vylehčený lehkým kamenivem (Troll West, BP Harding Field aj.) [6].

Aplikace konstrukčních lehkých betonů je u nás v počátcích. Lze očekávat, že zahraniční zkušenosti budou dostatečnou inspirací i pro naše inženýry a architekty a že konstrukční a ekonomické přednosti lehkého betonu budou využívány.

#### Literatura

- [1] Tomis, V.: Samozhutmělný lehký beton z Liaporu. Materiály pro stavbu, 2003, č. 6, Příloha, s. 7–11.
- [2] Tomis, V.: Nasákavost pórovitého kameniva při návrhu, výrobě a ukládání lehkého betonu. [Sborník], konference „Technologie, provádění a kontrola betonových konstrukcí“, Praha, 2002.
- [3] Tomis, V. – Drábková, J.: Použití lehkého betonu v současné prefabrikaci v ČR. [Sborník], konference „Prefabrikace a betonové dílce“, Pardubice, 2003.
- [4] Schnellenbach-Held, M.: Bauteile aus konstruktivem Leichtbeton. [Sborník], konference Leichtbeton-Tage 1999. Andernach. Fachvereinigung Leichtbeton e.V.
- [5] Miller, H. S. – König, G. – Thienel, K. CH.: Hochfester konstruktivem Leichtbeton. Beton-und Stahlbetonbau, 2000, No. 7, pp. 392–414.
- [6] Lightweight Aggregate Concrete. Part 3 Case Studies. fib bulletin 8. May 2000.
- [7] ČSN EN 206-1 Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. ČSN, 2001.
- [8] ČSN EN 13055-1 Pórovité kamenivo – Část 1: Pórovité kamenivo do betonu, malty a injektážní malty. ČSN, 2002.
- [9] ČSN P ENV 1992-4 Navrhování betonových konstrukcí. Část 1-4 Obecná pravidla – Hutný beton s pórovitým kamenivem. ČSN, 1996.

#### Kuneš, P.: Lightweight Structural Concretes

Lightweight concretes from expanded clay are primarily known as structurally insulating lightweight concretes suitable for production of external skins of buildings. They are employed either prefabricated or as masonry structures. Their technology has been developed to achieve the lowest possible thermal conductivity while maintaining the necessary strength which does not typically exceed 5 to 10 MPa due to their gap structure. Lightweight concretes manufactured from expanded aggregate offer much wider applications, though, and the range of their strength classes is comparable to common concrete.

#### Kuneš, P.: Leichte Konstruktionsbetone

Leichtbetone aus Keramsit sind bei uns vor allem als leichte Dämmbetone für die Herstellung von Aussenwänden von Gebäuden bekannt, und zwar in Form von Fertigteilen oder als gemauerte Bauteile. Ihre Fertigung war auf die Erzielung einer möglichst niedrigen Wärmeleitfähigkeit bei Erzielung der notwendigen Festigkeit gerichtet, die bei haufwerkporiger Struktur 5 bis 10 Mpa nicht übersteigt. Leichtbetone aus aufgeblähtem Zuschlagstoff ergeben jedoch weit breitere Einsatzmöglichkeiten, und was den Bereich der Festigkeitsklassen betrifft, sind sie vergleichbar mit Normalbeton

## • veletrhy

### bauma mining

29. března – 4. dubna 2004  
Mnichov

Bauma, přední světový veletrh stavebních strojů a strojů pro stavební výrobu, bude v letošním roce rozšířen o sekci bauma mining. Výrobci z celého světa budou na mnichovském výstavišti představovat stroje a zařízení určené nejen pro stavebnictví, ale i pro hlubinnou těžbu, zařízení z oblasti dopravní techniky a pro úpravu materiálů, geologie, geofyziky, průzkumu a poradenství. Společná doba a místo konání obou akcí se tak stanou magnetem pro vystavovatele i odbornou veřejnost. Pořadatel Messe München poskytne pro obě akce výstavní plochy v rozloze zhruba 500 tis. m<sup>2</sup>.



[www.expocs.cz](http://www.expocs.cz)  
[www.bauma.de](http://www.bauma.de)  
[www.bauma-mining.de](http://www.bauma-mining.de)

#### Oborové členění:

- zařízení na snížení hladiny podzemní vody, stavební pumpy
- stroje a zařízení na zpracování betonářské oceli
- bednění a lešení
- zdvižná zařízení a dopravní prostředky
- stroje a zařízení na přípravu, dopravu a přepravu betonu a malty, zhutňování betonu
- rypadla, nakladače, skrejpry a zařízení na urovnávání terénu
- stroje a zařízení na stavbu štol a tunelů
- vrtná, beranidlová a protahovací zařízení, systémy na stavbu kanálů a jejich údržbu
- kompresory, zařízení na stlačený vzduch a hydraulická zařízení
- zhutňovací stroje na zemní práce a výstavbu silnic
- stroje a zařízení pro stavby z betonu a živice, pro stavbu vodních cest a kolejí
- stavební vozidla
- zařízení pro staveniště
- stroje a zařízení pro výrobu a úpravu cementu, vápna, sádky, písku, jílu, šterkopísku a drceného šterku
- stroje a zařízení na recyklaci stavebních hmot
- stroje a zařízení na výrobu spojených stavebních prvků
- stroje, zařízení a přístroje na těžbu přírodního kamene a zpracování opracovaného kamene a betonu
- testovací, měřicí, řídicí a regulační technika
- pohonná technika, fluidní technika, agregáty pro stavební stroje a stroje na výrobu stavebních hmot a stavební vozidla

Vstupenky, které lze v době konání veletrhu využít k bezplatné jízdě veřejnými dopravními prostředky, i katalogy je možné písemně či telefonicky objednat u oficiálního zástupce pořadatele veletrhu v ČR, jímž je EXPO Consult+Service, spol. s r.o.

*Tisková informace*

# Výpočet teplôt v transparentných dvojplášťových fasádach budov s tienidlom

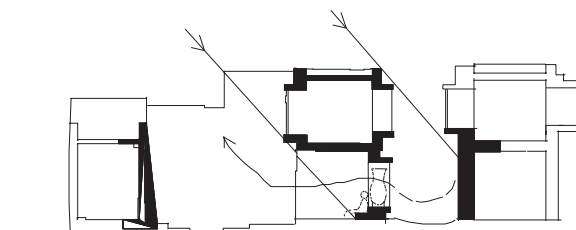
Ing. Ján KRÁLIK

STU – Stavebná fakulta, Bratislava

Ing. Ján KRÁLIK ml.

Bratislava

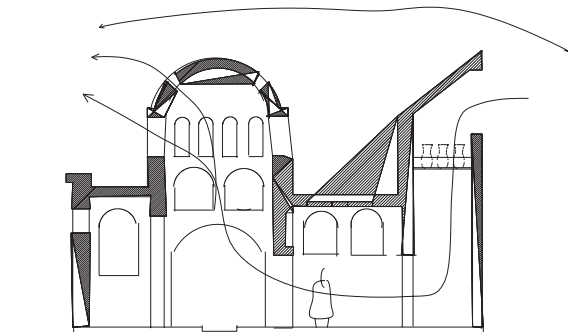
V článku sú uvedené výpočtové vzťahy na výpočet teploty vo vzduchu vzduchových vrstiev a na povrchu obklopujúcich konštrukcií, obalových konštrukcií budov s dvoma vetranými vzduchovými vrstvami, deliacu konštrukciu medzi ktorými tvorí tienidlo. V článku sú odvodené výpočtové vzťahy na určenie podmienok „nulového tepelného toku“ a odvodený je výpočtový vzťah na určenie teploty v interiéri za obalovým plášťom.



Obr. 2. Prúdenie vzduchu vhodnej teploty vyvolané rozdielnou objemovou hmotnosťou vzduchu v komunikácii prúdenia vytvorenej konštrukciou [1]

## Úvod

Súčasťou hodnotenia budov je popri esteticko-vizuálnej hodnote, keď človek cíti potrebu opakovane vnímať budovu, pretože vnem sprevádza pekný zážitok, aj jej technická „krása“ v nápaditom dispozičnom a technickom riešení. Využitie slnečného tepelného žiarenia na vytvorenie požadovaných tepelných režimov v budove, sledujúcich tepelne energetický komfort, môže byť jedným zo skupiny prvkov podieľajúcich sa na kvalite stavby.

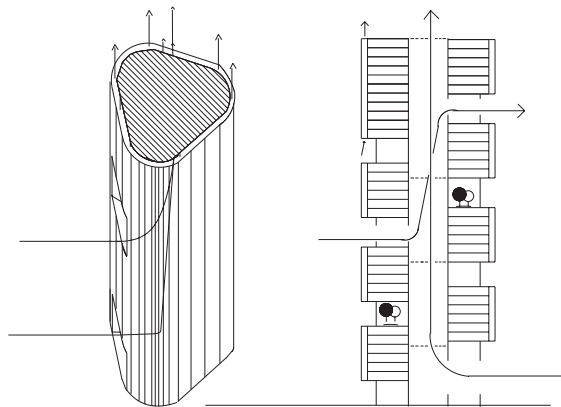


Obr. 1. Nad terénom prúdiaci vzduch je zachytávaný tvarovanou konštrukciou. Vedený je najprv v kontakte s povrchom nádob naplnených vodou do obytných priestorov. V miestnostiach ochladzuje nižšou teplotou a rýchlejšim odvádzaním tepla aj z povrchu človeka. Kinetická energia prúdenia sa získava tlakom vetra pri jeho vstupe do budovy a nižším tlakom pri výstupe z interiéru budovy [1].

Zachytávanie studenšieho exteriérového vzduchu a jeho použitie na ochladzovanie vnútorných priestorov či už púhym privedením do exteriéru, kedy sa zväčšuje výmena tepla medzi osobou a okolitým vzduchom pri väčšom tepelnom spáde, alebo aj zväčšením prestupu tepla z povrchu tela do okolia zväčšením koeficienta prestupu  $\alpha$  pohybom vzduchu bolo používané aj v ďalekej minulosti (obr. 1) [1].

Podobne možno hovoriť aj o prípade, keď tvorba primeraného tepelného komfortu je založená na zamedzovaní dopadu slnečného tepelného žiarenia na adresné stavebné konštrukcie. Tento jav sa nazýva efekt tienového dvorka (obr. 2). V tomto prípade sa vzduch na otvorenom dvore vplyvom dopadu slnečného žiarenia na jeho povrch výrazne

zohreje. Na druhom dvorku, ktorý je v tieni, nezohriaty povrch budov, komunikácií a pod. ochladzuje okolitý vzduch aj počas dňa. Vplyvom rozdielnej objemovej hmotnosti teplejšieho a studenšieho vzduchu sa vytvorí komínový efekt a prúdiaci vzduch prinajmenšom zväčšuje koeficient prestupu tepla na povrchu v prúde vzduchu sa nachádzajúceho človeka. Príklad aplikácie „lapača“ vetra a tepla spolu s „tienovým dvorkom“ v modernej architektúre ukazujú obr. 3 [2].



Obr. 3. V budove s transparentným vonkajším plášťom a tienidlom sú projektované komunikácie pre prúdenie vzduchu. Voľba komunikácie prúdenia je určená potrebou privádzať alebo odvádzat teplo z príslušných oblastí. Zasklené priestory s pohyblivými stenami, umiestené v častiach budovy, slúžia ako lapače vetra a tepla a ako kondicionátory vzduchu ďalej použitého na vetranie interiéru [2].

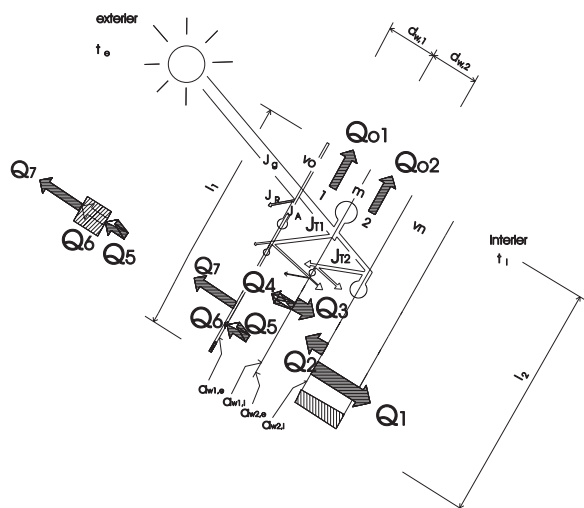
## Interakčné vzťahy na výpočet teplôt

Predpokladajme, že globálne slnečné žiarenie  $J_g$  dopadá najprv na vonkajší plášť, ktorý, v závislosti od uhla dopadu, stavu a kvality povrchu a ostatných tepelne technických vlastností materiálov vonkajšieho plášťa, časť tohoto žiarenia odrazí  $J_R$ , časť pohltí a premení na teplo  $J_A$  a časť prepusť do prvej vzduchovej vrstvy. Po prejdení vzduchom prvej vetranej vrstvy dopadne slnečné žiarenie na vonkajší povrch tienidla. Predpokladáme, že tienidlo má voči slnečnému žiareniu vlastnosti reflexné a absorpčné. Zohriate tienidlo vyžaruje dlhovlnné tepelné žiarenie do susedných vzduchových vrstiev a cez ne na povrch obalového plášťa.

Predpokladáme, že teplota tienidla je v smere jeho hrúbky rovnaká. Okrem toho sa teplo z povrchu tienidla šíri kondukciou a konvekciou do vzduchových vrstiev. Časť slnečného žiarenia sa odráža s tienidla na vonkajší plášť. Ten časť tohto žiarenia absorbuje, čím sa zvýši jeho teplota, časť prípadne prepustí do exteriéru a časť odrazí naspäť na tienidlo. Tento jav vyjadruje fyzikálny algoritmus pre efektívnu pohltivosť  $A_{m,ef}$  (7). Ak vonkajší plášť prepúšťa dlhovlnné tepelné žiarenie, treba diferencovať dopadajúce žiarenie na absorbované a prepustené.

Uvažujeme obalovú konštrukciu s vetranou vzduchovou vrstvou, v ktorej je umiestnené tienidlo rozdeľujúce vzduchovú vrstvu na dve vetrané vrstvy. Obalová konštrukcia má vonkajší plášť z materiálov, ktoré môžu rozličnou mierou prepúšťať slnečné tepelné žiarenie. Predpokladáme tepelné toky a ostatné podmienky podľa obr. 4 a ďalej predpokladajme:

- vonkajší plášť prepúšťa primeranú  $J_T$  časť slnečného tepelného žiarenia do prvej vzduchovej vrstvy;
- ustálený tepelný tok podľa obr. 4;
- tepelný odpor tienidla je zanedbateľne malý;
- výmenu vzduchu vo vzduchových vrstvách iba v nanačenej línii prúdenia;
- prírastok teploty od dopadajúceho slnečného tepelného žiarenia na vonkajší plášť vo smere hrúbky plášťa je konštantný;
- dosiahnutá presnosť je vyhovujúca;
- $J_g = J_A + J_T + J_R = J_g \cdot A + J_g \cdot T + J_g \cdot R$ ;
- $\alpha = \alpha_s + \alpha_k$ .



Obr. 4. Schéma obalovej konštrukcie budovy s transparentným vonkajším plášťom a tienidlom vo vzduchovej vrstve (predpokladané tepelné toky)

Z rovnováhy tepelných tokov cez obalovú konštrukciu na obr. 4 vyplývajú tieto vzťahy na výpočet teplôt vo vzduchovej vrstve:

$$t_m \left[ \alpha_{w1,i} + \alpha_{w2,e} - \frac{(\alpha_{w2,e})^2}{\alpha_{w2,e} + B_2 + k_{vn}} - \frac{(\alpha_{w1,i})^2}{\alpha_{w1,i} + B_1 + k_{vo}} \right] =$$

$$J_T \cdot A_{m,ef} + [t_i \cdot k_{vn} + t_{o2} \cdot B_2] \frac{\alpha_{w2,e}}{\alpha_{w2,e} + B_2 + k_{vn}} +$$

$$+ [t_{e,ekv} \cdot k_{vo} + t_{o1} \cdot B_1] \frac{\alpha_{w1,i}}{\alpha_{w1,i} + B_1 + k_{vo}}, \quad (1)$$

$$t_{w2} (\alpha_{w2,e} + B_2 + k_{vn}) = t_m \cdot \alpha_{w2,e} + t_i \cdot k_{vn} + t_{o2} \cdot B_2, \quad (2)$$

$$t_{w1} (\alpha_{w1,i} + B_1 + k_{vo}) = t_m \cdot \alpha_{w1,i} + t_{e,ekv} \cdot k_{vo} + t_{o1} \cdot B_1. \quad (3)$$

V rovniciach (1) až (3) platí:

$$B_1 = \rho_{v1} \cdot c_1 \cdot d_{w1} \cdot c_{v1} \cdot l_1^{-1}, \quad (4)$$

$$B_2 = \rho_{v2} \cdot c_2 \cdot d_{w2} \cdot c_{v2} \cdot l_2^{-1}, \quad (5)$$

$$t_{e,ekv} = t_e + J_A \cdot \alpha_{vo,e}^{-1} + J_T (1 - A_{w,i,ef}) A \cdot \alpha_{vo,e} \quad (6)$$

$$A_{m,ef} = A_m \cdot [1 + (1 - A_m) (1 - A_{w,e}) + (1 - A_m)^2 (1 - A_{w,e})^2 + (1 - A_m)^3 (1 - A_{w,e})^3]. \quad (7)$$

Pre teploty  $t_{w1,e}$ ,  $t_{w2,i}$  platia výpočtové vzťahy:

$$t_{w1,e} = [t_{w1} (\alpha_{w1,e} - k_{vo}) + t_{e,ekv} \cdot k_{vo}] \alpha_{w1,e}^{-1}, \quad (8)$$

$$t_{w2,i} = (t_{w2} \cdot \alpha_{w2,i} + t_i \cdot k_{vn}) (\hat{k}_{vn} + \alpha_{w2,i})^{-1}, \quad (9)$$

$$\hat{k}_{vn} = [\Sigma (\lambda_{vn}^{-1} \cdot d_{vn}) + \alpha_{vn,i}^{-1}]^{-1}. \quad (10)$$

## Postup výpočtu

1. Určíme predbežné hodnoty  $\alpha_{w1,e}$ ,  $\alpha_{w1,i}$ ,  $\alpha_{w2,e}$ ,  $\alpha_{w2,i}$  pomocou rôznych odporúčaní, predbežných výpočtov alebo grafou a vlastnej skúsenosti;

2. zo vzťahu (1) vypočítame  $t_m$  a dosadením do (2) a (3) vypočítame  $t_{w1}$  a  $t_{w2}$ ;

3. použitím vypočítaných teplôt určíme nové hodnoty súčiniteľov prestupov (álf) vo vzduchových vrstvách. Ak hodnoty súčiniteľov prestupov podľa bodov 1 a 3 sú rovnaké, výpočet je skončený. Ak hodnoty koeficientov  $\alpha_w$  nie sú rovnaké, pokračujeme vo výpočte;

4. zo vzťahov (1) až (3) vypočítame (použitím álf získaných podľa bodu 3) opakovane teploty vo vzduchových vrstvách a následne hodnoty álf;

5. výpočet podľa bodov 2 až 4 opakujeme dotiaľ, kým nie sú vo dvoch výpočtoch po sebe hodnoty álf akceptovateľne rovnaké.

*Poznámka:* Je vhodné, ak je to potrebné, pri poradí výpočtu podľa bodov 1 až 5 dosadzovať za objemovú hmotnosť vzduchu a špecifické teplo aktuálne hodnoty a aktualizovať rýchlosť prúdenia vzduchu pri nových teplotách vzduchu vo vzduchových vrstvách.

## Príklad

Uvažujeme obalovú konštrukciu budovy podľa obr. 4. Zaujíma nás, ako sa zmenia teploty a tepelné toky v obalovom plášti, keď povrch tienidla sa zmení z lesklého hliníka na hliník oxidovaný. Materiálovo konštrukčne je vonkajší plášť zo skla hrúbky 0,008 m. Tienidlo má povrch z hliníka. Je alternatívny hliníkový povrch lesklý (prípado A) a oxidovaný (prípado B). Povrch vnútorného plášťa je zo skleneného materiálu.

Tepelno technické parametre konštrukcie:

$$k_{vn} = 0,5 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}, \quad k_{vo} = 6,25 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}, \quad \alpha_e = 20 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1},$$

$$t_e = 20 \text{ }^\circ\text{C}, \quad t_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}, \quad J_g = 300 \text{ Wm}^{-2}, \quad J_{g,T} = 270 \text{ Wm}^{-2},$$

$$J_{g,A} = 12 \text{ Wm}^{-2}, \quad J_{g,R} = 18 \text{ Wm}^{-2}, \quad A_{skla} = 0,96, \quad A_{Al,lesk.} = 0,1,$$

$$A_{Al,oxid.} = 0,45, \quad B_1 = B_2 = 10 \text{ Jm}^{-1}\text{s}^{-1}\text{K}^{-1}, \quad c_{s,skla} =$$

$$= 5,23 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}, \quad c_{s, Al,lesk.} = 0,3 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}, \quad c_{s, Al,oxid.} =$$

$$= 1,7 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}.$$

Použitím vzťahu (7) vypočítame efektívny súčiniteľ absorpcie slnečného tepelného žiarenia. V prípade lesklého povrchu tienidla  $A_{m,ef, lesk.} = 0,11$  a v prípade oxidovaného povrchu hliníkového tienidla  $A_{m,ef,oxid} = 0,46$ .

### 1. krok

• za predpokladu  $\alpha_{w1,e} = \alpha_{w1,i} = \alpha_{w2,e} = \alpha_{w2,i} = 10 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$  vypočítame za použitia vzťahov (1) až (10) teploty  $t_m$ ,  $t_{w1}$ ,  $t_{w2}$ ,  $t_{w1,e}$ ,  $t_{w1,i}$ ,  $t_{w2,e}$ ,  $t_{w2,i}$ ;



• ďalej vypočítame zo známych súčiniteľov sáľania povrchov  $c_{s,skla}$ ,  $c_{s,Al,lesk}$ ,  $c_{s,Al,oxid}$ , súčinitele vzájomného osáľania  $\alpha_s$  v jednotlivých vzduchových vrstvách. Keďže sú materiály povrchov vo vzduchových vrstvách rovnaké, tak  $\alpha_{s,w1} = \alpha_{s,w2} = 0,3 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ ;

•  $\alpha_k$  zistíme výpočtom, že je rovné  $3,0 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ . Výpočet neuvádzame, lebo na  $\alpha_k$  vplýva aj rýchlosť prúdenia vzduchu vo vzduchovej vrstve a na rýchlosť  $c_v$ , okrem materiálu povrchu a dĺžky dráhy prúdiaceho vzduchu aj vradené odporu prúdeniu, ako sú zmeny smeru dráhy prúdenia, údržbárske rohožové plošiny vo vzduchovej vrstve a pod.;

• absolútne hodnoty vzájomného osáľania povrchov vzduchových vrstiev treba upraviť na sáľavé tepelné toky pripadajúce na  $1^\circ\text{C}$ . Treba dať pozor, aby tepelné toky áľ korešpondovali s tepelnými tokmi v obalovej konštrukcii;

• so zmenou  $\alpha_{w2,i}$  sa mení aj  $k_{vn}$  a podobne so zmenou  $\alpha_{w1,e}$  sa mení aj  $k_{vo}$ , ak ostatné parametre vonkajšieho a vnútorného plášťa zostávajú konštantné.

Keďže vypočítané, pre prípad A:  $\alpha_{w1,e} = 3,306 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ ,  $\alpha_{w1,i} = 8,095 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ ,  $\alpha_{w2,e} = 3,329 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ ,  $\alpha_{w2,i} = 9,86 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ , a pre prípad B:  $\alpha_{w1,e} = 18,2 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ ,  $\alpha_{w1,i} = 4,84 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ ,  $\alpha_{w2,e} = 5,04 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ ,  $\alpha_{w2,i} = 9,4 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$  sú rozdielne od áľ, ktoré boli predpokladané, vypočítame znovu všetky teploty vo vzduchových vrstvách a na povrchoch vzduchových vrstiev.

## 2. krok

Rovná sa prvému kroku, ale s novými áľfami. Takto pokračujeme dotiaľ, kým v dvoch výpočtoch po sebe nie sú hodnoty súčiniteľov prestupu tepla  $\alpha$  medzi povrchmi vzduchových vrstiev a vzduchom vzduchových vrstiev akceptovateľne rovnaké. V predposlednom kole prípadov A a B boli vypočítané hodnoty áľf a teplôt, ktoré sa akceptovateľne rovnajú teplotám vypočítaným v poslednom kole:

- A.  $\alpha_{w1,e} = 3,132 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ ,  $\alpha_{w1,i} = 2,703 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ ,  
 $\alpha_{w2,e} = 3,328 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ ,  $\alpha_{w2,i} = 4,164 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ ;  
 $t_m = 27,547^\circ\text{C}$ ,  $t_{w1} = 23,498^\circ\text{C}$ ,  $t_{w2} = 21,821^\circ\text{C}$ ,  
 $t_{w1,e} = 31,17^\circ\text{C}$ ,  $t_{w2,i} = 21,615^\circ\text{C}$ ;
- B.  $\alpha_{w1,e} = 18,54 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ ,  $\alpha_{w1,i} = 4,83 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ ,  
 $\alpha_{w2,e} = 4,95 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ ,  $\alpha_{w2,i} = 7,15 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ ;  
 $t_m = 39,18^\circ\text{C}$ ,  $t_{w1} = 26,862^\circ\text{C}$ ,  $t_{w2} = 26,149^\circ\text{C}$ ,  
 $t_{w1,e} = 27,353^\circ\text{C}$ ,  $t_{w2,i} = 25,724^\circ\text{C}$ .

Špecifický tepelný tok v prípade:

- A.  $q_{Al,lesk} = (21,821 - 20) 0,467 = 0,8504 \text{ Wm}^{-2}$ ,  
 B:  $q_{Al,oxid} = (26,149 - 20) 0,4902 = 2,806 \text{ Wm}^{-2}$ .

Pomer medzi špecifickými tepelnými tokmi prípadov A a B je približne 3,3násobný.

## Označenia

- $\alpha$  – súčiniteľ prestupu tepla [ $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ ]  
 $A$  – činiteľ pohľadnosti slnečného tepelného žiarenia [–]  
 $c$  – špecifické teplo [ $\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ]  
 $c_s$  – súčiniteľ sáľania, súčiniteľ vzájomného osáľania [ $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ ]  
 $c_v$  – rýchlosť prúdenia vzduchu vo vzduchovej vrstve [ $\text{ms}^{-1}$ ]  
 $d_w$  – hrúbka vzduchovej vrstvy [m]  
 $J$  – intenzita slnečného tepelného žiarenia [ $\text{Wm}^{-2}$ ]  
 $k$  – súčiniteľ prechodu tepla [ $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ ]  
 $\lambda$  – súčiniteľ tepelnej vodivosti [ $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ]  
 $l$  – dĺžka vzduchovej vrstvy v smere prúdenia vzduchu [m]  
 $S$  – plocha, cez ktorú sa uskutočňuje tepelný tok [ $\text{m}^2$ ]  
 $\rho_v$  – objemová hmotnosť vzduchu [ $\text{kgm}^{-3}$ ]

- $R_o$  – tepelný odpor prechodu,  $R_o = k^{-1}$  [ $\text{m}^2\text{KW}^{-1}$ ]  
 $R$  – koeficient odrazu slnečného tepelného žiarenia [–]  
 $t$  – teplota [ $^\circ\text{C}$ ]  
 $t_{w,0}$  – teplota vzduchu bezprostredne pred vstupom do vzduchovej vrstvy [ $^\circ\text{C}$ ]  
 $T$  – koeficient priepustnosti slnečného tepelného žiarenia [–]  
 $Q$  – tepelný tok [W]  
 $q$  – špecifický tepelný tok [ $\text{Wm}^{-2}$ ]

## Indexy

- $e$  – exteriér  
 $ekv$  – ekvivalentný  
 $i$  – interiérový  
 $w$  – vzduchová vrstva  
 $vo$  – vonkajší plášť  
 $vn$  – vnútorný plášť  
 $w, e$  – vonkajší povrch vzduchovej vrstvy  
 $w, i$  – vnútorný povrch vzduchovej vrstvy  
 $g$  – globálne  
 $m$  – tienidlo  
 $A$  – absorpcia slnečného tepelného žiarenia  
 $R$  – reflexia slnečného tepelného žiarenia  
 $T$  – priepustnosť slnečného tepelného žiarenia  
 1 – prvá vzduchová vrstva  
 2 – druhá vzduchová vrstva

Označenie  $\alpha_{w1,i}$  napríklad znamená, že ide o súčiniteľ prestupu tepla medzi vzduchom prvej vzduchovej vrstvy a medzi povrchom prvej vzduchovej vrstvy z interiérovej strany,  $t_{w2,0}$  znamená, že ide o teplotu bezprostredne pri vstupe do druhej vzduchovej vrstvy

## Literatúra

- [1] Suske, P.: Hlinené domy novej generácie. Bratislava, Alfa 1991.  
 [2] Florián, M.: Projektování sklených fasád. Architekt, 1998, č. 5.

## Králik, J. – Králik, J. jr.: Computation of Temperatures in Transparent Double-Skin Facades of Buildings with a Shade

This paper presents calculation analysis for the computation of the temperature of the air in air layers and on the surface of the surrounding structures, envelope structures of buildings with two aerated air layers dividing the structure by creating a shade. The article shows the calculation analysis for the determination of conditions of "zero thermal flow". Besides, it also derives the calculation analysis for the determination of the temperature in interiors behind the envelope skin.

## Králik, J. – Králik, J. jun.: Berechnung der Temperaturen in transparenten zweischaligen Gebäudefassaden mit Sonnenblende

Im Artikel werden Formeln für die Berechnung der Temperatur von Luftschichten und an der Oberfläche der Einfassungskonstruktion, der Außenhaut von Gebäuden mit zwei Hinterlüftungsschichten behandelt, deren Trennkonstruktion eine Sonnenblende bildet. Im Artikel werden Berechnungsformeln zur Bestimmung der Bedingungen für einen Wärmestrom gleich Null abgeleitet. Ebenfalls abgeleitet wird eine Berechnungsformel zur Bestimmung der Innentemperatur hinter der Außenhaut.

# Využití metody Updated Latin Hypercube Sampling při optimalizaci parametrických studií

Ing. Aleš FLORIAN, CSc.  
doc. Ing. Jaroslav ŽÁK, CSc.  
Ing. Petr HRADIL  
VUT – Fakulta stavební  
Brno

Je navržen postup optimalizace parametrických studií, plánování experimentálního výzkumu a tvorby scénářů nebezpečí v rizikovém inženýrství, popř. variant možného kritického vývoje chování konstrukcí. Základní myšlenkou vedoucí k omezení počtu nutných výpočtů je jejich provedení pouze s některými vybranými kombinacemi realizací vstupních parametrů. Jako velmi vhodná metoda splňující teoretické i praktické požadavky se jeví metoda Updated Latin Hypercube Sampling ULHS známá z oblasti spolehlivostních analýz. Pro posouzení relativní důležitosti vlivu jednotlivých parametrů na sledovanou veličinu je použit Spearmanův koeficient pořadové korelace. Na ukázkou možností a základních vlastností navrženého postupu a také na ukázkou získatelných výsledků je provedena jednoduchá vzorová parametrická studie smykového ochabnutí komorových betonových mostů.

## Úvod

S rozšiřováním možností zpřesněných, ale současně náročných, výpočtů stavebních konstrukcí (obecně jakýchkoli systémů) se zvyšují požadavky na volbu vhodných metod a postupů. Jednou z oblastí zasluhujících pozornost jsou parametrické studie, resp. možnost jejich optimalizace. Provádíme-li parametrickou studii, měly by v jejím rámci být uvažovány všechny vstupní parametry, které i jen potenciálně mohou mít na sledované chování vliv. Velmi často počet těchto parametrů jde do desítek a stovek, v některých případech až do tisíců. Všechny možné hodnoty, kterých daný parametr může nabýt, by poté měly být vzájemně kombinovány se všemi možnými hodnotami ostatních parametrů a s každou touto kombinací by měl být proveden vlastní výpočet. Kombinace mnoha parametrů a použití složitého, a tudíž obecně časově náročného výpočtového modelu vede k velkému počtu výpočtů, což se může stát časově i ekonomicky neuvěřitelným.

Omezení náročnosti parametrických studií by bylo možné za předpokladu, že existují pouze některé parametry ze všech v úvahu připadajících, které mají reálný vliv na sledované chování, zatímco zbývající mají vliv velmi malý. V tomto případě je možné v parametrické studii uvažovat pouze parametry s reálným vlivem a zbývající zanedbat. Počet nutných výpočtů se tak může zásadně omezit. Problémem je, že obecně není předem známo, který parametr vliv má a který nikoliv. Navíc řada parametrů se vzájemně ovlivňuje, v určité fázi analýzy konstrukce (při určité úrovni zatížení, konfiguraci konstrukce, zatížení, času atd.) vliv mít může či naopak nemusí, popř. je funkcí prostoru a/nebo času. Je také známo, že určitý parametr vliv na určitou veličinu má, ovšem na jinou veličinu popisující jiné chování stej-

né konstrukce naopak vliv nemá. Vyloučíme-li tudíž apriori některé parametry předem nevhodně, jsou výsledky parametrické studie pochopitelně ovlivněny, a výsledky nemusí být věrohodné.

Jako vhodná alternativa se jeví postup optimálního naplánování parametrické studie tak, že se v úvahu sice vezmou veškeré možné parametry, ale provede se pouze omezený počet výpočtů, přičemž nebudou brány v úvahu veškeré možné kombinace hodnot parametrů, ale pouze některé z nich. Výsledkem takto naplánované parametrické studie je v první fázi informace, které parametry mají reálný vliv na sledované chování a musí být ve studii respektovány, a naopak, které vliv mají velmi malý, a tedy uvažovány být nemusí. Již toto může být konečný výsledek studie, neboť velmi často jejím účelem je určit vliv jednotlivých parametrů. Může ovšem také jít pouze o první fázi studie, jež bude následována fází druhou, ve které budou uvažovány pouze parametry s reálným vlivem, a další výpočty jsou již provedeny se všemi možnými kombinacemi hodnot těchto vybraných parametrů. Pozitivním výsledkem navrženého postupu je především možnost určit parametry s reálným vlivem, a omezit tak nebezpečí, že pouhou volbou uživatelem jsou jako důležité zvoleny pouze některé parametry.

## Navržená metodologie

Jak již bylo řečeno, v parametrické studii by všechny možné hodnoty všech parametrů měly být vzájemně zkombinovány a s těmito kombinacemi proveden výpočet. Máme-li celkem  $K$  vstupních parametrů a každý nabývá  $N$  hodnot (realizací), potom celkové množství možných variant a také potřebný počet výpočtů je roven  $N^K$ . Pro reálné situace jde o velké množství variant, a to i v případě, že ve studii uvažujeme pro každý parametr pouze dvě realizace, např. minimální a maximální možnou hodnotu parametru.

Základní myšlenkou vedoucí k omezení počtu nutných výpočtů je jejich provedení pouze s některými vybranými kombinacemi, přičemž jejich počet zvolíme roven právě  $N$ . Abychom tyto vybrané kombinace zvolili teoreticky správně, musí každá realizace každého parametru mít reálnou a stejnou možnost být zkombinována s jakoukoli jinou realizací ostatních parametrů a také se ve vybraných kombinacích musí vyskytnout všechny realizace všech parametrů. Prakticky toho dosáhneme tak, že vytvoříme náhodné kombinace realizací všech vstupních parametrů a požadujeme, aby pravděpodobnost, že se určitá realizace objeví v kombinaci s jakoukoli realizací jiného parametru, byla vždy stejná. Současně požadujeme, aby šlo o statisticky nezávislé kombinace. V případě pouhých dvou parametrů je možné požadavky splnit použitím známého schématu latinského čtverce [1]. Pokud je počet parametrů vyšší, je nutné použít jinou, obecnější metodu. Jako velmi vhodná metoda splňující teoretické i praktické požadavky se jeví metoda Updated Latin Hypercube Sampling (ULHS) [2], neboť je do určité míry zobecněním latinských čtverců do  $K$ -rozměrného hyper-

prostoru. Jde o simulační metodu používanou pro potřeby spolehlivostních výpočtů, tj. výpočtů, kde na vstupní veličiny hledíme jako na náhodné veličiny. Zdůrazněme proto, že v našem případě parametrických studií o žádné náhodné veličiny nejde, pouze pro účely jejich optimálního naplánování jsou využity možnosti a schopnosti metody. Navržený postup byl poprvé zmíněn v [3].

Pro posouzení relativní důležitosti vlivu jednotlivých parametrů na sledovanou veličinu je nutné použít odpovídající metodu. Protože závislost mezi parametry a výsledkem je obecně nelineární, je vhodné použít pro tyto účely Spearmanův koeficient pořadové korelace [4] ve tvaru

$$r_k^s = 1 - \frac{6 \sum_i (m_{ik} - n_i)^2}{N \cdot (N-1) \cdot (N+1)}, \quad (1)$$

kde  $m_{ik}$  je pořadí realizace  $k$ -té vstupní veličiny v uspořádaném souboru (od nejmenší do největší hodnoty),  $n_i$  je pořadí hodnot sledované veličiny v uspořádaném souboru,  $N$  je počet opakování výpočtu a  $r_k^s$  je součinitel citlivosti mezi  $k$ -tým parametrem a sledovanou veličinou. Čím větší je absolutní hodnota součinitele, tím větší vliv má daný parametr. Při maximální hodnotě rovné jedné jde o úplnou funkční závislost, při minimu nula vliv neexistuje. Znaménko u součinitele navíc poskytuje informaci, zda se zvětšující se hodnotou parametru se zvětšuje i hodnota sledované veličiny (kladné znaménko), nebo snižuje (záporné znaménko). Při rozhodování, zda parametr má reálný či velmi malý vliv, je možné doporučit následující kritérium. Pokud  $|r_k^s| < 0,3$  jde o velmi malý vliv, pokud  $|r_k^s| > 0,5$  o reálný vliv. Pro mezilehlé hodnoty je na zvážení uživatele, zda jim přisoudí reálný, či velmi malý vliv.

## Metoda ULHS

Metoda ULHS [2] je moderní simulační metoda vycházející z metody LHS (Latin Hypercube Sampling) [5]. Pracuje s tabulkou náhodných permutací čísel vrstev (dále jen tabulka), což je v podstatě matice typu  $N \times K$ , tvořená  $K$  permutacemi čísel 1, 2, ...,  $N$ , které definují strategii vytváření realizací vektoru vstupních veličin v jednotlivých simulacích spolehlivostních výpočtů. Příklad tabulky pro  $N = 5$  a  $K = 4$  je uveden v tab. 1.

Tab. 1. Příklad tabulky náhodných permutací čísel vrstev

N	K			
	1	2	3	4
1	2	5	3	4
2	4	3	1	5
3	3	2	5	1
4	5	1	2	3
5	1	4	4	2

Tabulka je u metody ULHS speciálně upravena, přičemž úprava spočívá v minimalizaci statistické závislosti jednotlivých sloupců. Takto upravená tabulka má korelační matici blízkou matici jednotkové a jsou tak splněny dané teoretické požadavky kladené na optimální naplánování parametrických studií podle navržené metodologie. Generování speciální tabulky je založeno na metodě používané ke generování statisticky závislých veličin [6], [7]. Úprava této metody za účelem získání tabulky s minimální statistickou závislostí mezi jednotlivými sloupci je založena na dále uvedeném postupu.

Předpokládejme, že matice  $\mathbf{R}$  typu  $N \times K$  má korelační

matici  $\mathbf{T}$  typu  $K \times K$ , jejíž prvek  $T_{ij}$  je Spearmanův koeficient pořadové korelace (1) mezi sloupci  $i$  a  $j$  matice  $\mathbf{R}$ . Je zřejmé, že korelační matice  $\mathbf{T}$  je symetrická s jednotkovou hlavní diagonálou. Pokud by jednotlivé sloupce matice  $\mathbf{R}$  byly dokonale statisticky nezávislé, je korelační matice totožná s jednotkovou maticí  $\mathbf{E}$ . Za předpokladu, že korelační matice  $\mathbf{T}$  je pozitivně definitní, je možné nalézt matici  $\mathbf{S}$  takovou, že platí

$$\mathbf{S} \cdot \mathbf{T} \cdot \mathbf{S}^T = \mathbf{E}, \quad (2)$$

kde  $\mathbf{S}$  je dolní trojúhelníková matice, pro kterou platí

$$\mathbf{S} = \mathbf{Q}^{-1} \quad (3)$$

a kde

$$\mathbf{T} = \mathbf{Q} \cdot \mathbf{Q}^T, \quad (4)$$

přičemž matice  $\mathbf{Q}$  je dolní trojúhelníková matice.

Provedeme-li transformaci

$$\mathbf{R}_B = \mathbf{R} \cdot \mathbf{S}^T, \quad (5)$$

potom matice  $\mathbf{R}_B$  typu  $N \times K$  bude mít korelační matici  $\mathbf{T}_B$  typu  $K \times K$ , která bude mnohem bližší jednotkové matici  $\mathbf{E}$ , než tomu bylo u matice  $\mathbf{T}$ .

Při použití daného postupu je nutné mít na mysli, že v matici  $\mathbf{R}$  i  $\mathbf{R}_B$  se pracuje pouze s pořadím jednotlivých prvků, a je tedy teoreticky jedno, zda pořadí vyjádříme např. posloupností (2, 1, 3), nebo (0,3; 0,01; 1,5) apod. Bude-li mít matice  $\mathbf{R}$  stejné pořadí jako upravovaná tabulka, mají obě stejnou korelační matici  $\mathbf{T}$ . Provedeme-li transformaci (5) a upravíme-li tabulku tak, aby pořadí čísel v jednotlivých sloupcích bylo totožné s pořadím členů v matici  $\mathbf{R}_B$ , potom obě mají stejnou korelační matici  $\mathbf{T}_B$ , která, jak již bylo řečeno, je bližší matici  $\mathbf{E}$  než původní korelační matice  $\mathbf{T}$ . Důsledkem je, že statistická nezávislost sloupců tabulky se zlepšila. Daný postup je možné použít i několikrát po sobě.

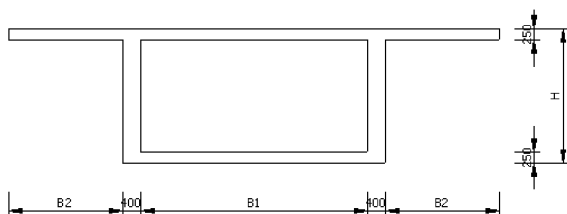
Tabulka získaná úpravou jednoznačně definuje, jaké realizace vstupních parametrů budou v daném výpočtu použity, zaručuje, že jsou vybrány všechny realizace všech vstupních parametrů, a konečně, že jde o statisticky nezávislé kombinace. S použitím tab. 1 např. plyne, že v prvním výpočtu se uplatní druhá realizace 1. parametru, pátá realizace 2. parametru, třetí realizace 3. parametru a čtvrtá realizace 4. parametru atd.

Počet provedených výpočtů rovný počtu realizací  $N$  každého parametru může být při navrženém postupu relativně velký, neboť v porovnání s teoreticky požadovaným počtem  $N^K$  v praktických případech jde o zanedbatelné číslo. Optimální hodnota závisí na řadě faktorů, ze kterých je nutné vyzdvihnout především požadovanou přesnost závěrů, nelinearitu výpočtového modelu a počet parametrů. S rostoucími požadavky na přesnost, zvyšující se nelinearitou a počtem parametrů by se měl zvyšovat i počet výpočtů. V každém případě by měl být počet výpočtů řádově v desítkách. Jediným požadavkem na použití metody ULHS je, aby počet výpočtů  $N$  byl vyšší než počet parametrů  $K$ .

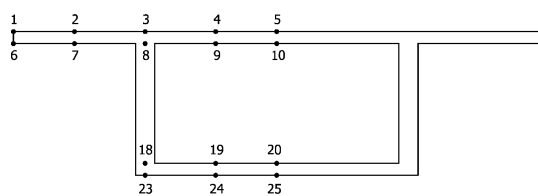
## Vzorová studie

Na ukázkou možností a základních vlastností navrženého postupu a také na ukázkou získatelných výsledků je provedena jednoduchá vzorová parametrická studie smykového ochabnutí komorových betonových mostů. Jde o frekventovanou problematiku, např. [8], [9]. Je zvolen typický komorový průřez (obr. 1), jehož mostní nosník má rozpětí 15 m, je zatížen spojitém rovnoměrným zatížením ve svislé

rovině symetrie a je na jednom konci vetknut, zatímco druhý je volný. Výpočtový model konstrukce je vytvořen jako prostorový trojrozměrný model metodou konečných prvků. Je použit prostorový prvek SOLID45 v systému ANSYS s osmi uzly (každý se třemi parametry posunutí) ve vrcholech. Vychází se z předpokladu fyzikálně lineárního chování materiálu, Poissonův součinitel je roven 0,2. Sledovanými veličinami jsou hodnoty normálového napětí  $\sigma_x$  ve směru podélné osy mostu v řadě bodů pokrývajících symetrickou polovinu průřezu (obr. 2), a to ve třech průřezech – ve vetknutí, v 1/3 a 2/3 vyložení mostní konstrukce.



Obr. 1. Základní rozměry typického průřezu



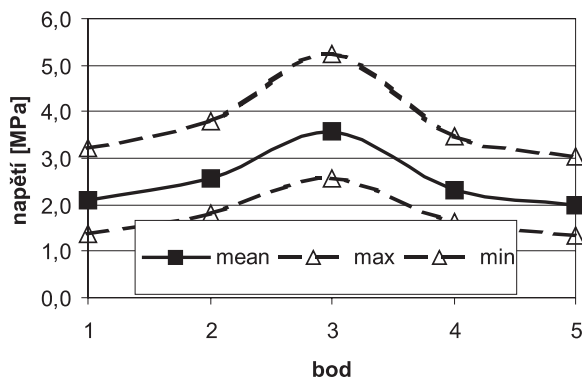
Obr. 2. Vyšetřované body průřezu

Přestože jde o typický problém, kde zkoumaný jev je obecně ovlivněn velkým počtem vstupních parametrů, je ve vzorové studii analyzován vliv pouze čtyř parametrů – výšky komorového průřezu  $H$  ( $2\ 000 < H < 4\ 000$  mm), šířky komorového průřezu  $B1$  ( $5\ 000 < B1 < 6\ 000$  mm), vyložení konzoly příčného řezu  $B2$  ( $2\ 000 < B2 < 3\ 000$  mm) a modulu pružnosti betonu  $E$  ( $30 < E < 40$  GPa). Pro všechny parametry se uvažovalo celkem třicet realizací rovnoměrně pokrývajících celý možný interval, tj. předpokládalo se třicet jednotlivých výpočtů. Optimální kombinace byly vytvořeny metodou ULHS.

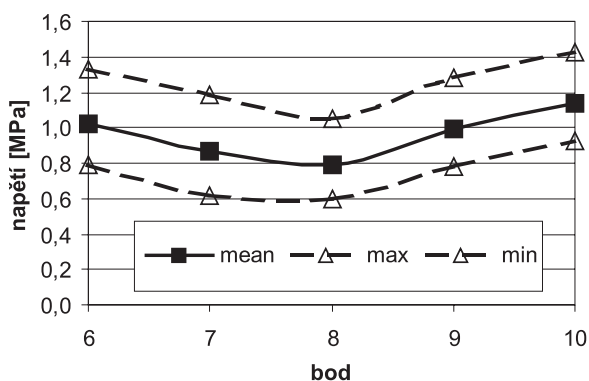
Ilustrativní výsledky průběhu normálového napětí (průměrná, minimální a maximální hodnota získané v rámci třiceti výpočtů) jsou uvedeny v obr. 3 pro horní povrch horní desky průřezu ve vetknutí a v obr. 4 pro dolní povrch horní desky průřezu v 1/3 vyložení. Obrázky ilustrují typický vliv smykového ochabnutí na průběh normálových napětí a také závislost tohoto průběhu na místě bodu a poloze průřezu, ve kterém je vyšetřován.

Ilustrativní výsledky vlivu vstupních parametrů na napětí ve všech analyzovaných bodech všech průřezů jsou uvedeny v obr. 5 až obr. 8, kde jsou vyneseny získané součinitele citlivosti. Připomeňme jen, že čím větší hodnota, tím větší vliv, a naopak. Součinitel (v absolutní hodnotě) menší než 0,3 může být prezentován jako nulový vliv, zatímco větší než 0,9 jako vliv dominantní. Podrobnější rozbor konkrétních výsledků byl proveden v [10], a proto jej ponechme mimo naši pozornost a zdůrazněme pouze přímou souvislost s navrženou metodologií optimalizace parametrických studií.

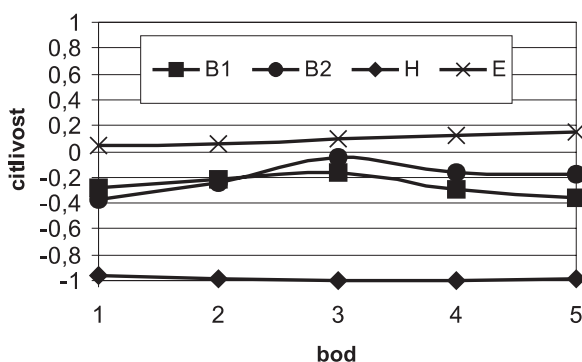
Jak bylo možné očekávat, dominantním parametrem je výška komorového průřezu  $H$ , určitý vliv můžeme přisoudit v některých bodech určitých průřezů i vyložení  $B2$ . Naopak, vliv šířky komorového průřezu  $B1$  je až na výjimky zanedbatelný stejně jako vliv modulu pružnosti  $E$ . Současně se ovšem potvrzuje již zmíněné konstatování, že vliv vstupních



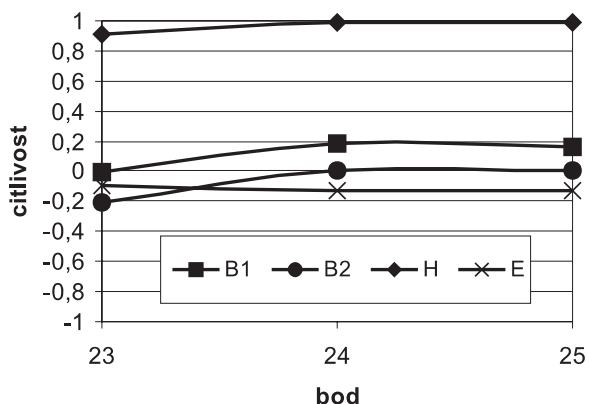
Obr. 3. Napětí na horním povrchu horní desky ve vetknutí



Obr. 4. Napětí na dolním povrchu horní desky, průřez L/3



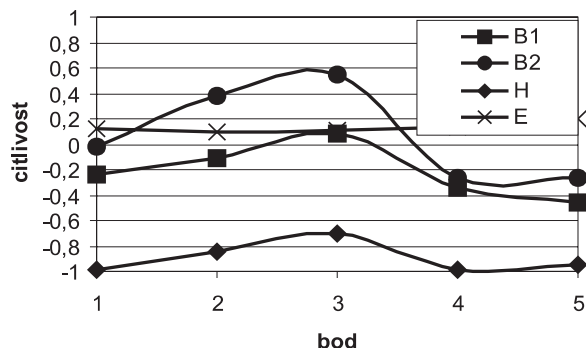
Obr. 5. Citlivost – horní povrch horní desky ve vetknutí



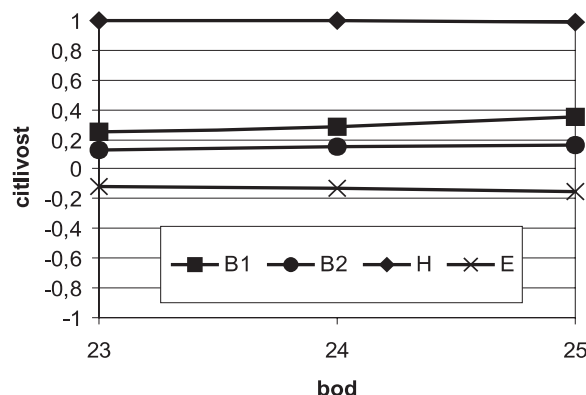
Obr. 6. Citlivost – dolní povrch dolní desky ve vetknutí

parametrů se může obecně projevovat (v námi analyzovaném problému) v různých bodech různých průřezů i velmi odlišně, a z obecného hlediska se tak potvrzuje, že vliv parametrů je funkcí prostoru (v jakém bodě vyšetřuji), času

(v jakém čase), a samozřejmě toho, jakou veličinu na konstrukci vyšetřujeme. Ukazuje se tak názorně, že zjednodušující úvahy, předpoklady a konstatování, že určitý parametr vliv má, zatímco jiný nemá, jsou často velmi zavádějící, a tudíž výsledky získané na jejich základě mohou mít malou vypovídací schopnost.



Obr. 7. Citlivost – horní povrch horní desky, průřez 2L/3



Obr. 8. Citlivost – dolní povrch dolní desky, průřez 2L/3

### Závěr

Navržená metodologie optimálního naplánování parametrických studií omezuje počet nutných výpočtů. Umožňuje zahrnout do úvah veškeré vstupní parametry mající, i jen potenciálně, vliv na sledované chování konstrukce. Výsledkem je informace o velikosti a důležitosti tohoto vlivu. Pro naplánování kombinací realizací jednotlivých parametrů použitých ve výpočtech je použita metoda ULHS. Ilustrativní výsledky vzorové parametrické studie dávají základní informaci o možnostech navrženého postupu i o charakteru získaných informací. Navržený postup je využitelný nejen v parametrických studiích, ale i při plánování experimentálního výzkumu a v případě tvorby scénářů nebezpečí v rizikovém inženýrství [11], popř. variant možného kritického vývoje chování konstrukcí.

**Práce, jejíž výsledky jsou publikovány v tomto příspěvku, vznikla v rámci výzkumného záměru MSM 261100007 VUT FAST Brno.**

### Literatura

- [1] Vorlíček, M. – Holický, M. – Špačková, M.: Pravděpodobnost a matematická statistika pro inženýry. [Učební text], ČVUT Praha, 1984.
- [2] Florian, A.: An Efficient Sampling Scheme: Updated Latin Hypercube Sampling. *J. Probabilistic Engineering Mechanics*, 1992, 7(2), pp. 123–130.
- [3] Florian, A.: Teoretické základy metody Latin Hypercube Sampling. Její varianty a možnosti použití. v. u. III-3-1/05, Katedra stavební mechaniky, VUT FAST Brno, 1990.
- [4] Likeš, J. – Machek, J.: Matematická statistika. Praha, SNTL 1983.
- [5] McKay, M. D. – Beckman, R. J. – Conover, W. J.: A Comparison of Three Methods for Selecting Values of Input Variables in the Analysis of Output from a Computer Code. *Technometrics*, 1979, 2, pp. 239–245.
- [6] Iman, R. L. – Conover, W. J.: A Distribution-Free Approach to Inducing Rank Correlation Among Input Variables. *Commun. Statist.*, 1982, B11, pp. 311–334.
- [7] Florian, A.: Statistická závislost mezi vstupními veličinami při statistické analýze výpočetních modelů. *Stavebnický časopis*, 1989, č. 12, s. 895–906.
- [8] Lee, K. – Wu, G. J.: Shear Lag Analysis by the Adaptive Finite Element Method. 1: Analysis of Simple Plated Structures. *Thin-Walled Structures* 38, 2000, pp. 285–309.
- [9] Křístek, V. – Dlubal, J.: Ovlivnění průhybů konzolových komorových mostů z předpjatého betonu ochabnutím smyček a smyčkovými deformacemi stěn. *Stavební obzor*, 5, 1996, č. 9, s. 262–265.
- [10] Žák, J. – Florian, A.: Shear Lag Analysis Using Latin Hypercube Sampling. The Sixth International Conference on Computational Structures Technology, Prague, 2002.
- [11] Tichý, M.: Rizikové inženýrství 1 – 3. *Stavební obzor*, 9/261–262, 1994; 9/230–232, 1995; 1/12–14, 1996.

### Florian, A. – Žák, J. – Hradil, P.: Optimization of Parametric Studies Using Updated Latin Hypercube Sampling

The methodology of optimization of parametric studies, experimental investigation and risk engineering resulting in their improved efficiency is proposed. The Updated Latin Hypercube Sampling Method known from reliability analyses is used for planning the optimal strategy. Compared with other parametric studies, the present strategy can deal with all possible parameters directly and can yield more sophisticated information about the sensitivity and influence of all parameters. The most important parameters with the strongest influence can be immediately identified. The efficiency of the proposed methodology is demonstrated in a parametric study of shear lag effect of a typical box girder.

### Florian, A. – Žák, J. – Hradil, P.: Anwendung der Methode Updated Latin Hypercube Sampling bei der Optimierung von Parameterstudien

Es wird ein Verfahren zur Optimierung von Parameterstudien, der Planung und Schaffung von Gefahrenszenarien im Risiko-Ingenieurwesen bzw. von Varianten der möglichen kritischen Entwicklung des Verhaltens einer Konstruktion vorgeschlagen. Der zur Begrenzung der Anzahl notwendiger Berechnungen führende Grundgedanke ist ihre Durchführung nur mit einigen ausgewählten Kombinationen von Realisierungen der Eingangsparameter. Als sehr vorteilhafte Methode, die die theoretischen und praktischen Anforderungen erfüllt, erweist sich die aus dem Bereich von Zuverlässigkeitsanalysen bekannte Methode ULHS. Zur Beurteilung der relativen Wichtigkeit des Einflusses einzelner Parameter auf die verfolgte Größe wird der Spearman-Koeffizient der Ordnungskorrelation angewandt. Als Beispiel für die Möglichkeiten, die grundlegenden Eigenschaften des vorgeschlagenen Verfahrens und der zu gewinnenden Ergebnisse wird eine einfache Parameterstudie der Erschlaffung der Schubfestigkeit von Betonkastenbrücken durchgeführt.

# Neizotermická difúze vodních par v obvodových konstrukcích

## Odvození neizotermických modelů

doc. RNDr. Tomáš FICKER, DrSc.  
Ing. Zdenka PODEŠVOVÁ  
VUT – Fakulta stavební  
Brno

V příspěvku jsou odvozeny nové modely pro výpočet kondenzace vodních par v porézni stěně v neizotermických podmínkách. Zvláštní pozornost je věnována neizotermickým modelům DIAL a DRAL.

### Úvod

Pro výpočet kondenzace vodních par se běžně ve stavební tepelné technice používá Glaserův kondenzační model [1], [2]. Přestože byl zaveden již ve druhé polovině padesátých let jako kombinace grafické a numerické metody pro stanovení kondenzace vodních par ve stavebních konstrukcích, stále se ve stavební praxi používá [3], [4]. Cílem metody je odhadnout v konstrukci množství zkondenzované vodní páry během zimy a množství vypařené vodní páry během léta. Pokud množství kondenzátu nepřekročí specifické limity [3], [4] a jeho roční množství je menší než množství vypařené vodní páry, je stavební konstrukce považována z hlediska kondenzace za vyhovující. Nicméně je všeobecně známo, že tento model má jisté nedostatky, např. nezahrnuje kapalnou transport a zanedbává také přechod z kapalně do pevné fáze. V Glaserově modelu se uvažuje izotermická difúze, ale při konstruování křivky nasycené vodní páry se vychází z neizotermického stavu. Z těchto nesrovnalostí (izotermické/neizotermické podmínky) vyplývá otázka, jak se změní tento model pro plně neizotermické podmínky.

Struktura většiny stavebních materiálů silikátového původu je tvořena vzájemně propojenými mikroskopickými póry. Průměry těchto pórů jsou značně rozdílné a sahají od nanometrů po milimetry, při běžných pokojových podmínkách jsou průchozí pro molekuly vodní páry. Bohužel, toto není jediný transportní mechanismus umožňující vstup vlhkosti do stavebního materiálu. Za vyšší relativní vlhkosti (cca 50 %) dochází k intenzivní kondenzaci na povrchu pórů, které se následně plní vodou v kapalném skupenství, jež může pronikat do materiálu. Transport vlhkosti do pórů lze zaznamenat jak z povrchové difúze, tak z kapilárního toku. Tento příspěvek se bude zabývat pouze difúzí plynné fáze – tedy vodních par, a nikoli povrchové kondenzace a tečení v pórech. Toto zjednodušení se všeobecně používá, např. Glaserův kondenzační model [2].

V nedávné době jsme se zabývali [5]–[7] studiem Glaserova kondenzačního modelu pro čistě neizotermické podmínky a odvodili jsme nové modely vedoucí k transportním rovnicím, které popisují neizotermický stav zcela korektně. Jednotlivá odvození těchto modelů byla publikována útržkovitě [5]–[7], a proto nyní předkládáme jejich ucelený a přehledný výklad.

### Model DIAL

Předpokládejme cihelný obvodový plášť tloušťky  $d = 440$  mm, kterým prochází difúzní tok. Stěna odděluje vytápěnou místnost (povrchová teplota a relativní vlhkost:  $T_1 = 293,15$  K,  $\varphi_1 = 60$  % RH) od venkovního prostředí ( $T_2 = 255,15$  K,  $\varphi_2 = 84$  % RH). Na obou stranách konstrukce se uvažuje stejný atmosférický tlak suchého vzduchu  $p_a = 98\,066,5$  Pa [10].

Atmosférický tlak je složen ze dvou složek, a to parciálního tlaku vodní páry  $p_w$  a tlaku suchého vzduchu  $p_a$

$$p = p_w + p_a, \quad p \ll p_a, \quad p \approx p_a. \quad (1)$$

Stejně vztahy platí i pro koncentraci difundujících částic

$$c = c_w + c_a, \quad c \ll c_a, \quad c \approx c_a. \quad (2)$$

Vhodný teplotní profil [5], [8] je ve tvaru lineární funkce

$$T(x) = T_1 - \frac{T_1 - T_2}{d} x, \quad (T_1 > T_2). \quad (3)$$

První Fickův zákon pro neizotermickou difúzi v nepohyblivé vztažné soustavě má tvar [9]

$$\vec{q}_w = y_w(\vec{q}_w + \vec{q}_a) - cD_{wa}(T) \nabla y_w, \quad y_w = \frac{c_w}{c} = \frac{c_w}{c_w + c_a}, \quad (4)$$

kde  $\vec{q}_w$  a  $\vec{q}_a$  jsou difúzní toky vodní páry a vzduchu,  $D_{wa}(T)$  je difúzní konstanta v závislosti na teplotě. Difúzní tok musí splňovat podmínku kontinuity

$$c \frac{\partial y_w}{\partial t} = \nabla \cdot \vec{q}, \quad (5)$$

což je druhý Fickův zákon. Za podmínek ustáleného difúzního toku ( $\partial y_w / \partial t = 0$ ) podle osy  $x$  a zanedbatelně malého toku ( $q_a \rightarrow 0$ ) těžkých molekul vzduchu ( $N_2 + O_2 + \dots$ ) v porovnání s lehčími  $H_2O$  molekulami ( $q_w \gg q_a$ ) mohou být tyto dvě Fickovy rovnice přepsány následovně

$$q_w = - \frac{cD_{wa}(T)}{1 - y_w(1+r)} \frac{dy_w}{dx}, \quad \frac{q_a}{q_w} = r \ll 1, \quad (6)$$

$$\frac{d}{dx} q_w = 0 \quad \Rightarrow \quad q_w = \text{const} \quad (7)$$

s počátečními podmínkami

$$y_w(0) = y_{1w}, \quad y_w(d) = y_{2w}. \quad (8)$$

Podle Schirmera [10] a Krischera [11] může být difúzní konstanta vodních par ve vzdušných pórech materiálu vyjádřena jako funkce teploty

$$D = \frac{k}{\mu} T^n, \quad n = 1,81, \quad k = 8,9718 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ K}^{-1,81}, \quad (9)$$

kde  $\mu$  je faktor difúzního odporu – jde o čistě materiálovou konstantu závislou na materiálu stěny. Podle stavové rovnice je koncentrace  $c$  funkcí tlaku a teploty

$$c = \frac{p}{R_w T} \approx \frac{p_a}{R_a T}, \quad R_w = \frac{R}{M_a} \approx 297 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}, \quad R = 8,31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}. \quad (10)$$

Z rovnic (3) až (10) vyplývá

$$\frac{p_a k}{R_a \mu} \int_{y_{1w}}^{y_w(x)} \frac{dy_w}{1-y_{1w}(1+r)} = -q_w \int_0^x [T_1 + \frac{T_1-T_2}{d} x]^{1-n} dx. \quad (11)$$

Vložení druhé okrajové podmínky (8) do (11) dostaneme difúzní tok

$$q_w = \frac{p_a k (2-n)}{R_a d \mu (1+r)} \cdot \frac{T_1-T_2}{T_1^{2-n} - T_2^{2-n}} \cdot \ln \left[ \frac{1-y_{2w}(1+r)}{1-y_{1w}(1+r)} \right], \quad n=1,81, \quad (12)$$

což současně s (11) určuje profil koncentračního zlomku  $y_w(x)$  ve stěně

$$y_w(x) = \frac{1}{1+r} \left\{ 1 - [1-y_{1w}(1+r)] \cdot \left[ \frac{1-y_{2w}(1+r)}{1-y_{1w}(1+r)} \right]^{\frac{T_1^{2-n} - (T_1 - \frac{T_1-T_2}{d} x)^{2-n}}{T_1^{2-n} - T_2^{2-n}}} \right\}, \quad n=1,81. \quad (13)$$

při dodržení předpokladu difúze nehybnou vzduchovou vrstvou (model DIAL), tj.  $q_a \rightarrow 0$  ( $r \rightarrow 0$ ), vztahy (12), (13), mohou být zjednodušeny

$$q_w^* = \frac{0,19 p_a k}{R_a d \mu} \cdot \frac{T_1-T_2}{T_1^{0,19} - T_2^{0,19}} \cdot \ln \left[ \frac{1-y_{2w}}{1-y_{1w}} \right], \quad (14)$$

$$y_w^*(x) = \left\{ 1 - (1-y_{1w}) \cdot \left[ \frac{1-y_{2w}}{1-y_{1w}} \right]^{\frac{T_1^{0,19} - (T_1 - \frac{T_1-T_2}{d} x)^{0,19}}{T_1^{0,19} - T_2^{0,19}}} \right\}. \quad (15)$$

Vztah (14) můžeme formálně přepsat

$$q_w^* = \frac{\ln \left[ \frac{1-y_{2w}}{1-y_{1w}} \right]}{R_{\text{eff}}^*}, \quad R_{\text{eff}}^* = \frac{d}{D_{\text{eff}}^*} \quad [\text{kg}^{-1} \text{m}^2 \text{s}], \quad (16)$$

kde

$$D_{\text{eff}}^* = \frac{0,19 k p_a}{\mu R_a} \cdot \frac{T_1-T_2}{T_1^{2-n} - T_2^{2-n}} = \frac{5,629 \times 10^{-8}}{\mu} \cdot \frac{T_1-T_2}{T_1^{0,19} - T_2^{0,19}} \quad [\text{kgm}^{-1} \text{s}^{-1}]. \quad (17)$$

Protože  $y_{1w} \ll 1$  a  $y_{2w} \ll 1$ , můžeme vztah (16) ještě zjednodušit

$$\ln \left[ \frac{1-y_{2w}}{1-y_{1w}} \right] \approx y_{1w} - y_{2w}, \quad q_w^* \approx \frac{y_{1w} - y_{2w}}{R_{\text{eff}}^*} \quad [\text{kgm}^{-2} \text{s}^{-1}]. \quad (18)$$

Pro určení vztahů popisujících efektivní difúzní odpor  $R_{\text{eff}}^*$  a efektivní difúzní konstantu  $D_{\text{eff}}^*$  pro izotermický stav ( $T_2 = T_1 = T$ ) je nezbytné použít l'Hospitalovo pravidlo

$$\lim_{T_2 \rightarrow T_1} \frac{T_1-T_2}{T_1^{2-n} - T_2^{2-n}} = \lim_{T_2 \rightarrow T_1} \frac{\frac{d}{dT_2}(T_1-T_2)}{\frac{d}{dT_2}(T_1^{2-n} - T_2^{2-n})} = \frac{T_2^{n-1}}{2-n} = \frac{T^{n-1}}{2-n}, \quad (19)$$

což vede k přepisu vztahů (17) na tvar

$$R_{\text{eff}}^* = \frac{d}{D_{\text{eff}}^*}, \quad D_{\text{eff}}^* = \frac{k p_a}{\mu R_a} T^{n-1} = \frac{k p_a}{\mu R_a} T^{0,81}. \quad (20)$$

### Model DRAL

Vztahy (14) až (17) splňují podmínky aproximace DIAL, pokud je vzduchová vrstva „pevně vsazena“ do porézního materiálu a je jen lehce narušena difúzí molekul vodní páry. Tyto molekuly mají o něco nižší koncentraci než molekuly

vzduchu. To znamená, že nejen tlak suchého vzduchu zůstává konstantní, ale i koncentrace vlhkého vzduchu napříč stěnou se mění jen málo. Můžeme tedy psát

$$\begin{aligned} c_w^{\text{inner}} / c_w^{\text{outer}} &= 16,23, \\ c_a^{\text{inner}} / c_a^{\text{outer}} &= 0,870, \\ c^{\text{inner}} / c^{\text{outer}} &= 0,883. \end{aligned} \quad (21)$$

Pro obecné klimatické podmínky průběhy funkcí  $c_a(x)$ ,  $c(x)$  lze tedy považovat za přibližně konstantní. Toto však není splněno pro případ koncentrace vodní páry, jejíž průběh vykazuje silnou funkční závislost na  $x$

$$\begin{aligned} c_w &= f(x), \\ c_a &\approx \text{const}, \\ c &\approx \text{const}, \\ c_w(x) &\ll c_a. \end{aligned} \quad (22)$$

Zahrnutím těchto vztahů do Fickovy rovnice (6) získáme mnohem jednodušší transportní rovnice

$$q_a = -D_{wa}(T) \frac{dc_w(T, p_w)}{dx}, \quad (23)$$

$$1-y_w \approx 1, \quad r \approx 0, \quad c \approx \text{const}.$$

Analogické rovnice platí pro neizotermickou difúzi plynu pevnou kompaktní látkou, a proto může být neizotermická aproximace označena jako difúze „pevnou“ vzduchovou vrstvou (model DRAL). Na první pohled se může zdát tato aproximace poněkud nereálná, ale zahrnutím všech fyzikálních faktorů, a zejména jejich aproximativního chování, vede k tomuto závěru. Rovnice (23) je analogická rovnici uváděné v technické literatuře pro případy konstantní celkové koncentrace. Předpoklad  $c = \text{const}$  není nezbytnou podmínkou pro izotermický stav. Přibližně konstantní koncentraci lze předpokládat nejen při neizotermické difúzi plynu kompaktní pevnou látkou, která neobsahuje vzdušné póry, ale i u pevného materiálu obsahujícího uzavřené póry (dutiny) naplněné vzduchem. Difúzní tok v takovýchto materiálech prochází jak kompaktním materiálem bez vzduchu, tak uzavřenými dutinami s konstantní koncentrací vzduchu – za předpokladu, že stěny dutin jsou stěží proniknutelné pro těžké molekuly vzduchu, ale snadněji pro lehčí molekuly vodní páry. Takovému typu materiálu se blíží stavební pěnové materiály, např. polyetylenová pěna. Je pravděpodobné, že model DRAL je aplikovatelný pouze na takovéto materiály. Nicméně je nezbytné zdůraznit, že v silně neizotermickém případě, způsobujícím podstatné rozdíly v celkovém průběhu koncentrace, tj.  $c = f(x)$ , model DRAL při určování reálného difúzního toku selhává. Krátce řečeno, transportní rovnice (23) jsou schopné aproximovat difúzní tok vodní páry v různých materiálech pouze za běžných klimatických podmínek, tj. slabě neizotermický stav, který nevyvolává podstatné rozdíly v průběhu celkové koncentrace. Nicméně při vysoce neizotermickém stavu může model DRAL poskytnout správné závěry pouze u speciálních materiálů.

Nyní pokračujeme v řešení diferenciálních rovnic (23). Je nezbytné určit kompletní sadu Fickových rovnic pro aproximaci DRAL

$$q_w = -\frac{D}{R_w} \frac{d}{dx} \left( \frac{p_w(x)}{T(x)} \right), \quad c_w = \frac{p_w}{R_w T}, \quad R_w = 462 \text{ Jkg}^{-1} \text{K}^{-1}, \quad (24)$$

$$dx \left[ \frac{k}{\mu R_w} T^n(x) \frac{d}{dx} \left( \frac{p_w(x)}{T(x)} \right) \right] = 0, \quad n=1,81 \quad (25)$$

a okrajové podmínky pro neizotermickou stěnu tloušťky  $d$

$$\frac{p_w(0)}{T(0)} = \frac{p_{1w}}{T_1}, \quad \frac{p_w(d)}{T(d)} = \frac{p_{2w}}{T_2}. \quad (26)$$

Protože se nelineární průběh teploty  $T(x)$  objevuje u běžných stěn pouze za speciálních podmínek [10], předpokládá se také v tomto případě lineární průběh

$$T(x) = T_1 - \frac{T_1 - T_2}{d} x = a - bx. \quad (27)$$

Vložení (27) do Fickových rovnic (24), (25) a využitím první okrajové podmínky (26) dostáváme odpovídající řešení

$$\frac{k}{\mu R_w} (a - bx)^n \frac{d}{dx} \left( \frac{p_w}{T} \right) = -q_d = \text{const}, \quad (28)$$

$$\int_{p_{1w}/T_1}^{p_w(x)/T(x)} d \left( \frac{p_w}{T} \right) = \int_0^x -\frac{q_d R_w \mu}{k} (a - bx)^n dx, \quad (29)$$

$$q_w = \frac{\left[ \frac{p_{1w}}{T_1} - \frac{p_w(x)}{T(x)} \right] k b (1-n)}{\mu R_w [a^{1-n} - (a - bx)^{1-n}]}. \quad (30)$$

Využitím druhé okrajové podmínky (26) ve (30) můžeme vyjádřit ustálený difúzní tok  $q_w$

$$q_w = \frac{\left( \frac{p_{1w}}{T_1} - \frac{p_{2w}}{T_2} \right) k b (1-n)}{\mu R_w [a^{1-n} - (a - b d)^{1-n}]}, \quad (31)$$

který prochází neizotermickou stěnou s lineárním teplotním průběhem (27). Symboly  $a$ ,  $b$  ve vztahu (31) mohou být specifikovány užitím (27)

$$q_w = \frac{k(1-n)}{\mu R_w d} \left( \frac{p_{1w}}{T_1} - \frac{p_{2w}}{T_2} \right) (T_1 - T_2), \quad n = 1,81. \quad (32)$$

Vztah (32) můžeme přepsat pomocí difúzního efektivního odporu  $R_{\text{eff}}$  a efektivní difúzní konstanty  $D_{\text{eff}}$

$$q_w = \frac{c_{1w} - c_{2w}}{R_{\text{eff}}} \left[ \text{kgm}^{-2} \text{s}^{-1} \right], \quad R_{\text{eff}} = \frac{d}{D_{\text{eff}}} \left[ \text{m}^{-1} \text{s} \right],$$

$$D_{\text{eff}} = \frac{k(n-1)(T_1 - T_2)}{\mu(T_2^{1-n} - T_1^{1-n})} \left[ \text{m}^2 \text{s}^{-1} \right], \quad (33)$$

kde

$$c_{1w} = \frac{p_{1w}}{R_w T_1} \left[ \text{kg m}^{-3} \right], \quad c_{2w} = \frac{p_{2w}}{R_w T_2} \left[ \text{kg m}^{-3} \right].$$

V případě izotermického stavu ( $T_2 = T_1 = T$ ) se rovnice pro výpočet efektivního difúzního odporu a efektivní difúzní konstanty (33) opětovným užitím l'Hospitalova pravidla

$$\lim_{T_2 \rightarrow T_1} \frac{T_1 - T_2}{T_1^{1-n} - T_2^{1-n}} = \lim_{T_2 \rightarrow T_1} \frac{\frac{d}{dT_2} (T_1 - T_2)}{\frac{d}{dT_2} (T_1^{1-n} - T_2^{1-n})} = \frac{T_2^n}{n-1} = \frac{T^n}{n-1} \quad (34)$$

přemění na tvar

$$R_{\text{eff}} = \frac{d}{D_{\text{eff}}}, \quad D_{\text{eff}} = \frac{k}{\mu} T^n = \frac{k}{\mu} T^{1,81}. \quad (35)$$

Ve smyslu (33) může být neizotermický tok  $q_w$ , vyjádřený aproximací DRAL, snadněji vyčíslen. Pro úplnost je třeba uvést průběh parciálního tlaku  $p_w(x)$  uvnitř stěny. Funkce

$p_w(x)$  a  $c_w(x)$  vyplývají z rovnic (30) a (31)

$$p_w(x) = \left( T_1 - \frac{T_1 - T_2}{d} x \right).$$

$$\left[ \frac{p_{1w}}{T_1} - \left( \frac{p_{1w}}{T_1} - \frac{p_{2w}}{T_2} \right) \frac{T_1^{1-n} - \left( T_1 - \frac{T_1 - T_2}{d} x \right)^{1-n}}{T_1^{1-n} - T_2^{1-n}} \right], \quad (36)$$

$$c_w(x) = \frac{p_{1w}}{R_w T_1} - \left( \frac{p_{1w}}{R_w T_1} - \frac{p_{2w}}{R_w T_2} \right) \frac{T_1^{1-n} - \left( T_1 - \frac{T_1 - T_2}{d} x \right)^{1-n}}{T_1^{1-n} - T_2^{1-n}}. \quad (37)$$

Pro  $n = 1,81$  je průběh

$$p_w(x) = \left( T_1 - \frac{T_1 - T_2}{d} x \right).$$

$$\left[ \frac{p_{1w}}{T_1} - \left( \frac{p_{1w}}{T_1} - \frac{p_{2w}}{T_2} \right) \frac{T_1^{-0,81} - \left( T_1 - \frac{T_1 - T_2}{d} x \right)^{-0,81}}{T_1^{-0,81} - T_2^{-0,81}} \right], \quad (38)$$

$$c_w(x) = c_{1w} - (c_{1w} - c_{2w}) \frac{T_1^{-0,81} - \left( T_1 - \frac{T_1 - T_2}{d} x \right)^{-0,81}}{T_1^{-0,81} - T_2^{-0,81}}. \quad (39)$$

Na první pohled je zřejmé, že průběh  $p_w(x)$  a  $c_w(x)$  není lineární. Nicméně pro běžné teploty a běžné rozdíly mezi venkovním a vnitřním parciálním tlakem ve středoevropském klimatickém pásmu budou grafy  $p_w(x)$  a  $c_w(x)$  vykazovat přibližně lineární průběh.

### Modely IM-TDR a IM-TIR

Glaserův standardní kondenzační model [2] je založen na izotermické difúzi, tj. teplota stěny je konstantní  $T_m$  a rovná aritmetickému průběhu povrchových teplot

$$T_m = \frac{T_1 + T_2}{2}. \quad (40)$$

Fickovy rovnice pro izotermickou difúzi dostaneme ze vztahů (24) a (25) po dosazení  $T = T_m$

$$q_d = -\frac{D}{R_w T_m} \frac{dp_w}{dx}, \quad \frac{dq_d}{dx} = 0, \quad (41)$$

kde

$$D = \frac{k}{\mu} T_m^n, \quad n = 1,81.$$

Použitím následujících okrajových podmínek

$$p_w(0) = p_{1w}, \quad p_w(d) = p_{2w} \quad (42)$$

můžeme ze vztahu (41) lehce nalézt

$$q_d = \frac{p_{1w} - p_{2w}}{R_d}, \quad R_d = \frac{\mu d}{\delta}, \quad \delta = \frac{k T_m^{n-1}}{R_w}, \quad n = 1,81, \quad (43)$$

$$p(x) = p_{1w} - \frac{p_{1w} - p_{2w}}{d} x. \quad (44)$$

Jak je vidět, průběh tlaku  $p(x)$  je lineární funkcí závislou na  $x$  na rozdíl od neizotermického průběhu (15) a (39), který je nelineární. I přesto, že Fickova rovnice (41) platí přesně jen pro izotermický případ, tj. pro konstantní teplotu, je difúzní odpor  $R_d$  závislý na aktuální teplotě  $R_d(T_m)$ . Takový model



označujeme za **izotermický s teplotně závislým difúzním odporem**, tj. **IM-TDR**.

Nicméně ve stavební praxi jsou kombinovány izotermické Fickovy rovnice s difúzní rezistancí, která není teplotně závislá, protože průměrná teplota  $T_m$  je pevně stanovena jako celoroční průměr  $T_m = 283,15$  K bez ohledu na aktuální hodnotu  $T_m$  jednotlivé konstrukce. Takovýto model označujeme za **izotermický s teplotně nezávislým difúzním odporem**, tj. **IM-TIR**.

### Závěr

V příspěvku byly odvozeny a popsány nové vztahy pro neizotermické modely (DIAL a DRAL), které umožňují zavést plně neizotermické podmínky do Glaserova kondenzačního schématu a potažmo i do jednorozměrné bilance zkonzenzované vodní páry v obvodových konstrukcích budov. Vzhledem k omezenému publikačnímu prostoru budou tato témata řešena v samostatných příspěvcích.

### Literatura

- [1] Glaser, H.: Einfluss der Temperatur auf den Dampfdurchgang durch trockene Isolierwände, *Kältetechnik* 9 (6) (1957), pp. 158–159.
- [2] Glaser, H.: Graphisches Verfahren zur Untersuchung von Diffusionsvorgängen, *Kältetechnik* 11 (10) (1959), pp. 345–349.
- [3] ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov. ČSN, 1999.
- [4] DIN 4108 Warmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Deutsches Institut für Normung, 1999.
- [5] Ficker, T. – Podešvová, Z.: Non-Isothermal Diffusion of Water Vapour in Porous Building Materials. *Acta Polytechnica* 42 (1) (2002), pp. 25.
- [6] Ficker, T. – Podešvová, Z.: Neizotermická difúze vodních par pórovitými materiály. *Stavební obzor* 11 (3) (2002), pp. 79–81.
- [7] Ficker, T. – Podešvová, Z.: Models for Non-Isothermal Steady-State Diffusion in Porous Building Materials. *Acta Polytechnica* 43 (1) (2003), pp. 3–7.
- [8] Ficker, T. – Myslín, J. – Podešvová, Z.: Non-Linear Temperature Profiles. *Acta Polytechnica* 42 (6) (2001), pp. 66.
- [9] Bird, R. B. – Stevard, W. E. – Lightfoot, E. N.: *Transport Phenomena*. New York, J. Wiley&Sons 1965.
- [10] Schirmer, R.: Diffusion von Wasserdampf/Luftgemischen und die Verdampfungsgeschwindigkeit, *Y. VDI/Beil., Verfahrenstechnik*, 6 (1938), pp. 170.
- [11] Kricher, O.: Grundgesetze der Feuchtigkeitsbewegung und Dampfdiffusion in Trickengütern. Kapillarwasserbewegung und Dampfdiffusion, *Z. VDI-Beih. Verfahrenstechnik* 82 (1938), pp. 373.

**Ficker, T. – Podešvová, Z.: Non-Isothermal Diffusion of Water Vapour in Peripheral Structures – Derivation of Non-Isothermal Models**

**This paper presents derivation of new models of water vapour condensation in a porous wall in non-isothermal conditions. Special attention is given to DIAL and DRAL non-isothermal models.**

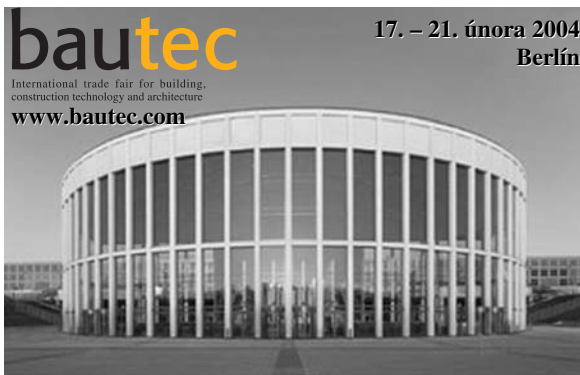
**Ficker, T. – Podešvová, Z.: Nichtisothermische Diffusion von Wasserdämpfen in Außenwandbauteilen – Ableitung nichtisothermischer Modelle**

**Im Beitrag werden neue Modelle für die Berechnung der Kondensation von Wasserdämpfen in eine poröse Wand unter nichtisothermischen Bedingungen abgeleitet. Besondere Aufmerksamkeit wird den nichtisothermischen Modellen DIAL und DRAL gewidmet.**

## ● veletrhy

### Oborové setkání ve spojení s novými tematickými veletrhy

Specializované stavební veletrhy odrážejí dění na trhu a jejich úlohou je představit úkoly, trhy a zásadní vize pro budoucnost a poskytnout nové impulsy. V návaznosti na nově vznikající potřeby v souvislosti s rozšířením EU a stále rostoucí konkurencí si musí i výrobci stavebních hmot a velkoobchodníci se stavebninami najít novou pozici. Veletrh bautec 2004 – mezinárodní odborný veletrh pro stavebnictví, technické zařízení budov a architekturu – se uskuteční ve znamení těchto procesů. Jeho nový profil se opírá o aktuální tržní trendy a šance na trhu. V Berlíně tak pokračuje nastoupená cesta od veletrhu výrobků k systematické prezentaci se zaměřením na komplexně orientovaná témata. Budova jako celek, s pláštěm a technickým zařízením, se s přihlédnutím k požadavkům vyhlášky o energetických úsporách, dostala do středu pozornosti jak vystavovatelů, tak odborníků.



Nové podněty přinese veletrh především pro stěžejní téma – stavební práce ve stávající zástavbě. Zaměření na aktuální otázky budoucnosti ve stavebnictví se odráží v propojení několika akcí pro tři samostatná veletržní témata:

- **BUILD IT** – informační technologie a komunikace ve stavebnictví,
- **SolarEnergy** – obnovitelné energie,
- **Immobilien Berlin 2004** – nemovitosti, investice a servis.

Ve spolupráci se spolkovými ministerstvy pro stavebnictví a hospodářství uspořádá Spolková komora architektů během prvního veletržního dne symposium o možnostech a šancích exportu architektonických děl – především v souvislosti s rozšířením EU na východ. Představeny budou nejen teoretické modely, ale i konkrétní, praxí ověřené projekty.

*Tisková informace*

# Vzperné dĺžky stĺpov rámov v ČSN 73 1401

prof. Ing. Ivan BALÁŽ, PhD.  
STU – Stavebná fakulta  
Bratislava

Súčinitele vzperných dĺžok  $\beta$  stĺpov rámov uvedených v tab. C.2 českej ČSN 73 1401 a slovenskej STN 73 1401 pre navrhovanie oceľových konštrukcií. Systematické zoskupenie rámov. Opravy chýb nachádzajúcich sa v normovej tabuľke C.2 a zhodnotenie približných vzorcov pre  $\beta$ . Numerické vyjadrenie vplyvu osovej sily na hodnotu súčiniteľa vzpernej dĺžky  $\beta$  pri jednotlivých rámoch. Ilustratívny numerický príklad pre určenie vzperných dĺžok stĺpov rámu ukazuje detaily výpočtu.

## 1. Úvod

Vzpernú dĺžku stĺpa pre vybočenie v rovine rámu možno určiť viacerými spôsobmi. Normy vychádzajú spravidla zo vzorca  $L_{cr} = \beta h$ , kde  $h$  je výška stĺpa a  $\beta$  súčiniteľ vzpernej dĺžky podľa tab. C.2 ČSN 73 1401 [1]. Normové vzorce pre  $\beta$  sú približné vzťahy aproximujúce presné riešenia. Niektoré zo vzorcov [1] odvodili nemeckí odborníci v rokoch 1930 až 1950 [2]-[4]. Vzorce sa dostali najprv do nemeckej DIN 4114 [7], [8] v rokoch 1952 až 1953. Odtiaľ boli prevzaté do ČSN 73 1401 s účinnosťou od 1.1.1969. Vo vydaní ČSN 73 1401 s účinnosťou od 1.3.1986 boli pridané ďalšie prípady rámov a už tam sa vyskytujú chyby. Niektoré zo vzorcov používaných v ČSN 73 1401 vznikli zjednodušením alebo modifikáciou pôvodných nemeckých vzorcov. Prepisovaním súboru vzorcov sa dostali nedostatky aj do tab. C.2 uvedenej v dnes platných normách, a to českej ČSN 73 1401: 1998 [1] a slovenskej STN 73 1401: 1998 [13]. Dnes používaná nemecká DIN 18 800: 1990 [11] podobné vzorce neobsahuje, možno ich však nájsť v mnohých renomovaných nemeckých príručkách, napr. [5], [6].

## 2. Súčinitele $\beta$ vzpernej dĺžky stĺpov rámov

Prvých desať rámov z tab. C.2 [1] sme zatriedili do dvoch skupín (tab. 3.1, 3.2). Riešenie piatich rámov v každej skupine vedie k podobným výsledkom, ktoré sa líšia mierou všeobecnosti. V každej z týchto dvoch skupín stačí poznať riešenie najvšeobecnejšieho rámu. Vzorce pre ostatné rámy v skupine sa dajú z neho odvodiť. Najvšeobecnejšími sú rám č. 1 v tab. 3.1 pre rámy kľbovo uložené a rám č. 6 v tab. 3.2 pre rámy votknuté. Dôsledkom preskupenia poradia rámov sú odlišné poradové čísla rámov v tab. C.2 [1] a v našich tabuľkách 3.1 až 3.4. Vzájomné priradenie čísel zodpovedajúcich si prípadov je uvedené v tab. 1.

Z tabuľky je zrejme, že pribudol rám č. 11, ktorý v [1] nie je riešený. V porovnaní s [1] sme pridali ešte rámy č. 3a a č. 5a (tab. 3.1, a značí vľavo), č. 8a a č. 10a. Schémy sú nakreslené a usporiadané tak, aby bolo hneď jasné ako spolu súvisia a aký čiastkový prípad zo všeobecnejšieho prípadu predstavujú. Môžu sa použiť v pedagogickom procese na

univerzitách. Ďalším rozdielom v porovnaní s [1] je, že v tab. 3.1 až tab. 3.4 uvádzame aj všeobecnejšie vzorce pre súčinitele vzpernej dĺžky  $\beta_N$ . Súčinitele  $\beta_N$  umožňujú zohľadniť vplyv stlačiteľnosti stĺpov pomocou parametra  $\alpha$ . Vo všeobecnosti platí, že vplyv stlačiteľnosti stĺpov sa má zohľadniť pri viacpodlažných rámoch. Z dvoch viacpodlažných rámov (č. 17 a č. 18 v tab. 3.4), norma [1] umožňuje zohľadniť tento vplyv iba pri ráme č. 18.

V tab. 3.1 sa dajú vzorce pre prípady č. 2 až č. 5 odvodiť z najvšeobecnejšieho prípadu č. 1:

Pre  $\rho = 1$  dostávame vo vzorci pre prípad č. 1  $0,53\rho - 0,03 = 0,5$ . Pre rámy s  $h_1 = h$  (č. 2 až č. 5) bola táto približná hodnota nahradená hodnotou 0,48. Spôsob prechodu na jednotlivé prípady uvádzame v strednom stĺpci tab. 3.1 a tab. 3.2. Symbol „šípka“ znamená „za veličinu použitú vo vzorci všeobecnejšieho prípadu (č. 1 alebo č. 6) dosad' nasledovnú veličinu“. Ešte treba uviesť, že niektoré časti pôvodných nemeckých vzorcov boli ešte v [1] zjednodušené bez straty presnosti. V tab. 3.1 sa ukázalo, že výrazy  $1 + 0,35\kappa + 0,005\kappa^2$ , resp.  $1 + 0,7\kappa + 0,02\kappa^2$ , je možné nahradiť jednoduchšími výrazmi  $1 + 0,4\kappa$ , resp.  $1 + 0,8\kappa$ . Pre názornosť sme ponechali v tabuľkách pôvodné nemecké vzorce s vplyvom stlačiteľnosti vyjadreným cez  $\alpha$ . Vzorce normy [1] uvádzame v ich zjednodušenej podobe a bez vplyvu stlačiteľnosti ( $\alpha = 0$ ).

Rovnaký systém sme použili pri votknutých rámoch v tab. 3.2. Pre  $\rho = 1$  dostávame vo vzorci pre prípad č. 6  $0,31\rho + 0,13 = 0,44$ . Pre rámy s  $h_1 = h$  (č. 7 až č. 10) bola táto približná nahradená hodnotou 0,43. Vzorce pre  $\beta$  v tab. 3.2 sú čiastkovým prípadom vzorcov  $\beta_N$ , ktorý dostaneme po dosadení  $\alpha = 0$ .

Vplyv osovej sily vyjadrený pomocou  $\alpha$  uvádzame pri rámoch č. 12 až č. 15 podľa smerníc [8]. Dôvodom je, aby čitateľ videl, pomocou akých vzorcov bol tento zanedbateľný vplyv numericky určovaný v tab. 2. V skutočnosti je postačujúce pri rámoch č. 12 až č. 15 uvažovať s hodnotou  $\alpha = 0$  a vzorcami uvedenými v našich normách, ktoré dostaneme uvážením  $\kappa_\alpha = \kappa$  (pozri zhodnotenie vplyvu  $\alpha$  v tab. 2).

V spodných riadkoch tab. 3.1 až tab. 3.4 uvádzame definície parametrov a ich obmedzenia, ktoré platia, ak pri jednotlivých prípadoch nie je uvedené iné obmedzenie.

Zhrňme nedostatky, ktoré sa vyskytujú v tabuľke C.2 normy [1]:

- č. 5 – konštantu 0,4 treba nahradiť konštantou 0,8;
- č. 5, 6 – vymazať odkaz na poznámku č. 1 a uviesť podmienku  $\kappa \leq 5$ ;
- č. 6 – konštanty 0,35 a 0,017 treba nahradiť konštantami 0,70 a 0,068;
- č. 2, 4, 5, 6, 7 – pri kyvnom prúte nemá byť uvedený žiadny symbol (v [1] je  $I$ );
- č. 12 – vymazať podmienku  $0,5 L < L_c < 2L$ ;
- č. 13, 15 – stredné  $L$  treba nahradiť symbolom  $L_c$ ;
- č. 16 – podmienka  $\kappa \leq 10$  uvedená vpravo sa môže vymazať, je v poznámke č. 1;
- č. 10, 8, 5, 11, 9, 6 – prípady so zaťažovacími kyvnými

Tab. 1. Vzájomné priradenie čísel rámov v ČSN (na rozlíšenie používame hrubé čísla) a tomto príspevku

ČSN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	-
autor	4	5	9	10	3	8	16	2	7	1	6	12	13	14	15	18	17	11

Tab. 3.1

1.		$\beta \cong 2\sqrt{\frac{1+v_1}{2} [1 + (0,53\rho - 0,03)v_2]} (1 + 0,4\kappa)$ <i>POZNÁMKA:</i> Výsledky sú dostatočne presné pre $v_1 = 1$ , potom môže byť $v_2$ aj väčšie ako 10. S klesajúcim $v_1$ a rastúcim $v_2$ dostávame stále nepresnejšie hodnoty, ktoré sú navyše na strane nebezpečnej. Napr. pre $\rho = 1$ , $\kappa = 1$ , $v_1 = 0$ , $v_2 = 10$ je chyba v hodnote kritickej sily približne 100% (chyba v $\beta$ je menšia).
2.		$\rho \rightarrow 1$ $\beta \cong 2\sqrt{\frac{1+v_1}{2} (1 + 0,48v_2)} (1 + 0,4\kappa) \quad \alpha = \frac{4I}{L^2} \left( \frac{1}{A} + \frac{1}{A_0} \right)$ $\beta_N \cong 2\sqrt{\frac{1+v_1}{2} (1 + 0,48v_2)} [1 + 0,35(\kappa + 6\alpha) + 0,005(\kappa + 6\alpha)^2]$ <i>POZNÁMKA:</i> Platí rovnaká poznámka ako pri ráme č. 1.
3.		$\rho \rightarrow 1$ $v_1 = 1$ $F_2 \rightarrow 2F_2$ $L \rightarrow 2L$ $\beta \cong 2\sqrt{(1 + 0,96v_2)} (1 + 0,8\kappa) \quad 0 \leq \kappa \leq 5$ $\beta_N \cong 2\sqrt{(1 + 0,96v_2)} [1 + 0,7(\kappa + 3\alpha) + 0,02(\kappa + 3\alpha)^2] \quad \alpha = \frac{I}{L^2} \left( \frac{1}{A} + \frac{1}{A_0} \right)$
4.		$\rho \rightarrow 1$ $v_2 = 1$ $\beta \cong 2\sqrt{\frac{1+v_1}{2} (1 + 0,4\kappa)}$ $\beta_N \cong 2\sqrt{\frac{1+v_1}{2} [1 + 0,35(\kappa + 6\alpha) + 0,005(\kappa + 6\alpha)^2]} \quad \alpha = \frac{4I}{L^2 A} \leq 0,2$
5.		$\rho \rightarrow 1$ $v_1 = 1$ $v_2 = 0$ $L \rightarrow 2L$ $\kappa \neq 0: \quad \varepsilon \operatorname{tg}(\varepsilon) = \frac{3}{\kappa} \Rightarrow \beta = \frac{\pi}{\varepsilon}$ $\beta \cong 2\sqrt{1 + 0,8\kappa} \quad 0 \leq \kappa \leq 5$ $\beta_N \cong 2\sqrt{1 + 0,7(\kappa + 3\alpha) + 0,02(\kappa + 3\alpha)^2} \quad \alpha = \frac{I}{L^2} \left( \frac{1}{A} + \frac{1}{A_0} \right)$
$0 \leq \left( v_1 = \frac{F_1}{F} \right) \leq 1, \quad 0 \leq \left( v_2 = \frac{F_2}{F} \right) \leq 10, \quad 0 \leq \left( \kappa = \frac{IL}{I_b h} \right) \leq 10, \quad 0,5 \leq \left( \rho = \frac{h_1}{h} \right) \leq 1$		

Tab. 3.2

6.		$\beta \cong \sqrt{\frac{1+v_1}{2} [1 + (0,31\rho + 0,13)v_2]} (1 + 0,35\kappa - 0,017\kappa^2)$ <i>POZNÁMKA:</i> Výsledky sú dostatočne presné pre $v_1 = 1$ , potom môže byť $v_2$ aj väčšie ako 10. S klesajúcim $v_1$ a rastúcim $v_2$ dostávame stále nepresnejšie hodnoty, ktoré sú navyše na strane nebezpečnej. Napr. pre $\rho = 1$ , $\kappa = 1$ , $v_1 = 0$ , $v_2 = 10$ je chyba v hodnote kritickej sily približne 100% (chyba v $\beta$ je menšia).
7.		$\rho \rightarrow 1$ $\beta \cong \sqrt{\frac{1+v_1}{2} (1 + 0,43v_2)} (1 + 0,35\kappa - 0,017\kappa^2) \quad \alpha = \frac{4I}{L^2} \left( \frac{1}{A} + \frac{1}{A_0} \right)$ $\beta_N \cong \sqrt{\frac{1+v_1}{2} (1 + 0,43v_2)} [1 + 0,35(\kappa + 6\alpha) - 0,017(\kappa + 6\alpha)^2]$ <i>POZNÁMKA:</i> Platí rovnaká poznámka ako pri ráme č. 6.
8.		$\rho \rightarrow 1$ $v_1 = 1$ $F_2 \rightarrow 2F_2$ $L \rightarrow 2L$ $\beta \cong \sqrt{(1 + 0,86v_2)} (1 + 0,7\kappa - 0,068\kappa^2) \quad 0 \leq \kappa \leq 5$ $\beta_N \cong \sqrt{(1 + 0,86v_2)} [1 + 0,7(\kappa + 3\alpha) - 0,068(\kappa + 3\alpha)^2] \quad \alpha = \frac{I}{L^2} \left( \frac{1}{A} + \frac{1}{A_0} \right)$
9.		$\rho \rightarrow 1$ $v_2 = 1$ $\beta \cong \sqrt{\frac{1+v_1}{2} (1 + 0,35\kappa - 0,017\kappa^2)}$ $\beta_N \cong \sqrt{\frac{1+v_1}{2} [1 + 0,35(\kappa + 6\alpha) - 0,017(\kappa + 6\alpha)^2]} \quad \alpha = \frac{4I}{L^2 A} \leq 0,2$
10.		$\rho \rightarrow 1$ $v_1 = 1$ $v_2 = 0$ $L \rightarrow 2L$ $\beta \cong \sqrt{1 + 0,7\kappa - 0,068\kappa^2} \quad 0 \leq \kappa \leq 5$ $\beta_N \cong \sqrt{1 + 0,70(\kappa + 3\alpha) - 0,068(\kappa + 3\alpha)^2} \quad \alpha = \frac{I}{L^2} \left( \frac{1}{A} + \frac{1}{A_0} \right)$
$0 \leq \left( v_1 = \frac{F_1}{F} \right) \leq 1, \quad 0 \leq \left( v_2 = \frac{F_2}{F} \right) \leq 10, \quad 0 \leq \left( \kappa = \frac{IL}{I_b h} \right) \leq 10, \quad 0,5 \leq \left( \rho = \frac{h_1}{h} \right) \leq 1$		

průtmi. Skutočnosť, že obmedzujúce podmienky pre maximálnu hodnotu pomeru  $v_2 = F_2 / F$  sú odlišné v DIN 4114 ( $F_2 / F \leq 2$ ) a v ČSN 73 1401

( $F_2 / F \leq 10$ ), ktorá prevzala vzorce pre prípady č. 8, 5, 9, 6 práve z DIN 4114, boli pre autora impulzom, aby sa týmto typom rámov zaoberal dôkladnejšie.

Tab. 3.3

11.		<p>a) <math>\pi^2 \frac{I_b}{I_c} \frac{1+\kappa}{3} \leq 1 \Rightarrow \beta = 1</math> kyvný prút sa zakriví;</p> <p>b) <math>\pi^2 \frac{I_b}{I_c} \frac{1+\kappa}{3} \geq 1 \Rightarrow \beta = \pi \sqrt{\frac{I_b}{I_c} \frac{1+\kappa}{3}}</math> kyvný prút zostane priamy.</p> <p><i>POZNÁMKA:</i> Pri b) sa horný koniec posunie. Z podmienky a) je možné určiť požadovanú tuhosť nezataženej časti konštrukcie zaisťujúcej kyvný prút, ktorý dimenzujeme na <math>\beta=1</math>.</p>
12.		$\beta \cong \frac{6+1,2\kappa_\alpha}{3+0,1\kappa_\alpha} \sqrt{\frac{2+v_c}{2+\eta}} \leq 6 \quad \beta_c \cong \beta \sqrt{\frac{\eta}{v_c}}$
13.		$\beta \cong \frac{6+1,2\kappa_\alpha}{3+0,1\kappa_\alpha} \sqrt{\frac{1+v_c}{1+\eta}} \leq 6 \quad \beta_c \cong \beta \sqrt{\frac{\eta}{v_c}}$
14.		$\beta \cong \frac{1+0,4\kappa_\alpha}{1+0,2\kappa_\alpha} \sqrt{\frac{2+v_c}{2+\eta}} \leq 3 \quad \beta_c \cong \beta \sqrt{\frac{\eta}{v_c}}$
15.		$\beta \cong \frac{1+0,4\kappa_\alpha}{1+0,2\kappa_\alpha} \sqrt{\frac{1+v_c}{1+\eta}} \leq 3 \quad \beta_c \cong \beta \sqrt{\frac{\eta}{v_c}}$
$v_c = \frac{F_c}{F}, \quad \eta = \frac{I_c}{I_b}, \quad 0 \leq \left( \kappa = \frac{IL}{I_b h} \right) \leq 10, \quad \kappa_\alpha = \kappa + \frac{9}{4} \alpha, \quad \alpha = \frac{4I}{L^2 A} \leq 0,2, \quad 0,5 < \frac{L_c}{L} < 2$		

Tab. 3.4

16.		$\frac{\sin \varepsilon}{\sin \varepsilon - \varepsilon \cos \varepsilon} = 1+v_2 \Rightarrow \beta = \frac{\pi}{\varepsilon}$ $\beta \cong 2\sqrt{1+0,75v_2}$
17.		$\beta \cong 4\sqrt{\frac{1+v_1}{2} (1+0,48 v_2) (1+0,8\kappa)}$ <p><i>POZNÁMKA:</i>                  Nepodarilo sa nám zistiť pôvod tohto vzorca. Neodporúčame ho používať, pretože: a) ide o rovnaký typ vzorca ako v prípadoch č. 1, 2, 6, 7 (pozri poznámku tam uvedenú); b) ide o viacpodlažný rám, kde sa má zohľadniť nepriaznivý vplyv osovej sily na zväčšenie vzpernej dĺžky najmä pre menšie hodnoty <math>\kappa</math> (pozri výsledky pre rám č.18 v tab. 2); c) vzorec dáva hodnoty <math>\beta</math> napr. pre <math>\kappa=1, 0 \leq v_1 \leq 1, 0 \leq v_2 \leq 10</math> od 0 do 40 % na strane bezpečnej (väčšie).</p>
18.		$\beta \cong \sqrt{\frac{1+v_1}{2} (1+0,89\kappa - 0,003\kappa^2)}$ $\beta_N \cong \sqrt{\frac{1+v_1}{2} [1+12,5\alpha + 0,89(1-\alpha)\kappa - 0,003(1-\alpha)\kappa^2]}$ $\alpha = \frac{4I}{L^2 A} \leq 0,2$
$0 \leq \left( v_1 = \frac{F_1}{F} \right) \leq 1, \quad 0 \leq \left( v_2 = \frac{F_2}{F} \right) \leq 10, \quad 0 \leq \left( \kappa = \frac{IL}{I_b h} \right) \leq 10$		

Výsledky parametrickej štúdie [10] týchto rámov ako aj návrh nových podstatne lepších vzorcov na určenie ich vzpernej dĺžky budú uvedené na inom mieste. Čiastkové zhodnotenie výsledkov parametrickej štúdie a odporúčania pre používateľov tab. C.2 uvádzame nižšie. Platí:

- a) vzorce pre rámy č. 10, 8, 11, 9 dávajú dostatočne presné hodnoty  $\beta$ , iba ak sa  $v_1$  nelíši príliš od jednotky;
- b) vzorce pre rámy č. 5 a 6 dávajú dostatočne presné hodnoty  $\beta$  aj pre  $F_2 / F \leq 10$ ;

č. 17 – zbytočne uvedené symboly A, na rozdiel od č. 16.

Kótu L vpravo treba vymazať, nemá žiaden význam. Konštantu 0,468 treba nahradiť konštantou 0,48. Vzorec pre  $\beta$  neodporúčame používať, pretože:

- a) nezohľadňuje vplyv osovej sily, ktorý je pre malé hodnoty  $\kappa$  a veľké hodnoty  $\alpha$  pri viacpodlažných rámoch nezanedbateľný – pozri výsledky pre prípad č. 18 v tab. 2,
- b) má rovnaké nedostatky ako vzorce pre rámy č. 10, 8, 5, 9, 6.

*Poznámka č. 3 pod tabuľkou C.2: Je vhodné doplniť text: „... (pozri tiež čl. C.5.2)“.*

### 3. Zhodnotenie a odporúčania

Moderné normy umožňujú používať pri návrhu stĺpov rámov teóriu 2. rádu s imperfekciami. Ak sa projektant rozhodne použiť tradičnú, ale dnes už menej vhodnú teóriu náhradného prúta, potrebuje stanoviť vzpernú dĺžku stĺpa. V dnešnej dobe je k dispozícii množstvo výpočtových programov, pomocou ktorých ju možno ľahko určiť. Jednoduchšie prípady je možné urobiť aj „ručne“, použitím vhodnej metódy a riešením charakteristickej rovnice. Pri prípadoch č. 5 v tab. 3.1 a č. 16 v tab. 3.4 uvádzame aj príslušné charakteristické rovnice. Najst' najmenší koreň charakteristickej rovnice je v dnešnej dobe ľahká úloha. Možno k tomu použiť napr. MATHCAD. Pri rámoch č. 5 a č. 16 sa môžeme presvedčiť, ako dobre aproximujú súčinitele vzperných dĺžok určené pomocou približných vzorcov z tab. 3.1 až tab. 3.4 presné riešenia získané riešením charakteristických rovníc.

V prípade, že sa projektant rozhodne použiť najpohodlnejšiu cestu, a síce využije vzorce tab. C.2 [1], je potrebné:

- zohľadniť vyššie uvedené opravy;
- vypočítať vzpernú dĺžku toho stĺpa zaťaženého silou  $F$ , pri ktorom uvádzame v tab. 3.1 až tab. 3.4 symbol  $\beta$ , resp.  $\beta_c$ ;
- určiť vzperné dĺžky ďalších stĺpov daného rámu;
- použiť pri dimenzovaní správne hodnoty vzperných dĺžok (pozri numerický príklad).

#### 3.1 Vplyv osovej sily na zväčšenie súčiniteľa vzpernej dĺžky

V praxi sa často a oprávnené zanedbáva vplyv normálovej sily na veľkosť vzpernej dĺžky. Tento vplyv numericky vyjadríme pre všetky prípady, pri ktorých v tab. 3.1 až tab. 3.4 uvádzame aj vzorce pre súčinitele vzperných dĺžok  $\beta_N$ .

Súčinitele vzpernej dĺžky  $\beta_N$  sú vo všeobecnosti funkciou bezrozmerných parametrov:  $0 \leq v_1 \leq 1$ ;  $0 \leq v_2 \leq 10$ ;  $0 \leq \kappa \leq 10$ , resp. 5;  $0 \leq \alpha \leq 0,2$ . Súčinitele  $\beta$  sme uvážili ako čiastkové prípady vzorcov pre  $\beta_N$ , do ktorých sme dosadili  $\alpha = 0$ . Pomer súčiniteľov  $\beta_N / \beta$  nezávisí od parametrov  $v_1$  a  $v_2$ . Pomer  $\beta_N / \beta$  je vyhodnotený pre  $\alpha_{\max} = 0,2$  a pre rôzne hodnoty  $\kappa$  v tab. 2.

Potvrdilo sa, že vplyv osovej sily na zväčšenie súčiniteľa vzpernej dĺžky  $\beta$  je nezanedbateľný pri viacpodlažnom ráme č. 18, a to pre menšie hodnoty parametra  $\kappa$  (sú to napr. úzke a vysoké rámy). V skutočnosti bude  $\alpha < 0,2$  a vplyv osovej sily je menší ako vidíme v tab. 2.

#### 3.2 Rámy so zaťaženými kyvnými prútmi

Je možné konštatovať, že vzorce pre vzperné dĺžky rámov č. 1, 2, 6, 7 nedávajú vždy správne hodnoty  $\beta$ . Vzorce pre rámy č. 2, 3, 7, 8 sú uvedené v smerniciach [8] ako doplnok k predpisom [7]. V [8] sa hovorí, že je možné vzorce pre vzperné dĺžky rámov č. 4, 5, 9, 10 (sú bez kyvných prútov a

sú korektné a dostatočne presné) po ich prenasobení faktorom  $\sqrt{1 + c_n v_2}$  ( $c_n = 0,48; 0,96; 0,43; 0,86$ ;  $v_2 = F_2 / F \leq 2$ ) použiť ako vzorce pre vzperné dĺžky rámov č. 2, 3, 7, 8 s doplnenými kyvnými prútmi. Takto získané vzorce boli prevzaté aj do ČSN 73 1401, kde sa rozšírila oblasť ich použitia na oblasť  $v_2 = F_2 / F \leq 10$  a doplnili sa rámy č. 1 a č. 6 ( $c_n = 0,53 \rho - 0,03; 0,31 \rho + 0,13$ ). Kritizované vzorce boli ponúkané technickej verejnosti päťdesiat rokov. Najskôr v [8], dodnes v renomovaných nemeckých príručkách, napr. v [5], [6] a v našich normách ČSN a STN 73 1401. Z výsledkov parametrickej štúdie [10] vyplýva, že pre rastúci pomer  $v_2 = F_2 / F$  ( $0 \leq v_2 \leq 2$ , resp. 10) a klesajúci pomer  $v_1 = F_1 / F$  ( $0 \leq v_1 \leq 1$ ) presnosť vzorcov pre rámy č. 1, 2, 6, 7 klesá. Napríklad pre  $\kappa = 1$  a pre kombináciu  $v_1 = 0$  a  $v_2 = 10$  v prípade rámov č. 2 a č. 7 chyba dosahuje v hodnote kritickej sily až 100 %, pričom výsledok je na strane nebezpečnej. Pre  $v_1 = 1$  sú vzorce pre rámy č. 2 a č. 7 dostatočne presné a môžeme ich používať v celej oblasti  $0 \leq v_2 \leq 10$ , dokonca aj pre väčšie hodnoty  $v_2$ . V podstate ide o rámy č. 3 a č. 8, ktoré sú špeciálnym prípadom rámov č. 2 a č. 7, ak do nich dosadíme:

- a)  $v_1 = 1$  (pozri tab. 3.1 a tab. 3.2),
- b) dvojnásobnú hodnotu sily  $F_2$ .

Vzorce pre rámy č. 2 a č. 7 dávajú dostatočne presné hodnoty  $\beta$  aj pre  $v_2 = 20$ . V užitočnej práci [9] a v ďalších podkladoch pre vznik ČSN 73 1401 sa žiaľ skúmali iba kombinácie  $v_2$  s  $v_1 = 1$ , kedy relevantné vzorce dávajú dostatočne presné hodnoty  $\beta$  aj pre  $0 \leq v_2 \leq 10$ , a verilo sa smernici [8], že to tak je aj pre  $v_1 \neq 1$ . Vzorce pre rámy č. 1, 2, 6, 7 sú nepresné aj pre prípady  $v_2 \leq 2$ , a to tým viac, čím viac sa hodnota  $v_1$  odlišuje od jednotky, resp. blíži k nule. Ukazuje to na ich principiálnu nekorektnosť. Poznnamenávame, že parameter  $v_1$  nám slúži iba na určenie väčšej z dvoch síl  $F \geq F_1$ , preto  $0 \leq v_1 = F_1 / F \leq 1$ . Normové vzorce sú určené pre výpočet vzpernej dĺžky prúta zaťaženého väčšou silou  $F$ .

### 4. Numerický príklad

Uvážme prípad č. 2a (tab. 3.1, obr. 1). Na krajné stĺpy pôsobia rovnako veľké zvislé sily s návrhovou hodnotou  $G_d = 25,65$  kN. Kyvný prút je zaťažený silou  $G_{o,d} = 2G_d$ . Na rám pôsobí ešte v rohu vodorovná sila zľava doprava s návrhovou hodnotou  $W_d = 10,8$  kN. Geometria rámu  $L = 5,8$  m,  $h = 3$  m. Prierezy všetkých prútov rámu sú rovnaké. IPE 220:  $I = I_b \equiv I_y = 27,72 \cdot 10^6$  mm<sup>4</sup>,  $A = 3 337$  mm<sup>2</sup>.

Výpočtom sme získali zvislé reakcie  $R = 20,23$  kN,  $R_2 = 50,98$  kN,  $R_1 = 31,40$  kN. Zvislými silami v schéme č. 2a potom budú  $F = R_1$  (má platiť  $v_1 = F_1 / F \leq 1$ ),  $F_2 = R_2$ ,  $F_1 = R$ . Po dosadení

$$\kappa = \frac{I L}{I_b h} = \frac{5,8}{3} = 1,933,$$

Tab. 2. Vplyv osovej sily na zväčšenie súčiniteľa vzpernej dĺžky  $\beta$ . Pomer  $\beta_N (\alpha = 0,2) / \beta_N (\alpha = 0)$  pre jednotlivé prípady rámov a pomery  $\kappa = \frac{IL}{I_b h}$

Rám podľa tab. 3	$\kappa$										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2, 4	1,195	1,151	1,124	1,105	1,092	1,081	1,073	1,067	1,062	1,057	1,053
3, 5	1,195	1,124	1,092	1,073	1,062	1,053	–	–	–	–	–
7, 9	1,181	1,125	1,092	1,070	1,053	1,040	1,030	1,021	1,013	1,005	0,998
8, 10	1,181	1,092	1,053	1,060	1,013	0,998	–	–	–	–	–
12, 13	1,074	1,060	1,050	1,042	1,036	1,032	1,028	1,025	1,023	1,02	1,019
14, 15	1,083	1,050	1,034	1,024	1,018	1,014	1,012	1,010	1,008	1,007	1,006
18	1,871	1,494	1,332	1,241	1,183	1,141	1,111	1,087	1,068	1,053	1,040

$$v_1 = \frac{F_1}{F} = \frac{20,23}{31,40} = 0,644,$$

$$v_2 = \frac{F_2}{F} = \frac{50,98}{31,40} = 1,624,$$

$$\beta = 2\sqrt{\frac{1+v_1}{2}(1+0,48v_2)(1+0,4\kappa)} =$$

$$= 2\sqrt{\frac{1+0,644}{2}(1+0,48 \cdot 1,624)(1+0,4 \cdot 1,933)} = 3,221.$$

Vzperná dĺžka pravého stĺpa, namáhaného väčšou silou  $F$ , bude  $L_{cr} = \beta h = 3,221 \cdot 3 \text{ m} = 9,66 \text{ m}$ . Presnejšou je hodnota získaná pomocou výpočtového programu IQ 100 [12], tj.  $L_{cr} = 9,87 \text{ m}$  (IQ 100).

Kritická sila  $N_{cr}$  pravého stĺpa a súčiniteľ rozdvojenia rovnováhy  $\alpha_{cr}$  potom sú

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_{cr}^2} = 615,3 \text{ kN} \quad (\text{IQ 100: } 589,8 \text{ kN}),$$

$$\alpha_{cr} = \frac{N_{cr}}{N} = \frac{615,3}{31,40} = 19,6 \quad (\text{IQ 100: } 18,7).$$

Kritické sily ľavého a stredného stĺpa

$$N_{cr,1} = \alpha_{cr} N_1 = 19,6 \cdot 20,23 \text{ kN} = 416 \text{ kN},$$

$$N_{cr,2} = \alpha_{cr} N_2 = 19,6 \cdot 50,98 \text{ kN} = 999 \text{ kN}$$

nám umožnia vypočítať ich vzperné dĺžky zo vzorcov

$$L_{cr,i} = \sqrt{\pi^2 EI / N_{cr,i}}, \quad i = 1, 2,$$

odkiaľ  $L_{cr,1} = 12,04 \text{ m}$  (IQ 100: 12,28 m) a  $L_{cr,2} = 7,58 \text{ m}$  (IQ 100: 7,79 m). Hodnoty vzperných dĺžok získané pomocou [1] sú pre praktické použitie dostatočne presné.

Poznamenávame, že pre  $v_1 = 0$  a nezmenené ostatné hodnoty dostaneme podľa [1]  $\beta = 2,511$  ( $N_{cr} = 1\,011,8 \text{ kN}$ ), pričom pomocou výpočtového programu IQ 100 dostávame  $\beta = 2,95$  ( $N_{cr} = 733,1 \text{ kN}$ ). Chyba v hodnote vzpernej dĺžky je 15 % a v hodnote kritickkej sily 38 % na nebezpečnej strane, napriek tomu, že máme  $v_2 = 1,624 \leq 2$ .

V uvedenom prípade rámu č. 2 je možné použiť doteraz nepublikovaný veľmi efektívny iteráčny vzorec prof. H. Rubina [10] (platí aj pre rámy z č. 7 odvodené – pozri tab. 3.1). Dostatočne presnú hodnotu  $\beta$  dostaneme už v druhom iteráčnom kroku ( $v_1 = 0$ ,  $v_2 = 1,624$ ,  $\kappa = 1,933$ ):

1. krok:

$$k = \frac{12}{(1+v_1+v_2)} = 4,573, \quad f^{(1)} = 1,$$

$$\bar{N}_{cr}^{(1)} = \frac{k}{(\kappa + 2f^{(1)})} = 1,163,$$

$$\varepsilon^{(1)} = \sqrt{\frac{1+v_1}{2} \bar{N}_{cr}^{(1)}} = 0,762;$$

2. krok:

$$f^{(2)} = \left(1 - \frac{\varepsilon^{(1)}}{\tan \varepsilon^{(1)}}\right) \frac{3}{\varepsilon^{(1)^2}} = 1,041,$$

$$\bar{N}_{cr}^{(2)} = \frac{k}{(\kappa + 2f^{(2)})} = 1,139,$$

$$\beta = \frac{\pi}{\sqrt{\bar{N}_{cr}^{(2)}}} = 2,944 \quad (\text{IQ 100: } 2,95),$$

$$N_{cr} = \frac{EI}{h^2} \bar{N}_{cr}^{(2)} = 737 \text{ kN} \quad (\text{IQ 100: } 733 \text{ kN}).$$

Nie je účelom tohto príspevku vysvetliť, ako sa použijú získané vzperné dĺžky pri dimenzovaní jednotlivých prútov rámu. Poznamenávame však, že pri dimenzovaní kyvného prúta sa použije hodnota  $\beta = 1$  bez ohľadu na to, ktorý z dvoch vlastných tvarov, uvedených na obr. 1, bude prvým vlastným tvarom. Pre zaujímavosť uvedme, že vlastný tvar na obr. 1a bude prvým vlastným tvarom, ak bude splnená podmienka

$$N_{cr,2} \leq N_{cr,o} = \frac{\pi^2 EI_0}{h^2},$$

odkiaľ pre moment zotrvačnosti kyvného  $I_0$  prúta dostávame

$$I_0 \geq I \left(\frac{h}{L_{cr,2}}\right)^2 = 27,72 \cdot 10^6 \left(\frac{3}{7,79}\right)^2 = 4,111 \cdot 10^6 \text{ mm}^4.$$

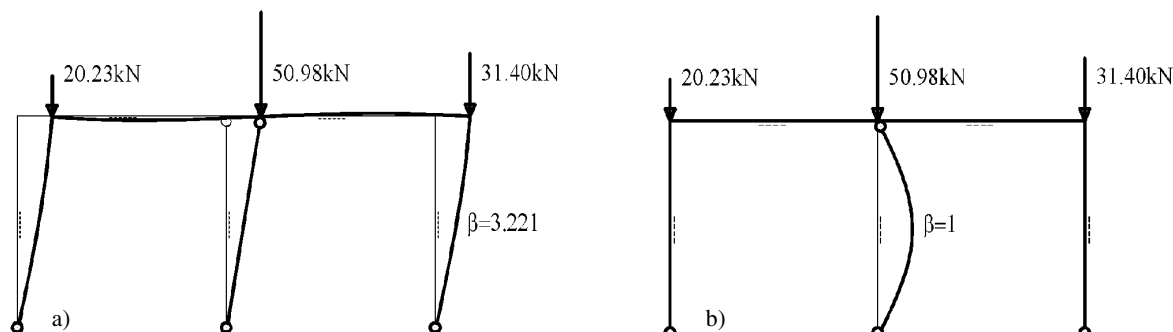
Tejto podmienke vyhovujú napr. profil IPE 140 a vyššie profily z tejto rady.

V príspevku sa hovorí o vzperných dĺžkach pre vybočenie v rovine rámu. Pri dimenzovaní prútov rámu by sa zohľadnili aj vzperné dĺžky prútov pri vybočení z roviny rámu, resp. pri skrútení prútov. Pôsobenie prútov rámu by podstatne výstižnejšie opísala teória 2. rádu pri uvážení imperfekcií.

**Príspevok vznikol v rámci projektu č. 1/0325/03 podporeného grantom VEGA.**

## Literatúra

- [1] ČSN 73 1401 Navrhování ocelových konstrukcí. ČSN, 1998.
- [2] Bültmann, W.: Die Stabilität des Dreigelenrechteckrahmens. Der Stahlbau H.1/3, 1941, pp. 3–10.
- [3] Bültmann, W.: Die Stabilität des Drei- und Zweigelenrechteckrahmens mit Eckstreben und mit Fachwerkriegeln. Der Stahlbau H.6/7, 1941, pp. 25–27.
- [4] Puwein, M.G.: Zuschrift and die Schriftleitung zum [3]. Der Stahlbau H.6/7, 1942, S. 24.
- [5] Schneider, K.-J.: Bautabellen. Werner-Verlag. 9. Auflage 1990.
- [6] Wenderhorst, O.W. (Hrsg.): Bautechnische Zahlentafeln. 30. Auflage. B.G.Teubner. 2002.
- [7] DIN 4114 Blatt 1. Stabilitätsfälle (Knickung, Kippung, Beulung). Berechnungsgrundlagen. Vorschriften. Juli 1952.



Obr. 1. Tvary vybočenia pri strate stability rámu (IQ 100)  
a – vlastný tvar, b – vlastný tvar

- [8] DIN 4114 Blatt 2. Stabilitätsfälle (Knickung, Kippung, Beulung). Berechnungsgrundlagen. Richtlinien. Februar 1953.  
 [9] Bártlová, A.: Vzpěr prutových soustav. Praha, SNTL 1977.  
 [10] Korešpondencia Baláž, I. – Rubín, H. (prof. TU Wien, spoluautor DIN 18 800). Október 2003.  
 [11] DIN 18 800 Teil 1 bis Teil 4. Stahlbauten. November 1990.  
 [12] IQ 100. Program zur Berechnung ebener Stabwerke. Institut für Baustatik der Technischen Universität Wien (Prof. Dr.-Ing. H. Rubín, Dipl.-Ing. Aminbaghai und H.Weier). Werner-Verlag, Düsseldorf. Version Febr. 98: mit „Lastfall“ Vorverformung.  
 [13] STN 73 1401: 1998 Navrhovanie oceľových konštrukcií. SÚTN, 1998.

### Baláž, I.: Buckling Lengths of Frame Columns in ČSN 73 1401

In this paper, reduction factors  $\beta$  for computing buckling lengths  $L_{cr}$  of frame columns taken from Table C.2 of the Czech Code ČSN 73 1401:1998 and Slovak Code STN 73 1401:1998 [13] are investigated, evaluated and corrected. The numerical example provided shows the necessary details of the  $\beta$  value computation. The influence of normal force  $N$  on the  $\beta$  values is shown, too.

### Baláž, I.: Knicklängen von Rahmenstielen aus der ČSN 73 1401

Die Formeln aus der Tabelle C.2 der tschechischen Norm ČSN 73 1401 und der slowakischen Norm STN 73 1401 [13] für den Entwurf von Stahlbauteilen angegebenen Knicklängenbeiwerte  $\beta$  für Rahmenstiele. Systematische Gruppierung von Rahmen. Korrekturen von Fehlern, die sich in der Normtabelle C.2 befinden und Bewertung annähernder Muster für  $\beta$ . Numerischer Ausdruck des Einflusses der Normalkraft auf die Größe des Knicklängenbeiwerts  $\beta$  bei einzelnen Rahmen. Illustratives numerisches Beispiel zur Bestimmung der Knicklängen von Rahmenstielen ist angegeben auch.

### Nový veletrh ELEKTRO – koncept inteligentních budov

Veletrhy Brno, a. s., zavádějí nový projekt – 1. mezinárodní veletrh elektroinstalací a osvětlovací techniky, který se uskuteční na brněnském výstavišti v rámci komplexu Stavebních veletrhů Brno 20. – 24. dubna 2004. Novým projektem reagují lídři středoevropského výstavnictví na pozitivní signály evropského stavebního trhu, který klade důraz na rozvoj v oblasti inteligentních budov. Při tvorbě koncepce byly podkladem také marketingové průzkumy mezi výrobci a obchodníky v elektrotechnickém průmyslu.

Sofistikované vybavení staveb zpětně vyvolává na moderní budovy nové nároky již v období jejich architektonického řešení. V závěru stavba získává charakter opláštění těchto nových technologií. Koncept veletrhu ELEKTRO vychází z přirozeného zájmu jak vystavovatelů, tak návštěvníků, nelze jej z tohoto pohledu srovnávat s konkurenčními výstavními akcemi. Právě sofistikované technologie, jejich implementace a služby spojené s jejich zaváděním, by nový veletrh měly výrazně odlišit od konkurenčních akcí. Podporu novému veletrhu ELEKTRO vyjádřila i Českomoravská elektrotechnická asociace (EIA), která se stala spolupřátelkou veletrhu.

Stavební veletrhy Brno, tj. 9. mezinárodní stavební veletrh IBF, 5. mezinárodní veletrh technických zařízení budov SHK BRNO, Fórum investičních příležitostí a Technologie a zařízení pro města a obce URBIS, 11. mezinárodní veletrh techniky pro tvorbu a ochranu životního prostředí ENVIBRNO a nově 1. mezinárodní veletrh elektroinstalací a osvětlovací techniky ELEKTRO, jsou druhým největším veletrhem v České republice vůbec. Nabídka více než 1 400 vystavovatelů pravidelně shlédne přes 95 tis. návštěvníků.

### Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR Česká energetická agentura

vyhlašují

2. ročník soutěže

### Energetický projekt 2003

Soutěž si klade za cíl prezentovat špičkové projekty a realizace staveb ve spojení s nejnovějšími stavebními materiály a konstrukcemi vedoucími k maximální energetické kvalitě. Jejím smyslem je vyhodnotit a ocenit takové projekty, stavby a energetické systémy, které minimální spotřebou energie přispějí ke zdravému životnímu prostředí v ekonomicky reálných souvislostech.

Záštitu převzali prof. Ing. Jiří Witzany, DrSc., rektor ČVUT, Dr. Ing. Jaromír Drábek, prezident Hospodářské komory ČR, prof. Ing. Zdeněk Vostracký, DrSc., dr. h. c., rektor Západočeské univerzity. Odbornou spoluprací zajišťuje Český svaz stavebních inženýrů, Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků, Asociace energetických manažerů a Státní energetická inspekce ČR.

Do soutěže je možno přihlašovat projekty a již dokončené investiční akce v kategoriích:

- rekonstrukce, modernizace a nové výstavby nízkoenergetických bytových domů,
- rekonstrukce, modernizace a nové výstavby veřejných staveb vzdělávacího a sociálního charakteru,
- realizovaná opatření ke snížení energetické náročnosti v průmyslu.

Soutěž je hlavním doprovodným programem veletrhů ECO CITY a FOR HABITAT, které se budou konat v Pražském veletržním areálu Letňany ve dnech 11. až 13. března 2004. V rámci těchto veletrhů budou přihlášeny projekty prezentované veřejnosti. Uzávěrka přihlášek je 2. února 2004.

[www.abf.cz](http://www.abf.cz)

## ● osobní zprávy

### **K devadesátinám prof. Ing. Alexandra Danilevského, DrSc. h.c.**

Přede dvěma roky na návrh děkana stavební fakulty udělila Vědecká rada ČVUT čestnou vědeckou hodnost doktora věd prof. Ing. Alexandru Danilevskému, absolventovi vysoké školy inženýrského stavitelství ČVUT (1938).

Pozoruhodný život A. Danilevského (nar. 18. 8. 1913 v Petrohradě) byl poznamenán odchodem rodiny z Ruska po roce 1917 přes Finsko do Prahy, kde absolvoval střední i vysokou školu. Ve válečném období se jako projektant dostal až do francouzských Metz, kde ho přímo zastihly válečné události. Po absolvování postgraduálního studia na Ecole Nationale des Ponts et Chaussées v roce 1946 přesídlil na dlouhá léta do jižní Ameriky, kde působil hlavně v oblasti vodních, energetických, dopravních a průmyslových staveb. Jeho profesionální kariéra vyvrcholila působením na univerzitě v Buenos Aires. Po odchodu do důchodu (v 69 letech) přesídlil do New Yorku, kde pokračoval ve svých odborných aktivitách v rámci A.S.C.E. a přehradního výboru USA.

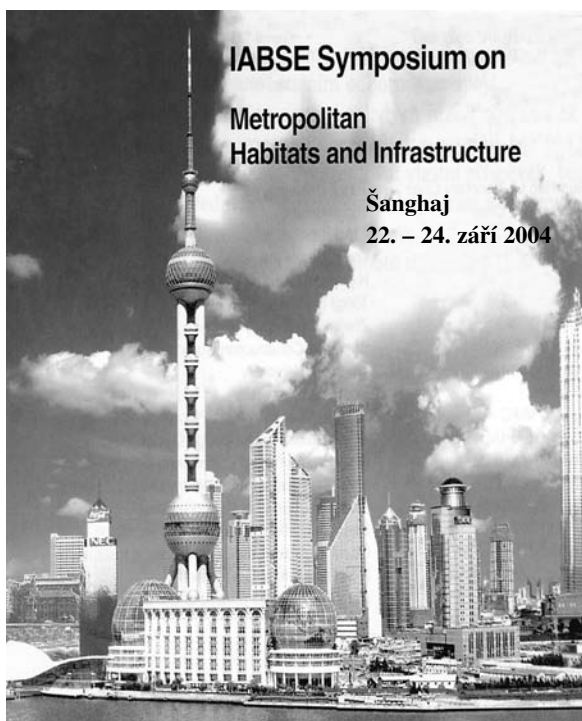
Záhy se stal též významným činitelem v mezinárodní přehradní asociaci (ICOLD), mj. i díky vynikajícím jazykovým znalostem. Vedle čestného doktorátu na ČVUT se mu dostalo vysokého ocenění zvolením za člena Argentinské inženýrské akademie. Obdivuhodné jsou i dnes jeho bohaté odborné i společenské kontakty s odborníky z celého světa.



S vědeckým a odborným přínosem A. Danilevského je třeba vždy spojovat jeho aktivity ve prospěch české vědy a techniky, vyplývající z jeho niterného vztahu k Čechám. Je pozoruhodné, že již jako student měl široký okruh přátel v Praze, s nimiž byl i v obtížných dobách v kontaktu. Jeho čeština je do dnešních dnů obdivuhodná. Ještě před rokem 1989 se do programu jeho zahraničních cest dostala i každoroční návštěva Československa, což trvá dosud. Velmi intenzivně se zajímal o dění na ČVUT, o vydávání odborné literatury a podporoval pozice českých zástupců na odborném mezinárodním poli.

Při obnovení aktivit České matice technické velmi účinně podpořil její rozvoj. Z jeho podstatného finančního příspěvku vznikla prémie udělovaná nejlepším publikacím, spojená s jeho jménem. Po léta posílal a nadále posílá Českému přehradnímu výboru, popř. na Katedru hydrotechniky ČVUT, unikátní odborné publikace, zejména z USA. Aktivity A. Danilevského ocenilo i sdružení zabývající se působením emigrantů z Ruska u nás. Co však je obdivuhodné, je zcela zřejmý zájem o rozvoj a prosperitu své druhé vlasti, jak naši zemi jubilant A. Danilevsky někdy nazývá.

*prof. Ing. Vojtěch Broža, DrSc.*



Hlavním tématem tradičního sympozia IABSE jsou stavby pro bydlení a infrastruktura v moderním velkoměstě. Pozornost bude věnována i souladu mezi životním prostředím a lidským konáním tak, aby nové konstrukce co nejlépe sloužily i budoucím potřebám společnosti.

#### **Témata:**

- plánování a rozvoj
- návrh a projektování
- výstavba a materiály
- údržba, provoz a životnost



Sympozium je určeno stavebním inženýrům ze všech oblastí, architektům, výzkumným pracovníkům a ostatním odborníkům spojeným se stavebnictvím. Pořadatelé mají zájem, aby se zúčastnilo co nejvíce mladých inženýrů, pro něž je zaměření sympozia nadmíru vhodné. Účastníci narození v roce 1969 a později budou proto platit jen redukovaný konferenční poplatek a budou-li prezentovat vlastní příspěvek, bude jim vložně zcela odpuštěno, a navíc se jim v předběžném oznámení slibuje grant na pokrytí výloh s ubytováním.

Přihlášky lze získat na [www.iabse2004.org.cn](http://www.iabse2004.org.cn) nebo u předsedy české Národní skupiny IABSE, který je autorem tohoto oznámení.

*J. Studnička*



## • Fakulta stavební ČVUT

### ***Inovace a rozvoj laboratoří pro výuku stavební geodézie***

Úroveň výuky posluchačů všech oborů stavební fakulty v předmětu Stavební geodézie zejména v praktické části, tj. laboratorních cvičeních v semestru a výuce geodézie v terénu, závisí na úrovni přístrojového vybavení Katedry speciální geodézie, která tuto výuku zajišťuje. Před podáním projektu jeho úroveň ve srovnání s pracovišti soukromých obchodních společností i pracovišti resortu státní správy Českého úřadu zeměměřického a katastrálního, které zajišťují svými výkony v oboru geodézie požadavky všech organizací ve stavebnictví České republiky, zaostávala nejméně o patnáct let a je v současné podobě neobnovitelná, protože například klasické optomechanické teodolity a dálkoměry se již v podstatě nevyrábějí. Tento stav lze dokumentovat stářím dosud používaných přístrojů – 65 % používaných teodolitů je starších 25 let, 28 % starších 15 let. Z toho je zřejmé, že většina přístrojů, pokud by byla v majetku podnikatelského subjektu, by byla již odepsána a vyřazena z používání, kdežto zde jsou stálým úsilím mechaniků udržovány. Studenti se tak učí řešit úlohy v geodetických výkonech s přístrojovým vybavením morálně i fyzicky zastaralým, se kterým se po nástupu do zaměstnání nemají již prakticky možnost setkat.



Pro rok 2003 byla získána kapitálová dotace Fondu rozvoje vysokých škol MŠMT na projekt „Inovace a rozvoj laboratoří pro praktickou výuku stavební geodézie“. Cílem byla inovace laboratorního vybavení pro praktickou výuku posluchačů všech oborů stavební fakulty ve studijních programech „Stavební inženýrství“ a „Architektura a stavitelství“ v povinném předmětu Stavební geodézie 10.

Jak vyplývá z úvodu, bylo nutno modernizovat přístrojové vybavení katedry tak, aby bylo minimálně srovnatelné s pracovišti, která realizují geodetické výkony pro potřebu stavebnictví. Zejména šlo o nahrazení optomechanických teodolitů i dálkoměrů při vyhotovování polohopisných i výškopisných plánů a při základních vytyčovací pracích (pro úroveň požadovaných znalostí posluchačů v uvedeném předmětu) totálními stanicemi. Absolventi fakulty tak budou moci odpovědně vykonávat povolání autorizovaných architektů a inženýrů činných ve výstavbě podle zákona ČNR č. 360/1992 Sb. a stanou se konkurenceschopnějšími a vyhledávanějšími odborníky nejen v rámci evropského trhu práce.

Na základě interního výběrového řízení před podáním projektu byla vybrána nabídka totálních stanic Topcon GPT-2006 s příslušenstvím fy Geodis Brno. Hlavními

kritérii při výběru byly technické parametry, cena a rozsah dodávaného příslušenství.



Pořízené moderní vybavení, tj. totální stanice a externí kontrolery, umožňuje komplexní inovaci laboratorní a praktické výuky v předmětu Stavební geodézie. Vzhledem k tomu, že výuka probíhá paralelně v dvou laboratořích, je nutné vybavit shodně obě pracoviště. Průměrná velikost studijní skupiny je čtyřicet posluchačů, to znamená v jedné laboratoři pracuje dvanáct studentů. Z pedagogického hlediska postačí jedna totální stanice pro dva posluchače. Z toho vyplývá celkový požadavek na dvanáct totálních stanic. Při řešení některých úloh není externí kontroler nutný, a proto byl pro úsporu omezen jejich počet na osm. Pro výuku v terénu, která probíhá současně na čtyřech lokalitách, dvanáct stanic rovněž dostačuje.

V návaznosti byla modernizována i náplň laboratorních a praktických cvičení. Studenti se na přístrojích seznámí se základními principy měření a naučí se řešit praktické geodetické úlohy obvyklé ve stavebnictví, tj. zhotovování polohopisných a výškopisných plánů, základní vytyčovací práce, základy zaměrování památkových objektů apod. Přístrojové vybavení bylo zavedeno do výuky v zimním semestru 2003/2004.



Inovace byla umožněna udělením dotace projektu H2397/2003 Fondu rozvoje vysokých škol a příspěvkem Fakulty stavební ČVUT v Praze.

*doc. Ing. Jiří Pospíšil, CSc.  
Ing. Martin Štroner, PhD.*

## ● zprávy

### BB Centrum se dále rozrůstá



Nová budova Alpha v administrativním komplexu BB Centrum již má hlavní nájemce. Během září byly podepsány nájemní smlouvy s českou pobočkou společnosti Microsoft a společností Czech Puma Dassler, s. r. o. Další významnou část budovy obsadí developer projektu BB Centrum, společnost Passerinvest Group, která tak své sídlo přemístí do centra svých podnikatelských aktivit. Pro nové nájemce zde bude k dispozici 12 466 m<sup>2</sup> pronajmutelných ploch a 228 parkovacích míst.

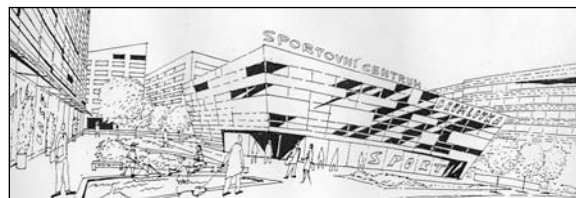
Budova Alpha, objekt o čtyřech podzemních a osmi nadzemních podlažích, se nachází v pohledově nejexponovanější poloze celého areálu. Velmi působivá severní fasáda je protipólem stávajících objektů A, B a C. Celá budova je tvořena železobetonovou monolitickou konstrukcí s vnějším pláštěm ze skla a hliníku. Vnitřní atrium s výrazně prosvětleným skleněným světlíkem přes všechna podlaží navozuje příjemnou atmosféru. Zakřivená jihozápadní fasáda umožňuje umístění ojedinělých log vytvořených na hliníkovém obkladu objektu.

Budova, kterou navrhl Ing. arch. Jan Aulík (Studio A), je založena na pilotách a základové desce. V současné době je v rámci realizační projektové dokumentace tvořena maximálně flexibilní vnitřní dispozice, jejím cílem je vyhovět nejrozmanitějším požadavkům nájemců. Budoucí uživatelé budovy jistě ocení i její nadstandardní zabezpečení. Výstup

z garáží objektu je řešen výtahem končícím v prvním nadzemním podlaží a pouze přes turnikety je možné projít k výtahům, které obsluhují další nadzemní podlaží. Nájemci i návštěvníci budovy jsou registrováni průchodem přes vstupní zařízení.



Jednou z nepřehlédnutelných zajímavostí je velké vnitřní atrium s negativním vertikálním sklonem přes všechna podlaží, kde bude instalován model celého BB Centra. Unikátem v pražském měřítku je velká střešní zahrada s mnoha zákoutími, vyhlídkami, terasou a chráněnými místy s lavičkami. Nechybí zde vzrostlé dřeviny, stylizované můstky atp. Bezbariérový přístup do všech prostor budovy je samozřejmostí. Generálním dodavatelem stavby je společnost HOCHTIEF.



Realizace budovy Alpha je z mnoha hledisek zlomová – BB Centrum překračuje Vyskočilovu třídu. Její obě strany tak budou nezaměnitelné svým stylem i pojetím. Jižní část – Alpha, chystané Beta a Gamma budou přirozeně chránit vnitřní prostor zelených ploch a zahradních restaurací, v jejichž středu bude situován prosklený a vzdušný sportovně relaxační objekt Nová Brumlovka. V severní části bude úlohu přirozeného centra plnit připravovaný projekt Zelený dvůr.

*Tisková informace*

### AUSTIS mění svou právní formu

K 1. lednu 2004 změnila společnost AUSTIS, spol. s r. o., svou právní formu. Nově vytvořená akciová společnost stejného jména zachovává právní kontinuitu a přebírá veškeré závazky a dohody, které vznikly před 1. lednem 2004. Protože nevzniká nový ekonomický subjekt, zůstávají v platnosti základní identifikační údaje, jako jsou identifikační číslo organizace, bankovní účty, adresa společnosti, komunikační spojení atd.

Založení akciové společnosti je dalším krokem celkové přeměny předního českého výrobce, jehož výrobky pod značkami ETERNAL, SANAKRYL, SANATHERM, FORTISOL zaujímají přední místo mezi produkty stavební chemie na českém trhu.

Přeměna na akciovou společnost, v souvislosti s připravovaným vstupem České republiky do Evropské unie, zvýší kredit společnosti AUSTIS vůči současným i budoucím partnerům v podnikání a posílí i její pozici při účasti ve výběrových řízeních.

Současně je základním kamenem poslední etapy změn, směřujících k vytvoření ekonomicky silné a stabilní, konkurenceschopné, moderně řízené a zákaznický orientované české společnosti.

Změně, k níž od 1. ledna 2004 ve společnosti AUSTIS dochází, předcházela certifikační audit jednotlivých činností společnosti v rámci systému jakosti podle ISO 9001 a další opatření, uskutečněná uvnitř i vně společnosti. Nový statut již teď lépe vyjadřuje směr rozvoje společnosti a lépe charakterizuje postavení na trhu.

Společnost AUSTIS, a. s., tak bude i v dalším období připravována reagovat při svém rozvoji na změny podmínky, které přinese zapojení do Evropské unie. Jak v nových rozměrech evropského trhu, tak i v oblasti legislativy, která vstoupí po vstupu České republiky do Evropské unie v platnost.

*Tisková informace*

## ● zprávy

### Unikátní ocelový most mezi Norskem a Švédskem

Až do června příštího roku budou specialisté společnosti Hutní montáže Ostrava montovat unikátní ocelový most, který spojí Norsko a Švédsko u města Svinesund. Prestižní zakázku v hodnotě více než 1,5 mil. euro získala ostravská firma v náročném mezinárodním výběrovém řízení. Nový dálniční most přes Ringdalsfjord spojí Norsko a Švédsko ocelovou konstrukcí o délce 695 m a šířce 28 m. Rozpětí oblouku hlavního pole mostu je 247 m. Přes most, na kterém bude vybíráno mytné, povede nová trasa dálnice E6. Nová konstrukce bude sloužit paralelně se starým mostem, který oba břehy spojuje už od roku 1946 a nevyhovuje současným požadavkům na bezpečnost a kapacitu.



Samotná montáž mostu je náročná díky mimořádnému rozpětí hlavního oblouku i výšce mostovky 55 m nad hladinou. Nejvyšší bod mostu bude dokonce 92 m nad hladinou. Hmotnost ocelové konstrukce mostu je 7 600 t. Technologie výstavby u krajních sekcí probíhá postupným přivařováním jednotlivých sekcí a výsunem v krocích do konečné polohy. U vnitřních sekcí proběhne osazení autojeřábem přímo do projektované polohy a svaření v ose. Střední sekce bude předmontována v přístavu, zaplavena pod oblouk a osazena do konečné polohy pomocí hydraulických lanových zvedáků.

I když kontrakt na montáž ocelové konstrukce mostu končí pro ostravskou firmu v červnu roku 2004, most samotný se otevře až o rok později, a to za účasti norské i švédské královské rodiny.

*Tisková informace*



České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Děkan Fakulty stavební ČVUT vyhlásil počátkem prosince studentskou soutěž na ideové řešení rekonstrukce obvodového pláště budov fakulty. Účelem je najít náměty na architektonické a stavebně technické řešení rekonstrukce obvodového pláště objektů A, B, C. Řešení musí vycházet z návaznosti na stávající konstrukční systém a půdorysné členění místností u obvodového pláště. Soutěž je vypsána pro studenty a studentské týmy ze všech studijních programů na ČVUT (bakalářské, magisterské a doktorské studium).

Práce je třeba odevzdat na sekretariát Fakulty architektury ČVUT do 30. ledna 2004 do 12 hodin.

#### Specifikace zadání

##### a) architektonická část

- členění a barevnost fasády (použité materiály)
- umístění otevíratelných částí
- možnost předsazených prvků (žaluzie apod.) či zdvojené fasády
- úpravy fasád podle světových stran

##### b) stavebně technická část

- námět na novou stavebně energetickou koncepci budovy v souvislosti s výměnou obvodového pláště
- koncepce řešení souvisejících technických systémů budovy (vytápění, větrání) včetně případných zásahů do vnitřních konstrukcí a vnitřního uspořádání budovy (schematicky)
- rámcové ověření zlepšení kvality vnitřního prostředí v celoročním provozu a nízké provozní energetické náročnosti rekonstruované budovy
- principy organizace postupu výstavby za částečného provozu budovy

Výsledky soutěže budou vyhlášeny do 13. února 2004. O rozdělení odměn v celkové výši 15 000 Kč rozhodne porota, která si vyhrazuje právo některou cenu neudělit, případně rozdělit stanovenou částku jinak. Všem pracím, které splní zadané podmínky, bude poskytnut příspěvek na pokrytí režijních výdajů ve výši 1 000 Kč.

**Soutěžní práce budou vystaveny v atriu budovy  
Fakulty stavební ČVUT  
v Praze 6, Thákurova 7**

**16. až 27. února 2004.**

#### LIFE CYCLE ASSESSMENT, BEHAVIOUR AND PROPERTIES OF CONCRETE AND CONCRETE STRUCTURES

mezinárodní konference

9. – 11. listopadu 2004

aula Fakulty stavební VUT v Brně, Veverí 95



- Lifetime Assessment and Lifetime Management
- Repair Technologies and Strategies
- Costs Effective Materials and Structures
- Modern Trends in Concrete Technology
- Concrete Performance Characteristics

Informace: [www.fce.vutbr.cz/stm/LC2004](http://www.fce.vutbr.cz/stm/LC2004), e-mail: [2230@fce.vutbr.cz](mailto:2230@fce.vutbr.cz)

kontakt: tel.: +420 541 147 631, fax: +420 541 147 667

# STAVEBNÍ OBZOR

## ROČNÍK 13 ČÍSLO 02/2004

### Navigace v dokumentu

#### OBSAH

Kohoutková, A. – Křístek, V. <b>Význam smykových deformací při zkouškách betonových trámů</b>	<b>33</b>
Albert, D. – Rohon, P. <b>Vztah mezi obvodem u paty kmene a obvodem ve výčetní výšce</b>	<b>35</b>
Tydlitát, V. – Kunca, A. – Drchalová, J. – Jiříčková, M. – Černý, R. – Rovnaníková, P. <b>Mechanické, vlhkostní a tepelné vlastnosti vápenných omítek s pucolánovými přísadami</b>	<b>38</b>
Hodač, J. <b>Návrh koncepce prostorového informačního systému památkového objektu</b>	<b>45</b>
Pletnická, J. <b>Některé problémy trvale udržitelného rozvoje průmyslového města</b>	<b>51</b>
Koska, B. – Štroner, M. – Pospíšil, J. <b>Algoritmus určování rovnice obecné roviny pro laserové skenování včetně rozborů přesnosti</b>	<b>55</b>
Lamboj, L. <b>Několik poznámek ke stanovení charakteristické hodnoty geotechnického parametru základové půdy a návrhové hodnoty odolnosti základové půdy podle EC 7-1 (ČSN EN 1997-1:?)</b>	<b>61</b>

**2 • 2004**

**ročník 13**

# STAVEBNÍ OBZOR

pozemní stavby  
dopravní stavby  
vodohospodářské stavby  
geotechnika  
konstrukce a materiály  
technologie  
životní prostředí  
geodézie a kartografie  
mechanizace  
informatika  
ekonomika  
software



Fakulta stavební  
ČVUT v Praze



Česká komora autorizovaných  
inženýrů a techniků



Český svaz  
stavebních inženýrů



Fakulta stavební  
VUT v Brně



Fakulta stavební  
VŠB TU-Ostrava

## OBSAH

- Kohoutková, A. – Křístek, V.  
**Význam smykových deformací při zkouškách betonových trámů . . . . . 33**
- Albert, D. – Rohon, P.  
**Vztah mezi obvodem u paty kmene a obvodem ve výčetní výšce . . . . . 35**
- Tydlitát, V. – Kunca, A. – Drchalová, J. – Jiříčková, M. – Černý, R. – Rovnaníková, P.  
**Mechanické, vlhkostní a tepelné vlastnosti vápenných omítek s pucolánovými přísadami . . . . . 38**
- Hodač, J.  
**Návrh koncepce prostorového informačního systému památkového objektu . . . . 45**
- Pletnická, J.  
**Některé problémy trvale udržitelného rozvoje průmyslového města . . . . 51**
- Koska, B. – Štroner, M. – Pospíšil, J.  
**Algoritmus určování rovnice obecné roviny pro laserové skenování včetně rozborů přesnosti . . . . . 55**
- Lamboj, L.  
**Několik poznámek ke stanovení charakteristické hodnoty geotechnického parametru základové půdy a návrhové hodnoty odolnosti základové půdy podle EC 7-1 (ČSN EN 1997-1:?) . . . . . 61**

## CONTENTS

- Kohoutková, A. – Křístek, V.  
**The Importance of Shear Deformations in Concrete Square Tests . . . . . 33**
- Albert, D. – Rohon, P.  
**The Relation Between the Perimeter at the Trunk Foot and the Perimeter at the Breast Height . . . . . 35**
- Tydlitát, V. – Kunca, A. – Drchalová, J. – Jiříčková, M. – Černý, R. – Rovnaníková, P.  
**Mechanical, Hygric and Thermal Properties of Lime Plasters with Pozzolanic Admixtures . . . . . 38**
- Hodač, J.  
**Proposal of the Concept of the Spatial Information System of a Historical Site . . . . . 45**
- Pletnická, J.  
**Some Difficulties in Sustainable City Development . . . . . 51**
- Koska, B. – Štroner, M. – Pospíšil, J.  
**An Algorithm of Determination of the General Plane Equation for Laser Scanning, Including Accuracy Analyses . . . . . 55**
- Lamboj, L.  
**Notes on the Determination of the Characteristic Value of the Geotechnical Parameter of the Foundation Soil and the Design Value of Foundation Soil Resistance by EC 7-1 (ČSN EN 1997-1:?) . . . . . 61**

## INHALT

- Kohoutková, A. – Křístek, V.  
**Bedeutung von Schubverformungen bei Prüfungen von Betonbalken . . . . . 33**
- Albert, D. – Rohon, P.  
**Beziehung zwischen Stammumfang am Stammfuß und dem Umfang in Brusthöhe . . . . . 35**
- Tydlitát, V. – Kunca, A. – Drchalová, J. – Jiříčková, M. – Černý, R. – Rovnaníková, P.  
**Mechanische, Feuchtigkeits- und wärmetechnische Eigenschaften von Kalkputzen mit Puzzolanzusätzen . . . . 38**
- Hodač, J.  
**Entwurf einer Konzeption für ein räumliches Informationssystem eines denkmalgeschützten Objektes . . . . 45**
- Pletnická, J.  
**Einige Probleme der nachhaltigen Entwicklung einer Industriestadt . . . . . 51**
- Koska, B. – Štroner, M. – Pospíšil, J.  
**Algorithmus zur Bestimmung der Gleichung einer allgemeinen Ebene für Laserscannen einschließlich Genauigkeitsanalysen . . . . 55**
- Lamboj, L.  
**Einige Anmerkungen zur Bestimmung des charakteristischen Werts des geotechnischen Parameters des Baugrunds und des Rechenwerts der Beständigkeit des Baugrunds gemäß EC 7-1 (ČSN EN 1997-1:?) . . 61**

## REDAKČNÍ RADA

### Předseda:

prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.

### Místopředseda:

doc. Ing. Alois MATERNA, CSc.

### Tajemníci:

doc. Ing. Milan KAŠPAR, CSc.

doc. Ing. Jindřich ŠMEJČKÝ, CSc.

### Členové:

Ing. Miroslav BAJER, CSc.

doc. Ing. Pavel HÁNEK, CSc.

Ing. Jiří HIRŠ, CSc.

Ing. Ivan HRDINA

doc. Ing. Vladimír JELÍNEK, CSc.

Ing. Miroslav JEŽEK, CSc.

doc. Ing. Miroslav KAUN, CSc.

Ing. Jana KORYTÁROVÁ, PhD.

Ing. Karel KUBEČKA

Ing. Petr KUNEŠ, CSc.

doc. Ing. Ladislav LAMBOJ, CSc.

doc. Ing. Ivan MOUDRÝ, CSc.

doc. Ing. Jaroslav NOVÁK, CSc.

doc. Ing. Luděk NOVÁK, CSc.

doc. Ing. Miloslav PAVLÍK, CSc.

prof. Ing. J. PROCHÁZKA, CSc.

doc. Ing. Vlastimil STARA, CSc.

Ing. Karel SVOBODA

doc. Ing. Jiří VÁŠKA, CSc.

doc. Ing. Josef VITÁSEK, CSc.

prof. Ing. Jiří WITZANY, DrSc.

Ing. Renata ZDAŘILOVÁ

STAVEBNÍ OBZOR, odborný měsíčník, vydává  
Fakulta stavební ČVUT Praha společně s Fakultou  
stavební VUT Brno, Fakultou stavební VŠB TU  
Ostrava, Českou komorou autorizovaných inženýrů  
a techniků činných ve výstavbě a Českým svazem  
stavebních inženýrů. Řídí redakční rada, vedoucí  
redaktorka Marcela Klímová. Adresa redakce:  
Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel./fax: 224 354 596,  
klimova@fsv.cvut.cz, http://web.fsv.cvut.cz/obzor.  
Vychází každý měsíc kromě července a srpna,  
cena za výtisk je 40 Kč včetně DPH (+ poštovné a  
balné). Objednávky odběru i reklamace přijímá  
Ing. Milan Gattringer, MG DTP, Borovanská 3388, 143 00  
Praha 4, tel./fax: 241 770 220, e-mail: mgdtp@volny.cz.  
Odběr je možné zrušit až po vyčerpání zaplaceného  
předplatného. Inzerce adresujte redakci. Technická  
redakce a realizace: Ing. Milan Gattringer. Po-  
dávání novinových zásilek povoleno Ředitelstvím  
pošt Praha, č. j. NP 144/1994, ze dne 21. 10. 1994. Do  
tisku 3. 1. 2004. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

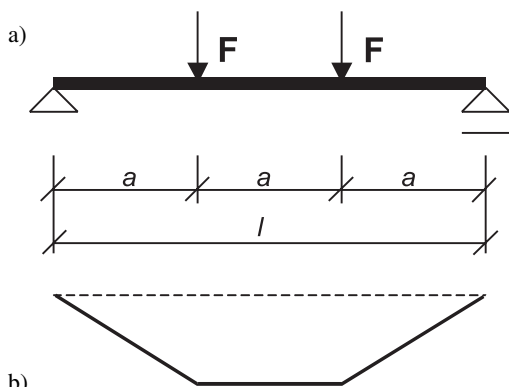
INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

## Význam smykových deformací při zkouškách betonových trámek

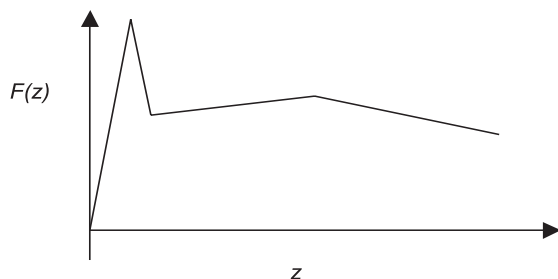
Ing. Alena KOHOUTKOVÁ, CSc.  
 prof. Ing. Vladimír KŘÍSTEK, DrSc.  
 ČVUT – Fakulta stavební  
 Praha

Při zkouškách betonových a vláknobetonových prvků se běžně nerespektuje vliv smykových deformací na přetvoření. V článku je zhodnocen tento vliv a poukazuje se na jeho závažnost a důsledky.

Jednou z klasických zkoušek pro stanovení základních materiálových charakteristik betonu (počínaje hodnotou počátečního modulu pružnosti až po inverzní analýzu pro určení celého pracovního diagramu materiálu) je zkouška trámek zatížených příčnými břemeny. Typické uspořádání této zkoušky je ukázáno na obr. 1a – prostý nosník je zatížen dvěma silami  $F$  ve třetinách rozpětí. Ohybové momenty (obr. 1b) mají ve střední třetině rozpětí konstantní velikost, posouvající síly vznikají jen v krajních třetinách.



Obr. 1. Schéma zatěžovací zkoušky v tahu za ohybu  
 a – uspořádání břemen, b – průběh ohybových momentů



Obr. 2. Závislost mezi zatěžovací silou a průhybem ze zatěžovací zkoušky vláknobetonu – idealizovaný tvar

Typickým výsledkem takové zkoušky je získání závislosti mezi průhybem  $z$  a působící silou  $F(z)$ , příklad grafu je uveden na obr. 2. Při vyhodnocování těchto zkoušek se často

ignoruje vliv smykových deformací na průhyb; tento vliv však není zanedbatelný a jeho respektování nemusí být složitě ani v pozdějších stádiích zkoušky.

Nosník se v průběhu zkoušky postupně deformuje, nejprve je celý v režimu, pro který lze přijmout idealizaci lineární pružnosti. V dalším průběhu zkoušky je dosaženo stavu, kdy právě v celém rozsahu střední části je tento režim překročen, krajní části však zůstávají v režimu lineární pružnosti (obr. 1b). Překročení režimu lineární pružnosti ve střední třetině rozpětí dovoluje pokračovat v přetváření této části, doprovázené však poklesem zatížení (obr. 2). Proto krajní části jsou odlehčovány, a tudíž lze o nich přibližně předpokládat, že i nadále zůstávají v režimu lineární pružnosti.

Proto pro část průhybu středu rozpětí trámku vyvolanou smykovými deformacemi, a to v průběhu celé zkoušky, platí

$$z_{sm} = \kappa F(z) a / G s^2 = 2(1 + \nu) \kappa F(z) a / E s^2, \quad (1)$$

kde  $E$  je modul pružnosti materiálu;

$G$  – modul pružnosti materiálu pro smykové namáhání;

$s$  – délka strany čtvercového průřezu trámku;

$\kappa$  – součinitel vlivu nerovnoměrného rozložení smykových napětí v průřezu na smykové deformace (pro obdélníkový průřez je  $\kappa = 1,2$ );

$\nu$  – Poissonovo číslo (předpokládá se hodnotou 0,2).

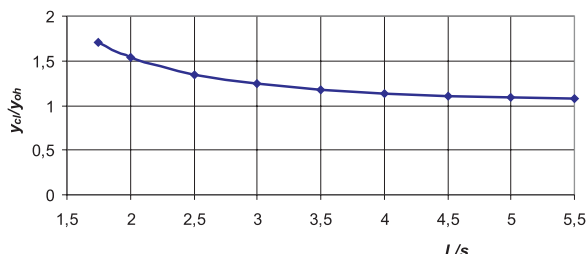
Po úpravě dostáváme

$$z_{sm} = 2,88 \frac{F(z) a}{E s^2}. \quad (2)$$

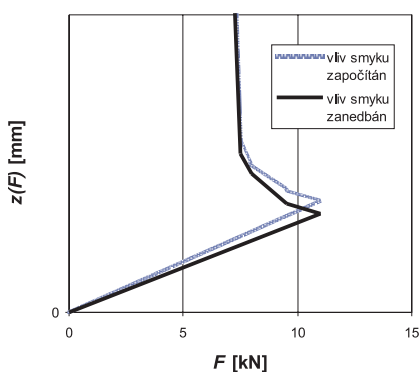
Význam vlivu smykových deformací na průhyb je možno – pro jednoduchost – dokumentovat poměrem průhybu stanoveného s respektováním smyku a průhybu vyvolaného jen ohybovými účinky při působení v lineárním režimu (obr. 3, kde  $l$  je rozpětí trámku, obr. 1a). Z obrázku 3 tak plyne, že pro typické rozměry zkušebního trámku  $l = 600$  mm a  $s = 150$  mm dochází při ignorování smykových deformací k podcenění průhybu zhruba o 16 %, což jistě není zanedbatelné. Ze vztahu (2) je zřejmé, že složka průhybu středu rozpětí trámku vyvolaná smykovými deformacemi je úměrná smykové síle  $F(z)$  působící v krajních třetinách délky rozpětí trámku.

Význam složky průhybu středu rozpětí trámku vyvolané smykovými deformacemi lze ukázat na obr. 4, který je „inverzní“ proti obr. 2, tj. k zatěžující síle  $F$  vynásíme příslušné průhyby  $z$  (šedou čarou skutečný průhyb zahrnující i smykové účinky, čárkovaně průhyb vyvolaný pouze ohybovými účinky, svislá vzdálenost mezi oběma čarami vyjadřuje složku průhybu středu rozpětí trámku  $z_{sm}$  vyvolanou smykovými deformacemi).

Význam složky průhybu středu rozpětí trámků vyvolané smykovými deformacemi však je značný, neboť jeho zanedbání vede k principiálně nesprávné interpretaci výsledků zkoušek, a tudíž k určení nesprávných hodnot modulu pružnosti (celkový průhyb je pokládán jen za projev ohybového namáhání).



Obr. 3. Poměr průhybu s respektováním smykových deformací k průhybu vyvolanému pouze ohybem v závislosti na rozpětí a výšce nosníku



Obr. 4. Vliv smyku na velikost průhybu

Závěrem nutno konstatovat, že jen při respektování vlivu smyku lze správně provést inverzní analýzu pro určení celého pracovního diagramu materiálu, a vyhnout se tak stanovení nesprávných hodnot i dalších materiálových charakteristik.

Uvedené výsledky byly získány v rámci řešení grantových projektů č. 103/03/0838, 103/02/1005 a 103/02/1161 GA ČR.

#### Literatura

[1] ČSN 73 6174 Stanovení modulu pružnosti a přetvárnosti betonu ze zkoušky v tahu ohybem. ČSN, 1994.

Kohoutková, A. – Křístek, V.: The Importance of Shear Deformations in Concrete Square Tests

In the tests of concrete and fibre reinforced concrete specimens shear deformations are often neglected when considering deflections. This paper presents assessment of shear effects, their relevance and consequences.

Kohoutková, A. – Křístek, V.: Bedeutung von Schubverformungen bei Prüfungen von Betonbalken

Bei Prüfungen von Beton- und Faserbetonelementen wird gewöhnlich der Einfluss von Schubverformungen auf die Verformung nicht respektiert. Im Artikel wird dieser Einfluss bewertet und auf seine Bedeutung und die Folgen hingewiesen.

## • dizertace



### Územní plánování v příhraniční oblasti jižních Čech a Rakouska

Ing. Kateřina Hladká

Cílem práce bylo posoudit metody vhodné pro dosažení správné strategie rozvoje příhraniční oblasti z hlediska trvale udržitelného rozvoje, lidských zdrojů atd. Jsou posouzeny oba národní přístupy k problematice. Dospívá se k názoru, že v příhraničních oblastech bude nutná koordinace dokumentů jednotlivých zemí v měřítku EU.

### Vliv výstavby a provozu Areálu obchodu Modletice na ekologickou stabilitu v povodí

Ing. Pavel Beran

Práce analyzuje vliv velké investice na životní prostředí vybraného modelového území. Autor dokládá, že nelze investici pouze pasivně posoudit, ale je nutné hledat prostředky ke zmírnění negativních vlivů a kompenzační opatření.

### Evaluation of Infiltration-Outflow Experiment Using MRI

Ing. Michal Sněhota

V práci se využívá magnetická rezonance ke sledování struktury pórovitého prostředí a pohybu vody v tomto prostředí. Doktorand sestavil unikátní měřicí aparaturu, kterou využil k měření na vybraných vzorcích. Jde o zcela novou a kvalitativně vyšší úroveň sledování pohybu vody v půdě.

### Shear Strength and Suction of Soils Under Unsaturated Conditions

Ing. Ahmad Farouk Ibrahim

Autor referuje o experimentálním zkoumání smykové pevnosti dvou různých typů zemín za nenasyčených podmínek na modifikovaném triaxiálním přístroji. K porovnání používá numerický model pro nenasyčené zeminy.

### Půdorysně zakřivené ocelobetonové mosty

Ing. Pavel Ryjáček

Předmětem práce je teoretická analýza chování půdorysně zakřivených ocelobetonových mostů. Je navržen výpočetní model ověřený modální analýzou na skutečném mostě. Z parametrické studie a teoretické analýzy je odvozena původní metoda pro hodnocení vlivu zakřivení na chování mostu.

### Vlivy vnějšího prostředí na spolehlivost a trvanlivost stavebních konstrukcí

Ing. Pavel Šůva

Dizertace sleduje aktuální problematiku účinků vnějšího prostředí na stavební konstrukce. Vychází z podrobné analýzy vlivu objemových změn materiálu na reálných konstrukcích.



# Vztah mezi obvodem u paty kmene a obvodem ve výčetní výšce

Ing. David ALBERT  
doc. Ing. Pavel ROHON, CSc.  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

**Cílem příspěvku je doplnění a upřesnění metody určení výčetního obvodu kmene pokáceného stromu především u stromů solitérních.**

## Úvod

Krajina a její dynamika se neobejde bez hodnocení jednotlivých krajinných prvků, což přináší řadu problémů. Jde zejména o hodnocení krajiny ve vztahu k její kvalitě, kde ochrana jednotlivých prvků má velký význam pro kvalitu celého systému. Problematikou se zabývá řada autorů s větším či menším úspěchem. Z poslední doby lze uvést například snahy o klasifikaci krajinného systému [1] nebo problémy související s revitalizací krajiny [2], [3], [4].

V roce 1992 vstoupil v platnost zákon 114/92 Sb., o ochraně přírody a krajiny [11], na který navazuje vyhláška Ministerstva životního prostředí České republiky (MŽP ČR) č. 395/1992 Sb. [12]. Stanoví, že povolení ke kácení není nutné u dřevin rostoucích mimo les za předpokladu, že tyto nejsou významným krajinným prvkem a jsou splněny ostatní podmínky dané zákonem či jinými právními předpisy, mají-li tyto dřeviny obvod kmene měřený ve výšce 130 cm ( $o_{1,3}$ ) nad zemí do 80 cm. V praxi orgánů státní správy ochrany přírody a v soudním znaleství dochází velmi často k situaci, kdy je třeba zjistit rozměry pokáceného stromu, jehož kmen již není k dispozici, a to v rámci přestupkového, popř. trestního řízení ve smyslu zákona [11] a prováděcí vyhlášky [12].

Pro dodatečné určení výčetního obvodu kmene je proto nutno znát vztah mezi výčetním obvodem  $o_{1,3}$  (tj. obvodem měřeným 130 cm nad zemí) a obvodem pařezu, aby bylo možné již z obvodu pařezu jasně stanovit výčetní obvod s potřebnou přesností. Toto je nutné zejména v pásmu hraničícím s mírou obvodu kmene, která je rozhodující ve smyslu předpisů (tj. 80 cm). Otázka určení výčetního obvodu ( $o_{1,3}$ ), popř. průměru ( $d_{1,3}$ ), je aktuální především u stromů rostoucích mimo les, zejména stromů solitérních. V porostech dřevin je závislost mezi mírou na úrezně ploše a ve výčetní výšce jednodušší, protože lze vycházet z výtvarnice.

Článek uvádí některé výstupy z vědeckovýzkumné práce v oblasti metod hodnocení dynamiky a kvality krajiny, zejména stanovení vztahu mezi obvodem měřeným u paty kmene v místech, kde bývá nejčastěji uříznut, tedy ve výšce pařezu, a obvodem ve výčetní výšce, tj. 1,3 m nad zemí u jedinců rostoucích solitérně nebo v malých skupinkách, které nemají charakter porostu druhu bříza bílá (*Betula verrucosa* Ehr.), jasan ztepilý (*Fraxinus excelsior* L.), javor klen (*Acer pseudoplatanus* L.), javor mleč (*Acer platanoides* L.), lípa malolistá (*Tilia cordata* Mill) a smrk ztepilý (*Picea abies* Karst.). Stanovením závislosti mezi výčetním obvodem ( $o_{1,3}$ ) a obvodem pařezu ve výšce 10 a 15 cm nad zemí, což jsou nejčastější úrezné výšky ( $o_{0,10}$  a  $o_{0,15}$ ), lze zpětně určit, zda nebylo porušeno ustanovení vyhlášky [12]. Pro

řízení přestupkové či trestní pak musí být vyslovena určitá přesnost, tedy pravděpodobnost, se kterou se výčetní průměr nebo výčetní obvod stanoví, což v podstatě určí s velkou jistotou, zda byla povolená míra překročena.

## Řešení

Řešení problému bylo zahájeno na základě:

- dat získaných při terénním šetření na území ČR,
- matematicko-statistické analýzy dat jednotlivě pro každý druh dřevin:
  - testování normality rozdělení všech studovaných souborů,
  - zjištění závislosti dvou veličin regresní metodou a stanovení intervalů spolehlivosti,
  - testu významnosti koeficientu korelace;
- c) výsledků shrnutých do tabulkové podoby pro snadné využití v praxi.

Základní jednotkou sledovaného souboru byly vybrané druhy dřevin rostoucí osamoceně (solitérně), ve stromořadích, v alejích a v malých skupinkách s volným zápojem tak, že se mohou volně vyvíjet a plně projevit osobitý charakter, nemajíce charakter porostu po celém území Čech, které jsou zákonem [11] definovány v § 3, odstavec g) jako stromy či keře rostoucí jednotlivě i ve skupinách ve volné krajině i v sídelních útvarech na pozemcích mimo lesní půdní fond. Výběr stromů pro šetření byl náhodný, přičemž výjimečně tvarované kmeny byly vypuštěny. Za výjimečné tvary byly považovány stromy s mimořádně svalcovitým kmenem či se shluky spících pupenů tvořícími boule na spodní části kmene či ve výčetní výšce.

## Terénní šetření

### Zjištění výšky úrezné plochy

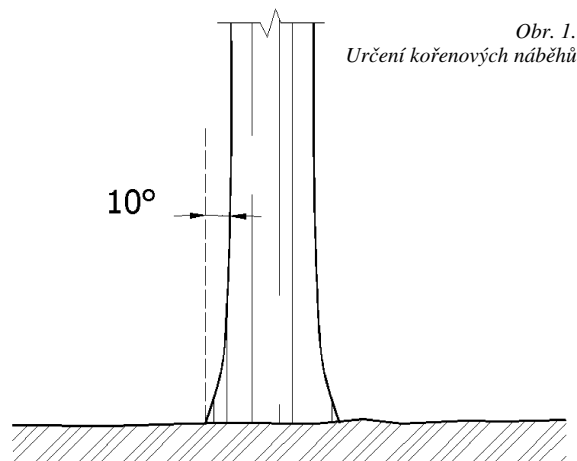
Bylo provedeno u cca 300 pařezů ve volné krajině i v sídelních útvarech. Výsledkem bylo zjištění, že výška úrezné plochy je minimálně 10 cm nad zemí, a to vzhledem k technické proveditelnosti řezu.

### Vlastní měření obvodu

Probíhalo v mimolesních lokalitách v Čechách v různé nadmořské výšce, a to jak ve volné krajině, tak v intravilánu, ve výšce 10 cm ( $o_{0,10}$ ) a ve výšce 15 cm ( $o_{0,15}$ ), a k této naměřené veličině byl vztažen obvod odečtený ve výšce 130 cm nad zemí ( $o_{1,30}$ ). Do šetření byly pojaty stromy, jejichž obvod kmene ve výšce 130 cm nad zemí ( $o_{1,3}$ ) je z intervalu <60 až 100>. Tento interval byl zvolen proto, že pro rozhodování je důležitá mezní hodnota, tj.  $o_{1,3} = 0,80$  m. Byly zahrnuty pouze stromy s jedním kmenem a s korunou nasazenou ve výšce nad 130 cm od země. Zvláště se posuzovaly stromy, které se vyskytovaly ve svahu nebo v rovině, a to vzhledem k asymetrii tvaru kmene. Za rovinu je považován terén se sklonem 0 až 8 %,  $o_{1,3} = 0,80$  m.

Soliterní jedinci jsou ve většině případů s kořenovým náběhem, nebo bez náběhu. Rozhodujícím faktorem je úhel mezi tečnou náběhu a svislicí. Za stromy bez náběhu lze považovat takové jedince, jejichž mezní úhel  $\alpha$  nepřesahuje hodnotu 10 (obr. 1). U každého druhu se tedy určuje, zda jde o stromy rostoucí:

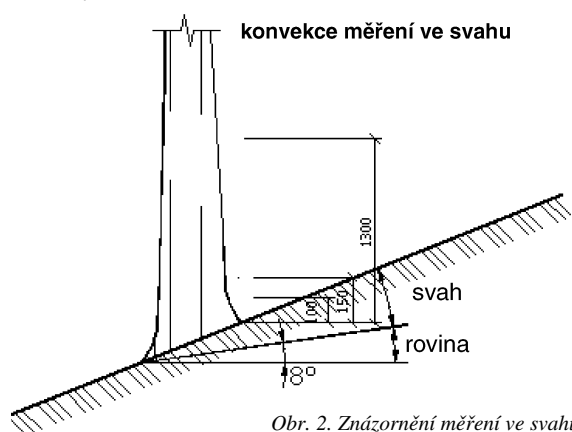
- na rovině s kořenovým náběhem,
- na rovině bez kořenového náběhu,
- na svahu s kořenovým náběhem,
- na svahu bez kořenového náběhu.



Výjimkou je smrk ztepilý (*Picea abies*), u něhož se nevyskytují jedinci bez kořenových náběhů, což je dáno stavbou povrchového kořenového systému. V takto určených základních souborech byl proveden prostý náhodný výběr.

### Technika a pomůcky měření

Na stromy rostoucí ve svahu se vztahuje konvence, podle níž se obvod měří ze strany přivrácené ke svahu, odkud se určuje měřická výška (obr. 2). Hodnoty se zjišťovaly ve stanovených výškách ocelovým pásmem s přesností na 1 mm. Pro stanovení výšky měření byla použita měřicí lať s vyznačenou výškou 10, 15 a 130 cm.



### Vyhodnocení a zpracování výsledků

Ke zpracování a vyhodnocení výsledků byla použita matematická a statistická analýza podporovaná počítačovým softwarem Microsoft Word, Microsoft Excel, Microsoft Visual FoxPro a Statgraphics. U souborů naměřených hodnot bylo nejprve provedeno základní statistické šetření. Data obsažená v těchto souborech byla nasbírána při přímém terénním šetření [6], [7], [8]. Byly vypočteny koefi-

cienty korelace, které se ve všech souborech pohybovaly v rozmezí  $r = 0,8187$  až  $0,9600$ .

### Diskuze

Bylo přihlédnuto k rozdílům ve tvaru kmene u dřevin rostoucích soliterně, ve stromořadích, alejích a malých skupinách s volným zápojem a dřevin rostoucích v porostu vzhledem ke změnám konkurenčních a fyzikálních vlastností prostředí. Určení závislosti mezi mírou na pařezu a ve výčetní výšce je v lesních porostech poměrně jednodušší, protože se může vycházet z výtvarnice, tj. veličiny, která vyjadřuje koncentrovanou formou válcem s průměrem a výškou shodnými s rozměry měřenými na kmene stromu [9]. Výtvarnice může být:

- absolutní, vztažená ke kruhové ploše u paty kmene (popř. k úřezové ploše pařezu);
- nepravá, vztažená ke kruhové ploše ve výčetní výšce (tj. 1,3 m nad zemí);
- pravá, vztažená ke kruhové ploše v 1/10 výšce stromu.

Pro lesní porosty s jednodušší a menší proměnlivostí ve tvaru kmene je možno pomocí výtvarnice absolutní určit na základě znalosti plochy řezu na pařezu hmotu odříznutého stromu a z ní odvodit její výčetní průměr. V obecně platných tabulkách je stanovována hmota stojícího stromu jako funkce kruhové plochy ve výčetní výšce a výšky stromu, která v porostech u stromů stejně starých je přibližně stejná. Zde se pak dá jednoduše určit výčetní průměr nebo výčetní obvod.

Jiná situace nastává u samostatně stojících jedinců. V důsledku velkého zatížení tlakem větru musí strom vytvořit specifické statické situace, aby se zabezpečil. Z teoretického hlediska jde o vetknutý nosník (krakorec) a panují zde, zjednodušeně řečeno, vztahy

$$M = F \cdot A \cdot h,$$

kde  $M$  je ohybový moment,

$F$  - síla větru,

$A$  - plocha koruny stromu vystavená větru,

$H$  - vzdálenost těžiště koruny od zvoleného průměru.

Zároveň však platí, že ohybový moment

$$M' = R_{fd} \cdot W,$$

kde  $M'$  je ohybový moment,

$R_{fd}$  - výpočtová pevnost dřeva v ohybu,

$W$  - průřezový modul kruhu  $\pi d^3/32$ .

Když  $M = M'$ , pak platí  $F \cdot A \cdot h = R_{fd} \cdot W$  a můžeme určit, jak by měl vypadat kmen ve vztahu k síle větru  $F$ . Po dosazení určíme-li, že

$$R_{fd} \frac{\pi}{32} = k,$$

pak platí

$$F = \frac{R_{oi} \cdot W}{A \cdot h} = \frac{d^3}{A \cdot h} \cdot k.$$

Z toho, co bylo uvedeno, platí, že strom má tím níže položený nebezpečný průřez, čím má mohutnější a větší korunu, která má logicky níže své těžiště. Aby se stabilizoval, vytváří zároveň mohutnou kořenovou soustavu ve většině případů s mohutnějšími kořenovými náběhy, čímž se zásadně liší od stromů rostoucích v porostu, které ve srovnání se stejně starými jedinci téhož druhu mají kmen jinak formo-

Tab. 1. Minimální obvod [cm] úřezné plochy na pařezu

Dřevina	Rovina				Svah			
	bez kořenových náběhů		s kořenovými náběhy		bez kořenových náběhů		s kořenovými náběhy	
	$o_{10}$	$o_{15}$	$o_{10}$	$o_{15}$	$o_{10}$	$o_{15}$	$o_{10}$	$o_{15}$
bříza bílá ( <i>Betula verrucosa</i> Ehr.)	–	–	134	128	116	114	126	117
jasan ztepilý ( <i>Fraxinus excelsior</i> L.)	111	108	122	116	112	109	129	124
javor klen ( <i>Acer pseudoplatanus</i> L.)	101	99	113	110	101	99	114	111
javor mleč ( <i>Acer platanoides</i> L.)	102	100	118	111	101	99	112	107
lípa malolistá ( <i>Tilia cordata</i> Mill.)	113	111	125	117	107	93	117	109
smrk ztepilý ( <i>Picea abies</i> Karst.)	–	–	150	130	–	–	134	120

ván s menším, nebo dokonce téměř žádným kořenovým náběhem. Z toho vyplývá, že u jedinců rostoucích mimo les je skutečně nutné provést šetření a stanovit experimentálně závislosti.

### Závěr

Pomocí určených závislostí jsou vytvořeny podklady, pomocí nichž se dá orientačně, přesto však s větší přesností než na základě tzv. kvalifikovaného odhadu určit, zda byly dodrženy podmínky stanovené pro kácení dřevin volně rostoucích mimo les [11], [12].

Regresní metoda prokázala přímou lineární závislost mezi výčetním obvodem měřeným ve výšce 130 cm nad zemí a obvodem měřeným u paty kmene (10, 15 cm) u všech sledovaných druhů dřevin. Interval spolehlivosti pro jednotlivá pozorování byl sestaven a vyjádřen číselně ve výsledných tabulkách. Testem významnosti koeficientu korelace se potvrdil předpoklad těsnosti daného vztahu, neboť všechny koeficienty vypočtené z jednotlivých výběrů byly na zvolené hladině významné.

Interpretace výsledků je uvedena v tab. 1. Je možno ji používat s tím, že zjednodušuje získané výsledky pro praktickou potřebu. V tabulce jsou hodnoty vztahované k obvodu úřezné plochy, kde je s vysokou pravděpodobností překročen obvod kmene ve výčetní výšce ( $o_{1,3}$ ) tak, že je větší než 80 cm pro vybrané druhy dřevin. Představují pomůcku pro praxi, kde se dosud postupovalo při odvození výčetního rozměru ( $d_{1,3}$  nebo  $o_{1,3}$ ) pouze kvalifikovaným odhadem a ve většině případů se výčetní průměr odvodil od průměru na úřezné ploše pařezu zmenšený o 10 až 15 %.

Článek vznikl v rámci grantu č. 103/03/0639 GA ČR „Stavební činnost a revitalizace krajiny“.

### Literatura

- [1] Hykšová, K.: Metoda hodnocení dynamiky krajiny – klasifikace krajinných systémů. *Stavební obzor*, 8, 1999, č. 8, s. 243–245.
- [2] Kočík, K. – Vráblíková, J.: Revitalizace zemědělské krajiny. *Acta Universitatis Purkynianae* 49, *Studia Oecologica* VII – Ekologické formy hospodaření v krajině. UJEP, Ústí nad Labem, 1999, s. 47–53.
- [3] Vráblíková, J. – Vráblík, P.: Imisní zátěž agroekosystémů v severních Čechách. *Acta Universitatis Purkynianae* 49, *Studia Oecologica* VII- Ekologické formy hospodaření v krajině. UJEP, Ústí nad Labem, 1999, s. 62–68.
- [4] Vráblíková, J. – Vráblík, P.: Pozemkové úpravy a jejich vliv na revitalizaci krajiny. [Sborník], mezinárodní konference „EKOTREND – trvale udržitelný rozvoj – cesta do 3. tisíciletí“, Jihočeská univerzita, České Budějovice, 2000, s. 48–52.
- [5] Wonnacott, R. – Wonnacott, T.: Úvod do statistiky pro ekonomiku a podnikání (překlad z amerického originálu). Praha, Victoria Publishing 1992.
- [6] Nikodýmová, L.: Vztah mezi obvodem měřeným u paty kmene a obvodem ve výčetní výšce (130 cm) u vybraných druhů dřevin rostoucích mimo les: *Acer platanoides* L. a *Acer pseudoplatanus* L. [Diplomová práce], UJEP, Ústí nad Labem, 1998, 51 s.
- [7] Podrápský, L.: Vztah mezi obvodem měřeným u paty kmene a obvodem ve výčetní výšce (130 cm) u vybraných druhů dřevin rostoucích mimo les: *Betula verrucosa* Her., *Fraxinus excelsior* L. [Diplomová práce], UJEP, Ústí nad Labem, 1998, 47 s.
- [8] Radovnický, O.: Vztah mezi obvodem měřeným u paty kmene a obvodem ve výčetní výšce (130 cm) u vybraných druhů dřevin rostoucích mimo les: *Tilia cordata* Mill., *Picea abies* Karst. [Diplomová práce], UJEP, Ústí nad Labem, 1998, 42 s.
- [9] Kolektiv: Lesnický slovník naučný – díl II. Praha, Ministerstvo zemědělství 1995, s. 681.
- [10] Zvára, K.: Regresní analýza. Praha, Academia 1989.
- [11] Zákon 114/92 Sb., o ochraně přírody a krajiny.
- [12] Vyhláška MŽP ČR č. 395/1992 Sb.

Albert, D. – Rohon, P.: The Relation Between the Perimeter at the Trunk Foot and the Perimeter at the Breast Height

This contribution aims at developing and specifying the assessment method of the breast perimeter of cut down trees, particularly solitary trees.

Albert, D. – Rohon, P.: Beziehung zwischen Stammumfang am Stammfuß und dem Umfang in Brusthöhe

Ziel des Beitrags ist die Ergänzung und Präzisierung der Methode – Bestimmung des Brusthöhenumfangs des Stamms des gefälltten Baumes, vor allem bei Solitärgehölzen.

# Mechanické, vlhkostní a tepelné vlastnosti vápenných omítek s pucolánovými přísadami

RNDr. Vratislav TYDLITÁT, CSc.

Ing. Aleš KUNCA

RNDr. Jaroslava DRCHALOVÁ, CSc.

Ing. Milena JIŘIČKOVÁ, PhD.

prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.

ČVUT Praha – Fakulta stavební

doc. RNDr. Pavla ROVNANÍKOVÁ, CSc.

VUT Brno – Fakulta stavební

V článku jsou uvedeny pevnosti v tahu za ohybu a v tlaku, sorpční izotermy, retenční křivky vlhkosti, součinitel difúze vodní páry, vlhkostní absorpční součinitel, součinitel vlhkostní vodivosti, součinitel teplotní a vlhkostní délkové roztažnosti, součinitel tepelné vodivosti a měrná tepelná kapacita tří vápenných omítek s pucolánovými přísadami. Porovnávací měření jsou provedena též na běžné vápenné omítce. Na základě experimentů lze konstatovat, že vápenné omítky s pucolánovými přísadami rozšiřují možnosti provádění povrchových úprav zdíva rekonstruovaných historických staveb.

omítky s přísadou metakaolinu, které v práci [3] nebyly uvedeny.

## Metody měření

### Základní vlastnosti a mechanické vlastnosti

Z hmotnosti vodou nasyceného vzorku  $m_v$  a hmotnosti ponořeného vodou nasyceného vzorku, tzv. Archimédovy hmotnosti  $m_a$ , byl nejprve vypočítán objem vzorku  $[m^3]$  podle rovnice

$$V = \frac{m_v - m_a}{\rho_v}, \quad (2)$$

kde  $\rho_v$  je hustota vody. Základní vlastnosti, jakými jsou nasycená vlhkost  $w_c$   $[kg\ m^{-3}]$ , objemová hmotnost  $\rho$  a hustota materiálu  $\rho_{mat}$ , byly pak určeny z rovnic

$$w_c = \psi_0 \rho = \frac{m_v - m_s}{V}, \quad (3)$$

kde  $m_s$  je hmotnost suchého vzorku,  $\psi_0$  otevřená porozita materiálu, definovaná jako poměr objemu otevřených pórů v materiálu k celkovému objemu tohoto materiálu  $[kgm^{-3}]$ ,

$$\rho = \frac{m_s}{V}, \quad (4)$$

$$\rho_{mat} = \frac{m_s}{V(1 - \psi_0)}. \quad (5)$$

Z mechanických vlastností pevnosti v tlaku a v tahu za ohybu byly stanoveny na zkušebním lisu MTS 500 kN standardním postupem.

### Vlhkostní vlastnosti

Měřenými parametry byly součinitel difúze vodní páry, sorpční izoterma, retenční křivka vlhkosti, vlhkostní absorpční součinitel, součinitel vlhkostní vodivosti a součinitel vlhkostní délkové roztažnosti.

Měření součinitele difúze vodní páry bylo provedeno metodou bez teplotního spádu, založenou na jednorozměrném šíření vodní páry vzorkem, která spočívá v měření difúzního toku vodní páry prošlé vzorkem při znalosti parciálních tlaků vodní páry ve vzduchu pod měrným povrchem vzorku a nad ním [4]. Vzorek je vzduchotěsně upevněn v misce naplněné roztokem se známou relativní vlhkostí. Miska se vzorkem se periodicky váží a zjištěné úbytky či přírůstky hmotnosti se vynesou v závislosti na době vážení do grafu. Po dosažení přímkového charakteru křivky se měření pokládá za ukončené. Součinitel difúzní propustnosti vodní páry  $\delta$   $[s]$  se vyhodnocuje podle vztahu

$$\delta = \frac{\Delta m \cdot d}{S \cdot \tau \cdot \Delta p_p}, \quad (6)$$

## Úvod

Vápno získané žháním vápence při cca 1 000 °C tvoří po vyhašení základní pojivo vápenných omítek, které působením vzdušného kyslíčnicku uhličitého podle rovnice



tvoří uhličitán vápenatý v procesu karbonatace. Kyslíčnick uhličitý ve vzduchu má relativně velmi nízkou koncentraci 0,04 obj. % [1] a jen vysoká porozita omítek umožňuje dostatečný přísun kyslíčnicku uhličitého potřebného k proběhnutí reakce. Deterministický model popisující karbonataci vápenné omítky je popsán v [2].

Na kamenném a smíšeném zdivu historických staveb vysychá malta pomalu a nárůst pevnosti omítky tomu odpovídá. Proto je žádoucí používat malty, které jsou z hlediska konstrukce historických staveb přijatelné, ale vykazují další chemizmus tvrdnutí tvorbou hydratovaných vápenatých silikátů nebo alumosilikátů. Pro omítkové úpravy byly před více než tisíci lety v Itálii používány minerální přísady nazývané podle městečka Pozzolana. Tyto vulkanické popílky, drcené pemzy či spongilit se ovšem v oblasti střední Evropy nevyskytují. Proto se hledají alternativy v podobě látek dostupných v České republice, které by umožnily navrhnout další druhy vápenných omítek s pucolánovými přísadami, vhodné k použití v exteriéru i interiéru historických staveb, a zaručovaly delší trvanlivost a lepší vlastnosti než často používané omítky vápenné.

V první etapě práce [3] byla popsána úvodní měření tepelných a vlhkostních parametrů vápenné omítky s přísadou metakaolinu, jež má pucolánové vlastnosti. Tento článek popisuje pokračování experimentálních prací a navazuje na dosažené výsledky. Jeho předmětem je analýza základních mechanických, vlhkostních a tepelných vlastností vápenných malt s přísadou mleté cihelné moučky a mletého smaltového skla. Jsou též doplněny další parametry vápenné

kde  $\Delta m$  je množství páry difundující vzorkem [kg],  $d$  je tloušťka vzorku [m],  $S$  je plocha vzorku ve styku s daným prostředím [m<sup>2</sup>],  $\tau$  je období korespondující s transportem hmotnosti vodní páry  $\Delta m$  [s] a  $\Delta p_p$  je rozdíl parciálních tlaků vodní páry ve vzduchu nad měrným povrchem vzorku [Pa] a pod ním.

Za izotermních podmínek platí následující vztah mezi součinitelem difúze vodní páry  $D$  [m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>] a součinitelem difúzní propustnosti  $\delta$

$$D = \delta RT/M, \quad (7)$$

kde  $R$  je univerzální plynová konstanta,  $T$  absolutní teplota a  $M$  molární hmotnost vody.

Ve stavební praxi se nejčastěji používá faktor difúzního odporu [-]

$$\mu = D_a/D, \quad (8)$$

kde  $D_a$  je součinitel difúze vodní páry ve vzduchu [m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>].

Měření adsorpčních izoterm probíhalo v laboratorních podmínkách při průměrné teplotě 23 °C. Vzorky byly umístěny v exsikatorech s různými solnými roztoky, nad kterými se vytvářela známá konstantní vlhkost vzduchu. Na počátku byly všechny vzorky vysušené. Měření se provádělo paralelně ve všech exsikatorech vždy pro tři vzorky omítky. Hmotnost vzorků se sledovala až do ustálení, a potom byla vypočtena vlhkost ve vzorcích.

Pro měření retenčních křivek byla použita metoda „pressure plate“. Měřicí zařízení sestává z kompresoru, panelu s manometry a regulátory tlaku, extrakční nádoby a keramických desek [5]. Kapilárně vodou nasycené vzorky jsou umístěny do extrakční nádoby na keramickou desku, kterou pokrývá kaolínová pasta a velmi jemně strukturovaná látka. Nádoba je uzavřena těsníci šrouby a v rozsahu, který umožňuje keramická deska, je aplikován zvolený tlak. Z nádoby hadicí odtéká vytlačená kapalina do byrety, ve které je v okamžiku ustavení rovnováhy ustálená hladina kapaliny. Experiment je v tomto okamžiku zastaven, nádoba otevřena a vzorky zváženy. Dále se postupuje stejným způsobem za postupného zvyšování tlaku. Z hmotnosti vzorků při každém tlaku je vypočítána hodnota vlhkosti a sestrojena retenční křivka závislosti vlhkosti materiálu na aplikovaném tlaku.

Retenční křivky se měřily v klimatizované laboratoři při teplotě 24 až 28 °C a 44 až 46 % relativní vlhkosti, okolní tlak kolísá mezi 990 až 1 007 mbary. Aplikován byl tlak od 0,4 do 10,0 barů vždy v rozsahu dané keramické desky.

Měřicí aparatura pro stanovení vlhkostního absorpčního součinitele sestává z nádoby na vodu, nad níž se na kovové konstrukci zavěsí na automatickou digitální váhu vzorek s parotěsně a vodotěsně izolovanými bočními stěnami [6]. Vzorek se ponoří asi 1 až 2 mm pod hladinu v nádobě. Automatické váhy připojené k počítači pomocí programu vytvořeného speciálně pro toto měření zaznamenávají časový průběh navlhání vzorku. Program umožňuje libovolné nastavení intervalů pro odečtení aktuální hmotnosti vzorku. Z naměřených hodnot se sestrojí závislost kumulativního obsahu vlhkosti (na jednotku plochy)  $I$  na odmocnině z času  $t$ , ze které se pomocí lineární regrese přímo určí vlhkostní absorpční koeficient  $A$  [kg/m<sup>2</sup>s<sup>1/2</sup>] podle vztahu

$$I = At^{1/2}. \quad (9)$$

Průměrnou hodnotu součinitele vlhkostní vodivosti  $\kappa$  [m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>] lze vypočítat dle teorie uvedené v [7] na základě vlhkostního absorpčního součinitele  $A$  pomocí rovnice

$$\kappa \approx \left( \frac{A}{w_c - w_0} \right)^2, \quad (10)$$

kde  $w_c$  je nasycená vlhkost [kgm<sup>-3</sup>] a  $w_0$  je počáteční vlhkost [kgm<sup>-3</sup>].

Metoda měření součinitele vlhkostní vodivosti v závislosti na vlhkosti na základě naměřených vlhkostních profilů byla podrobně popsána v práci [3], proto zde její popis nebudeme opakovat. Chtěli bychom pouze poznamenat, že k měření vlhkostních profilů byla použita kapacitní metoda [8] a vyhodnocení vlhkostních profilů bylo provedeno nestacionární metodou [9].

Součinitel vlhkostní délkové roztažnosti  $\alpha_u$  [% kg/kg<sup>-1</sup>] byl určen na základě měření rozdílu délek suchého a vlhkostí nasyceného vzorku  $\Delta l$  při konstantní teplotě pomocí vztahu

$$\alpha_u = \frac{1}{l_{0,u}} \frac{\Delta l}{\Delta u}, \quad (11)$$

kde  $l_{0,u}$  je délka při referenční vlhkosti (zde nulová vlhkost) a  $\Delta u$  je rozdíl vlhkostí nasyceného a suchého vzorku [% kg/kg]. Délky byly měřeny Zeissovým komparátorem s citlivostí 0,0005 mm.

### Tepebné vlastnosti

K určení měrné tepelné kapacity [Jkg<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>], objemové tepelné kapacity [Jm<sup>-3</sup>K<sup>-1</sup>] a součinitele tepelné vodivosti [Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>] v závislosti na vlhkosti byly použity metody popsané v práci [3]. Součinitel teplotní délkové roztažnosti  $\alpha_T$  [K<sup>-1</sup>] byl určen měřením délky při dvou teplotách a vypočten ze vztahu

$$\alpha_T = \frac{1}{l_{0,T}} \frac{\Delta l}{\Delta T}, \quad (12)$$

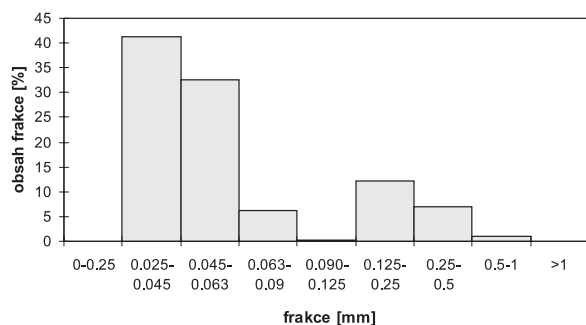
kde  $l_{0,T}$  je délka při vztažné teplotě (25 °C), délková změna  $\Delta l$  je rozdíl délek vzorku při teplotách 105 a 25 °C,  $\Delta T$  je příslušný rozdíl teplot. Délky byly měřeny dotykovým komparátorem Zeiss na vzorcích opatřených kovovými kontakty tloušťky 0,5 mm. Při teplotě 105 °C byl vzorek tepelně izolován a v tomto stavu zahříván čtyři hodiny na 105 °C v laboratorní sušárně s regulovanou teplotou. Po vyjmutí z termostatu bylo během 20 s provedeno měření komparátorem.

### Materiály a vzorky

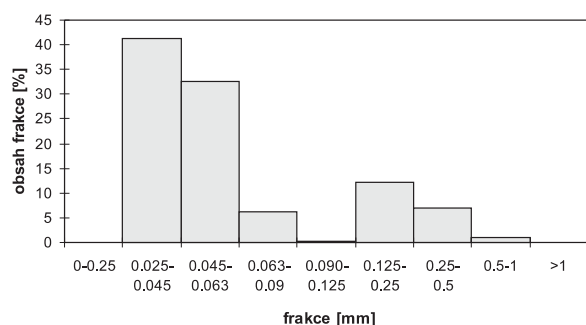
Porovnávací vápenná omítka (dále označovaná symbolem S) byla připravena smícháním hmotnostních složek vápna, písku a vody v poměru 1 : 3 : 1, vápeno-pucolánové omítky byly v poměru vápna, písku, pucolánových složek a vody 1 : 3 : 1 : 1,5. Vápenný hydrát s označením CL 90 byl z produkce CMV Mokrá. Křemenný písek z lokality Tovačov měl spojitou křivku zrnitosti v mezích 0–4 mm. Jako pucolánové přísady byly použity metakaolin (omítka P1), mletá cihelná keramika (omítka P2) a mleté smaltové sklo (omítka P3). Metakaolin v omítce P1 obsahoval 55 % SiO<sub>2</sub>, 45 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a další součásti jako CaO, MgO, TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O a K<sub>2</sub>O. Složení cihelné keramiky z Cihelen Hodonín bylo 69 % SiO<sub>2</sub>, a 25 % (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Smaltové sklo (frita) je borosilikátové sklo o složení 40 % SiO<sub>2</sub>, 20 % B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 15–20 % (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O), 2–5 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 1–3 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 1–2 % CoO, 3–6 % MnO<sub>2</sub>, 2–3 % CaO, 1–3 % CuO, výrobce Mefrit (frita pro smalt SK 863). Granulometrie pucolánových přísad je uvedena na obr. 1.

Pro určení pevnosti v tahu za ohybu a v tlaku byly použity vždy tři trámečky 40 x 40 x 160 mm, pro určení hustoty, nasákavosti, součinitele tepelné vodivosti krychle o hraně 70 mm, pro určení měrné tepelné kapacity jsme použili zlomky hranolů 40 x 40 mm o hmotnosti 80 až 150 g, pro měření vlhkostního absorpčního součinitele pět hranolů

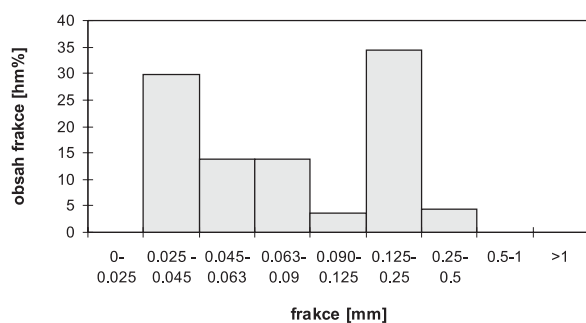
50 x 50 x 20 mm, pro měření součinitele vlhkostní vodivosti tři vzorky 20 x 40 x 296 mm, pro měření součinitele difúze vodní páry tři válcové vzorky o průměru 120 mm a výšce 20 mm, k určení sorpčních izoterem pro každou vlhkost tři hranolové vzorky 33 x 33 x 10 mm, pro určení retenčních křivek vlhkosti tři vzorky 35 x 35 x 10 mm, pro určení součinitele teplotní a vlhkostní délkové roztažnosti po třech hranolech 40 x 40 x 120 mm.



Obr. 1a. Sítový rozbor metakaolinu



Obr. 1b. Sítový rozbor mleté cihly



Obr. 1c. Sítový rozbor mletého smaltového skla

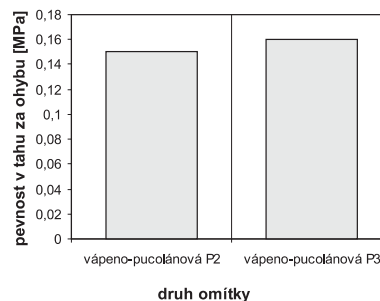
## Experimentální výsledky

### Základní a mechanické vlastnosti

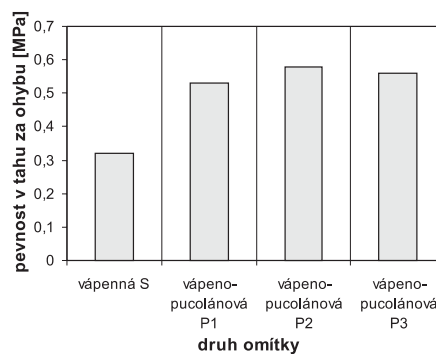
Základní vlastnosti studovaných omítek jsou uvedeny v tab. 1. Znatelný rozdíl v otevřené pórovitosti mezi omítkou P1 a ostatními zřejmě souvisí s nižší hustotou P1.

Tab. 1. Základní vlastnosti studovaných omítek

Omítka	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Otevřená porovitost [% m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]
vápenná S	1 660	34,2
vápno-pucolánová P1	1 320	45,3
vápno-pucolánová P2	1 670	33,5
vápno-pucolánová P3	1 740	32

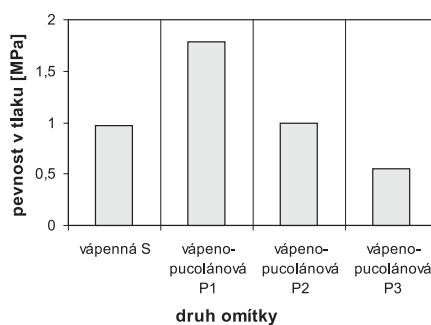


Obr. 2a. Pevnost omítek v tahu za ohybu po 7 dnech

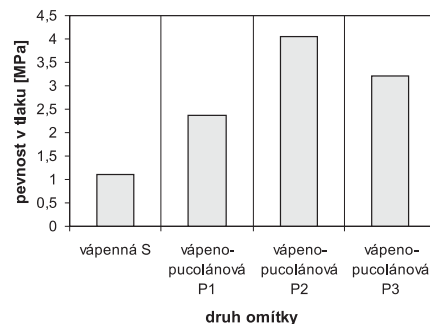


Obr. 2b. Pevnost omítek v tahu za ohybu po 28 dnech

Mechanické vlastnosti jsou uvedeny na obr. 2 a obr. 3. V sedmidenních pevnostech nebylo dosaženo až na omítku P1 významného zlepšení vlastností vlivem pucolánových přísad. Situace po 28 dnech ukázala již významnější přínos pucolánových přísad. Obrázek 3 ukazuje, že pevnost v tlaku je u vápno-pucolánové omítky P1 vyšší dvojnásobně proti vápenné omítkě, trojnásobně u vápno-pucolánové omítky P3, a téměř čtyřnásobně u omítky P2. Vedle sedmidenních a 28denních zkoušek byla určena mechanická pevnost i po delší době. Zatímco pevnost v tahu za ohybu referenční omítky S po 341 dnech byla 0,088 MPa a pevnost v tlaku 1,48 MPa, vápno-pucolánová omítka P1 dosáhla pevnosti v tahu za ohybu 0,92 MPa a 11,7 MPa v tlaku. Vápno-



Obr. 3a. Pevnost omítek v tlaku po 7 dnech



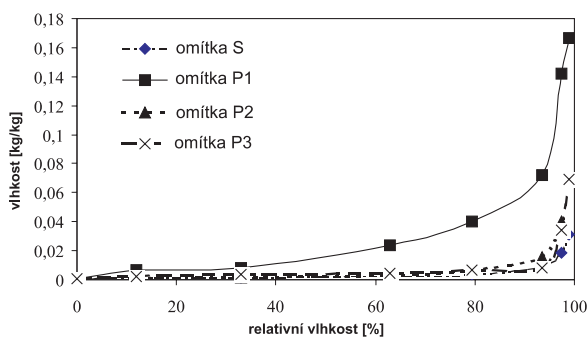
Obr. 3b. Pevnost omítek v tlaku po 28 dnech

-pucolánová omítka P2 vykazovala podobný nárůst pevnosti. Po 157 dnech dosáhla 1,16 MPa v tahu za ohybu a v tlaku 7,74 MPa.

### Vlhkostní vlastnosti

Základní vlhkostní vlastnosti studovaných omítek jsou uvedeny v tab. 2. Faktor difúzního odporu  $\mu$  vápeno-pucolánové omítky P1 byl o 20 % vyšší než u referenční omítky S. Faktor  $\mu$  pro omítky P2 a P3 byl poloviční proti faktoru referenční omítky S. Vlhkostní absorpční součinitel vápeno-pucolánových omítek byly podstatně menší než pro porovnávací omítku S, pro P2 a P3 šlo o 20–30% pokles, 50% pokles pro P1. Tomu pak odpovídaly i hodnoty průměrných součinitelů vlhkostní vodivosti vypočtených podle vztahu (10). Na druhé straně součinitele vlhkostní délkové roztažnosti všech vápeno-pucolánových omítek vzrostly asi dvojnásobně ve srovnání s omítkou S.

Obrázek 4 ukazuje průběh sorpčních izoterm vodní páry sledovaných omítek. Je zřejmé, že nejvyšší množství vodní páry adsorbuje vápeno-pucolánová omítka P1 v celém rozsahu relativní vlhkosti. Sorpční izoterm omítek P2 a P3 jsou velmi podobné izotermě porovnávací omítky S, pouze v oblasti nad 60 % relativní vlhkosti je obsah adsorbované vody poněkud vyšší pro P2 a P3 než pro S.



Obr. 4. Sorpční izoterm omítek

Na obrázku 5 jsou retenční křivky vlhkosti studovaných omítek. Nejvýše leží opět křivka odpovídající vápeno-pucolánové omítce P1, což odpovídá její nejvyšší pórovitosti. Její charakter je ovšem dosti podobný křivce omítky S,

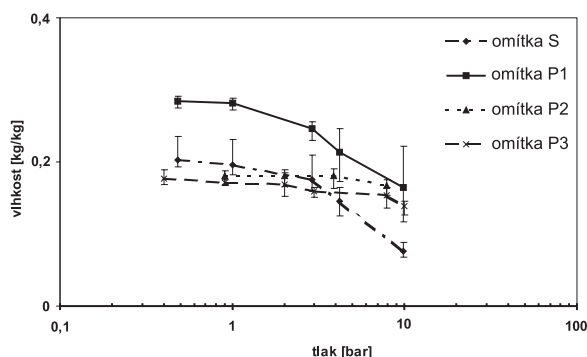
Tab. 2. Základní vlhkostní vlastnosti studovaných omítek

Omítka	Faktor difúzního odporu [-]	Součinitel		
		vlhkostní absorpční [kgm <sup>-2</sup> s <sup>-1/2</sup> ]	průměrný vlhkostní vodivosti [m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]	vlhkostní délkové roztažnosti 10 <sup>-5</sup> [% kg/kg] <sup>-1</sup>
vápenná S	15	0,241	6,86E-07	3,3
vápeno-pucolánová P1	18	0,108	7,64E-08	6,1
vápeno-pucolánová P2	8,3	0,183	3,60E-07	7,2
vápeno-pucolánová P3	9,4	0,161	3,69E-07	7,6

Tab. 3. Základní tepelné vlastnosti studovaných omítek

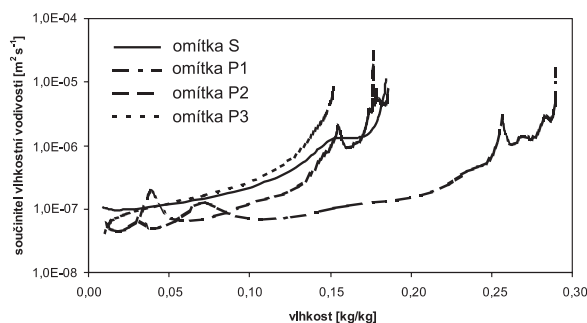
Omítka	Součinitel tepelné vodivosti [W/mK]	Měrná tepelná kapacita [J/kgK]	Součinitel teplotní délkové roztažnosti 10 <sup>-6</sup> [K <sup>-1</sup> ]
	v suchém stavu		
vápenná S	0,73	970	12,0
vápeno-pucolánová P1	0,40	1020	6,2
vápeno-pucolánová P2	0,69	980	11,0
vápeno-pucolánová P3	0,56	940	15,0

obě křivky začínají relativně rychle klesat po dosažení tlaku cca 3 bary. Retenční křivky odpovídající vápeno-pucolánovým omítkám P2 a P3 do cca 3 barů se liší jen velmi málo od referenční omítky S, ale i po překročení tohoto tlaku klesají ještě velmi pomalu. To by svědčilo o jemnější pórové struktuře ve srovnání s referenční omítkou.



Obr. 5. Retenční křivky vlhkosti omítek

Obrázek 6 ukazuje závislost součinitele vlhkostní vodivosti všech studovaných omítek na vlhkosti vypočtenou z vlhkostních profilů. Ve srovnání s údaji pro omítky S a P1 [3] jsou data v této práci přesnější v důsledku použití přesnějších metod regresní analýzy naměřených vlhkostních profilů. Vápeno-pucolánová omítka P1 vykazuje významně nižší hodnoty součinitele vlhkostní vodivosti v porovnání s ostatními omítkami, přičemž rozdíly dosahují poloviny až jednoho řádu. Rozdíly součinitelů vlhkostní vodivosti omítek P2, P3 vzhledem k omítce S jsou v rozsahu desítek pro-

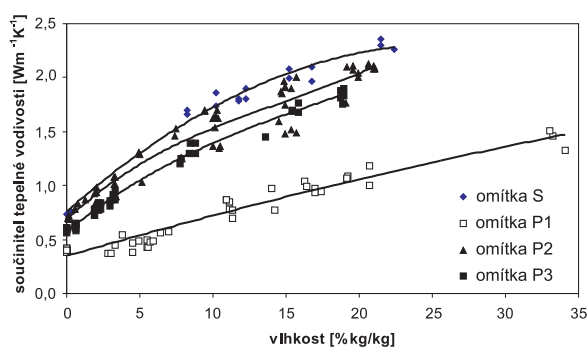


Obr. 6. Součinitel vlhkostní vodivosti omítek v závislosti na vlhkosti

cent. Porovnání hodnot součinitelů vlhkostní vodivosti závislých na vlhkosti s průměrnými součiniteli vlhkostní vodivosti, vypočtenými podle vztahu (10), ukazuje, že průměrné součinitele vlhkostní vodivosti (tab. 2) odpovídají hodnotám součinitelů vlhkostní vodivosti na obr. 5 při vlhkosti rovné cca dvěma třetinám nasycené vlhkosti.

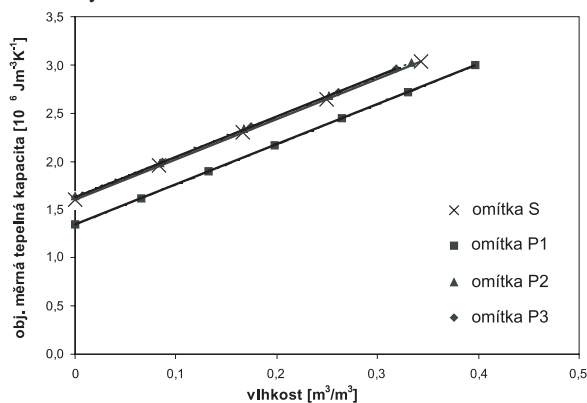
### Teplné vlastnosti

Základní tepelné vlastnosti studovaných omítek P2 a P3 jsou ukázány v tab. 3, kde pro porovnání jsou uvedeny i hodnoty pro S a P1 z práce [3]. Součinitel tepelné vodivosti vápeno-pucolánové omítky P1 je téměř poloviční proti součiniteli referenční omítky S. U omítek P2 a P3 jsou rozdíly menší. Měrná tepelná kapacita všech suchých omítek se liší o méně než 10 %. Součinitel teplotní délkové roztažnosti je pro omítku P1 poloviční proti S, pro P2 a P3 jsou rozdíly vzhledem k referenční vápenné omítce podstatně menší rozsahu 10–20 %.



Obr. 7. Součinitel tepelné vodivosti omítek v závislosti na vlhkosti

Na obrázku 7 jsou uvedeny závislosti součinitelů tepelné vodivosti sledovaných omítek na vlhkosti. Rozdíl mezi součinitelem tepelné vodivosti vápeno-pucolánové omítky P1 a ostatních tří je větší ve vlhkém než v suchém stavu. Na obrázku 8 je závislost objemové měrné tepelné kapacity na vlhkosti omítek P2 a P3 a pro porovnání jsou zde i výsledky z práce [3] pro omítku P1 a referenční S. Objemová tepelná kapacita je pro P1 asi o 18 % menší než u tří ostatních omítek, které v příslušné vlhkostní oblasti dosahují téměř identických hodnot.



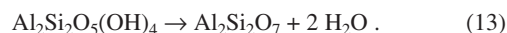
Obr. 8. Objemová měrná tepelná kapacita studovaných omítek v závislosti na vlhkosti

### Diskuze

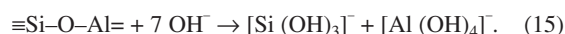
Mechanická pevnost všech studovaných vápeno-pucolánových omítek je vyšší než u porovnávací vápenné omítky. Tento pozitivní trend byl pozorován nejen při 28denních zkouškách. První výsledky dlouhodobého sledování ukazují, že v době, kdy vápenná omítka si zachovává přibližně stejné vlastnosti jako po 28 dnech, vzestup pevnosti u vápe-

no-pucolánových omítek pokračuje. Po šesti, resp. dvanácti měsících, omítky P1 a P2 jsou podstatně pevnější než po 28 dnech.

Abychom vysvětlili výrazný vzestup pevnosti, je třeba analyzovat povahu chemických reakcí vyvolaných ve vápenné omítce pucolánovými přísadami. Žíháním po dobu delší než 1 h při 600 °C se z kaolinu  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$  utvoří metakaolin  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ . Tuto reakci nazýváme dehydroxylační a je možné ji zapsat



Metakaolin tvoří rentgenoamorfni fázi s velmi porézní strukturou [10]. Má pucolánové vlastnosti, reaguje s hydroxidem vápenatým a tvoří hydratované silikáty a alumináty vápníku. Vysoká koncentrace iontů  $\text{OH}^-$  v záměsové vodě, která má pH 12,45 při 25 °C, je doprovázena odpovídající koncentrací iontů  $\text{Ca}^{++}$  v roztoku. Jednotlivá silikátová a aluminátová pojiva hydrolyzují a tvoří jednotlivé ionty podle schémat



Jakmile jednoduché silikátové a aluminátové ionty přijdou do styku s ionty  $\text{Ca}^{++}$ , tvoří se gely CSH a  $\text{C}_4\text{AH}_{13}$  [11]. Výsledkem reakce metakaolinu s hydroxidem vápenatým [12] je tvorba  $\text{C}_3\text{AH}_6$  (hydrát trikalciumpulminátu) a  $\text{C}_2\text{ASH}_8$  (hydratovaný gehlenit). Produkty pucolánových reakcí jsou porézní, jak ukázal Chabannet [13], který používal metakaolin jako provzdušňovací přísadu.

Část hydroxidu vápenatého reaguje s pucolánem, zbytek karbonatuje podle rovnice (1), uplatnění reakcí (14), (15) a (1) je přitom současně a záleží na jejich rychlosti. Množství výsledných sloučenin závisí na jemnosti metakaolinu, množství záměsové vody, koncentraci  $\text{CO}_2$  ve vzduchu a jeho relativní vlhkosti a na pórovitosti malty.

Surovina pro výrobu cihel obsahuje obvykle jílové minerály jako kaolin  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ , montmorillonit  $\text{KAl}_3\text{Mg}-\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4$  a illit  $\text{KAl}_4(\text{Si}_7\text{Al})\text{O}_{20}(\text{OH})_4$ . Při výrobě cihel se vypaluje při teplotě 900 až 950 °C. Tyto materiály dehydrují, krystalická struktura se zhroutí, minerály se rozloží a utvoří se nové sloučeniny, mezi nimi rentgenoamorfni  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ . Po reakci s hydroxidem vápenatým vznikají podobné sloučeniny, jako se tvoří z vypáleného kaolinu.

Frita je materiál pro výrobu smaltu na kovovém povrchu. Z hlediska struktury jde o sklo – amorfni pevnou látku.  $\text{SiO}_2$  a silikáty ve skle reagují s hydroxidem vápenatým a tvoří hydratované silikáty vápenaté, gely CSH. Ve skle obsažený oxid hlinitý vede k tvorbě hydratovaných aluminátů vápenatých.

Jak vyplývá z předchozího rozboru, vzestup pevnosti v tlaku a v tahu za ohybu vápeno-pucolánové omítky P1 s obsahem metakaolinu je možno jednoznačně přisoudit tvorbě CSH a hydratovaných vápenohlinitanových struktur, které mají vyšší pevnost než uhličitan vápenatý. Podobné odůvodnění je možno uplatnit pro pevnost omítky P2 s mletou cihlou. Mechanické vlastnosti omítky P2 by měly být podobné jako u P1 vzhledem k tvorbě analogických sloučenin vznikajících při reakci s vápnem.

Nárůst pevnosti u omítky P3 s přísadou mletého smaltového skla je pomalejší než u P1 a P2, přičemž sedmidenní pevnost je nižší než u porovnávací omítky S. Pevnost po 28 dnech je u P3 relativně vysoká, větší než u omítky P1 s metakaolinem. Hlavním důvodem je zřejmě pomalejší počáteční rychlost reakce než v případě mletých cihel a metakaolinu. Zpomalení růstu pevnosti lze přisoudit přítomnosti bóru, který ovlivňuje tvorbu hydratačních produktů [14], a skelnému charakteru frity.



Klasické vápenné omítky mají vlhkostní a tepelné vlastnosti velmi vhodné pro historické budovy. Proto by zlepšení mechanických vlastností pucolánovými přísadami nemělo zároveň zhoršovat vlhkostní a tepelné vlastnosti nově vyvinutých omítek. Z hlediska tepelných vlastností nebylo zjištěno významné zhoršení u všech tří studovaných vápeno-pucolánových omítek. Materiály P2 a P3 vykazovaly tepelné vlastnosti porovnatelné s referenční omítkou S a omítkou P1 dosahovala nižší tepelné vodivosti a nižší teplotní délkové roztažnosti, což jsou příznivé charakteristiky. Snížení tepelné vodivosti vápeno-pucolánové omítky P1 s metakaolinovou přísadou je zřejmě důsledkem toho, že metakaolin je porézní a jeho část, která se nezúčastnila reakce, zvýšila pórovitost základní hmoty omítky. Porozita materiálu se také zvýšila porézním charakterem produktů pucolánových reakcí, zvláště gelů CSH.

Změny ve vlhkostních vlastnostech studovaných vápeno-pucolánových omítek v porovnání s referenční vápennou omítkou nejsou jednoznačně pozitivní ani negativní. Většina vlastností se zlepšila, ale některé se zhoršily. Faktor difúzního odporu  $\mu$  vápeno-pucolánových omítek P2 a P3 je nižší, tj. zlepšený v porovnání s vápennou omítkou. Pro omítku P1 se faktor  $\mu$  významně nezhoršil, jak by se dalo očekávat v důsledku tvorby gelů CSH. To je vlastnost velmi příznivá, protože nízká hodnota  $\mu$  je charakteristická pro vápenné omítky a zvýšení tohoto parametru by mohlo být pro nové materiály kritické.

Adsorpce vodní páry materiálů P2 a P3 je srovnatelná s adsorpcí vápenné omítky S, což je další příznivá vlastnost. Vyšší adsorpce vodní páry omítkou P1 v porovnání s ostatními materiály odpovídá vyšší porozitě a vyššímu vnitřnímu povrchu pórů u omítky P1. Jde zřejmě o důsledek přítomnosti metakaolinu s vysoce porézní strukturou. Vyšší hygroskopicitu omítky P1 s metakaolinem lze posuzovat z dvojího hlediska – pro vnitřní omítku jde jasně o příznivý případ, protože lépe reguluje množství vodní páry v interiéru. U vnější omítky může vyšší hygroskopicitu vést k akumulaci vlhkosti v porézním systému. V zimním období, kdy je omítky namáhána zmrazovacími cykly, nelze tuto vlastnost hodnotit pozitivně. Vyšší množství otevřených pórů a vyšší hygroskopicitu může přispívat k odstraňování vlhkosti z podkladního stavebního materiálu. Proto při použití této omítky je nutno si uvědomit, co od ní očekáváme.

Součinitel vlhkostní vodivosti materiálů P2 a P3 se proti porovnávací omítkě S nezhoršil. Naproti tomu u omítky P1 je nižší v celém rozsahu vlhkostí, přestože je porozita P1 větší. To můžeme pokládat za příznivou vlastnost. Pomalejší transport kapalné vlhkosti v omítkě vede k její nižší zranitelnosti, např. účinkem deště. Domníváme se, že hlavní důvod pro pomalejší transport kapalné vody v P1 je vliv gelů CSH, které mohou van der Waalsovými silami vázat více vody na stěnách pórů než uhličitán vápenatý.

Součinitel vlhkostní délkové roztažnosti je jediný vlhkostní parametr, který se zhoršil u všech vápeno-pucolánových omítek. Dvojnásobné hodnoty proti porovnávací vápenné omítkě se zdají relativně vysoké. Větší součinitel vlhkostní délkové roztažnosti znamená obecně vyšší vlhkostní napětí a větší požadavek na mechanickou pevnost. Nicméně výrazné zlepšení mechanických vlastností přísadkem pucolánových přísad, o kterém jsme se zmínili výše, může pravděpodobně dobře kompenzovat možné zvýšení napětí vlivem vlhkostní expanze materiálu. Domníváme se tedy, že tato, v podstatě jediná negativní vlastnost v porovnání s vápennou omítkou, nevyvolá negativní důsledky při aplikaci nových materiálů.

Věříme, že je stále ještě poměrně velký prostor pro další

zlepšování mechanických vlastností vápeno-pucolánových omítek proti současnému stavu. Perspektivní výzkum je možný například v oblasti dalšího zvýšení účinnosti pucolánové reakce na úkor tvorby uhličitánu vápenatého, což může vést k dalšímu nárůstu pevnosti studovaných materiálů.

## Závěr

Z hlediska rekonstrukce historických budov je nejvýznamnějším výsledkem experimentů popsaných v této práci dosažení podstatného zvýšení pevnosti v tlaku a v tahu za ohybu u omítek s vápeno-pucolánovým pojivem bez použití cementu, který nebyl v minulosti použit na budovách starších než sto let. O pucolánových přísadách zvolených v této práci se zjistilo, že mají velmi pozitivní roli. Navíc se zjistilo, že většina vlhkostních a tepelných vlastností je buď srovnatelná, nebo lepší než u klasické vápenné omítky. Jedinou výjimkou je součinitel vlhkostní délkové roztažnosti, který je u všech vápeno-pucolánových omítek vyšší než u běžné vápenné omítky. Máme však dobré důvody se domnívat, že výrazné zlepšení mechanických pevností může dobře kompenzovat tuto negativní vlastnost nových materiálů. Na základě výše uvedených zjištění lze konstatovat, že všechny zkoušené vápeno-pucolánové omítky je možno úspěšně použít na historických budovách místo vápenných omítek.

Článek vznikl za podpory grantu č. 103/02/1081 GA ČR.

## Literatura

- [1] CRC Handbook of Chemistry and Physics. Boca Raton, CRC Press 1998–1999, pp. 14–25.
- [2] van Balen, K. – van Gemert, D.: Modeling Lime Mortar Carbonation. *Materials and Structures* 27 (1994), 393–398.
- [3] Tydlitát, V. – Kunca, A. – Drchalová, J. – Černý, R. – Rovnaníková, P.: Tepelné a vlhkostní vlastnosti vápenné omítky s přísadou metakaolinu. *Stavební obzor* 12 (2003), 122–125.
- [4] ČSN 72 7031 Měření součinitele difúze vodní páry stavebních materiálů metodou bez teplotního spádu. ČSN, 1975.
- [5] SBI Report 295: Retention Curves Measured Using Pressure Plate and Pressure Membrane Apparatus. Danish Building Research Institute, Horsholm, 1998.
- [6] Jiříčková, M. – Černý, R.: Vlhkostní parametry materiálů pro obvodové pláště s vnitřní tepelnou izolací. *Stavební obzor* 11 (2002), 49–52.
- [7] Černý, R. – Poděbradská, J. – Drchalová, J.: Water and Water Vapor Penetration Through Coatings. *Journal of Thermal Envelope and Building Science* 26 (2002), 165–177.
- [8] Semerák, P. – Černý, R.: Kapacitní metoda pro měření obsahu vlhkosti ve stavebních materiálech. *Stavební obzor* 6 (1997), 102–103.
- [9] Drchalová, J. – Černý, R.: Non-Steady-State Methods for Determining the Moisture Diffusivity of Porous Materials. *Int. Comm. Heat and Mass Transfer*, 25 (1998), 109–116.
- [10] Hanykýř, V. – Kutzendörfer, J.: Technologie keramiky. Praha, Vega 2000.
- [11] Takemoto, K. – Uchikawa, H.: Hydration of Pozzolanic Cement. *Proceedings of 7th Int. Congress on the Chemistry of Cement*, Vol. 1 (Principal Reports), Paris 1980, pp. iv–2/1–29.
- [12] Baronio, G. – Binda, L.: Study of the Pozzolanicity of Some Bricks and Clays. *Construction and Building Materials*, 11 (1997), 41–46.
- [13] Chabannet et al.: Effectiveness of Metakaolin on the Freezing Resistance of Mortar. *Industria Italiana del Cemento*, 3 (2001), 240–249.
- [14] Özdemir, M. – Öztürk, N. O.: Utilization of Clay Wastes Containing Boron as Cement Additives. *Cement and Concrete Research*, 2003.

Tydlitát, V. – Kunca, A. – Drchalová, J. – Jiříčková, M. – Černý, R. – Rovnaníková, P.: *Mechanica I, Hygric and Thermal Properties of Lime Plasters with Pozzolanic Admixtures*

Bending and compressive strengths, sorption isotherms, water retention curves, the water vapour diffusion coefficient, water absorption coefficient, moisture diffusivity, linear thermal and hygric expansion coefficients, thermal conductivity and specific heat capacity of three lime plasters with pozzolanic admixtures are determined in this paper. Comparative experiments with common lime plaster are also described. On the basis of experimental results obtained it can be concluded that all the three tested lime plasters with pozzolanic admixtures expand the possibilities to perform finishings of brickwork of reconstructed historical buildings.

Tydlitát, V. – Kunca, A. – Drchalová, J. – Jiříčková, M. – Černý, R. – Rovnaníková, P.: *Mechanische, Feuchtigkeits- und wärmetechnische Eigenschaften von Kalkputzen mit Puzzolanzusätzen*

Im Artikel werden die Zug- und Biegefestigkeit, die Sorptionsisothermen, Retentionskurven der Feuchtigkeit, der Wasserdampf-Diffusionskoeffizient, der Feuchtigkeits-Absorptionskoeffizient, der Feuchtigkeitsleitkoeffizient, der Wärme- und Feuchtigkeits-Längendehnungskoeffizient, der Wärmeleit-Rechenwert und die spezifische Wärmekapazität von drei Kalkputzen mit Puzzolanzusätzen angeführt. Vergleichende Messungen wurden auch an gewöhnlichem Kalkputz durchgeführt. Auf Grund der durchgeführten Versuche kann festgestellt werden, dass die geprüften Kalkputze mit Puzzolanzusätzen die Möglichkeiten zur Ausführung von Oberflächenbehandlungen zu rekonstruierender historischer Gebäude erweitern.

## • veletrhy

### **Veletrhy udržitelného stavění**

**20. – 24. dubna 2004**

**Brno**

Jarnímu výstavišti bude dominovat reprezentativní přehlídka stavebnictví, která svým rozsahem nemá ve střední a východní Evropě konkurenci. Stavební veletrhy Brno 2004 proběhnou v novém složení – **Mezinárodní stavební veletrh IBF, Mezinárodní veletrh technických zařízení budov SHK BRNO, Fórum investičních příležitostí URBIS, celoročně přístupné Stavební centrum EDEN 3000** s výstavou vzorových domů a poprvé také **Mezinárodní veletrh techniky pro tvorbu a ochranu životního prostředí ENVI BRNO a Mezinárodní veletrh elektroinstalací a osvětlovací techniky ELEKTRO.**



Pojem udržitelného stavění je jakousi odezvou problematiky udržitelného rozvoje ve stavitelství. Všechny obory stavebnictví a architektury souvisejí se všeobecnou snahou o „urbanizované prostředí“, tj. se snahou formulovat a rozvíjet specifický oborový program trvale udržitelné budoucnosti pro odvětví stavebnictví. Za složitými definicemi stojí v podstatě jednoduchá snaha prezentovat moderní,

ekologicky šetrné, energeticky nenáročné technologie a výrobky, a popřít tak tvrzení, že stavebnictví je velkým znečišťovatelem životního prostoru. „Udržitelné stavění“ tak není mottem jen nadcházejícího ročníku, ale i Stavebních veletrhů budoucích let.

Otázky životního prostředí, jeho ochrany a tvorby více než úzce souvisejí s plánováním, urbanismem, stavěním. V budovách a stavbách trávíme většinu svého života, procesy stavby i její likvidace jsou vždy zátěží pro životní prostředí. Vystavovatelé i návštěvníci Stavebních veletrhů rozpoznají jednotící linii mezi dílčími veletrhy. Posledním z nich je nový veletrh ELEKTRO, který má naplnit dosud nevyužitou oblast elektroinstalací v budovách. Ne však těch běžných, ale těch, které naplňují význam pojmu inteligentní budovy.

Součástí doprovodného programu bude Evropské stavební fórum, jehož první ročník odborníci hodnotili velmi kladně. Stavební fakulty Vysokého učení technického v Brně, ČVUT v Praze a TU–VŠB v Ostravě uspořádají konferenci



**Vzdělávání a výzkum  
ve stavebnictví  
v rozšířené Evropě**

Je koncipována jako setkání děkanů vysokých škol a univerzit stavebního směru z celé Evropy. Takové setkání se v Evropě ještě nekonalo a má to být jakýsi „welcome drink“ mezi akademickými funkcionáři stavebních fakult „staré“ a „nové“ Evropy.

*Tisková informace*

# Návrh koncepce prostorového informačního systému památkového objektu

Ing. Jindřich HODAČ, PhD.  
 ČVUT – Fakulta stavební  
 Praha

**Pokrok v oblasti informačních technologií společně s vývojem stávajících a vznikem nových metod měřické dokumentace nás dnes staví před možností tvorby a využití prostorových modelů objektů. V příspěvku jsou prezentovány výsledky výzkumu [1] zaměřeného na hledání cest od prostého pořízení prostorové dokumentace památkového objektu k vytvoření informačního systému.**

## Úvod

Problematika zpracování informací, informačních technologií (IT) a informačních systémů (IS) stojí dnes v centru pozornosti ve většině vyspělých zemí. Informační systémy se postupně dostávají i do oblastí, které zatím byly poněkud stranou hlavního zájmu. Takovou oblastí je u nás památková péče. Kromě samotného obsahu informace dnes nabývají na významu také údaje o prostorové poloze a času. Trojrozměrná data se pozvolna stávají integrální součástí IS, jak dokumentuje např. práce [2]. Z jednotlivých počítačů v oddělených kancelářích se informační systémy dostávají na síť a dále na internet. Pro práci s prostorovými daty v rámci IS se pomalu začínají uplatňovat takové obory jako virtuální realita [3].

Historické kulturní památky se do popředí zájmu dostávají díky oblasti cestovního ruchu. Památky patří spolu s přírodním bohatstvím k největším turistickým lákadlům jak v ČR, tak ve světě. A opět se dostáváme k informacím – pokud bude chtít památkový objekt v rostoucí konkurenci uspět, bude nucen dát o sobě vědět – například formou prezentace na internetu. V této souvislosti se objevují pojmy jako virtuální turistika, virtuální prohlídka, virtuální památka [4]. Význam prostorových dat v této aplikační oblasti pozvolna roste.

Laboratoř fotogrammetrie při Katedře mapování a kartografie Fakulty stavební ČVUT spolupracuje se Správou SHZ Český Krumlov a Nadací barokního divadla na projektu zhotovení měřické dokumentace zámeckého barokního divadla v Českém Krumlově (UNESCO). Tato spolupráce začala již v roce 1996 [5]. Dokumentační práce probíhají v rámci diplomových prací studentů oboru geodézie a kartografie. Cílem projektu je v první fázi vyhotovení nové měřické dokumentace objektu barokního divadla s výsledkem ve formě prostorového modelu divadla. V další fázi projektu jde o využití tohoto modelu pro účely informačního systému.

## Motivace a cíl práce

V současné době již není tak velký technický problém pořídit prostorová data – vytvořit prostorový model v podstatě jakéhokoli objektu oblast památkové péče nevyjímaje. Otázkou je, jak takový prostorový model efektivně využít. Dosavadní praxe byla spíše taková, že zadavatel do-

kumentace objektu vyžadoval převážně dvojrozměrnou dokumentaci a o prostorový model neměl zájem. Modely byly a stále jsou využívány hlavně pro účely jednorázové prezentace objektu formou vizualizace a animace modelu, nebo pro účely jednorázových průzkumů. Další využití modelů je nejisté. Vzhledem k množství práce související s tvorbou modelu je to škoda.

Jednou z perspektivních možností využití prostorových dat jsou informační systémy. Mluvíme-li o informačních systémech památkových objektů, pak by bylo dobré vědět, jaké představy mají vlastníci (či správci) památkových objektů, zda potřebují IS či prostorová data. Pokud ano, tak jaká a k čemu. Tyto otázky tvořily základ pro formulaci cíle tohoto výzkumu, tj. nalezení možných cest od prostého pořízení prostorové dokumentace památkového objektu k vytvoření informačního systému.

## Průběh prací

Na základě diskuzí se správci objektů a z poznatků z odborných setkání z poslední doby [4] bylo možné definovat základní oblasti využití prostorových dat:

- prezentace památkového objektu,
- výzkumná a badatelská činnost,
- správa objektu.

Ve všech těchto oblastech se využívají podobná výchozí data a zpracovávají se různým způsobem. Způsob zpracování se liší podle uživatelských požadavků v té které oblasti.

Průběh práce je možné rozčlenit do tří na sebe navazujících částí – analytické, syntetické a aplikační. V analytické části byla věnována pozornost především dvěma cílovým oblastem – správě objektů a prezentaci objektů. Nejprve byla provedena analýza současné situace podkladů dostupných pro správu památkového objektu a dále analýza požadavků potenciálních uživatelů IS na obsah a funkčnost systému. Poté byla provedena analýza současného stavu prezentací památkových objektů na internetu jak v České republice, tak ve světě – v kontextu pojmů jako virtuální turistika, virtuální památky, cestovní ruch. V syntetické části byla na základě provedených analýz navržena koncepce informačního systému památkového objektu. Koncepce pracuje se třemi základními aplikačními směry – od prezentace přes výzkum až ke správě objektu. Velmi důležitou částí práce byla aplikační část, ve které byla zpracována koncepce informačního systému objektu zámeckého barokního divadla v Českém Krumlově (projekt Živé divadlo). Projekt byl podrobně rozpracován, přičemž hlavní pozornost byla zaměřena na uspořádání dat v rámci navrhovaného informačního systému.

## Analýza – správa památkových objektů

Správa památkových objektů patří mezi komplexní úkoly. Při správě jsou využívány různé druhy dat. Předmětem analýzy byly podklady používané pro správu objektů a způsob práce s nimi. Dalším námětem byl potenciál využití

informačních technologií v této oblasti. Sběr dat byl proveden formou dotazníkového šetření. Dotazník obsahoval otázky týkající se těchto okruhů – dostupná plánová dokumentace (geometrická data), dostupné evidence, archivy, soupisy (negeometrická data), technické a organizační zázemí. Průzkum byl realizován ve zvoleném regionu na vybraném vzorku památkových objektů (jižní Čechy, 24 objektů). Základním požadavkem při výběru objektů byla přístupnost daného památkového objektu pro veřejnost. Vybraný vzorek tvořily především památky většího rozsahu. V souladu s celkovou situací v ČR [6] převažovaly objekty vlastněné státem (54 %).

### Výsledky průzkumu

Celková návratnost dotazníků byla cca 45 %. Ze získaných výsledků vyplývá, že správy dotčených objektů patří mezi poměrně malé organizace (do pěti stálých zaměstnanců – stav z 6/2002). Některé z nich však využívají servis ze strany zřizovatelů (např. územních pracovišť Národního památkového ústavu). Vybavení těchto organizací počítačovou technikou je pouze základní (jednotlivé počítače zřídká napojené na internet). Pracovníci správ hodnotí využívání informačních technologií jako prospěšné, avšak nedostatečné. Jako hlavní faktor omezující jeho širší uplatnění vidí nedostatek financí.

Pro správu objektů mají k dispozici jak geometrickou, tak negeometrickou dokumentaci. Geometrická dokumentace má klasickou papírovou podobu a je využívána v závislosti na aktuální situaci především pro opravy, revize apod. Při té příležitosti dochází také k její aktualizaci. Hlavní součástí negeometrické dokumentace je evidence mobiliáře, která jako jediná bývá součástí informačního systému a je zčásti digitalizována. U tohoto typu dokumentace je také uváděn význam prostorové informace. Ostatní fondy mají klasickou papírovou podobu. Dokumentace je využívána především pro správu a dokumentaci fondů, pro badatelskou činnost a pro přípravu prezentací. Úroveň stávající dokumentace je hodnocena spíše jako dostačující pro dané účely. Optimální by podle většiny respondentů byla kombinace klasické a digitální formy dokumentace.

### Analýza – prezentace památkových objektů

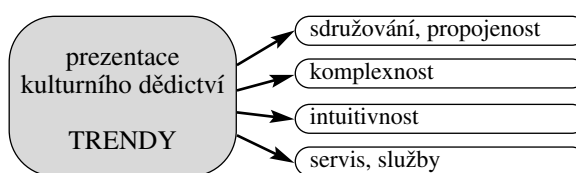
Kvalitní prezentace památkového či jiného kulturního objektu má nemalý vliv na zájem ze strany potenciálních návštěvníků – turistů. V současné době je jednou z možných cest propagace objektu pomocí webové prezentace na internetu. Tato oblast bude pravděpodobně dále nabývat na významu i s rozšiřováním tzv. virtuální turistiky. Pod tímto pojmem bychom například mohli rozumět virtuální prohlídky objektů, kolekce vyčerpávajících informací o objektu, případně širokou paletu služeb nabízených prostřednictvím internetu.

Mapování současné situace v oblasti prezentace památkových objektů v ČR i ve světě bylo dalším námětem analytické části práce. Webové prezentace objektů byly posuzovány na základě výše zmíněných vlastností virtuální turistiky. Výběr objektů v rámci ČR zůstal zachován. Předmětem zkoumání byla existence a obsah prezentací, jazykové mutace prezentací, multimediální prvky, služby, umístění prezentací a grafická úroveň. Do průzkumu situace v zahraničí bylo zahrnuto cca 15 prezentací nebo projektů. Větší pozornost byla věnována Velké Británii, jež je známa svým kulturním bohatstvím. Další objekty, či spíše projekty, byly do průzkumu zahrnuty příležitostně s ohledem na zájmovou problematiku – virtuální dědictví, virtuální turistiku.

### Výsledky průzkumu

Průzkum objektů ve vybrané části ČR ukázal, že o virtuální turistice zatím není možné mluvit. Chybí především větší interaktivita prezentací. Geometrická data jsou zastoupena velmi okrajově – chybějí mapy, plány, a samozřejmě prostorové modely umožňující virtuální prohlídky. Ucelené prezentace obsahující obsáhlejší soubory informací jsou spíše výjimečné. Prezentace postrádají živost – jde o statické nepravidelně aktualizované prezentace. Problémem může do budoucna být jejich jednojazyčnost. Propojenost na oblast následných služeb (cestovní ruch) spíše není. Prezentace sbírek jiným způsobem než textem je dosti nedostatečná, což může souviset s bezpečností sbírek.

Průzkum v oblasti prezentace objektů kulturního dědictví v zahraničí ukázal několik základních trendů (obr. 1). Ty mají společného jmenovatele, a to umožnit návštěvníkovi lépe pochopit význam kulturního dědictví.

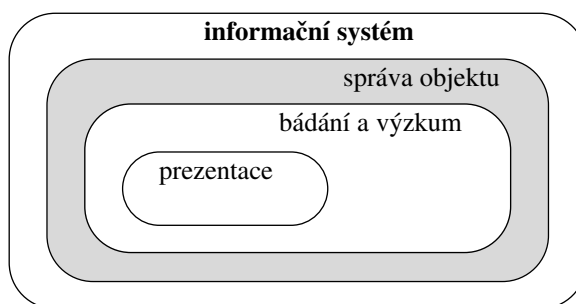


Obr. 1. Prezentace kulturního dědictví – trendy

Komplexní trojrozměrné modely reálných historických objektů, umožňující virtuální prohlídky, nebyly ve zkoumaném vzorku webových prezentací zastoupeny. Poměrně často byly prezentovány pouze jejich vizualizace a animace. Interaktivnost se tedy dnes spíše uplatňuje při práci s klasickou podobou informace (text, foto) než při virtuálních prohlídkách objektů, tzn. při práci s prostorovou informací.

### Návrh koncepce systému

Návrh koncepce informačního systému vychází ze tří základních oblastí jeho využití, které určují jeho subsystemy. Komplexní informační systém obsahující prostorová data by měl tedy zahrnovat subsystemy zaměřené na správu objektu, výzkum objektu a prezentaci objektu. Tyto subsystemy využívají stejné datové základny k různým účelům. Obrázek 2 přibližuje rozsah dat přístupných pro jednotlivé subsystemy.



Obr. 2. Subsystemy informačního systému památkového objektu

V návaznosti na analytickou část byly definovány základní charakteristiky informačního systému památkového objektu a jeho subsystemů:

#### A. subsystem pro správu objektu

- je určen pro podporu rozhodování;
- uživatelem je správa objektu;
- umožňuje aktualizaci a editaci dat, tvorbu výstupů s použitím různých typů dat, jednoduché prostorové analýzy atd.;

## B. subsystém pro výzkum objektu

- je určen pro bádání o objektu a jeho fondech;
- uživatelem je historik, památkář, restaurátor, student;
- umožňuje práci s dalšími asociovanými systémy, základní analýzu zkoumaných dat – např. modelování; zpětnou vazbu – diskuze, publikace atd.;

## C. subsystém pro prezentaci objektu

- je určen pro zviditelnění objektu;
- uživatelem je potenciální návštěvník;
- využívá prvky virtuální reality a interakce, umožňuje práci s dalšími asociovanými systémy, komplexní služby pro návštěvníka atd.

Každý z těchto subsystémů byl podrobněji specifikován ve třech úrovních:

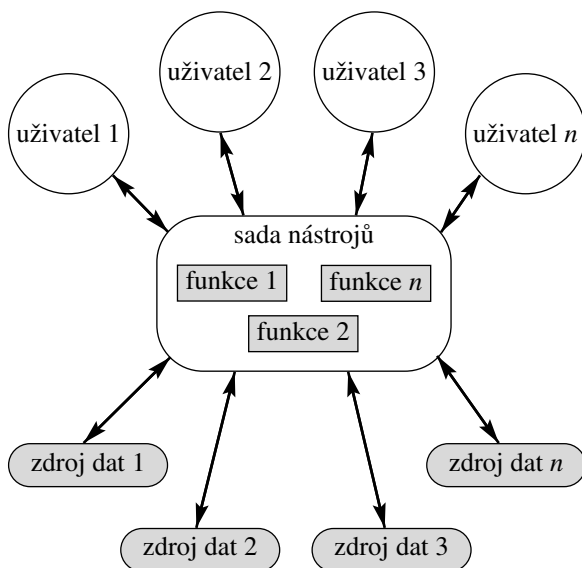
- budoucí **uživatel** IS má na jeho obsah a formu zásadní vliv. Uživatelé IS památkového objektu jsou dáni oblastí zájmu (subsystémy A, B, C), ale mohou využívat i další subsystémy;

- jednotlivé subsystémy využívají jednotné **datové základy**. Potřeby uživatelů subsystémů se však liší, a proto je objem a forma dostupných dat pro dané subsystémy různá (obr. 2);

- požadavky na **funkčnost** informačního systému jako celku jsou dány předchozími dvěma úrovněmi – uživatelem a daty. Funkce využívané v rámci jednotlivých subsystémů se částečně překrývají. Každý subsystém však vyžaduje také své speciální funkce.

**Podmínky realizace**

Kromě obsahové stránky IS byly definovány také základní předpoklady pro zdařilé zavedení a fungování systému, např. **použití síťových technologií, nízké náklady na zavedení, nízké náklady na hardware a software, jednoduchá obsluha, přehlednost a zajištění aktualizace dat**. Podrobné rozpracování technického řešení již přesahovalo rámec této práce. Jedním z možných přístupů využitelných při návrhu technického řešení systému je např. koncept distribuovaného systému. Data nemusejí být uložena všechna na centrálním počítači, ale na více serverech. V podmínkách naší státní památkové péče jde typicky o vztah správce objektu  $\Leftrightarrow$  zřizovatel či vztah správce objektu  $\Leftrightarrow$  správce některé části fondů. Takovéto uspořádání přibližuje obr. 3.

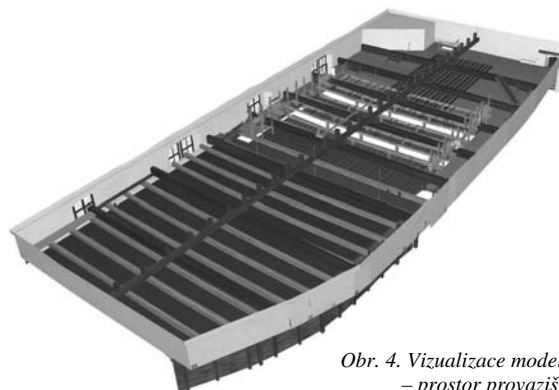


Obr. 3. Uspořádání zdrojů dat

**Projekt „Živé divadlo“**

V poslední části práce byl řešen konkrétní projekt z dané oblasti. Cílem bylo podrobněji dokumentovat a rozpracovat závěry z předchozích částí. Projekt „Živé divadlo“ vznikl jako logické vyústění několikaleté dokumentační činnosti studentů a pedagogů Katedry mapování a kartografie v objektu barokního divadla na zámku v Českém Krumlově (dále divadlo). Pro daný objekt byla k dispozici jak geometrická, tak negeometrická data. V návaznosti na předchozí obecné závěry byly podrobněji rozpracovány subsystémy pro správu, výzkum a prezentaci divadla. Na konkrétním vzorku dat bylo naznačeno u každého ze subsystémů jejich uspořádání. Na závěr byly stanoveny základní parametry technického řešení systému.

Barokní divadlo v Českém Krumlově vzniklo v dnešní podobě při přestavbě zámeckého areálu v letech 1765–1766. Reprezentuje unikátní scénu, kde se v převážném objemu svého původního vybavení dochovala ukázka slohové a technicky vyspělého barokního divadla. Jeho význam tkví také v bohatství dochovaného divadelního fondu. Ten obsahuje jak scénické obrazy, tak kostýmy, rekvizity, efektové stroje, osvětlovací tělesa apod. Od roku 1966 bylo divadlo pro veřejnost uzavřeno a do dnešní doby trvají práce související s jeho obnovou a restaurováním. Od roku 1997 jsou některé části divadla v rámci zkušebního prohlídkového režimu zpřístupněny veřejnosti.



Obr. 4. Vizualizace modelu – prostor provaziště

**Podklady**

Pro daný objekt byla k dispozici geometrická i negeometrická data. Geometrická data jsou tvořena prostorovým modelem interiéru divadla. Prostorový model vznikal postupně. S ohledem na charakter prostor byly při zaměřování divadla použity metody jak fotogrammetrické, tak geodetické. Problematika tvorby trojrozměrného modelu je blíže popsána v [5]. Prostorový model byl zpracován v CAD systému MicroStation a má charakter fotorealistického modelu, využitelného i pro účely vizualizace a animace. Ukázka vizualizace prostorového modelu části divadla je na obr. 4. Dokumentační práce v současné době pokračují v prostoru krovu a exteriéru divadla.

Negeometrická data jsou tvořena rozsáhlými fondy divadla, které zabírají mnoho oblastí. Fondy jsou postupně restaurovány, evidovány a odborně katalogizovány. V nedávné době byla správou hradu pořízena digitální podoba dokumentace nejvýznamnějších fondů. V digitální formě „Základní evidence mobiliárních fondů – ZEM“ jsou uloženy fondy kostýmů a kostýmních doplňků, dekorací, scénických a hereckých rekvizit, technického zařízení a fond osvětlovacích těles. Základem této digitální evidence jsou karty ZEM a fotodokumentace jednotlivých prvků. Z uve-

dených fondů byly pouze fond technického zařízení a částečně fond dekorací předmětem měřické dokumentace divadla. U těchto fondů je také nepochybný význam prostorové informace. Dalšími zdroji negeometrických dat o divadle jsou fotodokumentace, panoramatická videa, videosekvence (scénické zkoušky), zvukový archiv (efektové stroje), historická plánová dokumentace aj. [7].

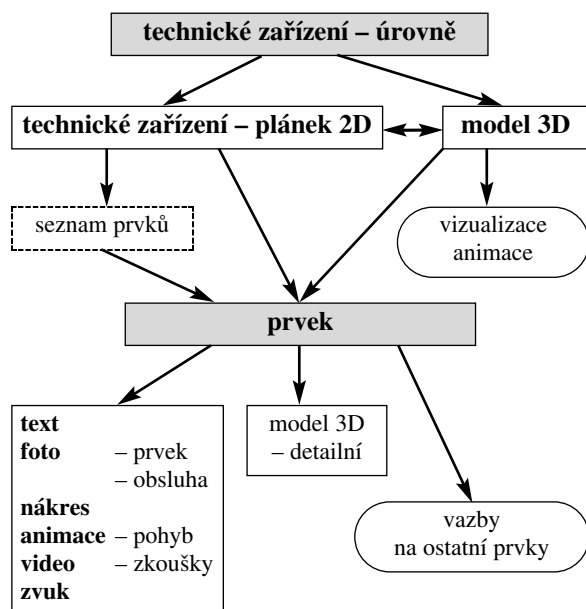
Pro návrh IS byly z výše uvedených důvodů za základní negeometrická data považovány digitální evidence:

– **fondů dekorací**, který obsahuje třináct základních dochovaných scénických obrazů s možností řady variant a kombinací;

– **fond technického zařízení (TZ)** zahrnující kompletní jevištní mechanismus (mašinerii) divadla s posuvnými rámy, rumpály, kladkami, lanovody a světelnou rampou. Dále ho tvoří původní podlaha jeviště se soustavou posuvných a odklápěcích desek a propadel.

### Návrh informačního systému

Projekt tvorby IS má pracovní název „Živé divadlo“ a klade si za cíl vytvořit živý systém mnohostranně využitelný v oblasti poznávání barokní divadelní kultury a poznávání celkových souvislostí života v době baroka. Postupná realizace projektu probíhá v úzké spolupráci se Správou státního hradu a zámku Český Krumlov a Nadací barokního divadla zámku Český Krumlov. Při jeho návrhu byly pro každý subsystém zpracovány struktury uspořádání dat pro dva základní fondy – fond dekorací a fond technického zařízení. Dále byly podrobněji rozpracovány tyto tematické okruhy – uživatel, funkce, data, forma a další vývoj systému. Základem navržené struktury IS je prvek, k němuž se pojí textové, grafické a další informace. Existence prvku je dána existencí příslušné karty v základní evidenci mobiliárních fondů.



Obr. 5. Uspořádání dat – subsystém pro výzkum – prvek TZ

Pro uživatele je navrženo několik možností, jak získat informace o konkrétním prvku. Základem jsou geometrická data (viz schéma na obr. 5 a na obr. 6). Jednou z možností je klasická cesta ⇒ výběr příslušného fondu + výběr prvku v rámci dvojrozměrného plánu nebo ze seznamu prvků. Další z možností je využití prostorového modelu ⇒ výběr příslušného fondu + výběr prvku v rámci prostorového modelu. Přímý dotaz do databáze přes dialogové okno je

poslední z navržených možností. Cesty k informacím bude možné samozřejmě kombinovat. V návrhu je např. umožněn přechod mezi dvojrozměrným plánkem a prostorovým modelem.

Pokud jde o prostorová data, jsou do návrhu systému v první etapě zakomponovány funkce umožňující interaktivní práci s prostorovým modelem (pohyb ve virtuálním prostoru, identifikaci prvků), práci s detailním modelem prvku (prohlížení), vizualizaci (tvorbu vizualizovaných pohledů), prohlížení animací (průletů jednotlivými prostory, pohyby jednotlivých prvků, výměny scén, vazby prvků technického zařízení). Barokní divadlo tvoří stabilní systém s omezeným počtem prvků, který neklade velké nároky na editaci prostorových dat.

Negeometrická data, která se váží k prvku, jsou tvořena textovými informacemi (především základní evidenci mobiliárních fondů), fotodokumentací (jak základní evidenci, tak např. foto obsluhy prvku), videodokumentací (scénické zkoušky, panoramatické video aj.), zvukovými záznamy (efektové stroje aj.), kreslebnou dokumentací (náskres prvku, vazby prvků technického zařízení aj.).

Hlavní rysy jednotlivých subsystémů:

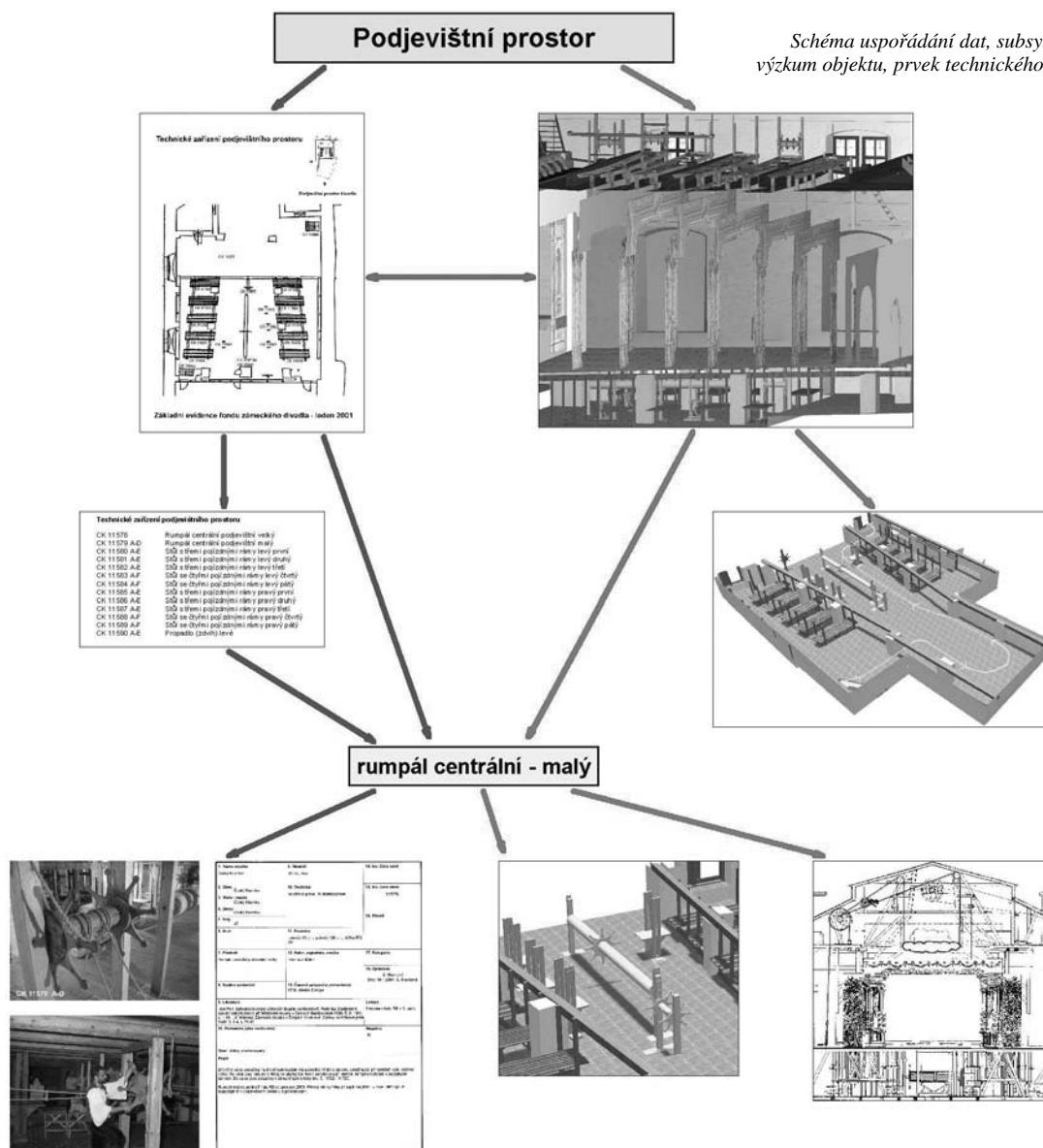
- subsystém pro správu objektu obsahuje kompletní údaje o vybraných fondech;
- v subsystému pro výzkum objektu je pozornost soustředěna nejen na prvky divadla, ale hlavně na jejich vzájemné vztahy a vazby;
- v subsystému pro prezentaci objektu se hlavní důraz klade na interaktivní práci s prostorovým modelem, která uživateli umožní intuitivní poznávání prostorů divadla.

### Technické řešení

Základní předpoklady technického řešení již byly uvedeny. Požadavky je možné souhrnně rozdělit do tří hlavních oblastí – organizační, technologické, datové. Organizační oblast se týká požadavků na nízké náklady (hardware, software), jednoduchou a intuitivní obsluhu. Technologická oblast se týká požadavků na využití síťových technologií, programů open source a vhodného databázového uspořádání. Datová oblast se týká využití standardních datových formátů, metadat, zabezpečení dat, vícejazyčnosti. Návrh a realizace konkrétního technického řešení již přesahovaly rámec výzkumu.

### Závěry

Na vybraném vzorku památkových objektů byla provedena analýza stávajícího stavu správy památkových objektů se zaměřením na používané podklady a způsob jejich využití a na potenciál nasazení informačních technologií v této oblasti. Dotazníkový průzkum přinesl cenné informace o tom, jaká data se dnes používají pro správu a jak se využívají. Přinesl také základní fakta o využívání informačních technologií, zájmu o tyto technologie a o bariérách bránících jejich širšímu uplatnění. Dále byl proveden průzkum prezentace památkových objektů na internetu u nás i v zahraničí zaměřený především na využití prostorových modelů a prvků virtuální reality. Z poznatků získaných v rámci těchto analýz vycházel návrh koncepce informačního systému památkového objektu využívajícího prostorová data. Počítá se subsystémy zaměřenými na správu, výzkum a prezentaci objektu. Jednotlivými prvky těchto subsystémů jsou shodná data. Základním požadavkem na technické řešení je využití síťových technologií.



Získané poznatky a závěry byly využity při návrhu informačního systému objektu barokního divadla na zámku v Českém Krumlově. Z dat dostupných pro tento objekt byla vybrána data vhodná pro realizaci funkčního prototypu a v rámci jednotlivých subsystémů bylo zpracováno uspořádání těchto dat. Funkčnost jednotlivých subsystémů byla řešena s přihlédnutím k práci s prostorovou informací a prostorovým modelem.

Hlavním přínosem tohoto výzkumu je především komplexnost pohledu na danou problematiku. Možnost využití prostorových dat a informačních systémů v oblasti památkové péče nebyla zatím v ČR takto souhrnně řešena. Ve svých analytických pasážích přináší výzkum mnoho cenných informací získaných jak od producentů, tak uživatelů dat, a snaží se podchytit současné celosvětové trendy v oblasti využívání prostorových dat v předmětné oblasti a tyto náměty konkretizovat v podmínkách ČR.

**Projekt byl zpracován v rámci výzkumného záměru č. 21000007 MSM. Prezentace výsledků projektu byla podpořena Nadací barokního divadla zámku v Českém Krumlově.**

## Literatura

- [1] Hodač, J.: Návrh koncepce prostorového informačního systému památkového objektu. [Dizertační práce], ČVUT Praha, 2002, <http://gama.fsv.cvut.cz/~hodac/disertace>.
- [2] Schürle, T. – Fritsch, D.: CAFM Data Structures: A Review and Examples. In: IAPRS, Vol. 33, Amsterdam, 2000.
- [3] Zlatanova, S.: 3D GIS for Urban Development. [Dissertation], No. 69, ITC, Enschede, 2000.
- [4] Santana, M.: Virtual Heritage Colloquium – A Witness to Enhanced Realities in Virtual Heritage: Potentials and Limitation, In: Virtual Systems and Multimedia Conference, Berkeley, 2001, [www.virtualheritage.net/news/article.html](http://www.virtualheritage.net/news/article.html).
- [5] Hodač, J.: Documentation of the Baroque Theatre at Český Krumlov Castle. In: The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXIV-5/C7, Potsdam, 2002, pp. 121–125.
- [6] Statistika kultury 2001 – Základní statistické údaje o kultuře v České republice. Praha, IPOS 2002.
- [7] Informační systém hradu a zámku Český Krumlov. Oficiální informační systém regionu, [www.krumlov.cz](http://www.krumlov.cz).

### Hodač, J.: Proposal of the Concept of the Spatial Information System of a Historical Site

Progress in information technologies together with development of methods of geodetic and photogrammetric documentation brings up a question of creation and usage of spatial models of historical sites. This paper presents results of research which was done as part of work on a doctoral dissertation. The dissertation entitled „Proposal of the Concept of the Spatial Information System of a Historical Site“ seeks possible ways of designing a spatial model, ranging from gathering spatial documentation to creation of a spatial information system (IS). The results can be summarized as follows – IS of historical sites – current condition, proposal of the concept of spatial IS, application to a particular site.

### Hodač, J.: Entwurf einer Konzeption für ein räumliches Informationssystem eines denkmalgeschützten Objektes

Der Fortschritt im Bereich der Informationstechnologien gemeinsam mit der Entwicklung der bestehenden und der Entstehung neuer Methoden der Vermessungsdokumentation stellt uns heute vor Fragen der Schaffung und Anwendung von räumlichen Modellen von Gebäuden. Im Beitrag werden Forschungsergebnisse präsentiert, die im Rahmen einer Dissertation erzielt wurden. Die Dissertation „Entwurf der Konzeption eines räumlichen Informationssystems eines denkmalgeschützten Objektes“ war auf die Suche nach Wegen orientiert, von der bloßen Erstellung der räumlichen Dokumentation eines denkmalgeschützten Objektes bis zur Erstellung eines Informationssystems (IS). Die Ergebnisse können in drei Punkten zusammengefasst werden: Analyse des bestehenden Zustands im Bereich von IS und der Präsentation von denkmalgeschützten Objekten, Entwurf der Konzeption des räumlichen IS eines denkmalgeschützten Objektes; Anwendung der theoretischen Ausführungen an einem historischen Objekt.

## • veletrhy

### Řemesla pro všechny obory



Na novém výstavišti v Mnichově během sedmi dnů od **4. do 10. března 2004** bude veletržní společnost GHM – Gesellschaft für Handwerksmessen mbH pořádat na světě největší, již **56. kontraktačně prodejní veletrh technických a spotřebních řemesel**

**I.H.M. 2004.** Představí nové vývojové tendence, progresivní techniky, široké spektrum zboží z malých i středních podniků a také řemeslnických služeb pro každého. Zúčastní se na něm přes 2 000 vystavovatelů z celého světa včetně zemí vstupujících do Evropské unie. Expozice budou umístěny ve 12 halách s výstavní plochou kolem 120 tis. m<sup>2</sup>. Je na něm očekávána rekordní návštěvnost asi 250 tis. odborníků i laických zájemců. Nejvíce zahraničních návštěvníků přijíždí z Rakouska, Itálie, Švýcarska, Slovinska, Chorvatska a České republiky.

Veletrh je rozdělen do nabídkových oblastí „Business“ a „Lifestyle“, aby prezentoval aktuální výkonnou schopnost malých a středních podniků. Oblast „Business“ v halách A3 až A6 a B3 až B6 podporuje střední podniky a jejich vedoucí síly při podnikovém rozhodování o vybavení a investicích. Naleznou se zde nabídky a nápady k tématům výroby a materiálu, logistiky a služeb, managementu a úřadu, ale také četné podniky pro založení, životaschopnost, rozšíření a obnovu podniku. Z technických a investičních oborů zde bude elektrické ruční nářadí, přípravky, upínací pomůcky pro elektrické a jiné instalace, prostředky malé mechanizace a jednoručkové stroje pro všechna řemesla, řemeslnická technika pro stavby a výstavbu, malé stavební stroje, stroje a zařízení pro obrábění, tváření a svařování kovů, pro zpracování plastů, umělých materiálů a dřeva, dopravní vozíky a vozidla, skladování, skladová mechanizace a bezpečnost práce. V hale B4 bude mimo jiné zřízeno také akční a poradenské centrum „Energie + životní prostředí“.

Předváděna bude také tepelná technika a izolační materiály pro úsporu energie. Přední místa zde určitě zaujmou nejmodernější solární kolektory, o které je stále větší zájem ze strany domácností, neboť zdarma poskytují polovinu potřebné energie pro ohřev vody. Rozvoj solární techniky je v Německu podporován státem a řada firem se zabývá výrobou a instalacemi

plochých kolektorů na střechy domů. Je již hojně využívána také na velkých průmyslových a jiných stavbách. Například i samo nové výstaviště v Mnichově má na střechách výstavních hal B1 až B6 zabudováno 7 812 slunečních panelů na celkové ploše 38 100 m<sup>2</sup> s výkonem 1,016 MW a ročním odběrem asi 1 GWh. Návštěvníci veletrhu I.H.M. si mohou toto zařízení prohlédnout. Seznámí se také s novodobou počítačovou technikou, s možnostmi využití informačních a telekomunikačních technologií včetně internetu.

Oblast „Lifestyle“ v halách A1, A2, B1 a B2 nabízí umělecká řemesla, design, stavbu a vnitřní stavební řemeslnické práce. Jsou v ní skupiny „Svět bydlení“ (vize bydlení, klasické bydlení, venkovská stavení), „Bydlení na míru“ (vnitřní stavební a instalatérské práce), „Umělecké řemeslo“, „Svět hostem“ a nabídka pro řemeslnický dorost „Young Generation“. Vystavovatelé budou prezentovat nové zkušenosti, představí také pracovní postupy, kterými lze vyrábět jednodušeji, rychleji a levněji. Tím vším vhodně doplňují nebo nahrazují průmyslovou výrobu.

Na veletrhu I.H.M. 2004 se již podeváté představí oficiální účastí Česká republika v rámci programu podpory exportu Ministerstva průmyslu a obchodu ČR. Zúčastní se 70 českých firem na výstavní ploše 1 200 m<sup>2</sup>, převážně v hale A1. Tyto firmy s počtem zaměstnanců do 250 dostaly příspěvek 100 % ceny nájmeného, avšak nejvýše 100 tis. Kč. Ostatní získaly příspěvek do 50 % ceny nájmeného výstavní plochy. Čeští výrobci mají ideální možnost navázat přímé obchodní kontakty se zástupci malých a středně velkých firem nejen ze SRN, ale i okolních zemí a také dohodnout výrobní kooperace a další formy spolupráce.

Podrobnější informace o těchto akcích a dění na výstavišti lze najít na internetové adrese [www.ihm.de](http://www.ihm.de). Zájemci o návštěvu mohou získat levnější vstupenky a katalogy, objednat vhodné ubytování i přihlásit se k připravovaným zájezdům u oficiálního zástupce veletržní společnosti, kterým je EXPO-Consult + Service, s. r. o., Brno.



## Některé problémy trvale udržitelného rozvoje průmyslového města

Ing. arch. Jana PLETNICKÁ  
VŠB TU – Fakulta stavební  
Ostrava

Trvale udržitelný rozvoj území průmyslového města je komplikován problematikou opuštěných a degradovaných ploch. Jejich regenerace a nové využití zahrnuje řešení mnoha funkčních, ekonomických, sociálních a environmentálních problémů. Současnou překážkou navrácení těchto ploch do organismu města je poměrně snadná dostupnost pozemků na „zelené louce“. Metodologie vážení hodnot území představuje možnost, jak vyjádřit skutečnou hodnotu pozemku z celospolečenského hlediska, a tím vytvořit povědomí o nutnosti využívání ploch „brownfields“.

### Úvod

Trvale udržitelný rozvoj je takový rozvoj, který uspokojí potřeby současné generace, aniž by byly ohroženy potřeby generace příští (definice Světové komise pro životní prostředí a rozvoj, 1987). Pro trvale udržitelný rozvoj města a jeho území to znamená vytvoření vyváženého vztahu mezi životním prostředím a potřebami ekonomického a sociálního rozvoje. Významem regenerace degradovaných území, opuštěných po předchozí průmyslové a jiné činnosti, pro trvale udržitelný rozvoj měst a příměstské krajiny se zabývá projekt RESCUE [2], který je předmětem týmové spolupráce v rámci „5. rámcového programu“, vyhlášeného Evropskou komisí, a řeší vztahy problematiky trvale udržitelného rozvoje území a využívání opuštěných a degradovaných ploch (brownfields) v městském organismu. Cílem projektu je také vytipovat nejlepší způsoby snížení nákladů na revitalizaci brownfields, a tím přispět k redukci poptávky po greenfield (zelené louky) a chránit spotřebu přírodních zdrojů. Jelikož brownfields ve své podstatě zahrnují jak ekonomické, tak environmentální a sociální problémy, je smyslem tohoto projektu vytvořit předpoklady pro dosažení těchto základních cílů:

- snížení nákladů na revitalizaci, které umožní:
  - navrácení území zpět k využití ve prospěch nových aktivit ve městě;
  - snížení nákladů na dekontaminaci a recyklaci území;
- obohacení programů regionálního rozvoje vytvořením:
  - podmínek pro požadovanou funkci;
  - pracovních míst;
  - kulturní identity prostřednictvím participace obyvatel;
  - daňových pobídek a rozpočtových toků;
  - optimalizací využití infrastruktury;
- rozšíření ekologické regenerace redukcí:
  - spotřeby přírodních zdrojů;
  - místa připraveného pro stavební účely;
  - recyklací demoličního stavebního materiálu a půdy;
  - navrácením degradovaného území městskému prostředí a novému funkčnímu využití.

O významu této problematiky svědčí vytváření celoevropského systémového přístupu k regeneraci brownfields z hlediska trvale udržitelného rozvoje ve využívání území. Projekty zaměřené na revitalizaci území se stávají významnou součástí dalších programů Evropské komise.

### Regenerace opuštěných a degradovaných území

Do obecné problematiky revitalizace degradované městské krajiny vstupuje zásadní a často diskutovaný rozpor „brownfield versus greenfield“. Degradované pozemky, i když jsou součástí městské struktury se všemi z toho plynoucími výhodami včetně atraktivní polohy, jsou problémové, tudíž drahé, a jejich nové využití vyžaduje větší intervence (podporu státu). Plocha na „zelené louce“, jejíž zastavění téměř vždy znamená újmu trvale udržitelnému rozvoji krajiny, je investory všeobecně upřednostňována, protože je cenově přístupnější a v podstatě bez rizika.

Tento stav je dán nedocenením vysoké hodnoty pozemku ve volné krajině proti pozemku v zastavěném území města. Z hlediska celosvětového trendu, směřujícího k trvale udržitelnému rozvoji, se jeví jako nejvýše potřebné vytvoření vhodného ekonomického nástroje, který by hodnotu pozemku ve volné krajině patřičně ocenil z komplexního hlediska funkčního potenciálu pozemku, všech složek životního prostředí a souvisejících sociálních dopadů.

Federální agentura pro ochranu životního prostředí v Německu navrhuje nástroj ochrany greenfields ve formě porovnávací metody prokazující na finanční bázi významné ekonomické ztráty způsobené právě nevyužitím brownfields. Výzkumné práce americké agentury pro ochranu životního prostředí se v tomto smyslu zabývají negativním dopadem rozšiřování stavebních investic na pozemky do volné krajiny, mimo kompaktní městskou zástavbu. Tyto investice pak dále prohlubují negativní vliv na krajinu dalšími vynucenými investicemi do dopravní a technické infrastruktury, vyvolávajícími další znečišťování vody, ovzduší a půdy. Tento stav je přičítán špatné pozemkové politice, kdy je hrubě podceňována hodnota a cena pozemků ve volné krajině.

Při určitém zjednodušení celé problematiky můžeme tvrdit, že teprve za situace, kdy se do veřejného povědomí dostane účinná ekonomická bariéra volným investicím na „zelené louce“, stává se regenerace degradovaných území prioritou zájmu státní, regionální, a především lokální investiční politiky.

Otázky, jak nalézt uspokojivé řešení pro zvýhodnění druhotného využití opuštěných ploch vytvořením priorit pro jejich regeneraci proti současným trendům rozšiřování nových investic do volné krajiny (urban sprawl), však nejsou dosud dořešeny. Zejména v zemích a krajích ekonomicky slabších je prvořadým úkolem zajistit pracovní příležitosti a požadavek investora má vždy přednost před záměry využívání území z hlediska trvale udržitelného rozvoje.

### Metoda porovnávání a vážení hodnot území

Porovnávací metodologii, prokazující na finanční bázi významné ekonomické ztráty způsobené nevyužíváním brownfields, vytvořila Federální agentura pro ochranu životního prostředí v Německu [1]. Její podstatou je postup, kdy na základě preferenčního indexu, který reprezentuje kvalitu hodnoty místa z komplexního hlediska jednotlivých složek životního i sociálního prostředí, je prokazováno, že skutečná hodnota „zelené louky“ takto pojatá převažuje nad výslednou hodnotou jejího požadovaného investičního využití. Tento nástroj hodnocení byl ověřován v rozhodovacím procesu místních samospráv v Německu a ukázal se být v zájmu trvale udržitelného rozvoje významným kontrolním kritériem při posuzování umístění investice do území.

### Základní struktura vážení hodnot území

Vytvořený hodnotící systém spojuje požadavky trhu a požadavky společnosti do jednoho modelu. Kombinuje ceny a hodnoty přímé závislosti na kapitálu se závažností sociálních dopadů. Vlastní systém použité metody hodnocení lokality spočívá ve vytvoření posuzovacích kritérií, kdy je vhodnost využití lokality hodnocena nejprve externě, a to z hlediska obce, investora a společnosti.

Zatímco obec a investor sledují samostatně ekonomické a tržní využití, společnost sleduje veřejný zájem z hlediska ekologického významu, městské struktury a regionálních aspektů. Za účelem získat přiměřený výčet různých úrovní požadavků byly nejprve posuzovány hodnoty potenciálu lokality:

- potenciál lokality z hlediska jejího komerčního využití (pro průmysl) z pohledu města (obce);
- potenciál využití lokality z hlediska bezrizikového podnikání investora;
- hodnota místa z hlediska veřejného zájmu, zahrnující širší rámec hodnocení, pro jehož upřesnění slouží podskupiny:
  - ekologická hodnota založená na významu místa pro přírodní režimy,
  - urbanistická hodnota z hlediska územního plánování a potřeb města,
  - hodnota v rámci regionální struktury z hlediska organizace dalšího vývoje.

Hodnota těchto podskupin je předmětem zkoumání stavu dvakrát – za situace před využitím lokality a po něm. Měřitko rozdílu stavu pak vyjadřuje hodnota místa  $\Delta$ .

Skupiny 1 až 3 jsou dále specifikovány rozsahem 26 podkritérií. Každé z nich je nejprve hodnoceno pětibodovou nebo třibodovou stupnicí. Příslušné váhové faktory jsou potom aplikovány na každé kritérium podle přisouzeného významu.

### Potenciál lokality z hlediska struktury zájmu obce a přisouzené váhy (součet dává 100 %):

– velikost plochy	3 %
– základové poměry	15 %
– doba pro využití (lokality k dispozici pro zastavění)	9 %
– napojení na systémy technické infrastruktury	19 %
– dopravní napojení na komunikační síť	46 %
– napojení na veřejnou dopravu	8 %

Za potenciál lokality je vždy považován její počáteční stav z hlediska vybavení a pozice. Pro kritérium specifického ohodnocení situace jednotlivé lokality je dále použita

pětiúrovňová stupnice ve spektru od +4 do 0 (úroveň 0 stanovená podle uvážení, 1 až 4 znamenají hodnoty v užítku, kvalitě), +4 představuje optimální využití.

### Potenciál využití z hlediska investora

Z pohledu investora má každá lokalita nižší nebo vyšší základní potenciál záruky pro vhodné komerční využití. Tato základní vlastnost je reprezentována několika atributy a přisouzením váhy:

– dopravní napojení lokality	24 %
– kvalita místa z hlediska polohy (zásobování, infrastruktura)	17 %
– možnosti nového využití a možné restriktce	22 %
– podmínky pro získání stavebního povolení	14 %
– záruky a životaschopnost úvěrů	15 %
– atraktivnost (image) místa	8 %

Potenciál využitelnosti lokality z hlediska požadavků investora zahrnuje také hledisko nezbytných přípravných prací, které mohou zahrnovat i dekontaminační akce. Z toho pak plynou otázky záruk a pojištění rizika. Škála specifického hodnocení kvality a charakteru lokality je dále bodována podle pětiúrovňové stupnice v rozsahu +4 až 0, přičemž 0 je výchozí a +4 optimální stav.

Pro aplikaci na místní podmínky se jeví váhové rozlišení jednotlivých vlastností lokality přiměřené. Poměrně nízké je hodnocení atraktivnosti místa, které, jak vyplývá z předchozích rozborů, je poměrně důležité z hlediska „prodejnosti“ lokality. Z hlediska investora by měla být zajímavá také dostupnost kvalifikovaných pracovních sil.

### Hodnota lokality z hlediska veřejného zájmu

Třetí významnou skupinu hodnocení tvoří kvantifikace hodnoty místa. Zahrnuje hodnocení jak ekologických funkcí, tak funkcí místních a regionálních struktur území a reprezentuje tak kontext politiky životního a sociálního prostředí pro rozvoj území. Ekologické podmínky pro hodnocení kvality místa jsou zastoupeny osmi kritérii, hledisko městské (místní) struktury čtyřmi a vztahy regionálních funkcí dvěma kritérii.

Pro kvantifikaci ekologické kvality byly vzaty v úvahu atributy půda, voda, ovzduší/klima a rostlinný habitat.

- *Půda* je za daným účelem hodnocena kritérii:
 

– struktura	13 %
– topografie/reliéf	4 %
– kvalita	18 %
- *Funkce vody* je rozlišena kritérii:
 

– míra schopnosti regenerace podzemní vody	9 %
– kvalita podzemní vody	2 %
- Pro funkci *ovzduší/klima* ve smyslu schopnosti regulovat mikroklima jsou použita kritéria kvality povrchu:
 

– z hlediska difúze/výměny vzduchu	1 %
– jako generační zóny čerstvého a chladného vzduchu	12 %
- *Kvalita biotopu* je prezentována přirozeným stavem biotopu a proporcí na ploše lokality:
 

– kvalita	9 %
-----------	-----
- Pro kvantifikaci kvalit *urbanistické* a *regionální struktury* jsou stanovena kritéria:
 

– funkčnost lokality z místního hlediska	14 %
– funkčnost vnitřní infrastruktury	7 %

– městská struktura a další funkční dopady	1 %
– celkový obraz města a krajiny	9 %
– funkce lokality v regionální struktuře	4 %
– homogenita struktury osídlení	7 %

Hodnocení místa se projeví v pětistupňové škále od +2 do -2. Pro obtížnou rozlišitelnost jsou kritéria pro terénní reliéf, stupeň schopnosti regenerace podzemní vody, kvality výměny vzduchu a tvorby čerstvého vzduchu omezena na tři stupně, v rozsahu od +1 do -1. Hodnotící regulativy jsou pak formulovány pro počáteční a cílovou situaci; tímto se prezentují změny v ekologické a místní a regionální sféře a dokumentují se jako výše zmíněná kvalita  $\Delta$ .

Při aplikaci v místních podmínkách bude opět vhodné uvedená hodnotící kritéria a přiřazená procenta váhy uplatněná ve struktuře vážení hodnot přizpůsobit konkrétnímu prostředí, popř. na základě místních poměrů upravit nebo rozšířit např. o hlediska kvalit urbanistického parteru, estetických a rekreačních kvalit lokality u hodnocení urbanistické struktury.

### Hodnocení možností využití lokality vážením hodnot území

Za účelem komplexního zobrazení srovnávaných záměrů rozvoje lokality byl vytvořen matematický vzorec pro preferenční index  $PI$ , který kalkuluje s jednotlivými hledisky hodnocení v poměru s náklady podmiňujícími vstupy do území. Nejvyšší preferenční index představuje principiální preferenci pro komerční využití.

a) *Preferenční index* vyjadřuje vztah přínosu hodnocených skupin k nákladům nutně vynaloženým na přípravu

území a je vyjádřen v hodnotě peněžní ceny za 1 m<sup>2</sup>. Dále zahrnuje koeficienty pro potenciál lokality (2,5), pro využití lokality (1,0) a pro hodnotu místa (6,5). Je vyjádřen zlomkem

$$PI = \frac{(2,5 \cdot \sum g \cdot SP + 1,0 \cdot \sum n \cdot NP) + 6,5 \cdot \sum w \cdot \Delta}{(AK + SK) - VE}$$

kde  $SP$  je zhodnocení potenciálu lokality (obec),  
 $NP$  – zhodnocení potenciálu využití lokality (investor),  
 $\Delta$  – hodnota místa z pohledu situace před využitím pozemku a po něm,  
 $AK$  – náklady na přípravné práce,  
 $SK$  – předpokládané náklady na dekontaminaci,  
 $VE$  – prodejní cena zhodnoceného pozemku,  
 $g$  – váhové kritérium pro potenciál lokality z hlediska obce,  
 $n$  – váhové kritérium pro potenciál využití investorem,  
 $w$  – váhové kritérium pro hodnotu místa.

b) Pro vyčíslení *výsledné peněžní hodnoty* bylo všech 26 kritérií (pomocí metodologických pomůcek) převedeno do peněžní dimenze. Jelikož neexistují tržní ceny pro přírodní aktiva týkající se městského rozvoje ani pro aspekty regionálních struktur, byly určeny peněžní ekvivalenty analogií s trhem. Tento přístup se použije pro ocenění každého z 26 kritérií a pro každé skóre z pětistupňové, popř. třístupňové škály jako specifická hodnota jednotky vyjádřené cenou za 1 m<sup>2</sup>, která pak může být přímo porovnána s náklady na přípravné práce vynaložené v konkrétní lokalitě. Údaje v *tab. 1* a *tab. 2* vyjadřují rozpětí

Tab. 1. Peněžní ekvivalenty kritérií potenciálu a využitelnosti lokality

Potenciál		Využitelnost	
[cena/m <sup>2</sup> ]			
velikost plochy	0,00 – 6,00	dopravní napojení	0,00 – 30,00
základové poměry	0,00 – 36,00	kvalita polohy	0,00 – 21,00
časová dostupnost	0,00 – 21,00	možnosti/restrikce	0,00 – 28,00
technická infrastruktura	0,00 – 45,00	podmínky stavební povolení	0,00 – 18,00
dopravní přístupnost	0,00 – 111,00	záruky	0,00 – 19,00
veřejná doprava	0,00 – 22,00	atraktivnost/image	0,00 – 10,00

Tab. 2. Peněžní ekvivalenty kritérií hodnoty místa

Ekologická hodnota lokality	Rozvoj města	Funkce v regionu
[cena/m <sup>2</sup> ]		
struktura půdy –45,00 až +45,00	městská funkce – 48,00 až +48,00	funkčnost lokality –13,00 až +13,00
topografie –6,50 až +6,50	vnitroměstské vztahy –25,00 až +25,00	homogenita struktury osídlení –23,00 až +23,00
kvalita půdy –64,00 až +64,00	další dopady na městskou strukturu –5,00 až +5,00	–
regenerace podzemní vody –16,00 až +16,00	městská krajina –30,00 až +30,00	–
kvalita výměny vzduchu –2,00 až +2,00	–	–
míra regenerace vzduchu –3,62 až +3,62	–	–
kvalita biotopu –30,00 až +30,00	–	–

možného ohodnocení pozemku podle struktury daného potenciálu, pro obecný příklad je použito původní ocenění v německých markách.

Výsledná peněžní hodnota (RMV) se vypočítá z rovnice

$$RMV = (\Sigma SP_m + \Sigma NP_m) + \Sigma SWA_m - (AK + SK) + VE.$$

Tato hodnota zahrnuje sumu všech peněžních ekvivalentů týkajících se potenciálu lokality, potenciálu využití lokality a hodnoty místa a výnos z prodeje lokality bez nákladů na přípravné práce a dekontaminaci. Dimenze výsledné peněžní hodnoty je v ceně za 1 m<sup>2</sup> a reprezentuje skutečnou peněžní hodnotu hospodaření společnosti, která je výsledkem využití území.

### Význam metody vážení hodnot území pro praxi

Model hodnocení využití území z hlediska trvale udržitelného rozvoje byl ověřován v praxi územně plánovacích úřadů a institucí v Německu. Z hlediska městského a regionálního plánování je významným podkladem pro rozhodování v zájmu udržitelného rozvoje regionu na základě získaného spektra informací. Způsob vážení hodnot území, vytvořený tímto systémem, je navíc velmi průhledný při vyjádření ekonomického efektu převedením ekologických a sociálních hodnot do peněžní podoby. Je tedy zároveň dobře využitelným a přesvědčivým nástrojem publicity problematiky brownfields do veřejné a politické sféry.

Použití modelu v praxi prokázalo silný tlak na plochy greenfields díky vyššímu podílu ve skupinách hodnotících potenciál lokality a potenciál využitelnosti:

- potenciál využitelnosti lokality z hlediska požadavků města prezentuje preferenci ploch greenfields v mírné převaze nad brownfields;
- potenciál využitelnosti z hlediska investora preferuje greenfields o 25 až 70 % proti využití brownfields (v této souvislosti lze předpokládat, že v zemích střední a východní Evropy bude poptávka po greenfields ještě výrazněji převažovat);
- na druhé straně se prokázalo, že ve skupině vážící hodnotu místa z hlediska veřejného zájmu nabývají plochy brownfields výrazně na významu.

Jako příklad slouží *tab. 3* s výsledky porovnání konkrétních lokalit podle modelu vážení hodnot území, které byly předmětem posuzování z hlediska trvale udržitelného rozvoje. Výsledná peněžní hodnota vyjadřuje zřetelné rozdíly mezi kvalitami greenfield a brownfield a reflektuje tak ekonomické ztráty, ke kterým dochází v případě rozvoje lokality nižší hodnoty.

Tab. 3. Porovnání hodnot lokalit greenfield a brownfield

Lokalita	Potenciál	Využitelnost	Hodnota	Výsledná peněžní hodnota
[cena/m <sup>2</sup> ]				
greenfield 1	219,23	80,25	-204,74	110,19
brownfield 1	204,98	62,75	+228,78	407,96
greenfield 2	203,48	111,00	-151,94	144,54
brownfield 2	210,58	64,25	+78,70	263,53
greenfield 3	221,08	115,50	-220,64	81,94
brownfield 3	157,73	80,25	+52,56	245,54

### Závěr

Popsaný hodnotící model představuje metodologický postup opírající se o kvantitativní modelový systém, přičemž využívá kvalitativní posouzení na základě subjektivního hodnocení prostředí. Pomocí vytvořených koeficientů (kalibrace) a hodnotového indexu pak umožňuje měřit komplexní hodnotu zkoumané lokality. Do dané problematiky vnáší nové dimenze z hlediska posuzování všech hodnot trvale udržitelného rozvoje území, a vytváří tak podnětný podklad pro rozšíření výzkumné činnosti. Na základě doplňujících podkladů a metodologických pomůcek pro shromažďování a vyhodnocování vstupních údajů může sloužit jako program při aplikaci na konkrétní lokalitu. V neposlední řadě pak mohou závěry hodnocení lokalit z hlediska celospolečenských hodnot území sloužit jako významný argumentační materiál v procesu přípravy regenerace brownfields a přispět k pochopení širšího významu problému revitalizace území z hlediska jeho trvale udržitelného rozvoje.

### Literatura

- [1] Grimski, D.: The Land Value Balance System – A Tool for Greenspace Protection Federal Environmental Agency, Contaminated Land Section, Berlin, 2000.
- [2] Pahlen, G. – Glockner, S.: Rescue – Sustainable Regeneration of European Sites in Cities and Urban Environments. Essen, 2003.

### Pletnická, J.: Some Difficulties in Sustainable City Development

**Sustainable development of industrial city areas is complicated by the existence of abandoned and degraded sites. Their regeneration and reuse involve solving a complex of economic, social, and environmental problems. The current obstacle to recycling brownfield sites and returning them to the urban fabric is a relatively easy accessibility of greenfield sites. The Land Value Balance Methodology offers an opportunity to express the real value of the site regarding the public interests and create a common awareness of the necessity to reuse brownfield sites.**

### Pletnická, J.: Einige Probleme der nachhaltigen Entwicklung einer Industriestadt

**Die nachhaltige Entwicklung des Gebiets einer Industriestadt wird durch die Problematik verlassener und abgewirtschafteter Flächen kompliziert. Ihre Regeneration und neue Nutzung schließt die Lösung eines Komplexes funktioneller, wirtschaftlicher, sozialer und umwelttechnischer Probleme ein. Ein gleichzeitiges Hindernis für die Rückführung dieser Flächen in den Organismus der Stadt ist der verhältnismäßig leichte Erwerb von Grundstücken auf der „grünen Wiese“. Eine Methodologie zur Wichtung der Werte des Gebiets stellt eine Möglichkeit dar, wie der tatsächliche Wert eines Grundstücks aus gesamtgesellschaftlicher Sicht ausgedrückt und damit ein Bewusstsein über die Notwendigkeit der Nutzung der „Brownfields“ herausgebildet werden kann.**

# Algoritmus určování rovnice obecné roviny pro laserové skenování včetně rozborů přesnosti

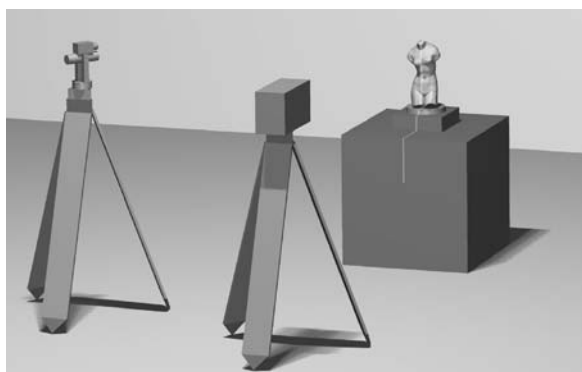
Ing. Bronislav KOSKA  
Ing. Martin ŠTRONER, PhD.  
doc. Ing. Jiří POSPÍŠIL, CSc.  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

V příspěvku je řešena problematika určení rovnice světelné roviny, vyvíjeného laserového skeneru, na základě trojrozměrných souřadnic bodů, měřených prostorovou polární metodou v nadbytečném počtu. K řešení je použita metoda vyrovnání podmínkových měření s neznámými pro korelovaná měření.

## 1. Úvod

V rámci řešení projektu věnovaného moderním optoelektronickým metodám topografie ploch je hledána vhodná metoda a postup bezkontaktního měření tvaru objektu s dostatečnou přesností a v krátkém čase. Navrhované metody jsou založeny na principu detekce optického signálu generovaného vhodným zdrojem optického záření a jeho následném počítačovém vyhodnocení. Na základě takto získaných informací bude možno vytvořit skelet měřeného objektu, který může být počítačově domodelován.

V této etapě řešení je navrhován systém pro skenování prostorově členitého povrchu, který jako zdroj optického záření využívá laserové záření ve viditelné oblasti spektra, jako detekční zařízení digitální barevnou kameru CCD a dále zařízení pro otáčení zkoumaného předmětu (obr. 1).



Obr. 1. Model rotačního skeneru

V článku [4] byla publikována metoda určení rovnice světelné roviny na základě trojrozměrných souřadnic bodů zaměřených geodetickými metodami v nadbytečném počtu. Tento postup vycházel z vyjádření roviny ve tvaru s minimálním počtem neznámých

$$a \cdot x + b \cdot y + c \cdot z + 1 = 0. \quad (1)$$

Nevýhodou tohoto vyjádření je, že pomocí něj nelze popsat rovinu procházející počátkem souřadnicové soustavy. Pro úplné zobecnění uvedeného vyrovnání byla tato rovnice převedena na tvar, který takto omezen není

$$A \cdot x + B \cdot y + C \cdot z + D = 0 \quad (2)$$

a pro jednoznačnost výsledků byla přidána podmínka

$$\sqrt{(A^2 + B^2 + C^2)} = 1, \quad (3)$$

kterou můžeme zapsat i ve zjednodušené podobě

$$(A^2 + B^2 + C^2) = 1 \Rightarrow (A^2 + B^2 + C^2) - 1 = 0. \quad (4)$$

Pro tuto upravenou rovnici roviny bylo provedeno vyrovnání a porovnání s předešlou metodou podle [4]. Pokud rovnice (2) splňuje podmínku (3), tak koeficienty  $A$ ,  $B$  a  $C$  přímo představují směrové kosiny normály této roviny.

Další problematika řešená v tomto příspěvku se týká odhadu přesnosti výsledných koeficientů při změně tvaru, rozměru nebo polohy sítě bodů. Při řešení této otázky bylo nutné uvážit vhodnost použití jednotkové chyby apriorní a aposteriorní (v [4] byla využita jednotková chyba aposteriorní) pro rozbor přesnosti.

## 2. Teoretické základy

### 2.1 Základní pojmy

Výchozím vztahem je výraz pro vzdálenost bodu od obecné roviny, který je podle [2] za platnosti (3) definován

$$d = A \cdot x + B \cdot y + C \cdot z + D \quad (5)$$

a který je pro body ležící v rovině, tedy vyrovnané body, roven nule.

Podmínka pro vyrovnání je

$$\Omega = \sum_{i=1}^{3n} v_i^2 = \min,$$

kde  $n$  je počet bodů. Formulaci můžeme rozšířit pro body zaměřené s různou přesností a zapsat maticově

$$\Omega = \mathbf{v}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{v} = \mathbf{v}^T \cdot \mathbf{Q}^{-1} \cdot \mathbf{v} = \min. \quad (6)$$

### 2.2 Zákon hromadění vah

Jde o jeden ze základních zákonů vyrovnávacího počtu. V tomto příspěvku se setkáme s jeho opakovanou aplikací. Zákon je zobecněním zákona hromadění středních chyb na skupině funkcí, který je podle [1] definován

$$\mathbf{S}_h = \mathbf{H} \cdot \mathbf{M}^2 \cdot \mathbf{H}^T, \quad (7)$$

kde  $\mathbf{S}_h$  je kovarianční matice;

$\mathbf{H}$  – matice koeficientů lineární funkce přenosu matice skutečných chyb vstupních veličin na matici skutečných chyb neznámých. Vzniká derivací funkčních vztahů podle jednotlivých vstupních veličin;

$\mathbf{M}^2$  – matice variancí (na diagonále jsou kvadráty středních chyb vstupních veličin a ostatní členy matice jsou nulové).

Ve výpočtech často nastává případ, že vstupující veličiny funkcí jsou již navzájem korelovány. Například jsou již samy výsledkem výpočtů nebo vyrovnání. V těchto příp-

padech je nutné znát kovarianční matici vstupujících veličin, kterou obvykle značíme  $S_m$ . Ta je obecně plná a symetrická. Často se formálně převádí na matici váhových koeficientů  $Q$  vztahem

$$Q_m = \frac{1}{m_0^2} S_m, \quad (8)$$

kde  $m_0$  je vhodně zvolená konstanta, tzv. střední chyba jednotková. V těchto případech mluvíme o zákonu hromadění vah. Matematické vyjádření je podobné jako u (7), tj.

$$Q_h = H \cdot Q_m \cdot H^T. \quad (9)$$

V tomto vztahu mohou být matice váhových koeficientů  $Q_h$  a  $Q_m$  nahrazeny beze změny významu kovariančními maticemi  $S_h$  a  $S_m$  podle rovnice (8).

Střední chyby neznámých potom snadno vypočteme ze vztahu

$$m_{h_i} = m_0 \cdot \sqrt{q_{h_i h_i}} = \sqrt{S_{h_i h_i}}, \quad (10)$$

kde  $q_{h_i h_i}$  je prvek hlavní diagonály matice  $Q_h$  a  $s_{h_i h_i}$  je prvek hlavní diagonály matice  $S_h$ .

Kovarianční matice je výchozím prvkem pro posouzení přesnosti jakéhokoli výsledku.

Protože v následujícím textu bude zákon hromadění vah mnohokrát použit, zavedme pro zjednodušení zápisu zkratku ZHV.

### 3. Příprava vstupních hodnot a výpočet přibližných hodnot koeficientů rovnice roviny

Příprava, formát vstupních hodnot a výpočet koeficientů  $A, B, C$  a  $D$  jsou shodné s postupem uvedeným v [4].

### 4. Linearizace a maticová formulace

Výchozí podmínka pro vyrovnání je dána  $n$  rovnicemi ( $n$  je počet bodů)

$$f(x, y, z, A, B, C, D) = A \cdot x + B \cdot y + C \cdot z + D = 0 \quad (11)$$

a dále je definována pomocná podmínka

$$(A^2 + B^2 + C^2) - 1 = 0 \quad (12)$$

V této rovnici představují, poněkud nezvykle, měření proměnné  $x, y, z$  a hledané neznámé koeficienty  $A, B, C$  a  $D$ . Počet podmínek odpovídá počtu zaměřených bodů  $n + 1$ . Všechny níže uvedené řádky matic mají pro  $n$  podmínek stejný tvar, pouze poslední řádek odpovídající podmínce (12) je odlišný.

Všechny podmínky můžeme maticově zapsat

$$f(x^T, h^T) = 0, \quad (13)$$

kde  $x^T$  je vektor všech souřadnic  $x^T = (x_1, y_1, z_1, x_2, \dots, z_n)$  a  $h^T$  vektor neznámých  $h^T = (A, B, C, D)$ .

Podmínky můžeme linearizovat a vyjádřit maticově

$$A^T \cdot v + B \cdot dh + u = 0, \quad (14)$$

kde

$$A^T = \begin{pmatrix} P & Q & R & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & P & Q & 0 & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} \partial A_1 & \partial B_1 & \partial C_1 & \partial D_1 \\ \partial A_2 & \partial B_2 & \partial C_2 & \partial D_2 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 2 \cdot A & 2 \cdot B & 2 \cdot C & 0 \end{pmatrix},$$

$$v^T = (v_{x_1} \quad v_{y_1} \quad v_{z_1} \quad v_{x_2} \quad \cdot \quad v_{z_n}),$$

$$dh = \begin{pmatrix} dA \\ dB \\ dC \\ dD \end{pmatrix}, \quad u = \begin{pmatrix} u_{01} \\ u_{02} \\ \cdot \\ \cdot \\ u_{0n} \end{pmatrix}, \quad (15)$$

kde

$$\frac{\partial f_i}{\partial x_i} = A_0 = P, \quad \frac{\partial f_i}{\partial y_i} = B_0 = Q, \quad \frac{\partial f_i}{\partial z_i} = C_0 = R,$$

$$\frac{\partial f_i}{\partial A} = \partial A_i = x_i, \quad \frac{\partial f_i}{\partial B} = \partial B_i = y_i, \quad \frac{\partial f_i}{\partial C} = \partial C_i = z_i, \quad \frac{\partial f_i}{\partial D} = \partial D_i = 1,$$

$$u_{0i} = A_0 \cdot x_i + B_0 \cdot y_i + C_0 \cdot z_i + D_0, \quad u_{0n+1} = (A_0^2 + B_0^2 + C_0^2) - 1.$$

K řešení podmínky  $\Omega = v^T \cdot Q_{XYZ}^{-1} \cdot v = \min$  použijeme přímé řešení podle Lagrangeova postupu hledání minima

$$\bar{\Omega} = v^T \cdot Q_{XYZ}^{-1} \cdot v - 2 \cdot k^T \cdot (A^T \cdot v + B \cdot dh + u) = \min,$$

kde  $k$  je vektor zatím neurčených Lagrangeových koeficientů. Maticové řešení tohoto problému je uvedeno v [4].

### 5. Rozbor přesnosti

Pro vyrovnání neznámé  $A, B, C$  a  $D$  je nutno určit jejich střední chyby a také jejich vzájemné korelace, pro potřeby dalších výpočtů s nimi. Princip jejich určení je založen na ZHV publikovaném např. v [1], kde je také odvozen výpočet matice váhových koeficientů pro neznámé u výše popsaného způsobu vyrovnání. Bez odvození uvádíme výsledný vztah  $Q_h = -Q_{hh}$ . Výpočet  $Q_{hh}$  je popsán v [4].

Výpočet středních chyb jednotlivých vypočtených neznámých se tedy uskuteční podle vzorce

$$m_A = m_0 \cdot \sqrt{q_A},$$

$$Q_h = \begin{pmatrix} q_A & q_{A,B} & q_{A,C} & q_{A,D} \\ q_{B,A} & q_B & q_{B,C} & q_{B,D} \\ q_{C,A} & q_{C,B} & q_C & q_{C,D} \\ q_{D,A} & q_{D,B} & q_{D,C} & q_D \end{pmatrix},$$

Výpočet aposteriorní střední chyby jednotkové  $m_0$  se provede podle vzorce

$$m_0 = \sqrt{\frac{v^T \cdot Q_{XYZ}^{-1} \cdot v}{r - k}}, \quad (17)$$

kde  $r$  je počet podmínek ( $r = n + 1$ ) a  $k$  je počet neznámých (v tomto případě 4).

Kovarianční matice potřebná pro další výpočty s neznámými  $A, B, C$  a  $D$  je definována

$$S_h = m_0^2 \cdot Q_h. \quad (18)$$

### 6. Kontrola výpočtu

Pro kontrolu linearizace a ukončení výpočtu bylo stanoveno pravidlo, aby 1/10 střední chyby byla větší než absolutní hodnota přírůstku příslušné neznámé. Tím by mělo být zabezpečeno, že chyba z linearizace neboli z nepřesnosti přibližných hodnot neznámých příliš neovlivní výsledné neznámé. Symbolicky

$$\frac{m_A}{10} > |dA| \wedge \frac{m_B}{10} > |dB| \wedge \frac{m_C}{10} > |dC| \wedge \frac{m_D}{10} > |dD|. \quad (19)$$

## 7. Algoritmus výpočtu

- 1) Výpočet souřadnic vstupujících do vyrovnání a jejich kovarianční matice;
- 2) výpočet přibližných hodnot neznámých;
- 3) výpočet vyrovnaných neznámých;
- 4) výpočet středních chyb a kovarianční matice vyrovnaných neznámých;
- 5) kontrola výpočtu podle nerovnic (19). Pokud jsou nerovnice splněny, ukončení výpočtu. V opačném případě opakování výpočtů od bodu 3. Za přibližné hodnoty neznámých jsou přiřazeny hodnoty, které jsou výsledkem vyrovnání.

## 8. Příklad

Pro zavedení uvedené metody do projektu byl vypracován program umožňující její rychlé a flexibilní použití. Jako kontrola provedeného vyrovnání budou použity také výsledky z [4]. Přestože jde o jinou formu podmínek a definici proměnných, výsledkem vyrovnání by měli být stejné hodnoty a stejné střední chyby. Je samozřejmě nutné provést přepočítání z vyjádření (2) na (1) včetně rozborů přesnosti podle ZHV. To je provedeno aplikací jednoduchých vztahů vyplývajících z obou rovnic

$$a = \frac{A}{D}, \quad b = \frac{B}{D}, \quad c = \frac{C}{D}. \quad (20)$$

### 8.1 Výpočet

Nyní uvádíme příklad vypočtený podle výše uvedeného algoritmu v programu Mathcad 2001i Professional.

#### ■ Výpočet souřadnic

Bylo zaměřeno 30 bodů prostorovou polární metodou. Uvažovaná střední chyba měřeného směrníku je  $m_\alpha = 0,0030$  gon, zenitového úhlu  $m_z = 0,0030$  gon a měřené délky je  $m_l = 0,0006$  m. Po prvním kontrolním výpočtu byla zjištěna řádově větší vzdálenost některých bodů od vyrovnané roviny. U bodů č. 5, 9 a 10 lze předpokládat hrubou chybu, a proto byly z konečného výpočtu vyloučeny. Pro níže uvedené výpočty bylo tedy použito 27 bodů. Jelikož se počítá s maticemi velkých rozměrů (až 81 x 81), jsou v článku někdy uvedeny pouze jejich zmenšené verze, a to vždy tak, aby jasně vyjadřovaly tvar a trend matice.

Naměřené veličiny po nutných redukcích jsou podle sloupců: směrník [gon], zenitový úhel [gon], prostorová délka [m]; zobrazena je matice pro prvních 8 bodů:

$$\begin{pmatrix} 80,6794 & 103,2759 & 2,2969 \\ 77,9014 & 103,0358 & 2,4670 \\ 74,2232 & 102,7201 & 2,7451 \\ 85,3904 & 103,6396 & 2,0638 \\ 92,2478 & 104,1519 & 1,8167 \\ 92,2342 & 105,6659 & 1,8177 \\ 86,0527 & 105,0451 & 2,0368 \\ 80,6832 & 104,4805 & 2,2989 \end{pmatrix}.$$

Z nich byly vypočteny prostorové souřadnice těchto bodů a podle zákona hromadění vah také jejich matice váhových koeficientů (zobrazeno prvních 8 bodů):

$$X = \begin{pmatrix} 11,080 & 7,479 & 9,883 \\ 10,469 & 7,994 & 9,882 \\ 10,646 & 7,848 & 9,685 \\ 10,686 & 7,811 & 9,882 \\ 10,838 & 7,683 & 9,882 \\ 10,220 & 8,203 & 9,838 \\ 10,441 & 8,018 & 9,839 \\ 10,685 & 7,812 & 9,838 \end{pmatrix}.$$

Pro velký rozměr matic váhových koeficientů je uveden pouze její výřez pro šest souřadnic (první dva body). I z něj je zřejmá matematická korelace mezi souřadnicemi jednotlivých bodů

$$Q_{xyz} = \begin{pmatrix} 0,000699 & -0,001241 & -0,000058 & 0,000000 & 0,000000 & 0,000000 \\ -0,001241 & 0,003062 & 0,000135 & 0,000000 & 0,000000 & 0,000000 \\ -0,000058 & 0,000135 & 0,000174 & 0,000000 & 0,000000 & 0,000000 \\ 0,000000 & 0,000000 & 0,000000 & 0,000275 & -0,000774 & -0,000045 \\ 0,000000 & 0,000000 & 0,000000 & -0,000774 & 0,003408 & 0,000195 \\ 0,000000 & 0,000000 & 0,000000 & -0,000045 & 0,000195 & 0,000106 \end{pmatrix}.$$

#### ■ Vyrovnání

Pro stručnost jsou u jednotlivých iterací uvedeny pouze výsledky, charakteristiky přesnosti a porovnání s [4]. Přibližné hodnoty neznámých vypočtené z prvních tří bodů:

$$\begin{aligned} A_0 &= -0,643572 \\ B_0 &= -0,765268 \\ C_0 &= -0,013439 \\ D_0 &= 12,987400 \end{aligned}$$

Střední chyba jednotková apriorní byla volena  $m_0' = 0,01$ .

#### ● První iterace

Přírůstky a vyrovnané neznámé:

$$dh = \begin{pmatrix} 2,668529e-4 \\ -1,794268e-4 \\ -2,561981e-3 \\ 0,023565 \end{pmatrix}, \quad h = \begin{pmatrix} -0,643303 \\ -0,765444 \\ -0,016001 \\ 13,010922 \end{pmatrix}.$$

Střední chyba jednotková aposteriorní a matice váhových koeficientů

$$m_0 = 0,009415, \quad Q_h = \begin{pmatrix} 0,000122 & -0,000104 & 0,000036 & -0,000862 \\ -0,000104 & 0,000088 & -0,000050 & 0,000915 \\ 0,000036 & -0,000050 & 0,001122 & -0,010826 \\ -0,000862 & 0,000915 & -0,010826 & 0,106643 \end{pmatrix}.$$

Střední chyby a jejich porovnání s přírůstky  $dh$

$$\begin{aligned} m_A &= 0,000104 < |dA \cdot 10| = 0,002690, \\ m_B &= 0,000088 < |dB \cdot 10| = 0,001769, \\ m_C &= 0,000315 < |dC \cdot 10| = 0,025619, \\ m_D &= 0,003075 < |dD \cdot 10| = 0,235216. \end{aligned}$$

Protože požadovaná podmínka není splněna pro všechny neznámé, je nutno výpočet opakovat.

Pro porovnání s [4] jsou výsledky převedeny na tvar s koeficienty  $a, b, c$ . Vyrovnané neznámé a jejich střední chyby

$$\begin{aligned} a &= -0,049443, \quad m_a = 0,000013, \\ b &= -0,058831, \quad m_b = 0,000017, \\ c &= -0,001230, \quad m_c = 0,000024 \end{aligned}$$

a porovnány se [4]<sup>1)</sup>

$$\begin{aligned} a &= -0,049443, \quad m_a = 0,000012, \\ b &= -0,058831, \quad m_b = 0,000017, \\ c &= -0,001230, \quad m_c = 0,000024. \end{aligned}$$

#### ● Druhá iterace

Jako vstupující přibližné hodnoty jsou převzaty výsledné hodnoty z předcházejícího kroku (prvního). Přírůstky a

<sup>1)</sup> Odlišnost hodnot zde uvedených a hodnot prezentovaných ve [4] je způsobena pouze jinak definovanou souřadnicovou soustavou. Zde je uvažována souřadnicová soustava pravotočivá.

vyrovnané neznámé

$$dh = \begin{pmatrix} -5,74324213e-8 \\ 4,44714246e-8 \\ 1,81621040e-7 \\ -1,47748064e-6 \end{pmatrix}, \quad h = \begin{pmatrix} -0,643303 \\ -0,765444 \\ -0,016000 \\ 13,010920 \end{pmatrix}.$$

Střední chyba jednotková aposteriorní a matice váhových koeficientů

$$m_0 = 0,009407, \\ Q_h = \begin{pmatrix} 0,000123 & -0,000104 & 0,000035 & -0,000846 \\ -0,000104 & 0,000088 & -0,000053 & 0,000937 \\ 0,000035 & -0,000053 & 0,001125 & -0,010814 \\ -0,000846 & 0,000937 & -0,010814 & 0,106183 \end{pmatrix}.$$

Střední chyby a jejich porovnání s přírůstků  $dh$

$$m_A = 0,000104 > |dA \cdot 10| = 0,000001, \\ m_B = 0,000088 > |dB \cdot 10| = 0,000000, \\ m_C = 0,000315 > |dC \cdot 10| = 0,000002, \\ m_D = 0,003065 > |dD \cdot 10| = 0,000015.$$

Protože požadovaná podmínka je splněna pro všechny neznámé, jsou dosažené výsledky považovány za správné.

Pro porovnání s [4] jsou výsledky převedeny na tvar s koeficienty  $a, b, c$ . Vyrovnané neznámé a jejich střední chyby

$$a = -0,049443, m_a = 0,000012, \\ b = -0,058831, m_b = 0,000017, \\ c = -0,001230, m_c = 0,000024$$

a porovnány se [4]

$$a = -0,049443, m_a = 0,000012, \\ b = -0,058831, m_b = 0,000017, \\ c = -0,001230, m_c = 0,000024.$$

### ■ Výsledek vyrovnání

Protože podmínka je nyní splněna pro všechny neznámé, jsou dosažené výsledky považovány za správné. Pro další výpočty budou tedy použity vyrovnané hodnoty a jejich kovarianční matice  $S_h$ .

$$A = -0,643303 \\ B = -0,765444 \\ C = -0,016000 \\ D = 13,010920$$

$$S_h = \begin{pmatrix} 1,08461E-8 & -9,17939E-9 & 3,06266E-9 & -7,48699E-8 \\ -9,17939E-9 & 7,81194E-9 & -4,65468E-9 & 8,29280E-8 \\ 3,06266E-9 & -4,65468E-9 & 9,95389E-8 & -9,57010E-7 \\ -7,48699E-8 & 8,29280E-8 & -9,57010E-7 & 9,39670E-6 \end{pmatrix}.$$

## 9. Odhad přesnosti výsledných neznámých modelu vyrovnání

V tomto oddílu je řešena problematika odhadu přesnosti navrhovaných konfigurací, které nebudou experimentálně ověřovány. Tato problematika se blíže dotýká volby jednotkové střední chyby použité pro výpočet charakteristik přesnosti výsledků vyrovnání. V příkladu uvedeném v předcházejícím oddílu byla použita jednotková chyba aposteriorní  $m_0$ , která vyplývá z vyrovnání. V odborné literatuře se používají jak apriorní, tak aposteriorní střední jednotkové chyby.

Pro odhad kovarianční matice hledaných neznámých  $A, B, C$  a  $D$  v případě změněné konfigurace a pro optimalizaci

zaměření roviny (rozměr, poloha a tvar sítě zaměřovaných bodů) je třeba tento rozbor přesnosti zobecnit a aplikovat v něm poznatky získané z tohoto konkrétního vyrovnání.

### 9.1 Úvaha o závislosti poměru aposteriorní a apriorní jednotkové střední chyby

Důležitým kritériem k posouzení rozboru přesnosti vyrovnání je poměr aposteriorní a apriorní střední chyby jednotkové označený např.

$$p_m = \frac{m_0^2}{m_0'^2}. \quad (21)$$

Tento poměr vypovídá o působení systematických chyb, popř. o kvalitě odhadu kovarianční matice měření  $S_m$ . Poměr  $p_m$  se totiž používá k analýze variance, kde je jeho velikost porovnávána s kritickou hodnotou např. z  $F$ -rozdělení.

Výše byla definována aposteriorní jednotková chyba  $m_0$  vztahem (17). Tento vztah můžeme při použití kovarianční matice místo matice váhových koeficientů přepsat

$$m_0^2 = m_0'^2 \frac{\mathbf{v}^T \cdot \mathbf{S}_m^{-1} \cdot \mathbf{v}}{r-k}, \\ p_m = \frac{m_0^2}{m_0'^2} = \frac{\mathbf{v}^T \cdot \mathbf{S}_m^{-1} \cdot \mathbf{v}}{r-k}. \quad (22)$$

Zde vystupující vektor oprav  $\mathbf{v}$  obsahuje několikrát matici váhových koeficientů, ale při jejich nahrazení za kovarianční matici a  $m_0'$  dojde k vykrácení  $m_0'$ , a tím k důkazu nezávislosti hodnot vektoru  $\mathbf{v}$  i poměru  $p_m$  na volbě  $m_0'$ . Vektor  $\mathbf{v}$  lze totiž rozepsat podle [4]

$$\mathbf{v} = \mathbf{S}_m \cdot \mathbf{A} \cdot (-1) \cdot [(\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{S}_m \cdot \mathbf{A})^{-1} - (\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{S}_m \cdot \mathbf{A})^{-1} \cdot \mathbf{B} \cdot (\mathbf{B}^T \cdot (\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{S}_m \cdot \mathbf{A})^{-1} \cdot \mathbf{B})^{-1} \cdot \mathbf{B}^T \cdot (\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{S}_m \cdot \mathbf{A})^{-1}] \cdot \mathbf{u}. \quad (23)$$

Poměr  $p_m$  je zcela nezávislý na volbě  $m_0'$  a závislý na konfiguraci měření, velikosti oprav (tedy na náhodné hodnotě jednotlivých měření) a lineárně závislý na převrácené hodnotě násobku kovarianční matice vstupních hodnot (v případě, že  $k$ -násobně zvětšíme  $S_m$ , tak  $1/k$ -násobně zmenšíme  $p_m$ ).

### 9.2 Úvaha o vhodnosti použití jednotkové chyby apriorní $m_0'$

#### Závislost kovarianční matice při použití $m_0'$

Podle [4] a oddílu 5 můžeme výsledný vztah pro výpočet matice váhových koeficientů hledaných neznámých zapsat

$$Q_h = [\mathbf{B}^T \cdot (\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{Q}_m \cdot \mathbf{A})^{-1} \cdot \mathbf{B}]^{-1}. \quad (24)$$

Tento vztah je možné zapsat také pomocí kovariančních matic s uvážením vztahu (8)

$$\frac{S_h}{m_0'^2} = [\mathbf{B}^T \cdot (\mathbf{A}^T \cdot \frac{\mathbf{S}_m}{m_0'^2} \cdot \mathbf{A})^{-1} \cdot \mathbf{B}]^{-1} = \frac{1}{m_0'^2} [\mathbf{B}^T \cdot (\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{S}_m \cdot \mathbf{A})^{-1} \cdot \mathbf{B}]^{-1}, \\ S_h = [\mathbf{B}^T \cdot (\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{S}_m \cdot \mathbf{A})^{-1} \cdot \mathbf{B}]^{-1}. \quad (25)$$

Ve vztazích (25) nejsou matice  $\mathbf{A}$  ani  $\mathbf{B}$  závislé na matici  $\mathbf{Q}_m$ , a tedy ani na  $m_0'$ . Z toho je zřejmé, že v případě užití  $m_0'$  je výsledná kovarianční matice  $S_h$  závislá pouze na konfiguraci (stavba matic  $\mathbf{A}$  a  $\mathbf{B}$ ) a lineárně závislá na násobku kovarianční matice vstupních veličin  $S_m$ .

Při použití  $m_0'$  není výsledná kovarianční matice závislá na volbě její velikosti a ani na náhodné hodnotě provedených měření –  $m_0'$  představuje pouze konstantu a její



volba neovlivňuje výslednou kovarianční matici (její tvar ani velikost). V podstatě ji lze z výpočtu formálně vyloučit. Má význam pouze pro kontrolu působení systematických chyb jejím porovnáním s  $m_0$  aposteriorní.

Výsledná kovarianční matice je závislá pouze na kovarianční matici vstupních veličin a na konfiguraci (stavba matic  $A$  a  $B$ ). Lze tedy vypočítat odhad přesnosti výsledku vyrovnání bez znalosti konkrétních hodnot vstupních veličin, ale pouze se znalostí přibližné konfigurace a matice  $S_m$ . Z těchto důvodů je použití  $m_0'$  jediné možné pro odhad přesnosti vyrovnání, a tedy optimalizaci konfigurace.

### 9.3 Úvaha o vhodnosti použití jednotkové chyby aposteriorní $m_0$

Pokud přesně neznáme charakteristiky přesnosti vstupujících veličin a jejich počet je dostatečně velký, je možné použít pro rozbor přesnosti jednotkovou chybu aposteriorní  $m_0$  (17).

#### Závislost kovarianční matice při použití $m_0$

Opět musíme vycházet ze vztahu pro výpočet matice váhových koeficientů

$$\frac{S_h}{m_0^2} = [B^T \cdot (A^T \cdot \frac{S_m}{m_0^2} \cdot A)^{-1} \cdot B]^{-1} = \frac{1}{m_0^2} [B^T \cdot (A^T \cdot S_m \cdot A)^{-1} \cdot B]^{-1},$$

$$S_h = \left( \frac{m_0^2}{m_0^2} \right) \cdot [B^T \cdot (A^T \cdot S_m \cdot A)^{-1} \cdot B]^{-1}. \quad (26)$$

Ve vztahu vystupuje poměr  $p_m$ , který můžeme také vyjádřit

$$S_h = \left( \frac{v^T \cdot S_m^{-1} \cdot v}{r - k} \right) \cdot [B^T \cdot (A^T \cdot S_m \cdot A)^{-1} \cdot B]^{-1}. \quad (27)$$

Z tohoto vztahu vyplývá, že při použití  $m_0$  není výsledná kovarianční matice závislá na velikosti kovarianční matice vstupujících veličin (vynásobení  $S_m$  konstantou se ve vztahu (27) vykrátí). Je závislá pouze na konfiguraci a na velikostech oprav daných náhodnou hodnotou vstupujících veličin.

Z rovnic a úvah této kapitoly je zřejmé, že jednotkovou chybu aposteriorní je vhodné použít pro vyrovnání tam, kde je znám pouze velmi hrubý odhad přesnosti vstupujících veličin, a přitom je jich dostatečný počet. Výsledná kovarianční matice pak není závislá na velikosti násobku kovarianční matice vstupních hodnot.

### 9.4 Shrnutí

Při dostatečném souladu  $m_0'$  a  $m_0$  je teoreticky správnější k výpočtu  $S_h$  použít  $m_0'$ , jelikož jde o kvalitnější a většinou podloženější odhad středních chyb vstupujících veličin. Jde zejména o vyrovnání sítí, kde jsou dostatečně známé a ověřené veškeré aspekty ovlivňující přesnost vstupujících veličin (přesnost přístroje, přesnost cílení, přesnost v realizaci cíle – centrace atp.). V případě hrubého nesouladu  $m_0'$  a  $m_0$  je nutné zjistit jeho příčinu.

Pokud jde o hrubou nejistotu v odhadu přesnosti vstupujících veličin, těchto veličin je dostatečný počet a nepředpokládá se působení systematických chyb, je nutné použít aposteriorní jednotkovou chybu. Tato situace nastala v našem případě, kdy byla dostatečně známa přesnost přístroje, ale neznáma přesnost v realizaci cíle a přesnost zaměření na neideální cíl. Z důvodu jednoduchosti situace a konfigurace také nelze přepokládat tak velké systematické vlivy, aby ovlivnily výsledky.

Pokud nejsou dodrženy podmínky uvedené v předešlém odstavci, je nutné přísně vyšetřit příčinu tohoto nesouladu. Pokud se například experimentem ověří správnost odhadu přesnosti vstupujících veličin a je jich dostatečný počet, je zřejmé, že měření je ovlivněno působením systematických chyb. Důkladnější rozbor této úvahy není v tomto případě potřebný a přesahuje možnosti tohoto příspěvku.

### 9.5 Návrh úpravy odhadu přesnosti vstupujících veličin

V případě, že nejde pouze o jedno vyrovnání, ale o vytvoření modelu, který by se dal využít k odhadu přesnosti a optimalizaci, je nutné používat jednotkovou chybu apriorní (viz odd. 9.2). Pokud jde naopak o vyrovnání jako v odstavci třetím odd. 9.4, tedy o hrubý nesoulad  $m_0'$  a  $m_0$  při splnění určitých podmínek, je nutné použít jednotkovou chybu aposteriorní. V našem případě jde o platnost obou výše uvedených tvrzení, a proto se nabízí otázka, kterou z jednotkových chyb použít.

Jednoduchým řešením této situace je například úprava  $S_m$  tak, aby  $m_0'$  byla v souladu s  $m_0$  a současně nedošlo k výrazné změně  $S_h$ . Potom již v dalších výpočtech používat důsledně  $m_0'$ .

V oddílu 9.1 je uvedeno, že poměr  $p_m$  je nezávislý na  $m_0'$  a závislý na konfiguraci úlohy, velikosti oprav a hlavně lineárně závislý na převrácené hodnotě násobku kovarianční matice vstupních hodnot. V případě, že  $k$ -násobně zvětšíme  $S_m$ , tak  $1/k$ -násobně zmenšíme  $p_m$ . Takže pokud

$$k = \frac{1}{p_m} = \frac{m_0^2}{m_0'^2}$$

vynásobíme  $S_m$ , neovlivníme tím podle (27) velikost  $S_h$ , současně upravíme odhad přesnosti vstupujících veličin na reálnou úroveň a poměr  $p_m$  by měl vycházet v dalších experimentech, provedených za stejných podmínek, roven přibližně jedné. Tím umožníme použití jednotkové chyby apriorní v dalších modelech. Jednoduchou kontrolou uvedené úpravy a kvality modelu je vymodelování situace obdobné jako při provedeném experimentu a porovnání vypočtených odhadů přesnosti s odhady získanými při experimentu. Nezávislou kontrolou je také nové měření a posouzení poměru  $p_m$ . Takovéto měření bylo provedeno pro 11 bodů a získaný poměr je velmi blízký jedné  $p_m = 0,897$ . Z toho lze usuzovat na dobrý odhad přesnosti vstupujících veličin.

**Příspěvek vznikl v rámci řešení projektu č. 103/02/0357 GA ČR.**

### Literatura

- [1] Böhm, J. – Radouch, V. – Hampacher, M.: Teorie chyb a vyrovnávací počet. Praha, GKP, 1990, 416 s.
- [2] Budinský, B. – Charvát, J.: Matematika I. [Učební text], Praha, ČVUT 1994.
- [3] Bronštejn, L. N. – Semendžajev, K. A.: Průručka matematiky pro inženýrov a pre študujúcich. Bratislava, SVTL 1964.
- [4] Koska, B. – Štroner, M. – Pospíšil, J.: Algoritmus určování rovnice roviny pro laserové skenování. Stavební obzor, 12, 2003, č. 10, s. 309–313.

Koska, B. – Štroner, M. – Pospíšil, J.: An Algorithm of Determination of the General Plane Equation for Laser Scanning, Including Accuracy Analyses

This article focuses on determination of the light plane equation of a laser scanner being developed. The equation determination is based on 3D coordinates of points which will be measured with the spatial polar method in excessive numbers. The solution involves the method of balancing measurements of conditions with the unknowns for the correlated measurements.

Koska, B. – Štroner, M. – Pospíšil, J.: Algorithmus zur Bestimmung der Gleichung einer allgemeinen Ebene für Laserscannen einschließlich Genauigkeitsanalysen

Im Beitrag wird die Problematik der Bestimmung der Gleichung einer durch einen Laserscanner entwickelten Lichtebene auf Grund von 3D Koordinaten von Punkten behandelt, die mit der räumlichen Polarmethode in überschüssiger Anzahl gemessen werden. Für die Lösung wird die Methode des Ausgleichs von Bedingungs-messungen mit Unbekannten für korrelierte Messungen angewandt.

## • zprávy

### Spálená 14 – moderní budova s geniem loci

Secesní dům s nepřehlédnutelnou zelenou fasádou ve Spálené ulici č. 14 je původně sídlem akciové společnosti Česká pojišťovna, jejíž přepážková hala je znovu otevřena ve větší části parteru zrekonstruovaného objektu. Ostatní plochy šestipodlažního objektu budou využívány jako nájemní administrativní a obchodní plochy. Po citlivé rekonstrukci vzniklo v objektu celkem 4 750 m<sup>2</sup> užitné plochy, z čehož přibližně 3 200 m<sup>2</sup> zabírají nadstandardní administrativní prostory. Zájemci o pronájem kanceláří nebo sídel svých společností si mohou vybrat z široké nabídky administrativních ploch různých typů. Objekt obsahuje tradiční místnosti v luxusním secesním stylu i volné velkoplošné kanceláře s možností variabilního rozčlenění. Přibližně 700 m<sup>2</sup> v parteru budovy bude využito pro zřízení obchodů, galerií, restaurací a dalších provozoven.

Hlavní vstup do budovy je situovaný ze Spálené ulice. Již při vstupu do přízemní dvorany se secesní kašnou a původním schodištěm si návštěvník plně uvědomí, že vstoupil do osobitého domu. Pokud na něj nezapůsobí řemeslné detaily vnitřních dekorací, jistě jej upoutá přítomnost nečekaného tvora v kašně, který je již od roku 1914 patronem domu. Tehdy do mozaikové kašny vypustil Jan Werich, který byl nejen otcem slavného herce, ale i zaměstnancem První české vzájemné pojišťovny, jeho předchůdce. Tam dělal radost kolemjdoucím i zaměstnancům plných 62 let. Úhoř je jak známo dravec, a tak nepohrdne červy ani rybičkami. Dokonce se traduje, že jeho nejoblíbenější pochoutkou, kterou mu dopřávali někteří zaměstnanci, byly vepřové řízky. Současný úhoř Pepík II. bydlel v kašně teprve devět let, když se pro rekonstrukci celého objektu musel přestěhovat do Stanice mladých přírodovědců. Po dokončení prací byl do kašny vrácen.

Z dvorany je přístupný klidový vnitroblok. Výtahy nebo po schodišti se návštěvník dostane do kanceláří v horních podlažích. Vedle zasedacích místností a kanceláří v původním stylu obsahuje budova unikátní velkoplošné kanceláře s přímým osvětlením. Perličkou stavby jsou atraktivní kanceláře s výhledem na Hradčany v posledním nadzemním

podlaží. Velkorysost kanceláří podtrhují konstrukční výšky podlaží, které se pohybují od 4,0 do 5,3 m.

Objekt je vybaven třemi komunikačními jádry s výtahy, které umožňují samostatné přístupy do jednotlivých částí stavby dle nájemníků. Systém centrální a patrových recepcí umožňuje přehledný komunikační systém v objektu a zajišťuje maximální míru samostatnosti nájemců.

Dostatečné parkovací plochy pro nájemníky se nacházejí v třípodlažních podzemních garážích sousední budovy ve Vladislavově ulici, která je s objektem provozně propojena. Parkovací plochy jsou dimenzovány s dostatečnou rezervou tak, aby uspokojily jak nájemníky prostor, tak jejich návštěvníky a hosty.

V maximální možné míře byly v celém objektu zachovány původní dřevěné obklady a štukatury, které se dochovaly především ve společných prostorách a v kancelářích v uličním traktu. Stejně tak byla v objektu zrekonstruována atraktivní špaletová okna ze dřeva, která přispívají ke stylu interiéru, ale i k jeho příjemné tepelné pohodě. Dalším původním materiálem, který uživatelé prostor ocení, jsou zděné dělicí stěny traktů a menších kanceláří s ideálními akustickými parametry. Luxusnímu stylu kanceláří odpovídají také zrekonstruované teracové podlahy a kamenné dlažby nebo nové dřevěné parkety kanceláří vytvořené podle původního vzoru.

To, čím se budova odlišuje od ostatních podobných staveb v centru Prahy, je její vybavení nejmodernějšími systémy inteligentního řízení budov (EIB), které jsou u nás dosud unikátní i u novostaveb. Díky nim poskytuje stavba uživatelům komfort, který pro kanceláře v centru města není běžně dostupný. Současný objekt zachovává původní velkorysé dispozice, většinu konstrukcí i elegantních dekorací z původního projektu Osvalda Polívky, podle kterého zde vyrostlo v letech 1907–1909 důstojné sídlo První české vzájemné pojišťovny. Podle projektu stejného autora byla budova v roce 1927 zvýšena o jedno podlaží a ve stejné podobě se dochovala až do současné rekonstrukce.

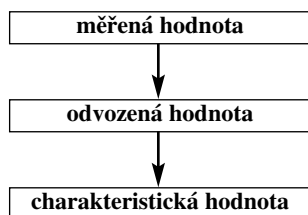


## Několik poznámek ke stanovení charakteristické hodnoty geotechnického parametru základové půdy a návrhové hodnoty odolnosti základové půdy podle EC 7-1 (ČSN EN 1997-1:?)

doc. Ing. Ladislav LAMBOJ, CSc.  
 ČVUT – Fakulta stavební  
 Praha

EC 7-1 (EN 1997-1:2003) zavádí do stavební praxe pojem charakteristická hodnota geotechnického parametru základové půdy. V článku jsou uvedeny možné přístupy k jejímu stanovení a je poukázáno na nejednotný názor geotechnické obce za odpovědnost jejího stanovení. Dále je objasněn způsob stanovení hodnoty návrhové odolnosti základové půdy.

V poslední době se konečně částečně rozproudila i v české odborné veřejnosti diskuze týkající se problematiky stanovení charakteristické hodnoty parametru základové půdy, vyvolaná blízcím se převedením ČSN P ENV 1997-1:1994 [1] na ČSN EN 1997-1:?. EC 7-1 [2] definuje charakteristickou hodnotu geotechnického parametru základové půdy ve svém článku 2.4.5.2(2) jako obezřetný odhad hodnoty parametru ovlivňujícího výskyt mezního stavu. EC 7-1 zároveň zavádí další nový pojem, dosud u nás neužívaný, a to odvozenou hodnotu parametru základové půdy. Odvozenou hodnotou rozumíme hodnotu parametru základové půdy, která byla odvozena z měřených hodnot na základě uznávané teorie nebo poloempirie nebo empirie či korelace. Schematicky můžeme naznačit postup pro získání charakteristické hodnoty parametru základové půdy následně:



Postup můžeme zjednodušeně objasnit takto. Například u smykové zkoušky v triaxiálu změříme v okamžiku porušení nebo smluvené deformace vzorku komorové napětí a deviator napětí, u presiometrické zkoušky nárůst objemu sondy a tomu odpovídající nárůst radiálního napětí v pseudoelastické oblasti. To jsou měřené hodnoty.

Z měřených hodnot získáme odvozené hodnoty, které odvodíme na základě uznávané teorie (smyková zkouška – Mohrova-Coulombova teorie porušení) nebo empirie či poloempirie (presiometrická zkouška – Ménard) či korelace (SPT). Takto vypočtené odvozené hodnoty jsou podkladem pro stanovení charakteristické hodnoty příslušného parametru základové půdy.

Výběr charakteristické hodnoty parametru základové půdy musí být založen na odvozené hodnotě parametru ovlivňujícího vznik mezního stavu. Objem základové půdy ovlivňující vznik mezního stavu je obvykle mnohem větší

než objem testovaného vzorku nebo základové půdy při polním měření. Ve většině případů z toho vyplývá, že charakteristická hodnota parametru je obezřetný odhad průměru z odvozených hodnot. Je-li chování geotechnické konstrukce v uvažovaném mezním stavu řízeno nižší či vyšší hodnotou parametru základové půdy, pak charakteristická hodnota parametru je obezřetným odhadem této hodnoty.

Tam, kde je to možné, mohou být odvozené hodnoty statisticky zpracovány a jejich pravděpodobnostní hodnota pak slouží jako výchozí podklad pro stanovení charakteristické hodnoty parametru základové půdy. Odvozená hodnota parametru základové půdy se stanoví obvykle jako 95 % průměrné hodnoty parametru. Jestliže očekáváme vznik mezního stavu způsobený nižší hodnotou parametru, vyčíslíme nižší hodnotu parametru s pravděpodobností plnění  $P = 0,05$ . Hodnotu vyšší pak s pravděpodobností plnění  $1 - P$ .

Pro názornost uvedme některé doporučované postupy při statistickém zpracování [4] v závislosti na typu geotechnické konstrukce. Při řešení stability svahu obvykle činí pravděpodobnostní hodnota 95 % průměrné odvozené hodnoty parametru základové půdy. U plošných či pilotových základů je třeba rozlišovat dva limitní případy. První je ten, kdy horní skeletová konstrukce je založena na tuhé desce, která je schopna překlenout slabá místa základové půdy. Pak výchozí hodnotou pro charakteristickou hodnotu parametru základové půdy bývá obvykle 95 % průměru odvozených hodnot z průměrů pod jednotlivými sloupy, kde byly testovány parametry. Je-li horní konstrukce založena na patkách a nelze z návrhu horní konstrukce předpokládat, že selhání některé patky mohou převzít ostatní patky, pak pravděpodobnostní hodnotu parametru stanovíme jako 95 % průměru odvozené hodnoty pod patkou. Tam, kde očekáváme vznik mezního stavu vyvolaný nižší hodnotou parametru, vypočteme nižší hodnotu s pravděpodobností plnění  $P = 0,05$ , tzn. že teoreticky 95 ze 100 odvozených hodnot bude větších než vypočtená hodnota, tj. nižší hodnota parametru se rovná 5 % kvantilu. Abychom zabránili vzniku mezního stavu u pilot zatížených negativním třením, použijeme naopak vyšší hodnoty parametru základové půdy. Vyšší hodnotu parametru vypočteme s pravděpodobností  $1 - P$ , kde  $P = 0,05$ , tzn. že pouze 5 % hodnot parametru základové půdy bude vyšších než odvozená hodnota.

TC 23 [3] zjišťovalo názor geotechniků na použití statistických metod pro stanovení charakteristické hodnoty parametru základové půdy. Protože výsledky průzkumu jsou zajímavé, dovolím si vás s některými seznámit. S použitím statistických metod souhlasilo bez výhrad 64 % respondentů, zatímco 33 % bylo výrazně proti. Pro statistické metody bylo 67 % pracovníků průzkumu a k nim se připojilo 60 % projektantů. Proti bylo 17 % pracovníků průzkumu a 40 % projektantů. Většina respondentů doporučovala použití statistických výsledků v kombinaci se „zkušeností“. Mnoho respondentů poukázovalo na to, že jen málo inženýrů-geotechniků umí používat statistické metody. Zajímavý poznatek.

A kdo je tedy za stanovení charakteristické hodnoty parametru základové půdy odpovědný? I na tuto otázku hledal TC 23 odpověď. Nedostal však žádnou přesvědčivou (51 % dotázaných odpovědělo, že zpracovatel geotechnického průzkumu, 52 % uvedlo projektanta. Skutečnost, že součet je větší než 100 %, lze vysvětlit tím, že někteří respondenti označili více než jednu odpověď). Odpovědi se liší také státní příslušností respondenta – 88 % německých respondentů se domnívá, že odpovědný je zpracovatel průzkumu, 67 % irských respondentů, že projektant a 89 % ruských respondentů, že klient.

Z výše uvedeného vyplývá, že totožná základová půda může být ve výpočtech reprezentovaná rozdílnou charakteristickou hodnotou shodného parametru. Podle mého názoru při stanovení charakteristické hodnoty parametru základové půdy sehrává nezastupitelnou roli autorizovaný inženýr-geotechnik. Ten musí uvážit veškeré vlivy, které mohou ovlivnit charakteristickou hodnotu parametru základové půdy a jež nebylo možné zachytit laboratorní nebo polní zkouškou ani zvolenou návrhovou metodou.

Návrhovou hodnotu parametru základové půdy  $X_d$  pak získáme tak, že charakteristickou hodnotu  $X_k$  zajistíme součinitelem spolehlivosti materiálu  $\gamma_m$

$$X_d = X_k / \gamma_m \quad (1)$$

Existuje jediná výjimka při stanovení návrhové hodnoty parametru základové půdy, a to ta, že návrhovou hodnotu stanovíme přímo bez procesu popsání v předcházejících řádcích. Hodnoty  $\gamma_m$  předepisuje EC 7-1 a představují minimální bezpečnost pro běžný návrh:



Návrhovou hodnotu odolnosti základové půdy lze stanovit podle EN 1997-1:2003 čtyřmi způsoby. Jednotlivé způsoby se liší distribucí dílčích součinitelů spolehlivosti základové půdy. Je pochopitelné, že pro každý způsob stanovení návrhové odolnosti základové půdy je stanoven odpovídající postup, jakým se vypočítají návrhové hodnoty účinků zatížení,

$$R_d = R (F_{rep}, X_k, a_d) \quad (2)$$

$$R_d = (1/\gamma_R) R (F_{rep}, X_k, a_d) \quad (3)$$

$$R_d = R (\gamma_f F_{rep}, X_k/\gamma_m, a_d) \quad (4)$$

$$R_d = (1/\gamma_R) R (\gamma_f F_{rep}, X_k/\gamma_m, a_d) \quad (5)$$

V případě vztahu (2) vypočítáme návrhovou odolnost základové půdy z charakteristických hodnot parametrů základové půdy, v případě uvedeném ve vztahu (3) z charakteristických hodnot parametrů základové půdy a jako celek zajistíme jedním součinitelem spolehlivosti. V případě vztahu (4) ji vypočítáme z návrhových hodnot parametrů základové půdy. Vztah (5) uvádí zřídka se vyskytující případ, kdy ji vyjádříme z návrhových hodnot parametrů základové půdy a jako celek pak zajistíme jedním součinitelem. I zde se naskytá otázka, který ze způsobů stanovení návrhové odolnosti základové půdy máme použít. Materiálový postup (4) je přílehavější k filozofii, že nejistoty mají být vyčísleny u zdroje, zatímco pro úvahy, v nichž jsou užity výpočtové modely, je realističtější přístup podle (2), (3).

Byl bych vděčný našim geotechnikům za připomínky, které by byly nápomocny k vyřešení i této otázky (využití vztahů (2) až (5) vzhledem ke geotechnické konstrukci).

**Kontakt:** Katedra geotechniky FSv ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, email: lamboj@fsv.cvut.cz, tel.: 22435 3874, fax: 23333 4206.

Článek vznikl za podpory projektu č. 103/02/1166 GA ČR.

#### Literatura

- [1] ČSN P ENV 1997-1:1994, ČSN, Praha.
- [2] Pracovní výtisky EC 7-1, NEN Delft.
- [3] Honso, Y. et al: Foundation Design Codes and Soil Investigation in View International Harmonization and Performance Based Design. Kamakura, JGS 2002.
- [4] Likeš, J. – Laga, J.: Základní statistické tabulky. Praha, SNTL 1978.

**Lamboj, L.: Notes on the Determination of the Characteristic Value of the Geotechnical Parameter of the Foundation Soil and the Design Value of Foundation Soil Resistance by EC 7-1 (ČSN EN 1997-1:?)**

The EC 7-1 (EN 1997-1:2003) standard introduces the concept of a characteristic value of a geotechnical parameter of the foundation soil into the construction practice. This paper outlines possible methods of its determination and highlights the divided approaches of the geotechnical engineers community to the responsibility for its determination. In addition, a method of the determination of the design resistance value of the foundation soil is explained.

**Lamboj, L.: Einige Anmerkungen zur Bestimmung des charakteristischen Werts des geotechnischen Parameters des Baugrunds und des Rechenwerts der Beständigkeit des Baugrunds gemäß EC 7-1 (ČSN EN 1997-1:?)**

Die EC 7-1 (EN 1997-1:2003) führt in die Baupraxis den Begriff Charakteristischer Wert des geotechnischen Parameters des Baugrunds ein. Im Artikel werden mögliche Herangehensweisen zu dessen Bestimmung angeführt, und es wird auf die einheitliche Meinung der geotechnischen Fachgemeinde zur Verantwortlichkeit seiner Bestimmung verwiesen. Ferner wird die Art und Weise der Bestimmung des Wertes der rechnerischen Beständigkeit des Baugrunds erklärt.

**Světový veletrh  
technologií a automatizace**



**HANNOVER  
MESSE**

**19. – 24. dubna 2004**

---

[www.hannovermesse.de](http://www.hannovermesse.de)

## • soutěž

### Česká hlava



Projekt na podporu vědecké a technické inteligence Česká hlava byl vyhlášen v březnu 2002. Tvoří jej soubor vzájemně provázaných aktivit, jejichž cílem je popularizovat vědu a zvýšit společenskou prestiž tuzemských technických a vědeckých pracovníků coby hlavních tvůrců ekonomické prosperity země. Každoročním vyvrcholením projektu je udělování národních cen Česká hlava pro nejlepší osobnosti z oblasti vědy a techniky. Neskromným cílem je dosáhnout společenského povědomí na úrovni jakési národní Nobelovy ceny.

Potřeba vzniku podobného projektu vychází ze skutečnosti, že zájem o práci ve výzkumu, a to jak základním, tak aplikovaném, v České republice neustále klesá. Jedním z důvodů je i malý společenský kredit, který tyto profese mají. Zároveň vědecká a technická vzdělanost české popu-

lace roste neuspokojivým tempem, což se stává brzdou rychlejšího ekonomického a sociálního rozvoje země. Smyslem projektu Česká hlava je proto vytvářet povědomí, že naše země může prosperovat jenom tehdy, dokáže-li vychovávat nové Heyrovské a Wichterle a bude je umět i materiálně a společensky ocenit.

Na cenu Česká hlava pro nejlepší české vědce, techniky, studenty vysokých a středních škol bylo v roce 2003 nominováno 80 projektů a osobností, z nichž odborná porota, složená ze zástupců Akademie věd ČR, vysokých škol a odborníků z praxe, vybrala vítěze v jednotlivých kategoriích.

Nad projektem převzalo oficiální záštitu Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR, Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR, Ministerstvo financí ČR, Ministerstvo zahraničních věcí ČR a Ministerstvo pro místní rozvoj ČR.

*Tisková informace*

#### Česká hlava 2003 za celoživotní dílo

**prof. RNDr. Zdeněk Herman, DrSc.**, z Ústavu fyzikální chemie Jaroslava Heyrovského AV ČR, je jedním z nejcitovanějších českých vědců v zahraničí v oboru fyzikální chemie. Svými pracemi se zasadil například o pochopení vzniku procesů v mezihvězdném prostoru.

#### *Invence Klubu českých hlav* za objev či jiný počin v posledních letech

**prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.**, z Ústavu mechaniky ČVUT, a **Ing. František Petrá** z Kovosvitu Sezimovo Ústí vyvinuli první obráběcí stroj na světě založený na paralelní hybridní kinematice.

#### *Unipetrol, a. s., Patria* pro osobnost působící v zahraničí

**prof. Jan Švejcár** z univerzity v Michiganu výrazně přispěl v teorii problematiky ekonomické transformace v zemích střední a východní Evropy.

#### *Transgas, a. s., Industrie* za nejvýraznější výrobovou nebo technologickou inovaci

Společnost **UJP Praha, a. s.**, získala ocenění za vývoj materiálů, výpočetních postupů a monitorovacích metod při sledování životnosti energetických a chemických zařízení s cílem zvýšit bezpečnost práce.

#### *Doctorandus*

studentovi doktorského studijního programu

**Mgr. Jaromír Fiurásek, PhD.**, z Univerzity Palackého v Olomouci se zaměřuje na aktuální problémy v teorii kvantové informace.

#### *Gaudeamus Appian Group 2003*

studentovi magisterského nebo bakalářského studia

**Ing. Ladislav Sekerka** z Fakulty podnikatelské VUT v Brně za průkopnickou práci v oblasti financování projektů veřejného zájmu bez nároku na veřejné rozpočty.

#### *Naděje společnosti SKANSKA, CZ, a. s.* studentovi střední školy

**Jiří Hron** z Gymnázia Christiana Dopplera se věnuje fyzice a matematice, jeho práce vznikají ve spolupráci s Fyzikálním ústavem ČR. Byl spoluautorem článku o vlastnostech elementárních částic a dvakrát reprezentoval ČR na Mezinárodní konferenci mladých vědců.

#### *Media Hospodářských novin a Českého rozhlasu* za popularizaci vědy a techniky

**Ing. Šárka Speváková** za publicistickou činnost v České televizi.



#### 4. mezinárodní konference

### TECHSTA 2004

18. – 20. února 2004

Fakulta stavební ČVUT, Thákuřova 7, 166 29, Praha 6

<http://technologie.fsv.cvut.cz/konference/2004/index.html>

## ● soutěž

### Rekonstrukce Žižkových kasáren v Jihlavě

Prestižní ocenění Stavba roku, které každoročně uděluje společnost ABF pěti stavbám z České republiky bez rozlišení pořadí, získala v roce 2003 i rekonstrukce shora uvedeného objektu na sídlo Krajského úřadu pro kraj Vysočina. Při oceňování projektu odborná porota zdůraznila, že jde o ukázkou příkladné proměny vysloužilých kasáren na správní centrum se zřetelem na dobré výrazové propojení starých a nových částí.

Při přestavbě byly využity materiály POROTHERM pro obvodové zdivo 40 P+D, překlady a příčky. Celková doba realizace výstavby činila čtrnáct měsíců, objekt byl předán do užívání v roce 2002 a celkové stavební náklady činily 300 mil. Kč. Dodavatelem stavby včetně projektu výstavby bylo sdružení Podziměk a synové, s. r. o. – GEO-ING Jihlava, spol. s r. o., z Třešti, architektonickou stránku zajišťovala společnost FORTIS zastoupená Dr. Ing. arch. Jaroslavem Huňáčkem a hlavním investorem Česká republika zastoupená Okresním úřadem v Jihlavě.

Královské město Jihlava opět získalo statut metropole kraje, a proto bylo nutné ve městě zřídit odpovídající krajský úřad. Ačkoli byl tento post v Jihlavě již za dob Rakouska-Uherska, a poté i za první republiky, původní budovu hejtmanství nešlo využít. Volba padla na areál bývalých kasáren dělostřeleckého a pěšího pluku Jana Žižky západně od centra města, jenž od devadesátých let minulého století chátral.



Po zahájení projekčních prací spojených s úpravou areálu v roce 1999 začalo být zřejmé, že dosavadní prostory nebudou ve stávající podobě zadaným požadavkům vyhovovat. Jako jediné schůdné řešení se jevila varianta rekonstruovat centrální budovu na sídlo hejtmána a rady kraje a dva zbývající bloky areálu zbourat a nahradit novou výstavbou. V ní našlo své místo kongresové a hlavní administrativní centrum. Areál Krajského úřadu Jihlava je doplněn vnitřní

komunikací pro pěší a dopravní zónu s omezenou průtočností automobilů. Všechny objekty jsou zároveň vzájemně propojeny v úrovni prvního podlaží a bezbariérově v přízemí. Podzemní kongresové budovy navíc pojalo podzemní parkovací prostory s 87 stáními.

Budova hejtmanství nakonec zůstala jediným objektem areálu Žižkových kasáren zachovaným v původním architektonickém tvaru a objemu. Současná kapacita budovy je cca 65 pracovních míst. Tento třípodlažní objekt s částečným podsklepením ve střední části (prostor schodiště) je založen na členitém, osově souměrném půdorysu. Zastřešení bylo provedeno formou vaznicového krovu sedlového tvaru s valbami. Fasáda budovy má na uličním průčelí aplikovanou klasicistní formu s jednoduchým členěním ostění a špalet. Dvorní část je pojednána bez tohoto členění. Okna jsou dřevěná s jednoduchým členěním.

Architektonické řešení rekonstrukce objektu spočívalo v dlících dispozičních a provozně technických úpravách jednotlivých podlaží a ve zvýraznění jeho vnější formy tak, aby se tento objekt stal nedílnou součástí nového areálu. Zásadní změnou pak bylo začlenění a provozní propojení objektu s oběma novostavbami. Součástí rekonstrukce historické budovy byla i vestavba velkokapacitního výtahu ve stávajícím schodištvém prostoru pro zabezpečení bezbariérového přístupu do horních podlaží. V přízemí byl obnoven hlavní vstup do budovy původním portálem v hlavním průčelí ze Žižkovy ulice. Ve vstupním prostoru zásahem do nosných konstrukcí byla uvolněna dispozice a vytvořena reprezentativní vstupní hala.

Novostavba kongresové budovy s plochou střechou a se dvěma terasami na východní straně má tři podzemní a tři nadzemní podlaží. Předsazený prosklený kubus, otevřený přes všechna nadzemní podlaží, slouží jako vstupní prostor do objektu, a zároveň napomáhá prosvětlení a provzdušnění celé budovy. Kubus je navržen v kombinaci ocelových a hliníkových profilů a je opatřen slunečními clonami proti přehřátí budovy. Na zádveřích navazuje foyer s polokruhovým ocelovým schodištěm.

Poslední budova – administrativní objekt – je situována do západní části areálu na místo původní stavby. Tento podélný dvoutrakt je řešen jako stěnový nosný systém, v krajních polích je příčný systém nosných zdí. Objekt má jedno podzemní a čtyři nadzemní podlaží, z části je zastřešen sedlovou střechou s valbami, z části plochou střechou, zbývající část tvoří terasy. Dílem prosklená, dílem keramikou obložená a z větší části omítnutá fasáda s velkoformátovými okny dostatečně prosvětluje administrativní prostory. Vertikálně je fasáda členěna římsami.

*Tisková informace*

## PŘEDPLATNÉ

časopisu Stavební obzor na rok 2004

je možné objednat vyplněním elektronického formuláře na internetu na adrese

<http://web.fsv.cvut.cz/obzor>

nebo zasláním písemné objednávky na adresu distributora uvedenou v tiráži časopisu na druhé straně obálky.

# STAVEBNÍ OBZOR

## ROČNÍK 13 ČÍSLO 03/2004

### Navigace v dokumentu

#### OBSAH

Janata, V. <b>Ocelová konstrukce střechy pro Sazka Arenu</b>	65
Vácha, J. – Háša, P. <b>Oprava havarované konstrukce střechy kotelny v Elektrárně Opatovice</b>	71
Košatka, P. <b>Navrhování zděných stěn s výztuží v ložných spárách</b>	75
Jokl, M. <b>Mikroklimatické parametry pro návrh vytápění s inteligentním řízením</b>	80
Pašek, J. – Svoboda, J. <b>Fyzikální aspekty použití nekontaktní termografie při analýze obvodových plášťů budov</b>	82
Štronerová, J. <b>Vlastnosti svazku laserového dálkoměru a jeho odrazu na různě umístěných plochách</b>	92

**3 • 2004**

**ročník 13**

# STAVEBNÍ OBZOR

pozemní stavby  
dopravní stavby  
vodohospodářské stavby  
geotechnika  
konstrukce a materiály  
technologie  
životní prostředí  
geodézie a kartografie  
mechanizace  
informatika  
ekonomika  
software



Fakulta stavební  
ČVUT v Praze



Česká komora autorizovaných  
inženýrů a techniků



Český svaz  
stavebních inženýrů



Fakulta stavební  
VUT v Brně



Fakulta stavební  
VŠB TU-Ostrava



<b>OBSAH</b>	<b>CONTENTS</b>	<b>INHALT</b>
Janata, V. <b>Ocelová konstrukce střechy pro Sazka Arenu</b> ..... 65	Janata, V. <b>The Steel Structure of the Sazka Arena Roof</b> ..... 65	Janata, V. <b>Stahlkonstruktion für das Dach der Sazka Arena Halle</b> ... 65
Vácha, J. – Háša, P. <b>Oprava havarované konstrukce střechy kotelny v Elektrárně Opatovice</b> ..... 71	Vácha, J. – Háša, P. <b>Repair of the Crashed Roof Structure of a Boiler Room in the Opatovice Power Plant</b> ..... 71	Vácha, J. – Háša, P. <b>Reparatur einer eingestürzten Dachkonstruktion im Kraftwerk Opatovice</b> ..... 71
Košatka, P. <b>Navrhování zděných stěn s výztuží v ložných spárách</b> ..... 75	Košatka, P. <b>Design of Masonry Walls with Reinforcement in Bed Joints</b> ..... 75	Košatka, P. <b>Entwerfen von gemauerten Wänden mit bewehrten Lagerfugen</b> ..... 75
Jokl, M. <b>Mikroklimatické parametry pro návrh vytápění s inteligentním řízením</b> ..... 80	Jokl, M. <b>Microclimatic Parameters for the Design of Heating with Artificial Intelligence Control</b> ..... 80	Jokl, M. <b>Mikroklimatische Parameter für den Entwurf einer Heizung mit intelligenter Steuerung</b> ..... 80
Pašek, J. – Svoboda, J. <b>Fyzikální aspekty použití nekontaktní termografie při analýze obvodových plášťů budov</b> ..... 82	Pašek, J. – Svoboda, J. <b>Physical Aspects of the Application of Non-Contact Thermography in the Analysis of External Skins of Buildings</b> ..... 82	Pašek, J. – Svoboda, J. <b>Physikalische Aspekte der Anwendung der kontaktlosen Thermographie bei der Analyse von Gebäudeaußenwänden</b> .. 82
Štronerová, J. <b>Vlastnosti svazku laserového dálkoměru a jeho odrazu na různě umístěných plochách</b> ..... 92	Štronerová, J. <b>Properties of the Laser Distance Meter Beam and Its Reflection on Differently Placed Areas</b> ..... 92	Štronerová, J. <b>Eigenschaften des Strahlenbündels eines Laser-Fermessgeräts und seiner Reflexion an verschiedenen angeordneten Flächen</b> ... 92

## REDAKČNÍ RADA

### Předseda:

prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.

### Místopředseda:

doc. Ing. Alois MATERNA, CSc.

### Tajemníci:

doc. Ing. Milan KAŠPAR, CSc.

doc. Ing. Jindřich ŠMEJČKÝ, CSc.

### Členové:

Ing. Miroslav BAJER, CSc.

doc. Ing. Pavel HÁNEK, CSc.

Ing. Jiří HIRŠ, CSc.

Ing. Ivan HRDINA

doc. Ing. Vladimír JELÍNEK, CSc.

Ing. Miroslav JEŽEK, CSc.

doc. Ing. Miroslav KAUN, CSc.

Ing. Jana KORYTÁROVÁ, PhD.

Ing. Karel KUBEČKA

Ing. Petr KUNEŠ, CSc.

doc. Ing. Ladislav LAMBOJ, CSc.

doc. Ing. Ivan MOUDRÝ, CSc.

doc. Ing. Jaroslav NOVÁK, CSc.

doc. Ing. Luděk NOVÁK, CSc.

doc. Ing. Miloslav PAVLÍK, CSc.

prof. Ing. J. PROCHÁZKA, CSc.

doc. Ing. Vlastimil STARA, CSc.

Ing. Karel SVOBODA

doc. Ing. Jiří VÁŠKA, CSc.

doc. Ing. Josef VITÁSEK, CSc.

prof. Ing. Jiří WITZANY, DrSc.

Ing. Renata ZDAŘILOVÁ

**STAVEBNÍ OBZOR**, odborný měsíčník, vydává Fakulta stavební ČVUT Praha společně s Fakultou stavební VUT Brno, Fakultou stavební VŠB TU Ostrava, Českou komorou autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě a Českým svazem stavebních inženýrů. Řídí redakční rada, vedoucí redaktorka Marcela Klímová. Adresa redakce: Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel./fax: 224 354 596, klimova@fsv.cvut.cz, http://web.fsv.cvut.cz/obzor. Vychází každý měsíc kromě července a srpna, cena za výtisk je 40 Kč včetně DPH (+ poštovné a balné). Objednávky odběru i reklamace přijímá Ing. Milan Gattringer, MG DTP, Borovanská 3388, 143 00 Praha 4, tel./fax: 241 770 220, e-mail: mgdtp@volny.cz. Odběr je možné zrušit až po vyčerpání zaplaceného předplatného. Inzerce adresujte redakci. Technická redakce a realizace: Ing. Milan Gattringer. Podávání novinových zásilek povoleno Ředitelstvím pošt Praha, č. j. NP 144/1994, ze dne 21. 10. 1994. Do tisku 28. 1. 2004. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

## Ocelová konstrukce střechy pro Sazka Arenu

Ing. Vladimír JANATA, CSc.

EXCON, a. s.

Praha

Pro ocelovou konstrukci střechy víceúčelové arény velkého rozpětí a intenzity zatížení byla zvolena unikátní koncepce prostorového předpjatého vzpínadla, které tvoří centrální tubus, příhradové vazníky a předpjatá táhla. Navržené řešení přináší nová řešení konstrukčních detailů a postupů při asymetrické montáži na dočasné podpoře a při předpínání a aktivaci táhel. Ve výrobě byl zvolen náročný systém kontroly kvality a tolerance.

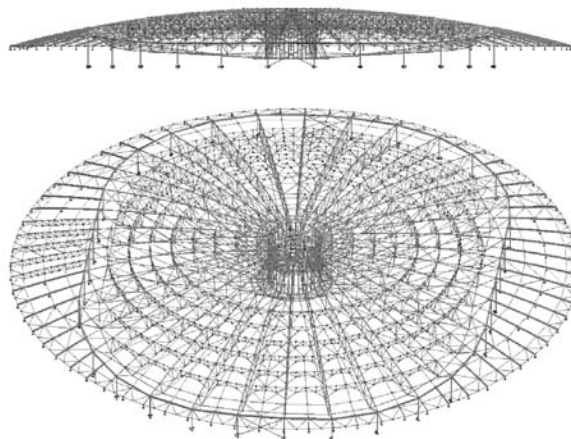
### Dispozice a zatížení

Nosná konstrukce tvaru kulového vrchlíku o průměru 135 m a vzepětí 9 m je ze statického hlediska prostorové vzpínadlo tvořené 36 příhradovými vazníky s táhlem, které se sbíhají do centrálního prstence tvaru dutého válce [1], [2]. Vazníky jsou uloženy na betonové konstrukci haly, dilatované na 6 úseků, na 32 ocelových sloupech kyvných v radiálním směru a na čtyřech vetknutých sloupech spojených ve vrcholu s betonovými jádry situovanými ve středu dilatačních úseků. Střechu vůči betonové hale stabilizují v horizontálním směru čtyři hrncová ložiska mezi vetknutými sloupy a vazníky. Sloupy jsou umístěny v půdorysném průmětu prostorové křivky průniku kulového vrchlíku a oválu arény (obr. 1 a obr. 2). Portálová a tyčová ztužidla v soustředných kruzích částečně silově spolupůsobí s vazníky a spolu se zavětrováním střešní roviny zajišťují celkovou stabilitu střechy.



Obr. 1. Montáž konstrukce střechy s dočasnou střední podporou

Konstrukci tvoří čtyři zrcadlově symetrické části, každá s devíti různými vazníky. Nosníky doplňkové konstrukce vně arény (v pokračování vazníků) jsou posuvně uloženy na betonový průvlak přes pryžové ložisko. Střešní plášť tvoří panely Dart pnuté tangenciálně a uložené přímo na horních pásích vazníků.



Obr. 2. Prostorový model střechy

Zatížení má, s ohledem na umístění kruhových a posuvných mostů divadelní technologie ve střešním prostoru, vysokou intenzitu a proměnlivý charakter. Podrobněji je rozepsáno v tab. 1.

Tab. 1. Zatížení střechy nad prostorem arény

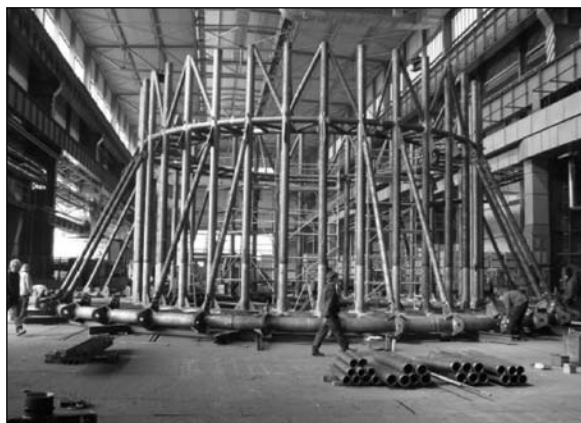
Zatížení	[t]	[kg/m <sup>2</sup> ]
ocelová nosná konstrukce	1 200	111
ocelová nenosná konstrukce	220	20
střešní plášť	640	59
akustika a vzduchotechnika	350	32
divadelní technika stabilní	390	36
divadelní technika pohyblivá	260	24
nahodilé provozní	390	36
sníh	540	50
celkem	3 990	368

Při optimalizaci dispozice a dimenzí střechy bylo nutno z prostorového působení vyjmout veškeré prvky mimo radiálně tangenciální strukturu. Šlo zejména o průvlaky na průniku vrchlíku a arény, podružné nosné prvky pro akustické absorbéry a střední plošinu pro tahy multimediální kostky. Vliv horizontálních pohybů dilatačních celků betonové konstrukce byl posuzován jako lokální účinek na jednotlivé sloupy a ukázal se být nevýznamným stejně jako vliv nerovnoměrného sedání nosné betonové konstrukce.

### Konstrukční řešení a výroba

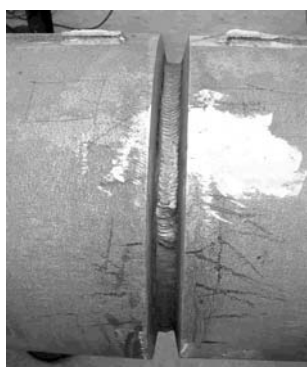
Konstrukce střechy je trubková příhradová, převážně svařovaná přes průvlaky, z materiálu S355. Středový tubus tvoří dutý válec o průměru 18 m, výšce 12,3 m a hmotnosti 170 t. Sestává ze tří hlavních kruhových příhradových prstenců; dvou pro připojení pásů vazníků a jednoho pro připo-

jení táhel (obr. 5). Síly ze šikmých vzpěr přenáší čtvrtý, menší prstenc (obr. 3). Prstence jsou propojeny 36 svislými prvky. Tubus byl vyroben z 27 svařovaných dílů. K nejjednodušším operacím patřilo ohýbání pásů prstenců z trubek 356/36 a jejich dílenské i montážní svařování. Volba vhodné technologie svařování s ohledem na změny tvaru a kontrolní sestavy byly podmínkou dosažení výsledného tvaru konstrukce v tolerancích přijatelných pro montáž.



Obr. 3. Sestava spodní části tubusu před montáží

Vazníky, obloukové příhradové rovinné nosníky o osové vzdálenosti pásů 4 m, byly dodávány v dílech dlouhých 15 m, spojovaných přes příruby s vloženou diagonálou. Styky diagonál a prvků ztužidel ve střešní rovině byly provedeny dvojitými šrouby 10.9. V závislosti na velikosti působících sil byly použity 2 až 4 šrouby M30-M36. Problém prolomení trubek horního pásu byl vyřešen vevařením výztuh do vnitřního prostoru trubky.



Obr. 4. Kořen svaru pásové trubky před kontrolou RTG

Pro kontrolu rozměrů byla předepsána výrobní skupina B podle ČSN 73 2601 [7]. Středový tubus i vazníky byly kontrolovány v dílenských sestavách podle měřických plánů s tolerancemi předepsanými projektantem. Ztužidla byla vyráběna v šablonách.

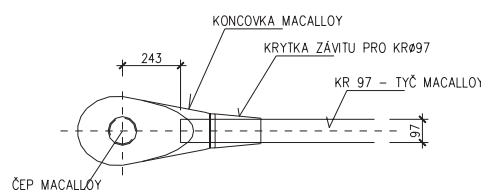
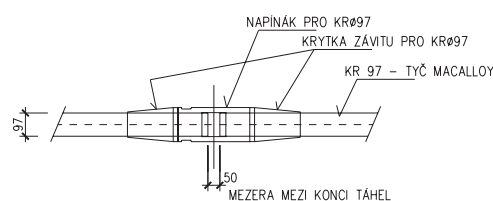
Systém táhel Macalloy z materiálu S460 s válcovaným závitem M100 a s návrhovou únosností přes 3 000 kN byl zvolen s ohledem na možnost vnesení a měření napínacích sil na volné délce táhla. Díky tomu bylo možno vytvořit čisté detaily styku táhla s vazníkem a tubusem přes čep a koncovku se závitem (obr. 7). Jednotlivé segmenty táhla v délce 12 m jsou spojovány přes napínačky s konickými krytkami (obr. 6).

### Montáž tubusu a vazníků

Konstrukce byla montována na dočasné střední podpoře (pižmu). Střední tubus byl na místě stavby na zemi svařen



Obr. 5. Styk vazník-tubus



Obr. 6. Koncovka a spoj táhla Macalloy



Obr. 7. Styk táhlo-vazník

do dvou částí. První tvořil spodní prstenc se sloupy a vzpěrami (obr. 3) a druhou dva horní prstence. Po geodetickém zaměření skutečného tvaru obou částí po svaření byly obě části vyzdviženy na střední podporu tak, aby vzájemné odchylky směřu obou částí s ohledem na teoretické osy byly co nejmenší. Optimalizace polohy obou částí tubusu jsme provedli s použitím prostorových počítačových modelů obou zaměřených částí. Tubus byl uložen na 12 hydraulických lisech o nosnosti 100 t (obr. 12).

Montážní styk obou částí tubusu je svařovaný (obr. 9). Sloupy jsou stykovány přes kruhovou desku vymezující povolené tolerance excentricity přípoje svislých prvků.

Na základě vyhodnocení výsledků zaměření tubusu po svaření a vazníků sestavených v mostárně byl s ohledem na montáž určen pro každý přírubový styk přesný počet vložek. Tolerance v betonové konstrukci byly řešeny vložení dílů mezi sloupy a kotevními deskami vyrobených na míru podle zaměření kotevních desek.



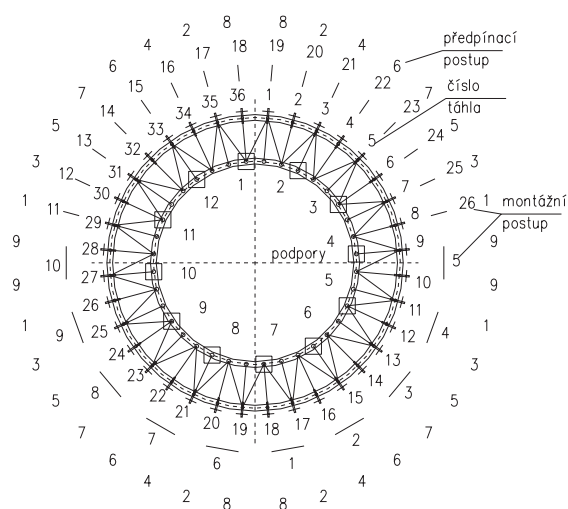
Obr. 8. Montáž tubusu na podpoře



Obr. 9. Montážní styk obou částí tubusu



Obr. 10. Montáž dvojic vazníků s podvěšenými táhly



Obr. 11. Tubus, spodní prstenec, podpory, postup montáže a předpínání

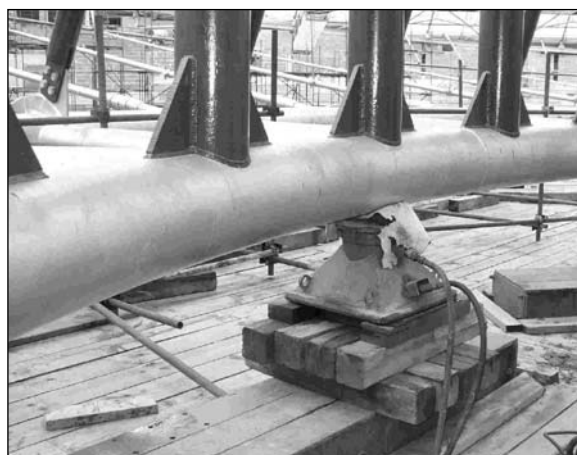
### Asymetrická montáž

Pro montáž byly na staveništi z dispozičního hlediska složité poměry. K jedné straně haly přiléhá konstrukce malé arény, která znemožňuje přístup jeřábu, a tím i symetrickou montáž. Proto bylo 20 vazníků montováno po dvojicích ze dvou pozic uvnitř arény a zbylých 16 jednotlivě ze dvou stanovišť vně arény jeřábem o nosnosti 800 t. Táhla byla montována společně s vazníky. Postup montáže je zřejmý z obr. 11. Při asymetrické montáži vznikaly rovněž účinky části namontované konstrukce v podporách (obr. 12), které bylo nutno pro návrh dočasné podpory vyčíslit.

K výpočtu reakcí jednotlivých montážních stavů byl použit model konstrukce podepřený na 12 podporách s příslušným počtem vazníků. Největší účinky na podporu vykazoval montážní stav po desátém zdvihu, tedy konstrukce po uložení 20 vazníků (obr. 13).

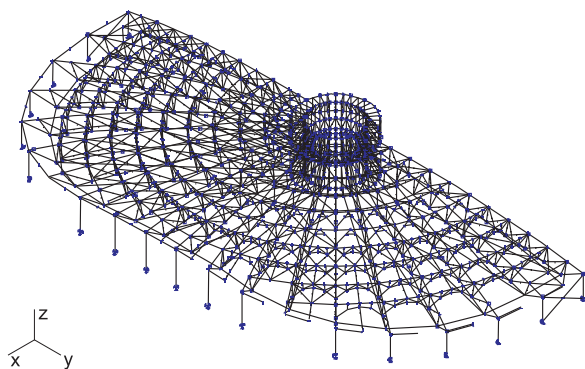
Výpočet nepostihoval montážní a teplotní vlivy. Velikost reakcí dále závisí na tuhosti podpor (obr. 12), jejichž hodnota byla pouze kvalifikovaně odhadnuta na základě parametrické studie [4] tak, aby reakce v podporách a deformace prstence byly v přijatelných mezích s ohledem na montáž (obr. 14).

Proto byla dočasná podpora navržena na dvojnásobné hodnoty reakcí hodnot vypočtených a po každém mon-

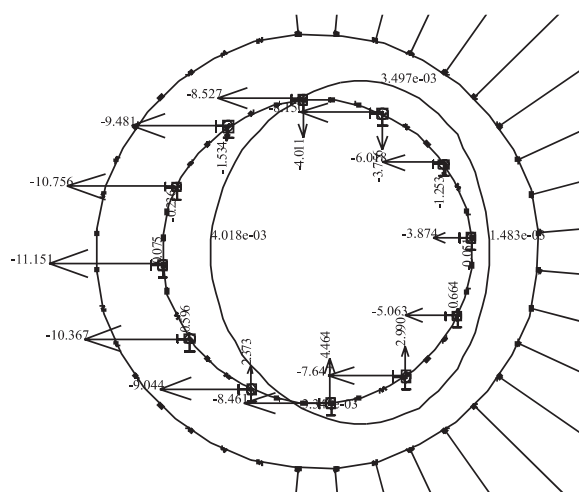


Obr. 12. Dočasné podepření na pížmu (hydraulický zvedák na práčkách)

tážním kroku byl geodeticky zaměřen tvar prstence tubusu a porovnán s teoretickými hodnotami. Měření ukázalo, že hodnoty vodorovných deformací prstence při montáži nepřekročily 15 mm, což je přibližně dvojnásobek teoretických hodnot za výše uvedených předpokladů (obr. 14).



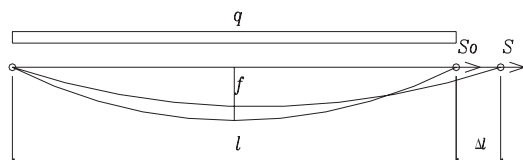
Obr. 13. Model montážního stavu s 20 vazníky



Obr. 14. Reakce v podporách [kN] a deformace spodního prstence tubusu [mm] po montáži 20 vazníků

### Montáž táhel

Táhla byla začepována na vazník a zavěšena na několika lanových zvedácích těsně pod jeho spodním pásem. Vzdálenost zvedáků byla zvolena tak, aby nedošlo při spuštění táhel k jejich přetížení, popř. ohybu a poškození táhel. Po připojení vazníku k tubusu a na sloup byla táhla spuštěna do předem připravených lankových závěsů ve vzdálenosti 5 m, které vymezily zvolený průvès  $f_0$ . Ten byl určen pro každé táhlo tak, aby nelineární složka jeho tuhosti, která je zohledněna ve druhé části vzorce (2), byla v průběhu předpínání, zatěžování a aktivace v hodnotách do 3 % jeho celkové tuhosti, a bylo jí tudíž možno ve výpočtu zanedbat. Při výpočtu délek lankových závěsů byly uvažovány další vlivy, jako průhyb vazníku, pružné a nepružné přetvoření lanka a výrobní tolerance.



Obr. 15. Geometrické a deformační parametry táhla

Pro posun konce táhla, průvès a délku lanové křivky (obr. 15) byly při zanedbání sklonu táhla použity známé

vztahy pro vlákno:

$$f = \frac{ql^2}{8S}, \quad (1)$$

$$\Delta l = \frac{(S - S_0)l}{EA} + \frac{q^2 l^3}{24} \left( \frac{1}{S^2} - \frac{1}{S_0^2} \right), \quad (2)$$

$$L = l \left( 1 + \frac{8f^2}{3l^2} \right), \quad (3)$$

kde  $l$  je vzdálenost podpor,  $\Delta l$  změna vzdálenosti podpor,  $S_0$  počáteční síla v táhle,  $S$  výsledná síla v táhle,  $q$  zatížení táhla na jednotku délky,  $E$  modul pružnosti,  $A$  průřezová plocha,  $L$  délka křivky táhla,  $f$  průvès táhla.

Náhradní modul pružnosti táhla se zahrnutím nelineární složky tuhosti lze pak vyjádřit vztahem

$$E_{\text{náhr}} = \frac{(S - S_0)l}{\Delta l A}. \quad (4)$$

V tabulce 2 jsou zřejmé hodnoty tuhosti táhel 1 a 9 ve stadiu po předpětí (500 kN, provizorní závěsy po 5 m), ve stadiu po aktivaci (spuštění) konstrukce (800 kN, závěsy po 15 m) a ve stadiu po instalaci většiny stálých zatížení (1 300 kN). Nelineární složka tuhosti se začíná uplatňovat až po dosažení síly odpovídající průvèsu vymezeného závěsů  $f_0$ . Pro nejkratší táhlo 1 byl zvolen průvès 0,07 m, pro táhlo 9 pak 0,1 m. Při těchto hodnotách je nelineární složka tuhosti menší než 3 %. Z tabulky je zřejmé, že po instalaci většiny stálých zatížení je hodnota průvèsu menší než sledovaná hodnota, a závěsy pak nejsou nezbytné. Odstraněny byly všechny provizorní závěsy, stabilní závěsy po cca 15 m, umístěné těsně u kruhových mostů, byly však v konstrukci ponechány pro korekci frekvence při případném kmitání táhel při provozu haly.

Tab. 2. Vlastnosti táhel pro různou délku volných závěsů

Táhlo	$l$ [m]	$S$ [kN]	$f$	$L$	$\Delta l_{\text{lin}}$	$\Delta l_{\text{nelin}}$	$E_{\text{náhr}}$ [MPa]
1	35	1 300	0,0683	35,00036	0,02932		
1		1 310	0,0678	35,00035	0,00023	0,000005	2,05E+05
1		2 000	0,0444	35,00015	0,01579	0,000205	2,07E+05
1		2 500	0,0355	35,00010	0,02706	0,000259	2,08E+05
9	50	1 700	0,1066	35,00087	0,05477		
9		1 710	0,1060	35,00086	0,00032	0,000007	2,05E+05
9		2 000	0,0906	35,00063	0,00967	0,000168	2,06E+05
9		2 500	0,0725	35,00040	0,02577	0,000326	2,07E+05
1-9	15	800	0,0204	15,00007	0,00773		
1-9		810	0,0201	15,00007	0,00010	0,000002	2,06E+05
1-9		1 300	0,0125	15,00003	0,00483	0,000046	2,08E+05
1-9	5	500	0,0036	5,00001	0,00161		
1-9		510	0,0036	5,00001	0,00003	2,72E-07	2,08E+05

### Předpínání táhel a kontrolní měření

Předpětí táhel mělo především aktivační charakter. Před spuštěním konstrukce z podpory bylo nutno táhla částečně aktivovat a vyrovnat nerovnoměrnosti vzniklé při montáži. Výsledkem předpětí bylo také snížení průhybu konstrukce o cca 75 mm. Celkový průhyb bude pak při maximálním zatížení menší než 1/350 rozpětí. Předpětí táhel bylo zvoleno odstupňovaně mezi 85 až 175 kN, to znamená asi 5 % únosnosti každého z nich. Předpětí bylo odstupňováno tak, aby částečně vyrovnalo síly v táhlech při maximálním zatížení.

Táhla byla předepnuta na pižmu na 12 hydraulických podporách. V době předpínání byla namontována vlastní ocelová konstrukce a dva kruhové mosty. Hmotnost kon-

strukce a mostů neumožnila vertikální posun konstrukce při předpínání. Tato situace byla teoreticky modelována vložení podpory v místech ložení na hydraulické zvedáky. Předpětí pak bylo nutno přepočítat na změněný statický systém (model B s podporami) [5]. Podpory zabraňující vertikálnímu posunu tubusu byly v horizontálním směru uvažovány pružné s pérovou konstantou shodnou jako při posuzování montážních stavů. Vnesené síly do táhel  $S$  na modelu B mají složky

$$S = S_p + S_m, \quad (5)$$

kde  $S_p$  je složka síly od vneseného předpětí a  $S_m$  složka síly od hmotnosti střešní konstrukce a instalovaných kruhových mostů na modelu B. Složku síly od předpětí  $S_p$  lze na modelu B určit dvěma způsoby:

- vnesením předpětí shodnou hodnotou ochlazením táhla na podepřeném modelu (B) jako modelu (A) bez dočasné podpory;
- součtem předpínací síly  $S_{po}$  na nepodepřeném modelu A a síly v táhlu  $S_{pp}$  od vynuceného poklesu na modelu B, jehož hodnota je shodná s hodnotou deformace od předpětí na modelu A.

$$\text{Platí} \quad S_p = S_{po} + S_{pp}. \quad (6)$$

Předpínací síla byla teoreticky stanovena a ověřena oběma způsoby.

Výsledná síla v táhlu po spuštění konstrukce z podpory  $S_o$  se konečně stanoví jako součet síly od předpětí  $S_{po}$  a síly od hmotnosti konstrukce a mostů  $S_{mo}$  na modelu A.

$$S_o = S_{po} + S_{mo}. \quad (7)$$

Tab. 3. Teoretické předpínací síly v táhlech

Táhlo	$S_{po}$	$S_{pp}$	$S_p$	$S_m$	$S$	$S_{mo}$	$S_o$
	[kN]						
1	84	398	482	105	587	866	950
2	104	371	475	110	585	821	925
3	110	352	462	136	598	815	925
4	148	305	453	148	601	737	885
5	171	280	451	154	605	697	868
6	175	272	447	139	586	669	844
7	153	284	437	154	591	709	862
8	146	285	431	151	582	710	856
9	106	315	421	164	585	784	890

Z tabulky 3 je zřejmé, že k dosažení předpínací síly  $S_{po} = 84$  až 175 kN na konstrukci po spuštění (model A) bylo nutno na podepřené konstrukci (model B) vnést napínací sílu v rozmezí  $S_p = 421$  až 482 kN. Vzhledem k výslednému malému rozdílu sil  $S$  v jednotlivých táhlech byla zvolena jednotná výsledná předpínací síla 550 kN, která byla měřena na táhlu dvěma aktivními a dvěma kompenzačními tenzometry nalepenými na táhlu poblíž napínacího zařízení [3]. Hodnota předepnutí byla zvolena nižší než teoretická předpínací síla  $S$  z tab. 3, protože tenzometry byly instalovány až po montáži vazníků, při které již byly do táhel vneseny určité inicializační síly.

Táhla byla předpínána po čtveřicích (zrcadlově symetrických) ve dvou krocích. Předpínací síly byly vnášeny hydraulickým zařízením umožňujícím měření vnášené síly, které bylo zároveň kontrolou měření tenzometrických. Napínákové matice s konickými krytkami, na nichž bylo zařízení instalováno, byly umístěny poblíž prstence, aby napínání bylo usnadněno z plošiny pižma (obr. 16).



Obr. 16. Napínací zařízení u koncovky táhla

Při napínání bylo nutno vzít v úvahu vzájemné ovlivňování sil v táhlech při předpínání [5]. V tabulce 4 je matice teoretických příčinků změn sil v táhlech při napínání jednotlivých čtveřic lan. Na úhlopříčce jsou napínací síly v táhlech a ve zbytku řádku jsou změny sil v ostatních táhlech.

Tab. 4. Teoretické změny sil v táhlech [kN] při napínání symetrických čtveřic

Táhlo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	530	-130	-51	-11	12	28	39	45	51
2	-135	583	-73	-24	1	21	34	42	47
3	-48	-71	593	-70	-26	5	21	31	37
4	-11	-24	-66	543	-54	-9	9	20	26
5	11	0	-24	-53	490	-32	-7	6	13
6	25	19	5	-8	-32	438	-40	-12	-6
7	38	31	21	9	-7	-43	457	-54	-36
8	46	41	32	22	8	-13	-56	442	-89
9	52	46	38	27	13	-6	-39	-89	412

Naměřené hodnoty sil v táhlech přibližně odpovídaly teoretickým předpokladům příčinků změn. Například tab. 5 uvádí teoretické a naměřené změny sil v táhlu č. 8 při druhém předpínacím kroku (300–550 kN).

Tab. 5. Teoretické a skutečné změny sil [kN] v táhlu 8 při napínání ostatních táhel

Změny	Táhlo							
	1	2	3	4	5	6	7	9
skutečné	24	10	22	7	-31	-23	-22	-41
teoretické	20	18	15	11	3	-7	-29	-52

Po určení pořadí předpínání jednotlivých čtveřic (obr. 11) bylo možno iteračním postupem zjistit výchozí síly tak, aby po dokončení napínání ve dvou krocích (300 a 550 kN) byly v táhlech předepsané napínací síly (tab. 6).

Tab. 6. Výchozí hodnoty napínacích sil

Táhlo	Pořadí	Krok 1	Krok 2	Kontrola
		[kN]		
1, 18, 19, 36	8	262	518	550
2, 17, 20, 35	2	351	592	550
3, 16, 21, 34	4	346	588	550
4, 15, 22, 33	6	316	564	550
5, 14, 23, 32	7	284	537	550
6, 13, 24, 31	5	314	562	550
7, 12, 25, 30	3	324	571	550
8, 11, 26, 29	1	330	575	550
9, 10, 27, 28	9	300	550	550

Před začátkem předpínání byly také změřeny svislé reakce tubusu v hydraulických podporách. Měření orientačně potvrdilo reakce předpokládané výpočtem:

- součet reakcí podle výpočtu 6 850 kN,
- součet reakcí změřených 6 970 kN.

Změřením reakcí po předepnutí byl zkontrolován vliv předepnutí na odlehčení konstrukce:

- součet reakcí podle výpočtu 3 070 kN,
- součet reakcí změřených 3 130 kN.

Rozdíly jsou v rámci tolerancí měření v hydraulických podporách.

### Spuštění konstrukce

Předpokládaný pokles konstrukce po spuštění z provizorní podpory byl 65 mm. Konstrukce byla spouštěna ve třech krocích, z toho první dva kroky po 20 mm. Při spouštění konstrukce byly v jednotlivých krocích měřeny síly v táhlech a posuny konstrukce na ložiscích. *Tabulka 7* uvádí teo-

Tab. 7. Silové a deformační hodnoty při spuštění konstrukce

Stav	Pokles konstrukce [mm]	Nárůst síly v táhle [kN]	Posun v ložisku [mm]
teoretický	65	285	4
změřený	50	251	4

retické a naměřené hodnoty po spuštění konstrukce. U nárůstu síly v táhle jde o průměrnou hodnotu všech 36 táhel. Lze konstatovat, že teoretické a naměřené hodnoty se přes nepřesné určení hmotnosti konstrukce a inicializačních sil v táhlech před instalací tenzometrů velice dobře shodují.



Obr. 17. Konstrukce střechy po odstranění provizorní podpory

V průběhu stavby pokračuje kontrola sil v táhlech a deformačí s postupující montáží stálých zatížení. Poslední měření bude provedeno při instalaci multimediální kostky o hmotnosti 30 t, a to včetně měření dynamických charakteristik konstrukce při nouzovém zastavení kostky při jejím spouštění.

### Základní údaje o autorech, účastnících a průběhu výstavby

Investorem Sazka Areny je akciová společnost Sazka, výstavbu koordinuje dceřiná společnost BESTSPORT. Autory urbanisticko-architektonického řešení stavby jsou Ing. Vladimír Vokatý, Ing. arch. Martin Vokatý a Ing. arch. Jiří Vít. Autorem statického a dispozičního řešení ocelových konstrukcí je Ing. Vladimír Janata, CSc. Generálním projektantem je architektonický ateliér ATIP s hlavním kooperan-

tem HELIKA, a. s. Akciová společnost EXCON zpracovala projektovou dokumentaci ocelové konstrukce ve všech stupních, výrobní dokumentaci a teoretické podklady pro technologický postup montáže. Na Fakultě stavební ČVUT byl zpracován odborný posudek na statický výpočet [6].

Dodavatelem stavebních prací je Skanska CZ a dodavatelem technologií Damovo Česká republika. Výrobu ocelové konstrukce zajistil Metrostav, a. s., závod 07, s hlavními subdodavateli EXCON STEEL, a. s. (tubus), Vítkovice Strojírenství, a. s. (vazníky a sloupy), Macalloy, Ltd., Velká Británie (táhla). Montáž zajistily Hutní montáže Ostrava, a. s. Geodetické práce provedla firma Gefos, a. s.

### Časový průběh prací na projektu, výrobě a montáži

koncepte statického řešení	1–2/2002
dokumentace pro stavební povolení	3–5/2002
tendrová dokumentace	5–6/2002
dokumentace pro provedení stavby	8–11/2002
výrobní dokumentace	12/2002–2/2003
zahájení stavby	9/2002
výroba ocelové konstrukce	1–5/2003
montáž ocelové konstrukce	4–8/2003
dokončení stavby	4/2004

### Literatura

- [1] Janata, V. – Včelák, J.: Ocelové konstrukce pro halu Sazka. Stavební listy, 2002, č. 8–9, s. 16–17.
- [2] Janata, V.: Víceúčelová Aréna Sazka ve Vysočanech. Konstrukce, 2003, č. 4, s. 13–15.
- [3] Pímer, M. – Urushadze, S.: Měření sil v táhlech střešní konstrukce haly Sazka. ÚTAM AV ČR, 2003.
- [4] Janata, V.: Střeška Aréna Sazka – příprava montáže A. EXCON, a. s., 2003.
- [5] Janata, V.: Předpínání a aktivace táhel, Sazka Aréna projekt montáže. EXCON, a. s., 2003.
- [6] Studnička, J. – Bittnar, Z. – Šejnoha, J.: Posouzení statického výpočtu střešní konstrukce haly Sazky. FSv ČVUT, 2003.
- [7] ČSN 73 2601 Provádění ocelových konstrukcí. ÚNM Praha 1988.

### Janata, V.: The Steel Structure of the Sazka Arena Roof

For the construction of the roof steel structure of the multi-purpose arena of a large span and loading intensity, a unique concept of a spatial pre-stressed strut frame was employed. The strut frame is made by the central tube, trussed girders and pre-stressed tendons. The designed solution introduces a new approach to the construction of structural details and procedures applied in asymmetric assembly on a temporary support and in pre-stressing and activation of the tendons. The production involves a demanding system of quality and tolerances control.

### Janata, V.: Stahlkonstruktion für das Dach der Sazka Arena Halle

Für die Stahlkonstruktion des Daches einer Mehrzweckhalle großer Spannweite und Belastungsintensität wurde eine einzigartige Konzeption eines räumlich vorgespannten Unterspannkonstruktion gewählt, die von einem zentralen Tubus, Fachwerkbindern und vorgespannten Zugstangen gebildet wird. Die entworfene Lösung erbringt neue Lösungen der Konstruktionsdetails und Verfahren bei asymmetrischer Montage auf einer zeitweiligen Unterfangung und bei der Vorspannung und Aktivierung der Zugstangen. In der Fertigung wurde ein neues aufwendiges System zur Kontrolle der Qualität und Toleranz gewählt.

# Oprava havarované konstrukce střechy kotleny v Elektrárně Opatovice

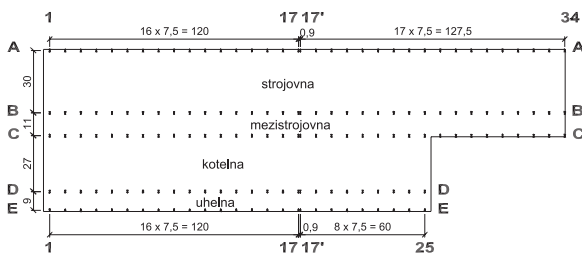
Ing. Jaroslav VÁCHA  
Ing. Pavel HÁŠA

Excon, a. s.  
Praha

Havárie způsobená zřícením střechy kotleny okamžitě vyřadila elektrárnu z provozu, což se velmi nepříznivě dotklo statisíců obyvatel Pardubického a Hradeckého kraje. Kromě výroby elektrické energie slouží elektrárna jako zdroj tepla pro Pardubice, Hradec Králové a okolní menší města. A právě vyřazení zdroje tepla z provozu znamenalo na začátku listopadu 2002 vážný problém pro velkou část východních Čech. Okamžitě po havárii začaly zkoumat její příčiny tři nezávislé expertní týmy (jeden pracoval v rámci policejního vyšetřování, druhý v rámci šetření pojišťovny a třetí přímo na žádost investora). Současně byla zahájena rekonstrukce objektu.

## Konstrukce kotleny

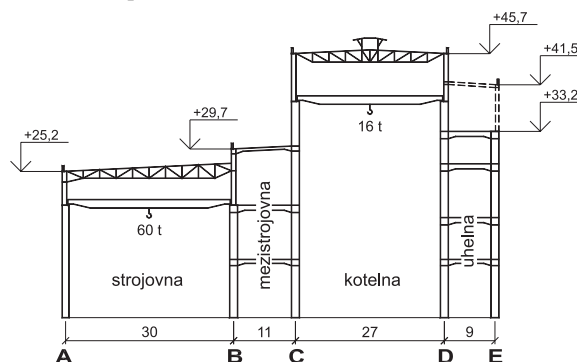
Hlavní výrobní objekt Elektrárny Opatovice (EOP) je čtyřlodi, podélný směr přibližně jih-sever (obr. 1). Jednotlivé lodi jsou řešeny přímo podle požadavků technologie výroby tepla a elektrické energie. Z hlediska výroby je první lodí uhelna (na východní straně) se zásobníky uhlí a pásovými dopravníky (patrový skelet šířky 9 m mezi řadami E-D, střecha v úrovni +33,2 m, v části, kde se napojuje zauhlovací most, +41,5 m). Na uhelnu navazuje hala kotleny, ve které je umístěno šest kotlů (halový objekt šířky 27 m mezi řadami C-D a výšky po střechu +45,7 m). Vedle kotleny je mezistrojovna (patrový skelet šířky 11 m mezi řadami B-C, střecha v úrovni +29,7 m). Poslední lodí z hlediska postupu výroby je strojovna, ve které jsou umístěny turbíny a generátory (halový objekt šířky 30 m mezi řadami A-B, střecha v úrovni +25,2 m). Uhelna a kotelna jsou dlouhé 186,9 m, mezistrojovna a strojovna 252 m. Konstrukce kotleny a uhelny počítala s možností prodloužení těchto lodí.



Obr. 1. Půdorys hlavního výrobního objektu

Příčná vazba celého objektu staticky působí jako celek (obr. 2). Konstrukce uhelny a mezistrojovny jsou plnostěnné patrové vetknuté rámy ze svařovaných profilů I. Vazník kotleny je příhradový a z hlediska celé vazby působí jako dvoukloubový prut. Vazník strojovny je rovněž příhradový, s plnostěnným sloupem v řadě A působí jako polorám. Příčné vazby jsou po 7,5 m, čelní stěny jsou přesazeny o 3 m před hlavní vazby. Vložené dilatační pole 0,9 m je

jedno přibližně 123 m od jižní stěny. Podélná stabilita objektu je zajištěna rámovým ztužením mezi sloupy ve všech řadách po celé délce dilatačního úseku. Nosná konstrukce celého objektu byla vyrobena z oceli řady 37. V kotelně je osazen mostový jeřáb původní nosnosti 32 t (nosnost byla později snížena na 16 t) a ve strojovně je mostový jeřáb nosnosti 80 t (nosnost byla snížena na 60 t). Snížení nosnosti jeřábů bylo provedeno před havárií a nemělo s ní přímou souvislost.



Obr. 2. Příčný řez hlavním výrobním objektem

Obvodový plášť celého objektu byl zděný (zdivo před-sazeno před ocelovou konstrukcí a vodorovně kotveno do sloupů ocelovými příponkami). Zdivo bylo rovněž ztuženo železobetonovými věnci. Stav zdiva není příliš dobrý ani v částech objektu, který nebyl havárií zasažen. Zdivo je potřhané zejména vlivem teplotních změn (plášť není zateplen, ve většině prostor výrobního objektu je trvale vysoká teplota přes 30 °C, zatímco vnější povrch reaguje na klimatické vlivy) a chvěním konstrukce při provozu kotlů a turbín.

Střešní plášť byl ze železobetonových panelů (rozpětí cca 3 m) uložených na ocelové vaznice. Panely byly na části střechy žebírkové a na části dutinové. Na panelech byla vrstva cementového potěru tloušťky od 20 do 110 mm a různé objemové hmotnosti (až 1 800 kg/m<sup>3</sup>). Nabetonovaná část byla chráněna hydroizolací. V době havárie se prováděly rekonstrukční práce na střeše větrací nástavby kotleny, které spočívaly ve výměně nenosných vrstev včetně betonové mazaniny. Tyto práce probíhaly bez statického posouzení původní konstrukce. Pod střešním pláštěm kotleny a strojovny bylo průběžné svislé a vodorovné ztužení na celou délku dilatačního úseku (v kotelně bylo svislé ztužení mezi vazníky ještě propojeno se svislým ztužením větrací nástavby v mohutný podélný příhradový nosník výšky cca 5 m).

## Příčiny destrukce střechy kotleny

Ke zřícení střechy kotleny došlo náhle v ranních hodinách. Podle záznamu o postupném odstavování jednotlivých kotlů se celá střecha zřítla během 10 sekund (řídící systém automaticky odstavuje kotle v případě mimořádné události při provozu, v daném případě jím byl pád konstrukce na plášť jednotlivého kotle). Vyšetřování prokázalo, že počát-



kem havárie bylo porušení dolního pásu vazníku u severní štítové stěny. Změněný statický systém vazníku se potom utrhł od sloupů (připoj přes čelní desky). Vzhledem k silnému podélnému vyztužení mezi vazníky a obrovské kinetické energii těžkého betonového pláště se destrukce prvního vazníku dominově přenesla na sousední vazníky a přes dilataci (která pohyby konstrukce nebyla schopna absorbovat) i na druhou část střechy za dilatací. Zřítla se celá konstrukce střechy kotelny, tj. střešní plášť, vaznice včetně ztužení i vazníky – celkem cca 1 700 t materiálu. Z konstrukce zůstaly pouze sloupy. Horní dřívky sloupů nad jeřábovou dráhou byly havárií deformovány (většinou směrem dovnitř haly), některé sloupy kromě celkového zakřivení vykazovaly i lokální plastické deformace (prolomení pásnice a vyboulení stěny v místech nevhodně řešených detailů připoje jeřábové dráhy, především u sloupů v řadě D). Pohled do kotelny po zřícení střechy je na obr. 3.

Ze závěrů expertiz vyplývá, že příčin zřícení ocelové konstrukce bylo několik:

- celá konstrukce střechy byla poddimenzovaná jak z hlediska tehdejších, tak i dnešních požadavků na spolehlivost (při uvažování zatížení podle původní dokumentace);
- konstrukce byla po celou dobu existence přetížena. Střešní plášť byl těžší, než měl být podle původního stavebního projektu (byly použity dva druhy různých těžkých panelů, na nichž byla vrstva betonu tlustá až 110 mm o objemové hmotnosti až 1 800 kg/m<sup>3</sup>, pravděpodobně jako nepodařený pokus o lehký beton);
- konstrukce byla nekvalitně vyrobena. Největší závady vykazovaly svarové připoje vazníků (na havárii měly podíl zejména nekvalitně provedené tupé svary dolního taženého pásu vazníků, kde u některých nebylo dosaženo ani 60% předpokládané únosnosti).

Vzhledem ke kumulaci chyb a závad konstrukce (které konstrukce vykazovala po celou dobu používání) byla inicializace porušení už pouze souhrou nepříznivých vlivů. V noci před havárií byly mimořádně nepříznivé klimatické podmínky (déšť se sněhem). Voda nasákla do neizolovaných vrstev betonu na části střechy, kde právě probíhala výměna krytiny, a tím ještě zvýšila přetížení konstrukce [1].

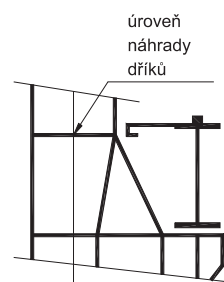


Obr. 3. Pohled do kotelny po havárii (v popředí zbytky střešní konstrukce na kotli)

### Rekonstrukce sloupů

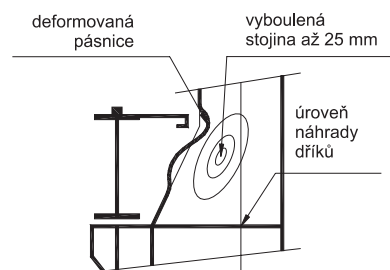
Po havárii zbyly z konstrukce objektu nad jeřábovou dráhou pouze sloupy a stěny. Prvním krokem rekonstrukčních prací, prováděných souběžně s odstraňováním zřícené konstrukce, byla diagnostika stavu horních dřívků.

Oprava sloupů představovala ve srovnání s novou konstrukcí střechy po technické stránce náročnější část rekonstrukce celé kotelny. Sloupy byly nad úrovní jeřábové dráhy deformovány směrem dovnitř objektu. Přesným zaměřením byly zjištěny deformace od 10 do 450 mm od svislé roviny. Největší plastické deformace byly zjištěny u sloupů, u kterých stál v době havárie mostový jeřáb (působil jako rozpěrný prut mezi sloupy a byl také poškozen). Deformace sloupů byla dvojitá. Prvním tvarem bylo ohnutí podle spojitě křivky (většina sloupů v řadě C). Druhým tvarem bylo „zlomení“ sloupu v místě připoje horního pásu jeřábové dráhy (většina sloupů v řadě D). Rozdíl ve tvaru deformace byl způsoben odlišným vyztužením sloupu v místě změny profilu. Sloupy v řadě C byly vyztuženy (obr. 4), sloupy v řadě D nikoli, což



Obr. 4. Tvar sloupu v řadě C

se ukázalo jako konstrukčně nevhodné. Podle původní dílenské dokumentace bylo zjištěno, že sloupy v řadě D kreslil jiný tým konstruktérů než sloupy v řadě C. V místě zlomení sloupů v řadě D bylo zjištěno lokální vyboulení pásnice (vtlačení pásnice do sloupu) a vyboulení stojiny až o 25 mm (obr. 5).



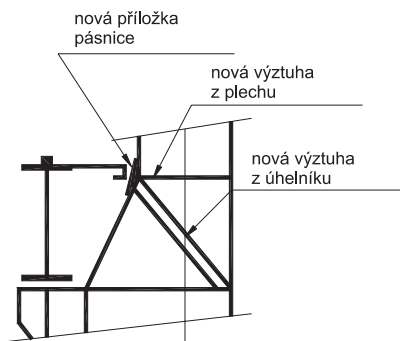
Obr. 5. Lokální deformace sloupu v řadě D

Na základě výsledků měření a podrobné prohlídky konstrukce byly všechny horní části sloupů s celkovou deformací větší než  $H/100$  (uvažováno ohnutí od úrovně jeřábové dráhy, tj. deformace cca 62 mm) a všechny sloupy s výraznými lokálními deformacemi (vyboulení stojiny nebo pásnice o více než 10 mm) nahrazeny novými profily. Zakřivení sloupů o velikosti  $H/100$  bylo při kontrolním přepočtu zahrnuto do statického modelu příčné vazby. Úroveň, od které byly dřívky vyměňovány, je patrná z obr. 4 a obr. 5 (u vyměňovaných dřívků v řadě D byl nový profil vyztužen i v úrovni připoje horního pásu jeřábové dráhy). Konstrukce pod úrovní jeřábové dráhy nevykazovala výrazné deformace způsobené havárií. Vyměňované dřívky jsou svařované profily I s pásnicemi 300 x 20 mm (resp. 300 x 25) a stojinou 800 x 12 mm.

Prvním krokem opravy bylo vybourání zdiva kolem měněných sloupů a přerušení paždíků. Poté byly deformované dřívky odříznuty a na jejich místo přivařeny nové. Po montáži dřívku byly znovu přivařeny paždíky (které jsou součástí podélného rámového ztužení objektu). Vhledem

k provádění montážních svarů dřívků v zimních podmínkách bylo pracovní místo zakryto a zatepleno. Vyměněna byla třetina z celkového počtu horních dřívků kotelny. Vzhledem k omezené přístupnosti objektu pro montážní mechanismy nebylo možné vyměnit sloup C13, který byl deformován cca o 130 mm (jeřáb k němu nemohl dosáhnout), a proto bylo navrženo „narovnání“ tohoto dřívku. Sloup byl provizorně zajištěn, a poté byla přerušena vnitřní pásnice a cca 2/3 přilehlé stojiny. Hydraulickými lisami byl sloup narovnáván tak, aby se horní hrana dostala do požadované polohy (zakřivený tvar dřívku musel být samozřejmě ponechán a byl eliminován rektifikačními profily nového opláštění). Po srovnání sloupu do požadované polohy byla stojina přeplátována příložkami a dodatečnými výztuhami a pásnice zavařena rovněž s přeplátováním. Vzhledem k náročnosti opravy byl způsob narovnávání předem vyzkoušen na přístupném sloupu C24.

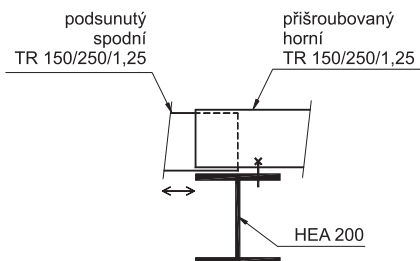
Do všech sloupů v řadě D, které nebyly vyměněny, byly dodatečně vevařeny vodorovné výztuhy v úrovni přípoje horního pasu jeřábové dráhy. Po podrobné prohlídce jednotlivých dřívků a změření lokální deformace byly v případě potřeby ještě přivařeny ke stojině šikmé výztuhy z úhelníků a příložky k pásnici v místě zlomu (obr. 6).



Obr. 6. Oprava sloupu v řadě D v místě přípoje JD

### Nová konstrukce střechy

Montáž následovala po rekonstrukci jednotlivých sloupů. Nová střešní konstrukce je řešena jako soustava příhradových vazníků, které jsou uloženy na horních dřívících hlavních sloupů. Ve výpočtu bylo uvažováno zakřivení horních dřívků a změna teploty o 50 °C (montáž probíhala za mrazu v prosinci 2002, za trvalého provozu má konstrukce teplotu cca 37 °C). Příhradové vazníky z profilů HEA jsou z oceli S235 a S355.



Obr. 7. Detail posuvného uložení trapézového plechu k hornímu pásu vazníku

Vliv změny teploty na konstrukci v podélném směru objektu byl řešen konstrukčními úpravami (zejména s ohledem na postupnou montáž vazníků a pláště, a tím postupně ohřívání). Vazníky jsou vzájemně spojeny vodorovným a svislým ztužením pouze po dvojicích. Jednotlivé skupiny jsou pak vzájemně vodorovně dilatovány včetně střešního

pláště. Nosnými prvky střešního pláště jsou akustické trapézové plechy 160/250/1,25, které jsou uloženy na horní pásy vazníků (bezvaznicový systém s tuhou deskou z trapézových plechů, které zajišťují horní pásy vazníků proti vybočení z roviny). Plechy jsou pro usnadnění manipulace při montáži řešeny jako prosté nosníky o rozpětí 7,5 m. V místech dilatování skupin vazníků (vždy v každém čtvrtém spoji) je uložení na vazník z jedné strany kluzné (obr. 7). Nový střešní plášť je na rozdíl od původního zateplen (z akustických důvodů je minerální izolace vložena i do vln trapézového plechu). Na vaznicích je uprostřed rozpětí osazena konstrukce odvětrávací nástavby, jejíž střecha je tvořena zakružovanými trapézovými plechy TR 40/160/0,88 na tenkostěnných vaznicích Z. V bocích nástavby jsou pevné větrací žaluzie. Střecha větrací nástavby není tepelně izolována.

### Oprava stěn

Stávající zděný stěnový plášť podélných stěn (západní a východní stěna) byl vybourán až po úroveň jeřábové dráhy a nahrazen skládaným kovovým pláštěm. Na sloupy byly přivařeny úložné rektifikační profily L (vzhledem k deformaci stávajících sloupů až 62 mm byly rektifikační profily nutné), a tím byla stěna opticky srovnána po celé délce. K úložným profilům byly připojeny vodorovné kazety kryté svislým trapézovým plechem, ke kterému se dodatečně připojily vodorovné lamely (v barevném odstínu shodném s navazujícími stěnami). Pro části střechy a stěn u atik a světlíku byly ve velké míře použity tenkostěnné profily ohýbané z pozinkovaného plechu tl. 2 až 4 mm v délce až 8 m.

Severní štítová stěna u řady 25 (původně ocelová konstrukce s pláštěm z trapézových plechů) musela být úplně demontována od úrovně cca +35 m výše a nahrazena novou konstrukcí se skládaným pláštěm z kazet (stávající stěna byla po destrukci střechy vybočena směrem do haly až o 500 mm a do strany až o 400 mm). Zděná jižní stěna zůstala po destrukci střechy a poničení vodorovných výztužných nosníků po výšce stěny nezajištěna proti působení větru, a proto byla alespoň provizorně zajištěna vzpěrami do konzol jeřábové dráhy. V období vyklízení sutin a v počátečním stadiu rekonstrukce ocelové konstrukce nebylo možné stěnu dostatečně zajistit proti vodorovným účinkům větru v plné výšce, a tak byla měřena aktuální rychlost větru pro včasnou signalizaci možného nebezpečí (bylo omezeno vodorovné namáhání stěny větrem na 0,15 kN/m<sup>2</sup>, při vyšším tlaku byl zakázán pohyb v oblasti pod stěnou).

### Montáž ocelové konstrukce

Montáž nové ocelové konstrukce byla vzhledem k velikosti objektu a jeho nepřístupnosti pro zvedací mechanismy náročná. Rekonstrukce stěn probíhala od úrovně cca +38 m nad terénem, střešní konstrukce je v úrovni cca +45 až +49 m. Objekt délky téměř 190 m byl pro zvedací mechanismy přístupný pouze z obou čelních stěn (v podélném směru ke kotelně přiléhají sousední lodě mezistrojovny se strojovnou, resp. uhelný, a za řadou E jsou pak další technologické objekty). K montáži konstrukce bylo použito několik autojeřábů, největší z nich měl nosnost až 800 t a vyložení 100 m výškově a přes 100 m směrově (při tomto maximálním vyložení měl nosnost cca 2,5 t). Náročnost montáže ještě zvyšovala skutečnost, že po spuštění kotlů se změnilo mikroklima v prostoru nově montované střechy, což se projevilo snížením viditelnosti vlivem nadměrného vývinu páry nad jednotlivými kotly a namrzáním lešení podél stěn.



Obr. 8. Montáž vazníků, vpravo před komínem vyměněný horní dřík sloupu v řadě D

### Závěr

Prvořadým úkolem při rekonstrukci kotelny byla minimalizace ztrát z výpadku výroby (dodávky tepla a elektrické energie byly obnoveny již deset dní po havárii). Současně musela být zachována vysoká kvalita díla (kvalitu projektů a stavebních prací průběžně kontrolovali zástupci majitele elektrárny Power International z Velké Británie). Společným úsilím zúčastněných hlavních dodavatelů (EXCON, a. s. – zpracování projektu ocelové konstrukce, diagnostika stávající konstrukce, zajištění dodávky a montáže nové ocelové konstrukce; Chládek & Tintěra, silnice-železnice, Pardubice, a. s. – zajištění stavebních dodávek, bouracích a odklízecích prací; PPP, s. r. o., Pardubice – zpracování projektu stavební části), jejich subdodavatelů a zástupců investora (EOP) bylo realizováno stavební dílo v extrémně krátkých lhůtách výstavby v rozsahu 270 t ocelových konstrukcí, 5 200 m<sup>2</sup> střechy, 3 600 m<sup>2</sup> stěn. Rychlost rekonstrukčních prací nebyla v žádném případě na úkor kvality odevzdaného díla. Rekonstrukce kotelny v EOP byla pro všechny zúčastněné obrovskou zkušeností, která se jistě vzhledem k technickému stavu podobných konstrukcí stejného stáří uplatní i v budoucnosti.



Obr. 9. Pohled do rekonstruované kotelny z kotle č. 4

### Literatura

- [1] Háša, P. – Jeřábek, L. – Rosenkranz, B. – Vašek, M.: K příčinám havárie ocelové konstrukce střechy kotelny Elektrárny Opatovice nad Labem. Konstrukce, 1/2004.

### Vácha, J. – Háša, P.: Repair of the Crashed Roof Structure of a Boiler Room in the Opatovice Power Plant

The breakdown of a boiler room caused by the crashed roof put the power plant out of operation immediately. The accident affected hundreds of thousands of inhabitants of the Pardubice and Hradec Králové regions. Beside power generation, the power station provides heat supply for Pardubice, Hradec Králové and the adjacent smaller towns. The operation disruption of this heat source was a serious problem for a large part of East Bohemia in the early November of 2002. Immediately after the crash, three independently operating expert teams began to investigate its causes. (One team led police investigations, the second examined the case for the insurance company, and the third one worked on the investor's request.) Irrespective of the examination done by the teams looking for the accident causes, the reconstruction of the power plant was commenced.

### Vácha, J. – Háša, P.: Reparatur einer eingestürzten Dachkonstruktion im Kraftwerk Opatovice

Die durch den Einsturz des Daches bewirkte Havarie einer Kesselanlage setzte das Kraftwerk Opatovice außer Betrieb, was sich sehr ungünstig für die Bewohner der Kreise Pardubice und Hradec Králové auswirkte. Das Kraftwerk dient außer zur Energieerzeugung als Wärmeerzeuger für Pardubice, Hradec Králové und die umliegenden kleineren Städte. Und gerade die Außerbetriebsetzung der Wärmeerzeuger bedeutete zu Anfang November 2002 ein ernstes Problem für einen großen Teil Ostböhmens. Augenblicklich nach der Havarie begannen drei unabhängige Expertengruppen (eine arbeitete im Rahmen der polizeilichen Untersuchung, die zweite im Rahmen der Untersuchung seitens der Versicherung und die dritte auf Verlangen des Bauherrn) deren Ursachen zu untersuchen. Unabhängig von der Tätigkeit der die Ursachen der Havarie untersuchenden Gruppen wurde die Rekonstruktion des Objektes begonnen.

### Tradice Rochlových stavebních tabulek pokračuje

Pražské nakladatelství INCON-F připravilo další vydání Nových Rochlových stavebních tabulek. Jde tentokrát o podstatně rozšířené druhé vydání druhého dílu. Stavební tabulky v obvyklé červenočerné vazbě navazují na tradici tabulek docenta Rochly, které patřily, a dosud leckde patří, k nepostradatelným odborným publikacím ve stavební branži.

V nové edici bylo od roku 1997 vydáno pět dílů, některé z nich po doplnění již podruhé. Každý ze svazků je věnován několika vybraným skupinám výrobků a obsahuje kromě množství technických údajů a výkresů také seznamy souvisejících českých a evropských norem a praktické přepočtové tabulky fyzikálních jednotek. Tabulky slouží také jako pomocné učební texty – každá kapitola totiž obsahuje úvod do dané problematiky od předních odborníků z pražských i brněnských vysokých škol.

[www.rochlovy-stavebni-tabulky.cz](http://www.rochlovy-stavebni-tabulky.cz)

## Navrhování zděných stěn s výztuží v ložných spárách

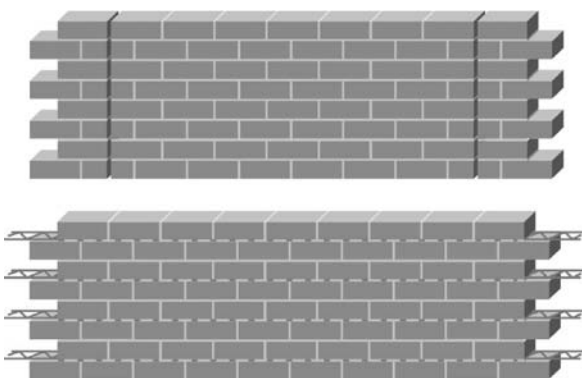
Ing. Pavel KOŠATKA, CSc.  
 ČVUT – Fakulta stavební  
 Praha

Zděné stěny s předem zhotovenou výztuží do ložných spár představují jeden z druhů vyztužených zděných prvků. Článek popisuje postupy jejich navrhování pro různé aplikace a informuje o souborech EXCEL pro výpočet těchto konstrukčních prvků.

### Úvod

Zděné stěny s výztuží v ložných spárách představují jeden z druhů vyztužených zděných prvků (obr. 1). Důvodem pro vyztužování zděných stěn je buď prevence vzniku větších trhlin, kdy se ukládá výztuž převážně jen konstrukčně, tj. bez statického výpočtu, nebo je důvodem jejich vyztužování zvyšování únosnosti zděného průřezu, který je namáhán mimostředním tlakem s velkou výstředností, ohybem nebo tahem. V těchto případech se obvykle návrh výztuže provádí statickým výpočtem. Důvodem pro vložení výztuže do ložných spár zdiva může být i potřeba snížit nebo i zcela vyloučit počet nutných svislých dilatačních spár u dlouhých stěn (obr. 2). K vyztužování se používá předem zhotovená výztuž.

V článku jsou uvedeny postupy statického výpočtu podle [1] pro nejčastější aplikace výztuže v ložných spárách zděných prvků, kde výztuž zvyšuje výrazným způsobem únosnost zděného prvku. Jsou to aplikace – překlad, stěna uložená na spojitě poddajné podpoře, stěna namáhaná bočním zatížením, pozdní věnec (náhrada železobetonového věnce). Označování veličin je převzato z [1], [2], [5], [6].



Obr. 2. Vyloučení dilatačních spár u dlouhých zděných stěn vložním výztuže do ložných spár zdiva [6]

### Výztuž

Pro vyztužení obyčejných ložných spár tloušťky 8 až 12 mm je možno použít předem zhotovené prvky příhradového typu [6], zhotovené z drátu kruhového průřezu s hladkým nebo žebírkovým povrchem. Podélné přímé dráty mají



Obr. 1. Vkládání výztuže do ložných spár zdiva při zdění [6]

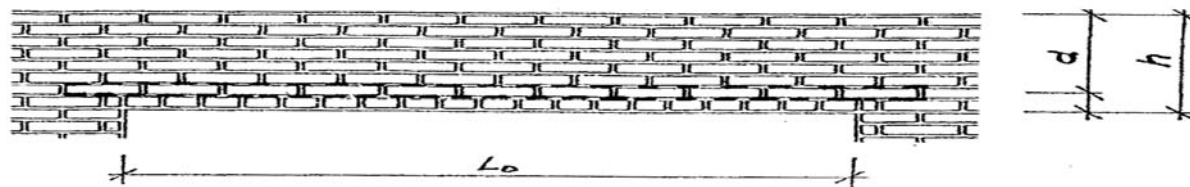
průměr 4 nebo 5 mm, příhradovina je z drátu průměru 3,75 mm. Délka předem zhotovených prvků příhradového typu je 3 050 mm. Pro vyztužení tenkých ložných spár tloušťky 3 až 5 mm lze použít předem zhotovené prvky příhradového typu [6], zhotovené z podélných drátů průřezu 8 x 1,5 mm a diagonál  $\varnothing$  1,5 mm. Výztuž je chráněna proti korozi pozinkováním, epoxidovým povlakem nebo je zhotovena z korozi-vzdorné oceli. Charakteristická mez kluzu výztuže použité pro předem zhotovenou výztuž příhradového typu:

- s kruhovým průřezem prutů  $f_{yk} = 500$  MPa;
- s obdélníkovým průřezem  $f_{yk} = 650$  MPa.

Sortiment výztuže a její mechanické vlastnosti jsou uvedeny v [6] spolu s požadavky na krytí, vzdálenost mezi výztužnými prvky, kotvení a stykování výztuže.

Podle [1] ve zděných prvcích, kde se výztuž navrhuje pro zvýšení únosnosti prvku, nemá být průřezová plocha výztuže menší než 0,05 % plochy průřezu zdiva, získaná jako součin účinné šířky  $b$ , resp. tloušťky  $t$ , a účinné výšky  $d$  posuzovaného průřezu, kde  $d$  je vzdálenost těžiště výztuže a tláčeného líce průřezu. U stěn s předem zhotovenou výztuží v ložných spárách, zvyšující únosnost stěny při bočním zatížení, nemá být průřezová plocha výztuže menší než 0,03 % plochy stěny.

Ve zděných prvcích, kde je výztuž v ložných spárách použita k omezení vzniku trhlin ve zdivu, nemá být průřezová plocha výztuže menší než 0,03 % a svislá vzdálenost prvků příhradové výztuže nemá překročit 600 mm. Stykuje se přesahem nebo pomocí příložek, které musí být opatřeny stejnou povrchovou ochranou vůči korozi jako stykované prvky výztuže. Minimální krytí výztuže s ohledem na zajištění spolehlivého přenosu sil ve styku je 20 mm.



Obr. 3. Překlad s předem zhotovenou výztuží v ložných spárách zdiva [6]

## Navrhování a postup statického výpočtu

### ■ Překlad

#### Vstupní data

Zatížení stálé  $g$  [kN/m], zatížení nahodilé  $q$  [kN/m], šířka překladu  $b$ , světlé rozpětí překladu  $L_o$ , rozpětí překladu  $L = 1,15 L_o$ , výška překladu  $h$  [m], charakteristická pevnost zdiva v tlaku  $f_k$  [MPa], charakteristická pevnost zdiva v tlaku kolmo na styčné spáry  $f_{hk} = 0,3f_k$  [MPa] (podle [3]), součinitel podmínek působení zdiva  $\gamma_M = 2,2$ ; ohybový moment a posouvající síla od vnějšího zatížení

$$M_{Sd} = \frac{\gamma_G g_k L^2 + \gamma_Q q_k L^2}{8};$$

$$V_{Sd} = \frac{\gamma_G g_k L + \gamma_Q q_k L}{2}.$$

#### Určení účinné výšky

Za předpokladu, že  $M_{Rd} = M_{Sd}$ , platí pro moment únosnosti průřezu

$$M_{Rd} = \frac{0,4 f_{hk} b d^2}{\gamma_M}, \quad \text{z toho} \quad d = \sqrt{\frac{\gamma_M M_{Sd}}{0,4 b f_{hk}}}.$$

Je-li  $d > 1/2 L$ , řeší se „vysoký nosník“.

#### Návrh výztuže

Nutná průřezová plocha výztuže

$$A_s \geq \frac{\gamma_s M_{Sd}}{f_{yk} z},$$

kde  $z = d - 0,5 \frac{A_s f_{yk} \gamma_M}{b f_{hk} \gamma_s} = d - 0,4 x \leq 0,95 d$ ;

$$A_s \geq 0,05 \% \text{ z plochy } b d.$$

*Poznámka:* Rameno vnitřních sil  $z$  je funkcí  $A_s$ . Protože  $A_s$  není v tomto stadiu výpočtu známé, je nutno odhadnout poměr  $z/d$ ; bezpečně lze uvažovat  $z = 0,8 d$ , a tudíž

$$A_s \geq \frac{\gamma_s M_{Sd}}{0,8 d f_{yk}}.$$

Ze vzorce pro mezní únosnost ohýbaného vyztuženého zděného průřezu

$$M_{Rd} = \frac{0,4 f_{hk} b d^2}{\gamma_M}$$

lze odvodit podmínku pro mezní polohu neutrální osy  $x$  u vyztuženého průřezu, kde

$$f_{hd} = \frac{f_{hk}}{\gamma_M},$$

$$x = x_{\max} = \xi_{\max} d,$$

$$M_{Rd, \max} = 0,4 b d^2 f_{hd} = 0,8 \xi_{\max} d b f_{hd} \left( d - \frac{0,8 \xi_{\max} d}{2} \right).$$

Z řešení kvadratické rovnice dostaneme  $\xi_{\max} = 0,691$ .

### Zvláštní případ – vysoké nosníky

Je-li poměr výšky prvku  $k$  jeho rozpětí větší než 0,5, je třeba prvek posuzovat jako vysoký nosník. Rameno vnitřních sil  $z$  se rovná menší  $z$  hodnot  $z = 0,7 L$  nebo  $z = 0,4 h + 0,2 L$ .

### Ověření podmínek spolehlivosti

#### a) ohyb

Za předpokladu, že bylo dosaženo meze kluzu ve výztuži, platí pro moment  $M_{Sd}$  od návrhového zatížení a moment únosnosti  $M_{Rd}$  vztah

$$M_{Sd} \leq M_{Rd} = \frac{A_s f_{yk}}{\gamma_s} \left( d - 0,5 \frac{A_s f_{yk} \gamma_M}{b f_{hk} \gamma_s} \right) \leq \frac{0,4 f_{hk} b d^2}{\gamma_M}.$$

Platnost předpokladu dosažení meze kluzu ve výztuži se ověřuje kontrolou přetvoření tažené výztuže v průřezu ohýbaného prvku. Do výpočtu momentu  $M_{Rd}$  je možno zahrnout jen ty vrstvy výztuže, kde pro přetvoření  $i$ -té vrstvy výztuže platí

$$\varepsilon_{si} \geq \varepsilon_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s E_s}.$$

Nevyhoví-li toto ověření, nezahrneme vrstvy výztuže, kde není splněn předpoklad  $\varepsilon_{si} \geq \varepsilon_{yd}$ , do výpočtu nebo průřez vyztuženého prvku posoudíme přesněji.

#### b) smyk

Pro posouvající sílu  $V_{Sd}$  od návrhového zatížení a mezní posouvající sílu  $V_{Rd}$  platí vztah

$$V_{Sd} \leq V_{Rd} = \frac{b d f_{vk}}{\gamma_M}.$$

#### c) kontrola trhlin

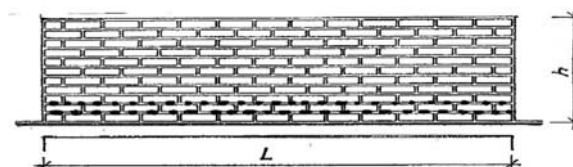
Přípustná šířka trhlin se kontroluje porovnáváním napětí ve zdivu podle empirického vzorce

$$\frac{M_{Sd}}{W} \leq 0,25 \frac{f_k}{\gamma_M}, \quad \text{kde} \quad W = \frac{1}{6} b h^2.$$

## ■ Stěna uložená na spojitě poddajné podpoře

### Vstupní data

Zatížení stálé  $g$  [kN/m], zatížení nahodilé  $q$  [kN/m], tloušťka stěny  $t$ , světlé rozpětí  $L_o$ , rozpětí  $L = L_o$ , výška stěny  $h$  [m], charakteristická pevnost zdiva v tlaku  $f_k$  [MPa], charakteristická pevnost zdiva v tlaku kolmo na styčné



Obr. 4. Stěna s výztuží v ložných spárách na poddajném stropu [6]

spáry  $f_{hk} = 0,3 f_k$  [MPa] (podle [3]), součinitel podmínek působení zdiva  $\gamma_M = 2,2$ . Ohybový moment a posouvající síla

$$M_{Sd} = \frac{\gamma_G g_k L^2 + \gamma_Q p_k L^2}{8}; \quad V_{Sd} = \frac{\gamma_G g_k L + \gamma_Q p_k L}{2}.$$

### Určení účinné výšky

Za předpokladu, že  $M_{Rd} = M_{Sd}$ , platí

$$M_{Rd} = \frac{0,4 f_{hk} t d^2}{\gamma_M}, \quad \text{z toho} \quad d_{\min} = \sqrt{\frac{\gamma_M M_{Sd}}{0,4 t f_{hk}}},$$

$d_{\min} \leq 1/2 L$  (není-li splněno, řeší se „vysoký nosník“).

*Poznámka:* Účinná výška se určuje od těžiště výztuže.

### Návrh výztuže

Nutná průřezová plocha výztuže se v tomto případě stanovuje pro sníženou hodnotu meze kluzu výztuže  $f_{yk,red}$ , aby se vyloučilo nebezpečí vzniku trhlin

$$A_s \geq \frac{\gamma_s M_{Sd}}{f_{yk,red} z},$$

kde  $f_{yk,red} \leq 400$  MPa,

$$z = d \left( 1 - 0,5 \frac{A_s f_{yk,red} \gamma_M}{t d f_{hk} \gamma_s} \right) \leq 0,95 d,$$

$A_s \geq 0,05$  % z plochy  $t d$  pro nosnou výztuž,

$A_s \geq 0,03$  % z plochy  $t d$  pro výztuž na omezení trhlin.

*Poznámka:* Rameno vnitřních sil  $z$  je funkcí plochy  $A_s$ . Ale  $A_s$  není v tomto stadiu výpočtu známé, poměr  $z/d$  je nutno odhadnout. Bezpečně lze uvažovat  $z = 0,8 d$ , a tudíž

$$A_s \geq \frac{\gamma_s M_{Sd}}{0,8 d f_{yk}}.$$

### Zvláštní případ – vysoké nosníky

Je-li poměr výšky prvku k jeho rozpětí větší než 0,5, je třeba prvek posuzovat jako vysoký nosník. Rameno  $z$  se rovná menší z hodnot  $z = 0,7 L$  nebo  $z = 0,4 h + 0,2 L$ .

### Ověření podmínek spolehlivosti

#### a) ohyb

Za předpokladu, že bylo dosaženo meze kluzu ve výztuži, platí pro moment  $M_{Sd}$  od návrhového zatížení a moment únosnosti  $M_{Rd}$  vztah

$$M_{Sd} \leq M_{Rd} = \frac{A_s f_{yk,red}}{\gamma_s} \left( d - 0,5 \frac{A_s f_{yk,red} \gamma_M}{t f_{hk} \gamma_s} \right) \leq \frac{0,4 f_{hk} t d^2}{\gamma_M}.$$

Platnost předpokladu dosažení meze kluzu ve výztuži se ověřuje kontrolou přetvoření tažené výztuže v průřezu ohýbaného prvku. Do výpočtu momentu únosnosti  $M_{Rd}$  je možno zahrnout jen ty vrstvy výztuže, kde pro přetvoření  $i$ -té vrstvy výztuže platí

$$\varepsilon_{si} \geq \varepsilon_{yd,red} = \frac{f_{yk,red}}{\gamma_s E_s},$$

kde pro sníženou mez kluzu

$$\varepsilon_{yd,red} = \frac{400}{1,15 \cdot 200000} = 0,00174.$$

#### b) smyk

Pro posouvající sílu  $V_{Sd}$  od návrhového zatížení a mezní posouvající sílu  $V_{Rd}$  platí vztah

$$V_{Sd} \leq V_{Rd} = \frac{t d f_{vk}}{\gamma_M}.$$

#### c) kontrola trhlin

Přípustná šířka trhlin se kontroluje porovnáváním napětí ve zdivu podle empirického vzorce [3]

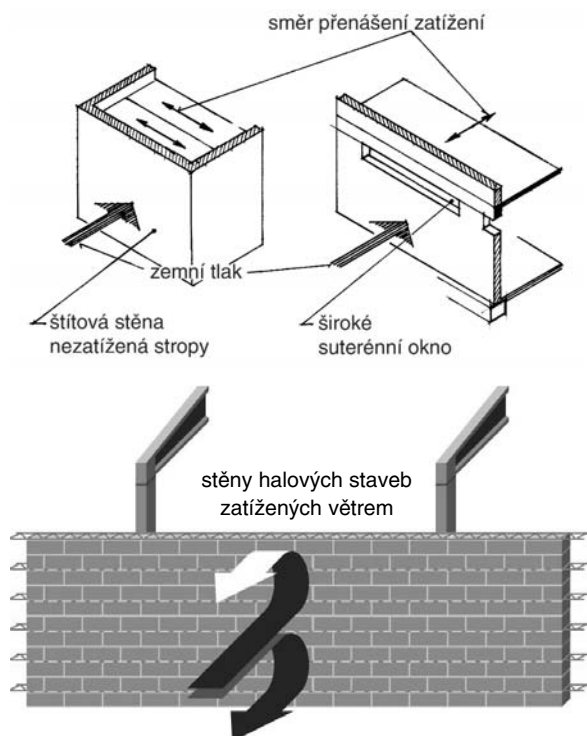
$$\frac{M_{Sd}}{W} \leq 0,25 \frac{f_k}{\gamma_M}, \quad \text{kde} \quad W = \frac{1}{6} t h^2.$$

### ■ Stěna namáhaná bočním zatížením

U stěn podepřených podél dvou okrajů se vypočítají ohybový moment a posouvající síla jako na spojitém nebo vetknutém nosníku, zjednodušeně (na straně bezpečnosti) podle vzorců pro prostý nosník

$$M_{Shd} = \pm \frac{p_d L^2}{12}, \quad M_{Shd} = \frac{p_d L^2}{8}, \quad V_{Shd} = \frac{p_d L}{2},$$

kde  $p$  je návrhové vodorovné zatížení, kolmé k rovině stěny [kN/m<sup>2</sup>], a  $L$  vzdálenost podpor stěny.



Obr. 5. Příklady stěn vhodných pro aplikaci výztuže v ložných spárách [6]

U stěn podepřených podél tří nebo čtyř okrajů je nutno vypočítat hodnoty „rozdělovacího“ součinitele  $\mu$ , neboť pevnost v ohybu ve dvou navzájem kolmých směrech (svislém a vodorovném) je rozdílná, jde o anizotropní desku, tj.

$$\mu = \frac{\text{návrhová pevnost zdiva v ohybu v rovině kolmé k ložným spárám}}{\text{návrhová pevnost zdiva v ohybu v rovině kolmé k styčným spárám}}.$$

Hodnota se má uvažovat rovna větší z těchto dvou hodnot

$$\mu \geq 0,416 \frac{\gamma_s f_{sk1}}{\gamma_M f_{yk} \rho_s} \frac{1}{d},$$

kde  $\rho_s = A_s/bt$  je stupeň vyztužení,  $t$  tloušťka stěny,  $d$  účinná výška průřezu ve vodorovném směru (tloušťka  $t$  minus vzdálenost od taženého líce k těžišti výztuže);

$$\mu \geq 0,416 \frac{f_{sk1}}{f_{hk}} \left( \frac{t}{d} \right)^2.$$

*Poznámka:* Jestliže je stěna zatížena svislým zatížením, které vyvolá v posuzovaném průřezu tlakové napětí  $\sigma_{pd}$ , hodnota  $f_{sk1}$  se může zvětšit až na  $f_{sk1} + \gamma_M \sigma_{pd}$ .

Pomocí součinitele  $\alpha$  se mohou určit ohybové momenty od bočního zatížení ve vodorovné a svislé rovině (pro výpočet součinitele  $\alpha$  se mohou použít tab. 4.1 z normy [2], uvedené též v [5]):

– ohybový moment ve vodorovné rovině

$$M_{Shd} = \alpha p_d L^2,$$

kde  $\alpha$  je rozdělovací součinitel jako funkce  $\mu$  a poměru  $h/L$ ,

$p_d$  – návrhové zatížení kolmé k rovině stěny,

$L$  – vzdálenost svislých podpor,

$h$  – vzdálenost vodorovných podpor;

– ohybový moment ve svislé rovině

$$M_{Sd} = \mu \alpha p_d L^2.$$

### Ověření podmínek spolehlivosti

Průřezová plocha výztuže za předpokladu obdélníkového obrazce napětí v tlačené části průřezu se určí

$$A_s \geq \frac{\gamma_s M_{Shd}}{z f_{yk}}$$

kde  $A_s \geq 0,03$  % z plochy  $bd$ ,  $z = 0,8 d$ , a tudíž

$$A_s \geq \frac{\gamma_s M_{Shd}}{0,8 d f_{yk}}.$$

Pro určení plochy výztuže se kontroluje napětí zdiva:

– v tlaku za ohybu kolmé ke styčným spárám

$$f_{hk} \geq \frac{\gamma_M M_{Shd}}{0,4 bt^2},$$

kde obvykle  $b = 1000$  mm;

– ve smyku za ohybu ve vodorovné a svislé rovině ohybu

$$f_{vk} \geq \frac{\gamma_M V_{Shd}}{bt}, \quad f_{vk} \geq \frac{\gamma_M V_{Sd}}{bt};$$

– v tahu za ohybu kolmé k ložným spárám

$$f_{sk1} \geq \frac{6\gamma_M M_{Sd}}{bt^2}.$$

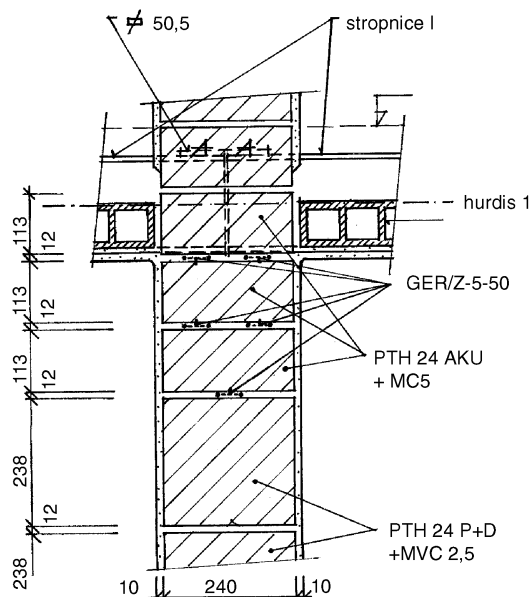
### ■ Pozední věnec

Pozední věnec z vyztuženého zdiva se vytvoří vložení výztuže do ložných spár zdiva v úrovni každého stropu, čímž odpadne nutnost navrhovat věnce železobetonové. Velikost návrhové tahové síly  $N_{Sd}$  ve věnci v úrovni každého stropu vícepodlažní zděné budovy možno přibližně určit podle [4] jako příslušný podíl z celkové návrhové tahové síly působící v podélném i příčném směru budovy v úrovni každého stropu.

Celková návrhová tahová síla v **podélném** směru v úrovni každého stropu se určí jako součin  $15$  kN/m a šířky objektu [m], celková návrhová tahová síla v **příčném** směru v úrovni každého stropu se určí jako součin  $15$  kN/m a délky objektu [m]. Tyto tahové síly se rozdělí úměrně zatěžovacím šířkám na jednotlivé věnce v příslušném směru.

Nutná plocha výztuže

$$A_s \geq \frac{\gamma_s N_{Sd}}{f_{yk}}.$$



Obr. 6. Příklad náhrady železobetonového věnce vložení předem zhotovené výztuže do ložných spár zdiva ve střední zdi budovy [6]

### Soubory EXCEL

Pro snadnou aplikaci výztuže do ložných spár zdiva v případech, kdy je nutné výztuž staticky navrhovat, zpracoval autor článku programové soubory s použitím tabulkového procesoru Microsoft EXCEL 2000 vhodné pro výpočet zděných prvků s vyztuženými ložnými spárami:

- překlad,
- stěnu na poddajném stropu,
- suterénní stěnu plnou,
- suterénní stěnu s průběžným oknem,
- obvodovou stěnu namáhanou kolmým tlakem větru plnou,
- obvodovou stěnu namáhanou kolmým tlakem větru s průběžným oknem.

Pro každý z uvedených typů vyztuženého zděného prvku je k dispozici jeden programový soubor (sešit tabulkového procesoru EXCEL) se vzorovými příklady pro různé druhy zdiva a různé konstrukční úpravy zděných vyztužených prvků na jednotlivých listech sešitu (jeden příklad = jeden list tabulkového procesoru). Vyztužené zděné prvky jsou posuzovány na ohyb, smyk, suterénní stěny a stěny namáhané tlakem větru, též na spolehlivost proti posunutí po izolaci, u překladů a stěn na poddajném stropu je navíc kontrolován rozvoj trhlin a u stěn namáhaných tlakem větru jsou kontrolovány i mezní rozměry pole stěny vzhledem k navrhované tloušťce stěny. Do příkladů je možné vstupovat a zadávat vlastní rozměry, zatěžovací a materiálové údaje. Všechny vzorce, které tabulkový procesor používá pro výpočet, jsou v textu předem uváděny v obecném tvaru, u vzorců nepřevzatých z normy [1] i s odvolávkami na literaturu.

V programových souborech zabývajících se výpočtem suterénních stěn namáhaných zemním tlakem a v programových souborech zabývajících se výpočtem obvodových stěn namáhaných kolmým tlakem větru je řešen výpočet ve dvou alternativách (přibližné a přesnější); statik má možnost volby, nepotřebnou část výpočtu lze skrýt. Uvedené soubory EXCEL jsou k dispozici zdarma u autora.

**Literatura**

- [1] ČSN P ENV 1996-1-1 (731101): Navrhování zděných konstrukcí; Část 1-1: Obecná pravidla pro pozemní stavby – Pravidla pro vyztužené a nevyztužené konstrukce. ČSNi, 1996.
- [2] ČSN P ENV 1996-1-3: Navrhování zděných konstrukcí; Část 1-3: Obecná pravidla pro pozemní stavby. Podrobná pravidla pro zatížení kolmá na rovinu stěn. ČSNi, 1999.
- [3] Pfeffermann, O. – van Hoorickx, B.: Murfor, Calculation According to EC6. Zwevegem Belgium, 1998.
- [4] ČSN 73 1101/1980 Navrhování zděných konstrukcí včetně dodatků a změn. ÚNM, 1981.
- [5] Pume, D. – Košatka, P.: Betonové konstrukce 20, Zděné konstrukce, Navrhování podle Eurokódu 6 – I. a II. díl. Praha, Vydavatelství ČVUT 2000.
- [6] Košatka, P. – Pume, D.: Příručka pro navrhování zdiva vyztuženého prvky MURFOR podle Eurokódu 6. Bekaert Petrovice, s. r. o., 2002.

**Košatka, P.: Design of Masonry Walls with Reinforcement in Bed Joints**

This paper presents design procedures employed in the design of masonry walls with reinforcement produced in advance and placed in bed joints for a number of applications. Information on Excel files used for the calculation of these structural members is also included.

**Košatka, P.: Entwerfen von gemauerten Wänden mit bewehrten Lagerfugen**

Der Artikel behandelt das Entwerfen von gemauerten Wänden mit vorgefertigter Bewehrung in den Lagerfugen für verschiedene Anwendungen. Bestandteil ist eine Information über Excel-Dateien für die Berechnung dieser Konstruktionselemente

**• zprávy****Nile House – další budova projektu River City Prague**

Vzhledem k úspěšnému pronájmu kancelářských prostor v budově Danube House, dokončené na jaře roku 2003, byla zahájena výstavba další budovy projektu River City Prague. Společnost Europolis Invest tak pokračuje ve svých investicích v České republice. Dokončení budovy Nile House s užžitnou podlahovou plochou 19 350 m<sup>2</sup> je plánováno na závěr roku 2005.



Budova bude mít všechny pozitivní prvky, které byly úspěšně prověřeny v Danube House. Komfortní chladičový systém, který nájemcům uspoří významný podíl energetických nákladů (45 až 50 %) v porovnání s běžnými administrativními budovami, a také impozantní atrium – srdce budovy. Konstruktivní řešení má být ještě dokonalejší, protože i když jsou v objektu použity vzhledově podobné prvky jako v sousedním Danube House, je komponován odlišným způsobem. Ústředním prvkem atria bude schodiště. Půjde o gigantickou skulpturu z nerezové oceli, stočenou do působivé spirály. Nile House bude mít kromě 17 600 m<sup>2</sup> kancelářských prostor také 1 700 m<sup>2</sup> maloobchodní plochy a 218 parkovacích míst. Spolu s maloobchodními prostory v objektu Danube House poskytne zhruba 3 tis. zaměstnanců a veřejnosti atraktivní možnosti stravování v restauracích, pohodlný nákup v obchodech a další doplňkové služby.

„Budovy Nile House a Danube House budou mít každá odlišnou atmosféru a některé prvky, ale budou vyjadřovat

příslušnost k projektu River City Prague jako celku. Vytvoření takového vjemu je důležitější než prostý součet jednotlivých, i když atraktivních solitérů.“, říká pan Le Lay, architekt ze společnosti RFR, který je autorem statického i architektonického řešení ocelové a skleněné konstrukce atria a výtahů u obou budov.

Další budovou projektu se zahájením výstavby na konci roku 2005 a dokončením v roce 2007 je víceúčelová budova Amazon Court s 250 garážovými stáními a 23 300 m<sup>2</sup> užžitné plochy. Realizace hotelu s výhledem na řeku a Yukon Residence (aparthotelu) pro krátkodobé a střednědobé pobyty je plánována po dokončení Amazon Court.

*Tisková informace*





# Mikroklimatické parametry pro návrh vytápění s inteligentním řízením

prof. Ing. Miloslav JOKL, DrSc.  
 ČVUT – Fakulta stavební  
 Praha

Moderní technologie umožňují zvýšit požadavky na vytápěcí zařízení tak, aby lépe vyhovovala fyziologickým požadavkům člověka. Lze toho dosáhnout buď úpravou termostatických ventilů, aby kromě teplot vzduchu umožňovaly sledovat decibelové jednotky (decithermy), nebo nahrazením ventilů s měřiči operativních teplot, anebo volbou průběhu operativních teplot v interiéru korespondujících dennímu průběhu tělesné teploty lidského organismu.

U zařízení sloužících k zabezpečení potřeb člověka umožňuje technologický pokrok v současné době splnit nejedno, i nevyslovené přání. Vytápěcí zařízení dosud běžně plní základní energetický úkol, tj. pokrýt tepelné ztráty místnosti, a tím zajistit teplotu v interiéru požadovanou příslušnými předpisy [8], [9]. V současné době však lze požadovat mnohem více, zejména, aby přímo plnily fyziologické požadavky lidského organismu při zabezpečování jeho tepelné pohody. Lze tím dosáhnout vyšší úrovně tepelné vlhkostního komfortu člověka. Reálně se jeví zabezpečování tří fyziologických požadavků:

- respektování fyziologického Weberova–Fechnerova zákona;
- zajištění optimální hodnoty RCC (Radiant Comfort Coefficient), tj. poměru radičního a konvekčního tepla exponujícího lidský organismus;
- respektování cirkadiálního biorytmu člověka.

## Weberův–Fechnerův zákon

Tento zákon říká, že intenzita vjemu prostředí je proporcionální logaritmu stimulu z tohoto prostředí [1]. Co je stimulem v případě tepla jako složky prostředí lze stanovit z diferenciální rovnice pole prostředí [3]

$$\operatorname{div} \psi = -\frac{d\rho^*}{dt}, \quad (1)$$

kde  $\psi = q$  je tepelný tok [ $\text{Wm}^{-2}$ ],

$\rho^* = \rho \cdot h$  – koncentrace tepla v jednotce objemu [ $\text{Jm}^{-3}$ ],

$\rho$  – specifická hmotnost vzduchu [ $\text{kgm}^{-3}$ ],

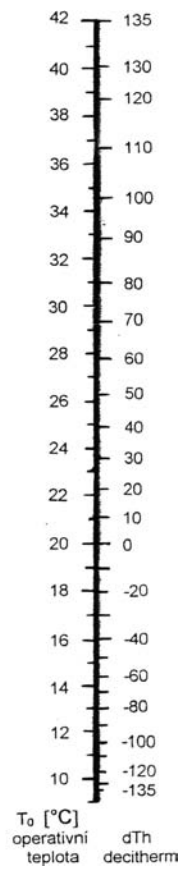
$h = c_p T$  – entalpie [ $\text{Jkg}^{-1}$ ],

$c_p$  – specifické teplo při stálém tlaku [ $\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ],

$T$  – teplota uvažovaného prostoru [ $^{\circ}\text{C}$ ].

Za předpokladu  $\rho = \text{konst}$ ,  $c_p = \text{konst}$ , zůstává výraznou proměnnou teplota uvažovaného prostoru, jež je tudíž stimulem tepelného toku [4] a lze ji použít pro Weberův–Fechnerův zákon. Závislost teploty uvažovaného prostoru, tzv. operativní teploty a intenzity vjemu tepelného stavu prostředí, tzv. decithermu [dTh], je předmětem samostatné práce [4] a je uvedena na obr. 1.

Obr. 1. Decibelové jednotky decitherm, charakterizující pocity člověka v rozmezí operativních teplot 10 až 42 °C (pro sedícího, tepelný odpor oděvu 0,9 clo – zimní období)



Kalibrujeme-li hlavici termostatického ventilu v decithermech, pak teploty v interiéru odpovídají skutečným tepelným pocitům člověka. Rozdíl proti dosavadnímu způsobu řízení podle teplot bude tím výraznější, čím více se budeme blížit dolní hranici termoregulačního rozmezí člověka, tj. v obytných místnostech např. k 18 °C.

## Součinitel RCC

Dosud běžně uvažovaná tepelná rovnováha lidského organismu není pro dosažení tepelné pohody člověka postačující podmínkou. Důležitá je ještě radiční pohoda, tj. aby teplo z okolí dostával radiaci (sáláním), neboť je tomu navyklý již po celou dobu své existence z venkovního prostředí (sálání od slunce), a vyrobené teplo (svým metabolismem) odevzdával do okolí konvekcí, tj. ochlazením okolním vzduchem. Tuto podmínku vyjadřuje součinitel radiční pohody RCC, který je poměrem radičního tepla přijímaného lidským organismem z okolí a tepla konvekčního

$$RCC = \frac{\text{radiace}}{\text{konvekce}} \geq 1. \quad (2)$$

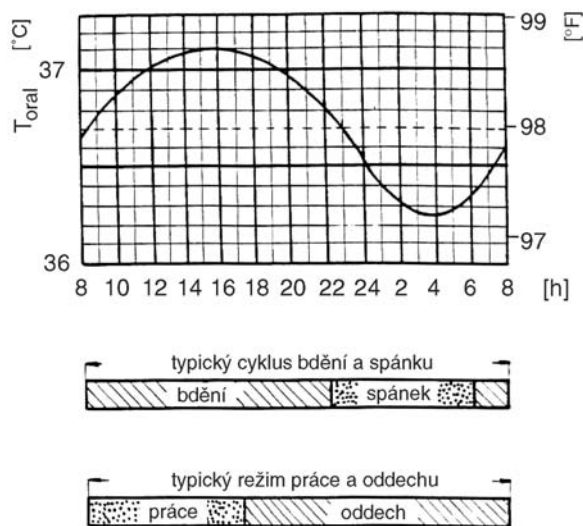
Má tudíž být větší, nebo alespoň roven jedné [5].

Jak se to v praxi projeví, není-li respektována tato podmínka, je zřejmé z následujícího příkladu. Je-li např. termostat nastaven na 22 °C, těleso se po dosažení této hodnoty vypíná a chladne. Znovu se zapne po poklesu teploty vzduchu na 21,5 °C (závisí na citlivosti termostatu), avšak operativní teplota, zahrnující též vliv tepelné radiace, v důsledku ochlazení povrchu otopného tělesa, už klesla až např. na 20,5 °C (a protože člověk vnímá decithermy, tak jeho pocity jsou ve skutečnosti ještě horší, je mu ještě chladněji). Aby termostatický ventil reagoval na operativní teplotu, nikoli pouze na teplotu vzduchu, je nutno čidlo termostatu opatřit koulí absorbující tepelné záření a ochlazení vzduchem. Optimální je umístění koule na stole pracovníka, nastavení požadovaných hodnot v decithermech a přenos signálu bezdrátovým systémem W-F (wire-free) na termostatický ventil otopného tělesa.

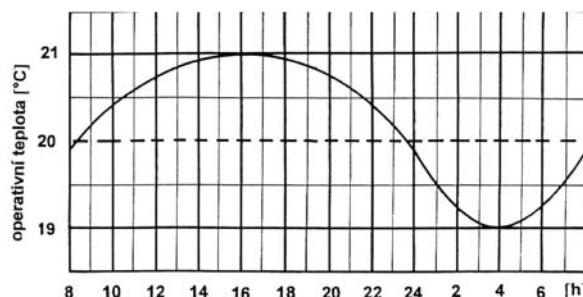
## Cirkadiální biorytmus

Z venkovního prostředí je člověk zvyklý na střídání teplot v průběhu dne, od nejnižších teplot uprostřed noci až po

nejvyšší v odpoledních hodinách, na které lidský organizmus reaguje změnou tělesné teploty, tzv. cirkadiální (denním) biorytmem (obr. 2). Lze tudíž také přispět k pohodě člověka tím, že i operativní teploty (obr. 3), nebo přesněji decithermy, v interiéru svým průběhem budou sledovat denní biorytmus člověka, např. nastavením vhodného útlumu teploty v noci.



Obr. 2. Typický cirkadiální biorytmus člověka – průběh tělesné (orální) teploty



Obr. 3. Operativní teplota odpovídající dennímu biorytmu člověka

Pokles teploty v noci však také nemůže být libovolný. Dříve přípustný pokles až na teploty kolem nuly (v zimě při vypnutém vytápění, resp. při vyhaslých kamnech), vyžadující teplý noční úbor (včetně pokrývky hlavy) a teplé lůžkoviny (velká „duchna“) dnes již není myslitelný, neboť je provázen značnou nepohodou. Je vyžadována pouze lehká příkrývka a pyžamo. Nevytápěné ložnice, a to i v dobře izolovaných budovách, jsou neakceptovatelné [7]. Doporučuje se pokles teploty pouze asi 1,5 °C [2], přičemž současně by operativní teplota v noci neměla být nižší než 16 °C [6], aby se předešlo množení plísní [5].

## Závěr

Z uvedených skutečností je zřejmé, že existují ještě rezervy při zabezpečování optimálního tepelného komfortu člověka, které lze využít aplikací nových odborných poznatků, a zvláště nových technologických možností.

## Literatura

- [1] Baeyer, H. C.: Power Tool. The Sciences, Sept./Oct. 2000:12–15.
- [2] Berglund, L. G. – Stolwijk, J. A.: The Use of Simulation Models

of Human Thermoregulation in Assessing Acceptability of Complex Dynamic Thermal Environments. In: Energy Conservation Strategies in Buildings. Yale University School of Medicine, New Haven, CT 1978.

- [3] Jokl, M. V.: Microenvironment: The Theory and Practice of Indoor Climate. Illinois, Thomas 1989, pp. 419.
- [4] Jokl, M. V.: Decitherm. Nepublikované sdělení.
- [5] Jokl, M. V.: Zdravé obytné a pracovní prostředí. Praha, Academia 2002, s. 262.
- [6] Jones, W. T.: The Health and Safety at Work Act. A Practical Handbook. London, Graham and Trotman 1975.
- [7] Nevřala, D. J. – Pimbert, S. L.: Subjective Response to Environmental Conditions Produced by Space Conditioning Systems in Residential Buildings. London, British Gas 1990.
- [8] ČSN 06 0210 Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění. ČSN, 1999.
- [9] Vládní nařízení č.178/2001 Sb., o ochraně zdraví zaměstnanců při práci.

## Jokl, M.: Microclimatic Parameters for the Design of Heating with Artificial Intelligence Control

Modern technologies make it possible to increase demands on heating systems. Such systems suit physiological needs of man at a more advanced level. The improvement can be achieved either by modifying thermostatic valves to allow them to monitor not only air temperatures, but also decibel units, or by replacing temperature sensors with valves measuring operative temperatures. In addition, there situation can be improved through the selection of the time distribution of operative temperatures in the interior corresponding to the daily distribution of physical temperature of human body.

## Jokl, M.: Mikroklimatische Parameter für den Entwurf einer Heizung mit intelligenter Steuerung

Die modernen Technologien ermöglichen es, die Anforderungen an Heizanlagen so zu erhöhen, dass sie den physiologischen Anforderungen des Menschen besser gerecht werden. Das kann entweder durch die Regelung der Thermostatventile geschehen, damit diese es ermöglichen, außer den Lufttemperaturen auch die Dezibeleinheiten zu überwachen, durch Ersatz der Lufttemperaturmesser mit Ventilen, die die operativen Temperaturen messen, oder durch die Wahl eines zeitlichen Verlaufs der operativen Temperaturen im Gebäudeinnern, der mit dem täglichen Verlauf der Körpertemperatur des menschlichen Organismus korrespondiert

Fakulta stavební VŠB TU – Ostrava  
ÚTAM AV ČR Praha  
Dům techniky Ostrava

pořádají  
5. celostátní konferenci

## Spolehlivost konstrukcí

24. března 2004  
Dům techniky Ostrava

Informace: Ing. Petr Janas, CSc.  
e-mail: petr.janas@vsb.cz

# Fyzikální aspekty použití nekontaktní termografie při analýze obvodových plášťů budov

Ing. Jan PAŠEK, PhD.  
 ČVUT – Fakulta stavební  
 Praha

Ing. Jiří SVOBODA  
 TMV SS, s. r. o., Praha

Nekontaktní měření teploty pro stanovení rozložení teplotních polí na povrchu různých objektů má dnes velmi široké využití. Tento postup se nazývá nekontaktní termografie a i ve stavebnictví se uplatňuje ve stále širším měřítku, zejména pro zjišťování kvality obvodových plášťů z hlediska jejich tepelně izolačních vlastností. Používání této sofistikované metody je ovšem často prováděno nedostatečnou znalostí souvisejících faktorů ovlivňujících měření nebo jejich opomíjením, popř. nesprávným vyhodnocením či interpretací dosažených výsledků, což degraduje možnosti touto metodou nabízené.

## Úvod

Účelem článku je specifikovat odpovědi na dvě hlavní otázky:

- kdy a jak správně měřit teplotní pole povrchů obvodových plášťů nekontaktním způsobem;
- jaký je význam faktorů ovlivňujících nekontaktní měření teplot a jejich vliv na jeho přesnost,

a dále popsat základní fyzikální vztahy, na kterých je založen princip zobrazovacích systémů a které jsou implementovány do procesu vyhodnocení nekontaktních termografických měření.

Metodou nekontaktní termografie lze poměrně jednoduše identifikovat teplejší místa povrchu od chladnějších, ovšem zjištění skutečných teplot v těchto místech vyžaduje disponovat znalostmi širších souvislostí těchto měřicích postupů. Je třeba si uvědomit, že termografie je vědním oborem, který zahrnuje poznatky z šíření infračerveného záření, principů přenosu tepla, atmosférických vlivů, principů radiometrie, znalost příslušných zařízení atd. Tím, že jsou termokamery stále levnější a jejich obsluha stále jednodušší, vzrůstá riziko, že si tento přístroj pořídí osoba neznalá problému, načež se nazve odborníkem na termografii. Stejně jako diagnostikovat zvýšenou teplotu vlastního těla dokáže každý z nás, pro stanovení její příčiny a k návrhu léčby je zpravidla již třeba disponovat vědomostmi lékaře. Bez potřebných znalostí činí termokamera ze svého uživatele odborníka na termografii asi tak, jako stetoskop činí doktora ze svého majitele [1].

Stejně jako u ostatních nekontaktních metod závisí přesnost nekontaktního měření teplotních polí jak na správné korekci či eliminaci působících faktorů a činitelů, které se projevují při provádění měření z materiálového hlediska povrchově nehomogenních objektů, objektů obklopených jinými zdroji tepelného záření, při nepříznivých okolních podmínkách, při měření na velké, nebo naopak velmi krátké

vzdálenosti, tak i na celkovém přístupu k samotnému měření. Kompenzace nebo správné zavedení všech činitelů, vstupujících do procesu nekontaktního měření teplotních polí a jeho vyhodnocení, není většinou jednoduché. Přesto, anebo právě proto, není možné je opomíjet; teprve při komplexním přístupu se tato moderní metoda stává skutečně efektivním a mocným nástrojem nedestruktivní diagnostiky.

## Terminologie

Pojem **termografie** zahrnuje metody pro zobrazování teplotních polí na povrchu snímaných těles (rozložení povrchových teplot), které je reprezentováno energií a hustotou fotonů emitovaných z povrchu snímaného tělesa a jeho vyhodnocením – kvantifikací. Velice efektivním nástrojem nekontaktní termografie je technika zvaná **termovize**<sup>1)</sup>, obecně infratechnika. Je to v podstatě zobrazovací systém transformující informaci o rozložení teploty na povrchu snímaného objektu v infračerveném spektru na obraz viditelný lidským okem. Zobrazovacím systémem pro oblast viditelného záření je zrakový orgán, tedy oko.

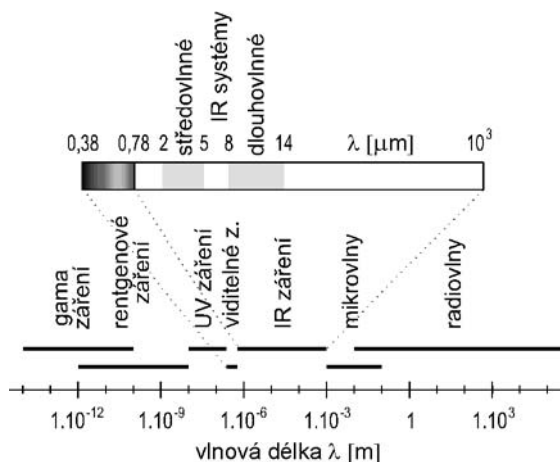
Předmětem termovizního měření je tedy **snímaný objekt**, resp. jeho povrch emitující (sálající) fotony v infračervené části spektra. Povrch je možné si představit jako soustavu „bodových“ zdrojů signálové radiace, přičemž každý „bod“ vyzařuje z povrchu objektu signál – fotony – do všech směrů. **Zdrojem tepla** je každý objekt s teplotou vyšší než 0 K (tzn. všechny objekty kolem nás); přenos tepla z tělesa (i na těleso) se děje prostřednictvím radiace (sáláním) v infračervené části elektromagnetického spektra.

**Infračervené** (infrared, dále jen IR) záření je neviditelná část elektromagnetického spektra projevující se tepelnými účinky; jde o záření s vlnovou délkou v intervalu přibližně 0,78  $\mu\text{m}$  až 1 mm. Viditelné záření, odpovídající spektrální citlivosti lidského oka, leží v rozsahu vlnových délek cca 0,38 až 0,78  $\mu\text{m}$  (*obr. 1*). **Tepelné záření** (tedy radiační složka šíření tepelné energie, jak je někdy IR záření označováno) každého objektu závisí především na jeho teplotě – při zvýšení teploty rychle roste celková energie (intenzita) zářivého toku, a naopak.

Z hlediska charakteru zdrojů IR záření jsou rozlišovány tři typy tepelných radiačních zdrojů – absolutně černé těleso, šedá tělesa a obecné (reálné) zářiče, mezi něž patří veškeré stavební objekty. Specifickým případem je absolutně lesklé těleso. Charakterizovat uvedená tělesa pro potřeby tohoto článku lze pomocí koeficientů emisivity a reflexe jejich povrchu.

Koeficient emisivity (**emisivita**)  $\varepsilon$  je definován jako poměr intenzity vyzařování daného tělesa k intenzitě vyzařování absolutně černého tělesa při stejné teplotě. Emisivita nabývá hodnot v intervalu  $\varepsilon \in \langle 0; 1 \rangle$  [–]. Parametr úzce související s emisivitou  $\varepsilon$  je koeficient reflexe (**reflexivita**)  $\rho$  [–]

<sup>1)</sup> Termovize® (Thermovision®) je registrovaná výrobní a obchodní značka firmy FLIR Systems. Tato firma, produkuje zobrazovací a detekční systémy pro nekontaktní termografii, vyrábí určité výrobky s tímto názvem. U nás je pojmem termovize obecně označována nekontaktní termografie, resp. jí používané zobrazovací systémy (nazývané také infrakamery nebo termokamery).



Obr. 1. Spektrum elektromagnetického vlnění a vlnový rozsah IR zobrazovacích systémů

povrchu snímaného objektu, který je definován jako poměr intenzity vyzařování tělesa k intenzitě záření na těleso dopadající. Vzájemný vztah těchto parametrů

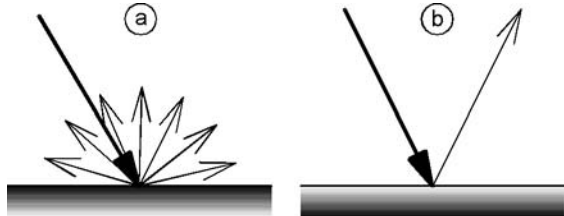
$$\rho = 1 - \varepsilon [-] \quad (1)$$

Dokonale **černé těleso** (ideální zdroj IR záření) je popisováno podle Kirchhoffova zákona (7) jako objekt pohlcující (absorbující) veškeré na něj dopadající záření bez ohledu na jeho vlnovou délku a úhel dopadu, a současně vyzařující (emitující) při dané teplotě maximální možnou energii záření na všech vlnových délkách. Emise záření absolutně černého tělesa, které obsahuje všechny vlnové délky  $0 < \lambda < \infty$ , a tedy i frekvence  $0 < f < \infty$  (viz (2)), probíhá **difúzním rozptylem**, tj. všemi směry do přilehlého poloprostoru (obr. 2a). Toto ideální těleso se vyznačuje hodnotami emisivity  $\varepsilon = 1$ , resp. odrazivosti  $\rho = 0$ , při všech vlnových délkách a bez ohledu na směr vyzařování.

**Šedá tělesa** mají  $\varepsilon < 1$ , ovšem konstantní hodnoty bez ohledu na vlnovou délku záření. Emise záření má rovněž difúzní charakter, tzn. že jeho intenzita nezávisí na jeho směru. Tento typ těles není pro účel článku důležitý, proto postačí tento stručný popis.

Obecně většina objektů patří mezi **reálné zdroje** (reálné zářiče) IR záření, které se vyznačují proměnlivostí  $\varepsilon$  v závislosti na vlnových délkách záření  $\lambda$ . Tyto zářiče nepatří mezi difúzní zdroje záření, tzn. že vykazují směrovou závislost emisivity. Protože reálné zářiče nepohlcují veškeré dopadající záření, je jejich  $0 < \rho < 1$ , tudíž i  $0 < \varepsilon < 1$ .

Ideální **lesklé těleso** (dokonalé zrcadlo) je objekt, který veškeré na něj dopadající záření odrazí zpět do prostoru **zrcadlovým odrazem** (úhel odrazu je roven úhlu dopadu – obr. 2b). Těleso tedy vůbec nevyzařuje vlastní záření, veškeré jeho záření pochází z odrazu záření vnějšího. Dokonalé zrcadlo se vyznačuje hodnotami  $\varepsilon = 0$  a  $\rho = 1$ .



Obr. 2. Difúzní (a) a zrcadlová (b) odrazivost záření dopadajícího na povrch tělesa (na obr. a je třeba nahlížet jako na trojrozměrný)

Grafický záznam teplotního reliéfu na povrchu snímaného objektu (**termogram**) generovaný IR zobrazovacím

systémem je obraz, kde každé hodnotě teploty je přiřazen určitý barevný odstín nebo odstín šedi. Takový termogram je kromě rozložení povrchových teplot i nositelem informací o vnitřním stavu objektu (ovlivňujícím tvorbu tepelné energie), strukturu (ovlivňující mechanizmy šíření tepla) a povrchových vlastnostech (ovlivňujících schopnost vyzařování infračerveného záření).

## Fyzikální popis infračervené radiace

Všechny skupiny vlnových pásem radiace jsou souhrnně nazývány elektromagnetické spektrum. Pohyb elektromagnetického vlnění je spojen s přenosem energie, proto je nazýváno zářením. Elektromagnetické spektrum obsahuje záření gama, rentgenové, ultrafialové, viditelné, infračervené, mikrovlnné a radiové (obr. 1). Všechny tyto různé formy radiace se shodně šíří rychlostí světla ( $c = 2,9979 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$  ve vakuu) a podléhají stejným zákonům. Jediný rozdíl mezi nimi spočívá v jejich rozdílné vlnové délce  $\lambda$ , resp. frekvenci  $f$ . Vzájemný vztah těchto veličin

$$f = c / \lambda \quad [\text{Hz}] \quad (2)$$

Hlavním zdrojem infračerveného záření je teplo neboli tepelné záření. Každý objekt, jehož teplota je vyšší než teplota absolutní nuly ( $T > 0 \text{ K}$  čili  $-273,15 \text{ }^\circ\text{C}$ ), vyzařuje záření v infračervené části spektra – infračervené záření tedy vyzařují i objekty s teplotou hluboko pod bodem mrazu. Čím vyšší teplotu objekt má, tím více infračerveného záření emituje. Velikost zářivého toku generovaného tepelným zdrojem, jeho spektrální složení a směr šíření závisí na vlastnostech a teplotě zdroje. Spektrální intenzita vyzařování obecného tělesa v závislosti na jeho absolutní teplotě je definována Planckovým vyzařovacím zákonem v energetickém tvaru (obr. 3)

$$M_{e,\lambda}(\lambda, T) = 2 \cdot 10^{-6} \cdot \pi e h c^2 \lambda^{-5} (e^{hc/\lambda k T} - 1)^{-1} \quad [\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}] \quad (3)$$

kde  $\varepsilon$  je koeficient emisivity povrchu tělesa [-],

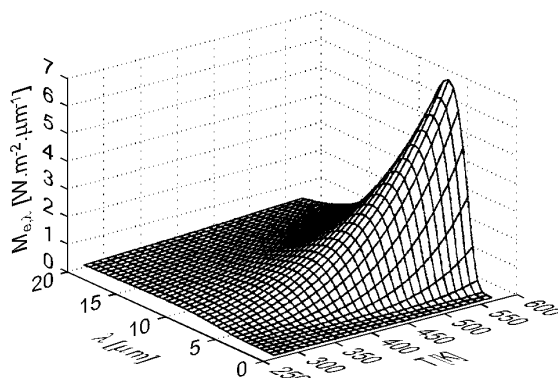
$\lambda$  – vlnová délka emitovaného záření [m],

$T$  – absolutní teplota tělesa [K],

$h = 6,6256 \cdot 10^{-34} \text{ [Js]}$  (Planckova konstanta),

$c = 2,9979 \cdot 10^8 \text{ [ms}^{-1}\text{]}$  (rychlost světla ve vakuu),

$k = 1,3805 \cdot 10^{-23} \text{ [JK}^{-1}\text{]}$  (Boltzmannova konstanta).



Obr. 3. Trojrozměrné zobrazení Planckova vyzařovacího zákona, teplotní závislost generovaného spektra IR záření

Od Planckova zákona je odvozen Stefan-Boltzmannův zákon, který vyjadřuje celkový zářivý výkon generovaný z jednotky plochy obecného zdroje na všech vlnových délkách při dané teplotě (4), a Wienův zákon posuvu, vyjadřující závislost vlnové délky maximální intenzity

vyzařování na teplotě černého tělesa (5),

$$M_e(T) = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad [\text{Wm}^{-2}], \quad (4)$$

$$\lambda_{\max} = 2898 / T \quad [\mu\text{m}], \quad (5)$$

kde  $\varepsilon$  je koeficient emisivity povrchu tělesa [–],

$T$  – absolutní teplota tělesa [K],

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ [Wm}^{-2}\text{K}^{-4}]$  (Stefan-Boltzmannova konstanta).

Z výše uvedených vztahů vyplývá, že při zvýšení teploty zdroje razantně vzrůstá celková energie zářivého toku a generované spektrum se současně obohacuje o kratší vlnové délky (blíží se k viditelné části spektra). Kromě  $\lambda_{\max}$  dochází k IR radiaci i na dalších vlnových délkách v jejím okolí – celkově 25 % zářivé energie je generováno na kratších vlnových délkách (vyšších energiích), než je  $\lambda_{\max}$ , a 75 % na vlnových délkách delších.

Tepelné záření objektů není při běžných teplotách prostým okem viditelné. Ze vztahu (5) však vyplývá, že postupným zahříváním objektu může docházet až k vyzařování viditelného záření (světla). Tepelné záření černého tělesa se stává viditelným při zahřátí na 525 °C (těleso přechází do stavu tzv. červené sálavé teploty zářiče). Při pokračujícím zvyšování teploty zářiče dochází k dalšímu zkracování vlnové délky záření a červená barva světla postupně přechází do oranžové či žluté. Pokud objekt nemá dostatečně vysokou teplotu pro vyzařování světla, emituje většinu své energie v infračervené oblasti. Pro ilustraci – horký plát kamen nemusí vyzařovat světlo, ale emituje infračervené záření pocíťované jako teplo. Při dalším zahřívání postupně dojde k jeho „rozžhavení“ a následnému růstu intenzity vyzařovaného IR záření, a současně k emitování stále intenzivnějšího viditelného světla.

### Základní principy zobrazovacích systémů (zpracování signálu)

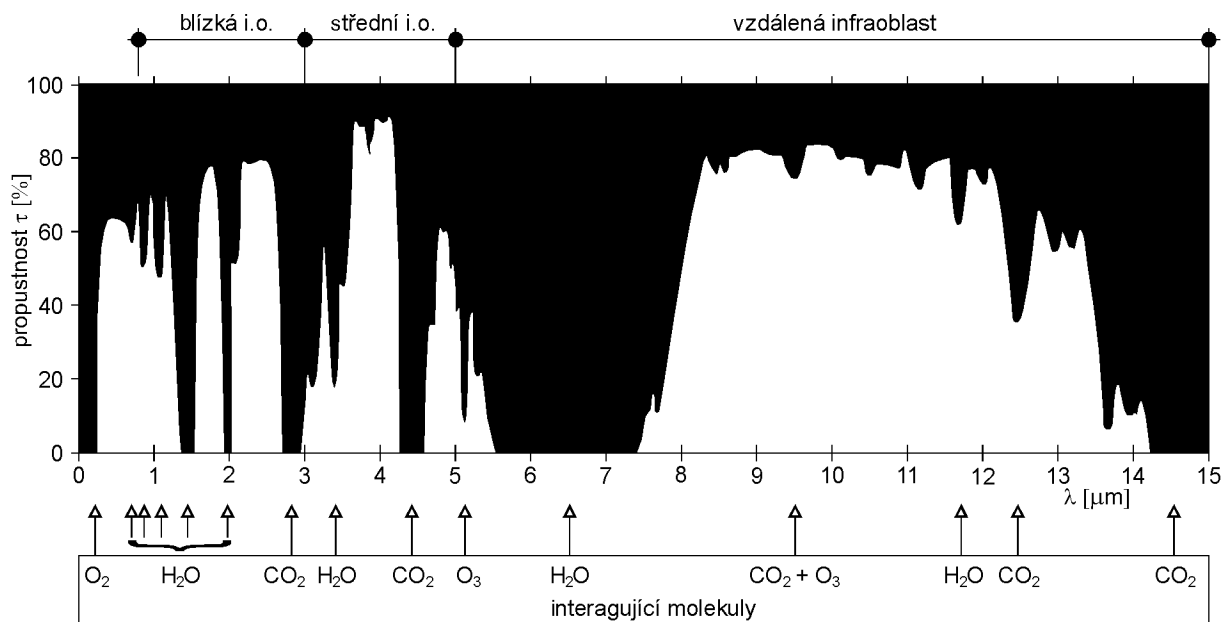
Infrakamery transformují lidským okem neviditelný reliéf teplotního pole na povrchu snímaného objektu na viditelný obraz. Nkontaktním způsobem snímají vyzařované IR záření; při transformaci využívají skutečnosti, že jeho intenzita je kromě jiného i funkcí absolutní teploty na jeho po-

vrchu, což jim umožňuje tuto teplotu vypočítat a zobrazit. V současné době je běžná teplotní citlivost IR kamer kolem 0,1 °C a přesnost měření do  $\pm 2$  % chyby z měřené hodnoty, ovšem pouze za předpokladu úplné znalosti míry vlivu působení vnějších faktorů a jejich dokonalá eliminace či korekce. Osoba obsluhující kameru je tedy podstatným článkem procesu nekontaktního měření teplot.

Nejdůležitějšími prvky infkakamer z hlediska zpracování IR signálu emitovaného z povrchu snímaného objektu jsou objektiv a detektor. **Objektiv** je soustava čoček z vhodného, pro danou spektrální oblast transparentního materiálu; zobrazuje snímanou scénu (objekt s pozadím) do obrazové roviny. Prostřednictvím objektivu se divergentní (rozbíhavé) paprsky signálové radiace z každého „bodu“ předmětu soustředí do odpovídajícího „bodu“ v obrazové rovině.

Moderní **detektory** IR záření, označované jako FPA (Focal Plane Array), jsou složeny z mozaiky (dvojměrné matrice) měřících elementárních detektorů – mikrobolometrů, což jsou prvky zpravidla čtvercového tvaru o velikosti cca 50  $\mu\text{m}$ . Konstrukce mikrobolometrických elementů umožňuje jejich paralelní uspořádání do detekčních mozaik s maticí např. 320  $\times$  240 (v tomto případě tedy jde o 76 800 měřících bodů – pixelů – pracujících v reálném čase). Detektor, resp. každý pixel detektoru, snímá signál ze scény (radiční tok), který je úměrný průmětu detektoru do předmětové roviny a transparentci optické soustavy a atmosféry. Tuto zářivou energii pixel převádí na analogový signál, který je pro každý řádek detektoru digitalizován (pro výše uvedenou matici je v jednom řádku 320 pixelů) – výstupní signál detektoru je tedy potom v digitální formě.

Infrakamerou jsou prostorové souřadnice pole rozloženy na elementární plošky – průměty elementárního detektoru (mikrobolometru) do předmětové roviny; časová souřadnice je rozložena na dobu, kdy je vytvořen jeden snímek (termogram). Velikost elementární plošky je dána jednak vzdáleností detektoru od snímaného objektu a jednak velikostí zorného pole použitého objektivu, přičemž je omezena rozlišovací schopností detektoru (rastrem matrice). Současné termokamery umožňují zobrazování (transformování rozložení teplotního pole na jeho obraz v hledáčku kamery) v reálném čase, nicméně vytvoření jednoho termogramu (uložení na paměťové médium) trvá u běžných kamer



Obr. 4. Transparence atmosféry pro IR záření na vzdálenost 1,8 km těsně nad hladinou moře, s vyznačením interagujících molekul prvků rozptýlených v atmosféře

nejméně 0,8 s, pouze u systémů doplněných výstupem Fire Wire je možné ukládat, popř. částečně vyhodnocovat, termogramy v reálném čase.

Moderní mozaikové mikrobolometrické detektory nejsou chlazeny, vlastní detektor je zabudován v hermeticky uzavřeném vakuovaném pouzdře, ve kterém je teplota termoelektricky stabilizována na přibližně pokojovou teplotu (což je nezbytné pro udržení požadované vysoké teplotní rozlišovací schopnosti – pro názornost: změna teploty ve scéně o 1 K znamená změnu teploty bolometru o 0,001 K). Kamery nejvyšší úrovně vedle zpracování snímaného signálu umožňují i jeho dílčí vyhodnocení (včetně kompenzace některých z vnějších faktorů), a následně jsou jednotlivé termogramy zaznamenávány na záznamové médium pro další zpracování. To je prováděno softwarem, který většinou umožňuje podrobný rozbor sejmutých a zaznamenaných termogramů, včetně kompenzace vnějších vlivů a vyhodnocení, a tvorbu výsledných protokolů s termogramy, případně i s reálnými obrazy – fotografiemi měřeného objektu.

Mikrobolometrické termokamery nepokrývají celý rozsah IR spektrálního pásma, ale jeho omezené výseky (obr. 1). Podle účelu je možné zvolit buď středněvlnné systémy, pracující v rozsahu 2 až 5,6  $\mu\text{m}$ , nebo dlouhovlnné pro rozsah 7,5 až 14  $\mu\text{m}$ . Konstrukce termokamer v tomto případě vyplývá ze spektrálních charakteristik použitých materiálů jejich optiky a spektrální transparence atmosféry (kamery pracují v atmosférických oknech) – viz obr. 4. V rozsahu 5,6 až 7,5  $\mu\text{m}$  je atmosféra pro infракamery v podstatě „neprůhledná“, zejména vlivem přítomnosti vodních par. Pro potřeby stavební diagnostiky jsou vhodnější dlouhovlnné systémy.

Snímaný objekt, jeho pozadí a prostředí (atmosféra) mezi jeho povrchem a detektorem termokamery tvoří primární parametrické pole. Není-li scéna stacionární, což obvykle nebývá, vlastnosti pole se obecně mění v prostoru a čase. Hlavní rozdíl ve snímání objektu klasickou kamerou nebo fotoaparát a infракamerou spočívá v odlišnostech jejich parametrických polí:

- parametrické pole pro klasické snímání (ať už na kinofilm nebo digitální) tvoří koeficient reflexe povrchu snímaného objektu a transparence prostředí mezi objektem a objektem, obojí pro viditelnou část spektra;
- parametrické pole pro IR zobrazení je tvořeno povrchovou teplotou, emisivitou, resp. reflexivitou snímaného povrchu a transparentností atmosféry, vše pro IR část spektra.

V souvislosti s popisem činnosti termokamer je třeba uvést, že většina objektů transparentních ve viditelné části spektra jsou pro dlouhovlnné IR systémy „neprůhledné“ – typickými příklady jsou čiré sklo nebo čistá voda, tzn. že je možné nekontaktním způsobem měřit teplotu na jejich povrchu.

A naopak, některé pro lidské oko neprůhledné materiály mohou být pro IR kameru „neviditelné“, protože jsou pro infракervené záření daných vlnových délek značně propustné, např. některé plastové fólie, takže termokamera zcela nebo částečně snímá a zobrazuje teplotní reliéf povrchu objektu nacházejícího se za tímto předmětem.

### Faktory generace a detekce povrchového teplotního reliéfu obvodových plášťů

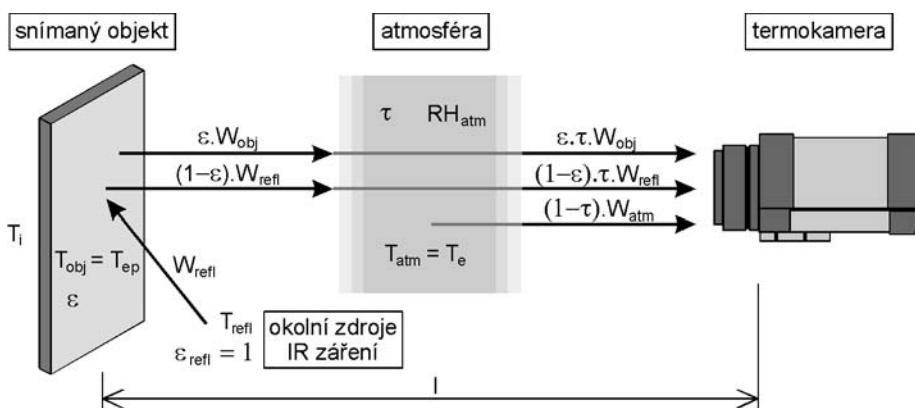
Přestože to již bylo uvedeno výše, je třeba zdůraznit, že termokamery teplotu povrchu snímaného objektu neměří, ale vypočítávají na základě nekontaktně snímané intenzity vyzařovaného IR záření a zadání hodnot vyjadřujících vliv vnějších faktorů. Protože jde o měření nekontaktní, vstupují do tohoto procesu i další parametry, než je pouze povrchová teplota. Na těchto faktorech významně závisí přesnost měření a správnost interpretace dosažených výsledků.

Velikost IR signálového radiačního toku, emitovaného z povrchu obvodového pláště a detekovaného infракamerou, je ovlivněna faktory generace a detekce povrchového teplotního reliéfu, které se běžně rozlišují na vnitřní a vnější. Vnitřní faktory obecně ovlivňují generaci a šíření tepelné energie ve snímaném objektu a nelze je v procesu zobrazení ovlivnit – jde o vlastnosti a skladbu zobrazovaného objektu. V případě obvodových konstrukcí budov jsou vnitřní faktory vyjádřeny zejména koeficienty tepelné vodivosti  $\lambda_{\text{mat}}$  a hustotou (objemovou hmotností)  $\rho_{\text{mat}}$  materiálů jejich dílčích vrstev a prvků a jejich geometrie; vnitřním faktorem je i parametr vzduchotěsnosti obalových konstrukcí, zahrnující zejména nežádoucí lokální netěsnosti vyplývající hlavně z nevhodně navržených a provedených detailů, které způsobují anomálie v rozložení teplotního pole v jejich okolí.

Mezi vnější faktory patří ty parametry, které ovlivňují povrchový teplotní reliéf a jeho obraz a jsou vázány na prostředí, v němž se snímaný objekt nachází. Vnější faktory IR zobrazování obvodových konstrukcí budov lze podle způsobu jejich eliminace rozdělit do dvou skupin. Do první skupiny patří ty faktory, které lze korigovat v procesu měření nebo tvoření termogramů v pracovním menu kamery nebo v příslušném software:

- vlastnosti snímaného povrchu (zejména koeficienty emisivity  $\varepsilon$  nebo reflexe  $\rho$ );
- teplota vzduchu mezi snímaným objektem a termokamerou  $T_{\text{atm}} = T_e$ ;
- relativní vlhkost vzduchu mezi snímaným objektem a termokamerou  $RH_{\text{atm}}$ ;
- vzdálenost mezi snímaným objektem a termokamerou  $l$ .

Druhá skupina vnějších faktorů obsahuje činitele, které je při analýze obvodových plášťů třeba sledovat a jejich



Obr. 5. Schéma vnějších faktorů ovlivňujících přesnost měření nekontaktní termografie s vyznačením vyzařování zúčastněných zdrojů IR záření

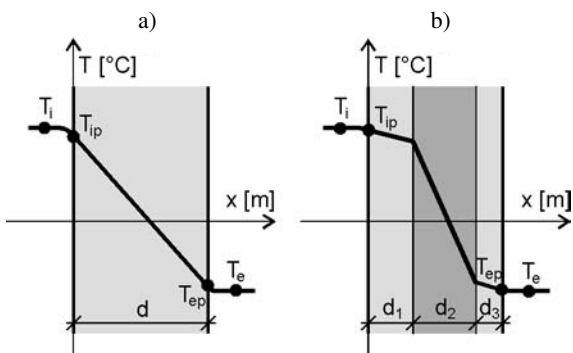
úpravou či úpravou uspořádání měření dosáhnout optimálních podmínek pro měření. Jsou to zejména:

- teplota vzduchu  $T_i$ , resp. povrchu  $T_{ip}$ , na odvrácené straně obvodového pláště;
- topologie snímaného povrchu vzhledem k termokamere (úhel  $\Theta$  svíraný normálou ke snímanému povrchu a optickou osou objektivu, resp. detektoru);
- vnější zdroje IR záření, IR radiace pozadí (okolní objekty, slunce, jasná obloha);
- rychlost proudění vzduchu podél snímaného povrchu;
- znečištění prostředí mezi snímaným objektem a termokamerou (resp. transparence atmosféry  $\tau$ ).

Jak ukazuje tento přehled, nekontaktní detekci, resp. přesnost výpočtu povrchového teplotního reliéfu obvodových plášťů budov, ovlivňuje mnoho vnějších faktorů. Termokamery vyšších tříd umožňují zadání buď přímo v přístroji (podle typu zcela nebo částečně), či příslušném software zadání položek a) až d) přehledu a jejich kompenzace probíhá během výpočtu povrchové teploty; ostatní faktory je třeba eliminovat vhodným uspořádáním nekontaktního měření.

Samostatným problémem při nekontaktním měření obvodových plášťů budov je faktor nestacionárního vývoje scény v zorném poli objektivu. Tato nestacionárnost není na překážku mapování celkového teplotního reliéfu, zjišťování teplotních extrémů a odhalování tepelných mostů. Tyto cíle umožňují i jistá zjednodušení při zavádění vnějších vlivů do měření, neboť není třeba znát přesnou hodnotu povrchové teploty, ale spíše teplotní rozdíly v jednotlivých „bodech“ scény. Na druhou stranu je prakticky vyloučeno použití termokamer pro stanovení tepelných odporů obalových konstrukcí nebo energetických ztrát objektů; vysoké nároky na přesnost a objektivitu měření potřebných pro tyto cíle vyžadují dosažení stacionárního (ustáleného) stavu vedení tepla ve snímané obvodové konstrukci.

Při stacionárním stavu teplotního profilu uvnitř snímané konstrukce (obr. 6), která je v takovém případě ve stavu termodynamické rovnováhy se svým okolím, probíhá vedení tepla o konstantní hustotě tepelného toku a průběh teploty má lineární charakter (konstrukci zjednodušíme na materiálově homogenní a vedení tepla na jednorozměrné).



Obr. 6. Příklady stacionárního rozložení teplot v jednovrstvé (a) a vícevrstvé konstrukci za předpokladu dokonalého kontaktu jednotlivých vrstev bez přechodových tepelných odporů (b) při jednorozměrném vedení tepla

Je však třeba dosáhnout a udržet stacionární stav scény, tzn. zajistit konstantní hodnoty všech parametrů výše uvedeného přehledu s výjimkou f) a i), po dobu mnoha hodin; položky f), g), h), i) by měly mít hodnotu rovnou nule. Takto dlouhodobě toho lze dosáhnout velmi obtížně; už jenom zajištění konstantní teploty vzduchu z vnější strany snímaného obvodového pláště vzhledem k jejím běžně i velmi

výrazným výkyvům během denního cyklu může představovat neodstranitelnou překážku.

Ustálený průběh teploty v konstrukci je v běžných podmínkách jen teoreticky dosažitelný, obecně se používá jako zjednodušený výchozí stav pro výpočtové posuzování parametrů obvodových plášťů. Tento stav v jednovrstvé konstrukci (obr. 6a) matematicky vyjadřuje vztah (6), u vícevrstvé konstrukce je tento vztah složitější v závislosti na skladbě konstrukce (obr. 6b). Proto bude pro další popis použit případ jednovrstvé obvodové konstrukce.

$$T_{st} = T_{ip} - x \cdot (T_{ip} - T_{ep}) / d, \quad (6)$$

kde  $T_{st}$  je teplota v libovolném místě průřezu obvodové konstrukce v ustáleném stavu [ $^{\circ}\text{C}$ ],

$T_{ip}$  – teplota na vnitřním povrchu obvodové konstrukce [ $^{\circ}\text{C}$ ],

$T_{ep}$  – teplota na vnějším povrchu obvodové konstrukce [ $^{\circ}\text{C}$ ],

$d$  – tloušťka obvodové konstrukce [m],

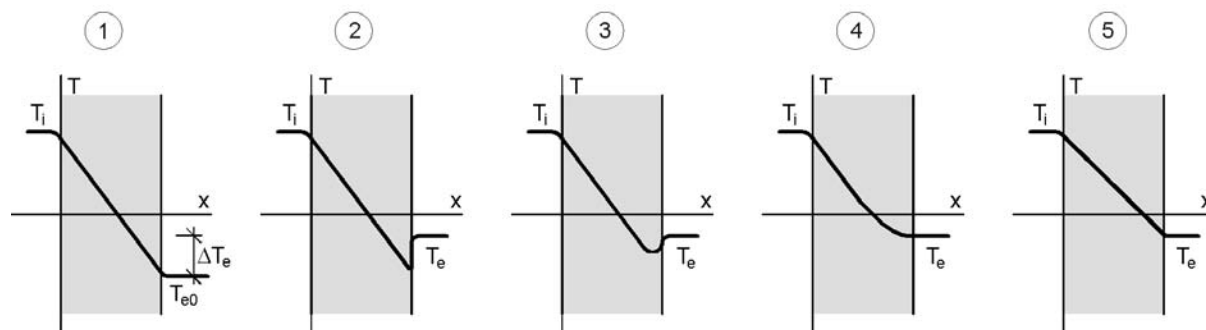
$x$  – kolmá vzdálenost od vnitřního povrchu obvodové konstrukce k bodu o teplotě  $T_{st}$  [m].

### Pro ilustraci

Teoretickou situaci stacionárního průběhu teploty v konstrukci jako výchozí použijeme pro demonstraci vývoje teploty v jednovrstvém homogenním obvodovém plášti po změně vnějších podmínek opět do ustáleného stavu, odpovídajícímu této změně podmínek. Tu zjednodušíme na jednorázovou změnu jediného vnějšího faktoru – teploty exteriéru o  $\Delta T_e = \text{konst}$ , která proběhne během velmi krátké doby, a dosažená teplota  $T_e = T_{e0} + \Delta T_e$  bude následně udržena po dostatečně dlouhou dobu. Probíhající proces je znázorněn na obr. 7. Konstrukce obvodových plášťů, úměrně své teplotní setrvačnosti závislé na materiálových charakteristikách (součiniteli tepelné vodivosti  $\lambda_{\text{mat}}$  a objemové hmotnosti  $\rho_{\text{mat}}$ ) a svých rozměrech, reagují na změny vnějších teplot s jistým zpožděním. Po změně teploty na vnějším povrchu  $T_{ep}$  teplotní průběh uvnitř konstrukce přejde do neustáleného stavu. Tvar křivky průběhu teploty se bude v čase postupně měnit, až opět přejde do stavu stacionárního. Matematické vyjádření závislosti nestacionárního průběhu teploty uvnitř konstrukce  $T_{\text{nest}}$  na čase  $t$  je složité a pro daný účel není nezbytné. Omezme se pouze na konstatování, že dosažení stacionárního stavu teplotního průběhu v konstrukci je proces relativně dlouhodobý, což jej vlastně znemožňuje. Z obrázku 7 vyplývá, že udržení konstantní teploty  $T_e$  po dobu několika hodin, potřebných k přechodu průběhu teploty v konstrukci ze stavu 2 do stavu 5, není v běžných klimatických podmínkách reálné.

Celý popsaný proces by musel být provázen příslušným regulováním energetického příkonu vynaloženého k udržení konstantní teploty vzduchu v interiéru  $T_i$ , resp. nezbytného k dosažení a udržení ustáleného stavu průběhu teploty po jejím průřezu po dobu nekontaktního měření. Změna intenzity energetického toku procházejícího konstrukcí vede ke změně intenzity vyzářování IR radiace na vnějším povrchu konstrukce, která je podle (4) úměrná povrchové teplotě  $T_{ep}$ . Vzhledem k plošné nehomogenitě obvodových konstrukcí (přítomnost rohů, koutů, styků s vnitřními konstrukcemi, různých materiálů apod.) však tato intenzita vyzářování, resp. její změna, není ve všech bodech obvodového pláště přímo úměrná tepelnému odporu konstrukce, proto jednorozměrné vedení tepla představuje další, poměrně značné zjednodušení skutečného stavu.

Z výše uvedeného vyplývá, že nelze vkládat přehnané naděje do nekontaktní termografie coby stěžejního nástroje



Obr. 7. Změna průběhu teploty v obvodové konstrukci z hypotetického ustáleného stavu při náhlé změně teploty v exteriéru o  $+\Delta T_e$  opět do stavu ustáleného

zpracování energetických auditů budov, protože pro získání dostatečně přesných výsledků nelze dosáhnout nezbytného stacionárního stavu vnějších podmínek. S úspěchem lze však tuto metodu použít pro dílčí měření k získání podkladů pro zpracování auditů, návrh dodatečných zateplení, kontrolu dodržování kvality při výstavbě, detekci lokálních konstrukčních anomálií apod. I tyto případy ovšem vyžadují měření za vnějších podmínek bez výrazných výkyvů. V závislosti na požadované přesnosti měření je třeba dosáhnout i odpovídající teplotní stabilizace snímané konstrukce, blížíící se případu 4 na obr. 7.

### Kompensace a eliminace vnějších vlivů nekontaktní termografie

Přesná znalost koeficientu emisivity (činitele vyzařování, pohltivosti)  $\varepsilon$  je základním faktorem přesnosti nekontaktních měření teplot, a proto je třeba se jí věnovat poněkud podrobněji. Kirchhoffův zákon (7) říká, že hodnota emisivity povrchu tělesa nacházejícího se v termodynamické rovnováze se svým okolím při dané teplotě je na všech vlnových délkách a ve všech směrech rovna hodnotě pohltivosti tohoto povrchu při stejné teplotě

$$\varepsilon(\lambda, \Theta, T) = \alpha(\varepsilon, \Theta, T). \quad (7)$$

Emisivita, nabývající hodnot v intervalu  $\varepsilon \in \langle 0; 1 \rangle$  [-], je obecně závislá:

- na materiálu zdroje IR záření (omítka, beton, sklo, kov atd.);
- na vlastnostech povrchu zdroje IR záření (hrubozrný, lesklý, vlhký, suchý atd.);
- na vlnové délce vyzařování zdroje IR záření  $\lambda$ ;
- na termodynamické teplotě materiálu zdroje IR záření  $T$ ;
- na směru vyzařování IR záření  $\Theta$ .

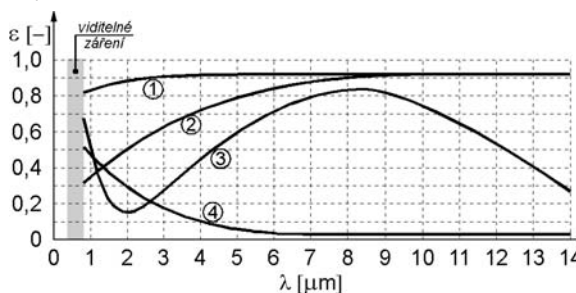
Emisivita povrchu většinou nezávisí na jeho barevném odstínu ve viditelné části spektra. Lesklé povrchy mají nízkou emisivitu (např. leštěný hliník cca 0,05), matné povrchy naopak vysokou (např. beton až 0,97), kolísající se změnou teploty. Hodnoty  $\varepsilon(\lambda) = \varepsilon = 1$  při všech vlnových délkách  $\lambda$  je dosaženo pouze v případě absolutně černého tělesa. Obecně naprostá většina materiálů patří mezi reálné zdroje IR záření, které se vyznačují proměnlivostí  $\varepsilon(\lambda)$  v závislosti na vlnových délkách záření  $\lambda$ . Tato závislost může být velmi složitá (obr. 8).

Při snímání obvodových plášťů budov se v zorném poli objektivu termokamery obvykle nachází více druhů materiálů (omítka, obklady, sklo atd.), tzn. že emisivita v jednom záběru není konstantní. Pokud je tato skutečnost opominuta a měření je provedeno s jedinou hodnotou  $\varepsilon_1$  pro celý záběr, dochází při výpočtu teploty k chybě o velikosti úměrné po-

měru hodnot koeficientů emisivity vyskytujících se v zorném poli (v případě dvou různých materiálů  $\Delta\varepsilon = |(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)|$ ); tuto chybu je při jistém zjednodušení možno vyčíslit podle vztahu

$$\Delta\varepsilon / \varepsilon_1 \approx [\Delta(T_1 - T_2)] / [T_1 - T_2], \quad (8)$$

kde  $T_1$  je teplota stanovená správně (detekovaná v oblasti č. 1 se správným koeficientem  $\varepsilon_1$ , který byl použit v celém rozsahu zorného pole), a  $T_2$  teplota stanovená chybně (v oblasti č. 2 se skutečnou emisivitou  $\varepsilon_2$  za použití emisivity  $\varepsilon_1$ ).



Obr. 8. Spektrální závislost emisivity  $\varepsilon(\lambda)$  některých materiálů 1 – tmavé nekovy, 2 – světlé nekovy, 3 – oxidy kovů, 4 – kovy

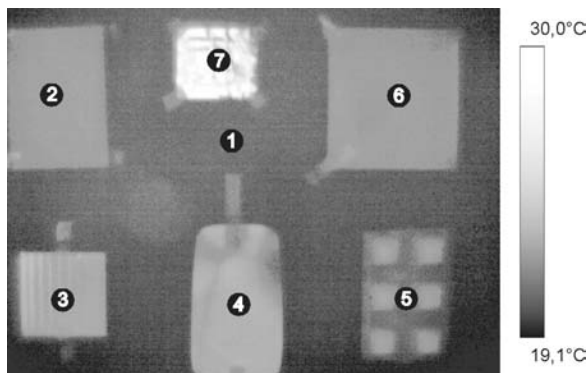
### Pro ilustraci

Termokamerou je snímán povrch objektu, který má dvě oblasti s rozdílnou teplotou ( $T_1$  a  $T_2$ ) a emisivitou ( $\varepsilon_1 = 1,0$  a  $\varepsilon_2 = 0,8$ ), přičemž  $(T_1 - T_2) = 5$  K. Rozdíl v hodnotách koeficientů emisivity je tedy 20 %. Pokud bude v celém zorném poli při vyhodnocování použit jediný koeficient emisivity  $\varepsilon_1$ , bude stanovená správně teplota  $T_1$  a chybně teplota  $T_2$ , jejíž hodnota bude podle vztahu (8) odpovídat zdánlivému rozdílu teplot přibližně  $\Delta(T_1 - T_2) = 4$  K, tedy s chybou v rozdílu rovněž 20 %.

Tyto zásady platí i v opačném případě – pokud se v zorném poli objektivu kamery nacházejí povrchy z různých materiálů, ale se shodnou teplotou, vlivem jejich různých  $\varepsilon$  bude detekována i jejich různá teplota. Na obrázku 9 je znázorněno rozložení teplotního pole v zorném poli objektivu termokamery, ve kterém se nachází sedm různých povrchů (rozložení teplotního reliéfu bylo kamerou vypočteno na základě emisivity definované hodnotou  $\varepsilon = 0,96$ ). Kontaktním způsobem byla ve vybraných referenčních bodech zjištěna teplota v rozmezí  $T = \langle 19,2; 19,4 \rangle$  °C. Vzhledem k tomu, že použitá hodnota  $\varepsilon$  je korektní pouze pro dva ze snímaných povrchů, zatímco ostatní povrchy mají  $\varepsilon$  odlišnou, byla nekontaktním způsobem zjištěna správná teplota právě v těchto dvou případech; u ostatních se i podstatně lišila (tab. 1). Správnou teplotu bylo možné stanovit až po zavedení správné hodnoty emisivity pro dílčí typ povrchu.



Parametr úzce související s emisivitou  $\varepsilon$  je **koeficient reflexe** (odrazivosti)  $\rho$  [-]. Jejich vzájemný vztah (1) může být velmi užitečný, neboť pokud je obtížné zjistit emisivitu snímaného objektu, či je třeba její hodnotu ověřit, lze ji odvodit zjištěním reflexivity. Protože reálné zářiče nepohlcují veškeré na ně dopadající záření, je jejich reflexivita  $\rho > 0$ .



Obr. 9. Teplotní reliéf různých povrchů v zorném poli objektivu termokamery při emisivitě definované hodnotou  $\varepsilon = 0,96$  (kontaktním způsobem byla zjištěna teplota  $19,3 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$  v sedmi referenčních bodech, které jsou označeny terčí s číslem typu povrchu; teploty v referenčních bodech snímané nekontaktní metodou jsou uvedeny v tab. 1)

1 – omítka s vápennou malbou, 2 – list papíru, 3 – polykarbonátová destička, 4 – zrcadlo, 5 – nopovaná polyetylenová fólie, 6 – textil, 7 – hliníková fólie

Běžně nenulová hodnota  $\rho$  je ovšem při nekontaktním snímání teplot příčinou problémů v přesnosti dosahovaných výsledků, neboť parazitní IR záření, emitované okolními zdroji, odrážené měřeným povrchem a snímané detektorem termokamery, je příčinou zkreslení skutečné povrchové teploty. Běžně stavební materiály se zpravidla vyznačují difúzním charakterem odrazu IR záření od okolních zdrojů, ovšem materiály s vysokou hodnotou  $\rho$  (např. leštěné kovy) odrážejí záření s převahou zrcadlového efektu. Je-li snímaným povrchem s nízkou emisivitou odráženo IR záření okolních zdrojů s nižší teplotou, než má snímaný objekt, je infrazamerou detekována nižší teplota ve srovnání s teplotou skutečnou, a naopak.

Tab. 1. Vliv různé emisivity na velikost hodnoty nekontaktně detekované teploty v bodech na obr. 9 a odvození emisivity jednotlivých povrchů na základě znalosti skutečné teploty

Č.	Materiál	$T$ při $\varepsilon = 0,96$	$\varepsilon$ při $T = 19,3 \text{ }^\circ\text{C}$
1	vápenná malba	19,3	0,96
2	papír	19,8	0,87
3	polykarbonát	20,2	0,85
4	zrcadlo (sklo)	20,4	0,89
5	nopovaný polyetylen	19,3	0,96
6	textil	19,8	0,93
7	hliníková fólie	29,2	0,41

Reálné zdroje se vyznačují směrovou závislostí emisivity (obr. 10). Obecné zářiče by neměly být snímány pod úhlem větším než  $\Theta_{\max} = 30^\circ$  v případě lesklých povrchů, resp.  $60^\circ$  u povrchů matných. Při větších úhlech pokles hodnoty efektivní emisivity již nadměrně nepříznivě ovlivňuje přesnost měření. Tuto skutečnost je třeba mít na zřeteli zejména při snímání povrchů geometricky značně členitých objektů – takový objekt je vhodnější snímat postupně z různých směrů, vždy co nejvíce kolmo na dílčí povrch (výsledný ter-

mogram je transformací snímaného trojrozměrného objektu na dvojrozměrný obraz). Při zaměřování kamery je třeba respektovat i omezení rozlišením detektoru, a pokud možno kameru umístit tak, aby průmět detektoru do předmětové roviny byl co nejmenší. Tím se dosáhne největšího prostorového rozlišení, a současně maximálního ozáření detektoru při nejvyšší dosažitelné hodnotě  $\varepsilon$ .

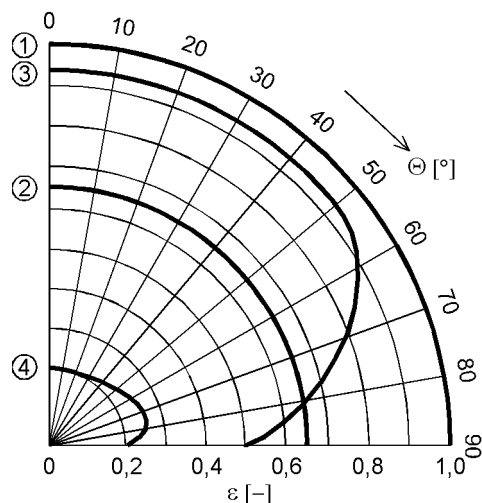
Korekce emisivity je neefektivnější již během měření objektu zadáním její hodnoty v pracovním menu infrazamery. Hodnotu  $\varepsilon$  je možné zjistit několika způsoby. Nejjednodušší je vyhledat ji v tabulkách koeficientů emisivity pro různé povrchy. Tento způsob však není vhodný pro přesná měření – tabulky nepostihují celou škálu možných materiálů povrchů a uvedené hodnoty nejsou dostatečně přesné, ale pouze orientační. Vhodnější je tedy emisivitu stanovit před začátkem IR měření využitím vedlejších měření, a to některým z následujících způsobů:

- upevněním pásku nebo provedením nátěru z materiálu o známé emisivitě  $\varepsilon_1$  na referenční místo (místa) povrchu snímaného objektu, změřením jeho teploty  $T_1$  termokamerou za použití  $\varepsilon_1$  a následným měřením teploty povrchu v bodě v těsné blízkosti této úpravy  $T_2$  a upravováním emisivity  $\varepsilon_2$  v přístroji tak dlouho, až je dosaženo shodné teploty  $T_2 = T_1$ ;

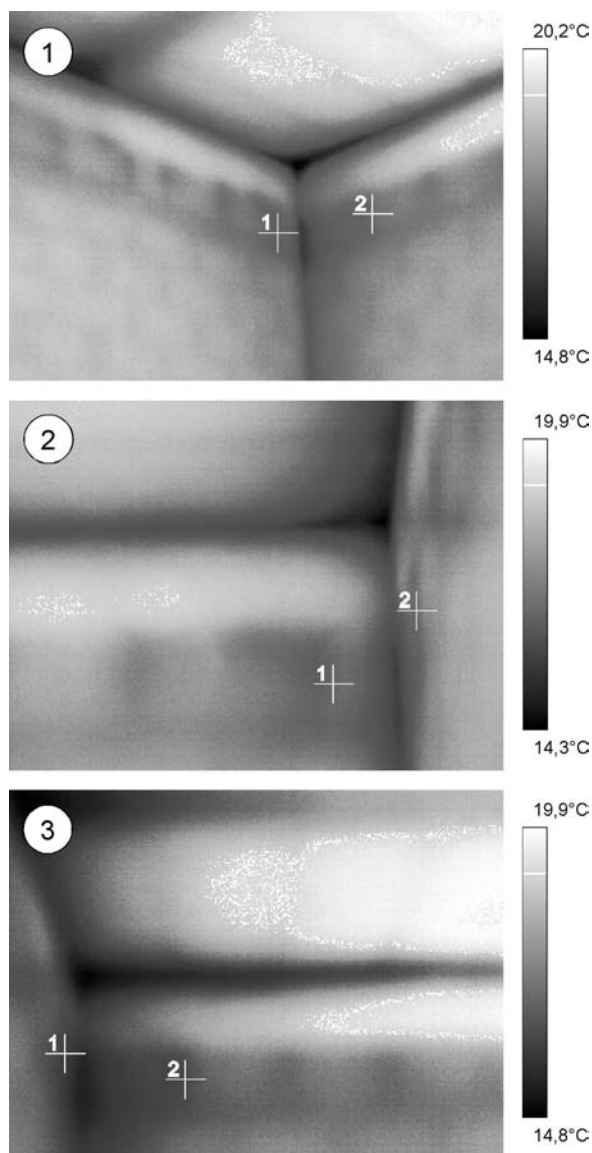
- stanovením teploty v referenčním bodě (bodech) snímaného objektu kontaktním měřením a při zaměření této pozice infrazamerou měnit nastavení emisivity v kameře tak dlouho, dokud nebude detekována stejná teplota (obr. 9, tab. 1);

- změřením reflexivity v reprezentativních bodech povrchu spektrometrem a odvozením emisivity podle (1); pořízení spektrometru je ovšem velmi nákladné.

Ani takto zjištěnou hodnotu emisivity však nelze považovat za přesnou v celé ploše objektu a univerzálně použitelnou i pro další měření, protože odpovídá podmínkám vyskytujícím se během měření – kromě lokálních vlastností samotného povrchu (struktura, vlhkost apod.) hodnotu emisivity zkresluje např. vliv úhlu mezi spojnicí referenčních bodů s objektivem a normálou ke snímanému povrchu. Obrázek 11 a tabulka 2 ukazují, že při měření pod úhlem cca  $45^\circ$  vůči matným snímaným povrchům nedochází ke zkreslení výsledných hodnot teploty buď vůbec, anebo zanedbatelně, zatímco při úhlu kolem  $80^\circ$  již v měření dochází k odchylce. Ta v daném případě není příliš velká, neboť snímané povrchy (opatřené vápennou malbou) se vyznačují převážně difúzním charakterem emise záření.

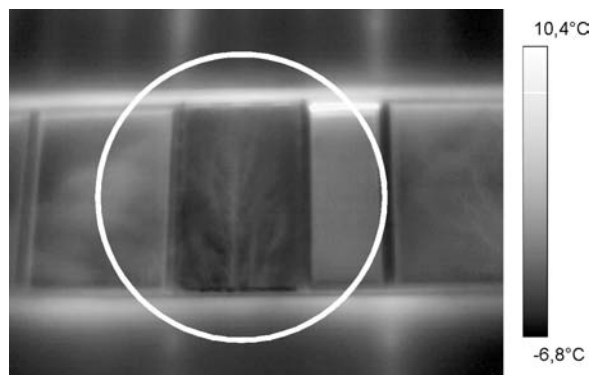


Obr. 10. Směrová závislost emisivity zdrojů IR záření  
1 – absolutně černé těleso, 2 – šedé těleso, 3 – nekovy, 4 – kovy



Obr. 11. Směrová závislost emisivity – vliv úhlu mezi optickou osou kamery a normálou ke snímanému povrchu na velikost teplot zjištěných nekontaktní termografií v prostoru tepelného mostu ve styku dvou obvodových stěn a stropu (úhly mezi optickou osou objektivu a normálami ke snímaným stěnám opatřeným omítkou a vápennou malbou)

1 – úhel cca 45°/45°, 2 – úhel cca 0°/80°, 3 – úhel cca 80°/0°



Obr. 12. Odraz teplotního obrazu stromu v zasklení meziokenní vložky panelového domu

Faktor **teplota atmosféry mezi snímaným objektem a termokamerou** ovlivňuje velikost stejnosměrné signálové radiační složky detekovaného IR signálu, emitovaného snímaným objektem, a zároveň její kolísání. Korekci tohoto parametru se kompenzuje radiace atmosféry mezi snímaným objektem a detektorem IR kamery, a to zadáním teploty vzduchu do pracovního menu kamery v průběhu měření.

**Relativní vlhkost vzduchu mezi snímaným objektem a termokamerou** ovlivňuje přenos radiace v atmosféře mezi povrchem snímaného objektu a kamerou, resp. její útlum se vzrůstající vzdáleností. Prostupnost atmosféry pro IR záření klesá s její zvyšující se relativní vlhkostí. Hodnota relativní vlhkosti vzduchu se během měření zadává do infrakamery jako údaj pro výpočet teploty. Význam vlivu tohoto faktoru razantně klesá se zmenšující se vzdáleností – do vzdálenosti cca 25 m představuje případná nepřesnost při zavedení tohoto parametru zanedbatelný dopad na přesnost měření. Doporučení – relativní vlhkost vzduchu při nekontaktním měření teploty by neměla být vyšší než cca 70 %, nepřípustné je měření v mlze a v dešti.

Tab. 2. Porovnání teplot zjištěných v prostoru tepelného mostu podle obr. 11

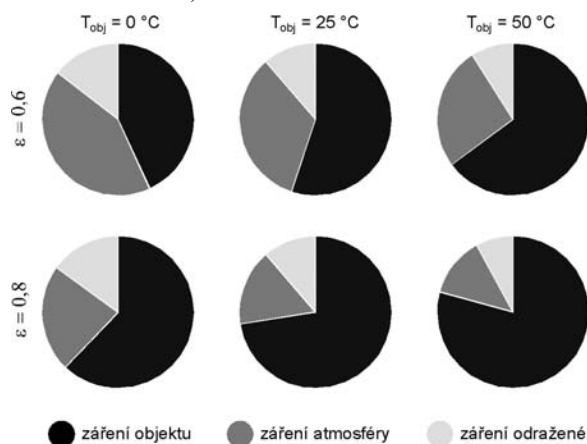
Poloha bodu	Označení směru snímání / teplota [°C]		
	var. 1	var. 2	var. 3
1	17,2	17,3	17,0
2	17,4	17,1	17,4

**Vnější zdroje IR záření** ovlivňují v závislosti na povrchových vlastnostech snímaného objektu buď jeho skutečnou, nebo zdánlivou povrchovou teplotu. Skutečná povrchová teplota je ovlivněna absorbováním dopadajícího tepelného záření vyzařovaného okolními zdroji (objekty, atmosféra, obloha, slunce) v závislosti na hodnotě koeficientu pohltivosti, resp. emisivity (7). Zdánlivá povrchová teplota se projevuje chybou ve stanovení povrchové teploty snímaného objektu termokamerou, na jejíž detektor dopadá ta část IR záření emitovaného okolními objekty, která je odražena povrchem snímaného objektu v závislosti na hodnotě jeho koeficientu reflexe  $\rho$  (obr. 12) a charakteru odrazu záření (obr. 2). V této souvislosti je třeba zdůraznit důležitou informaci – pokud dojde ke špatnému stanovení hodnoty  $\varepsilon$ , přístroj podle (1) vypočte i chybnou hodnotu  $\rho$ , tzn. že vlivem jedné chyby na vstupu je přesnost výpočtu teploty narušena již dvěma chybami.

Vliv parazitních přirozených i umělých zdrojů IR záření je třeba kompenzovat zadáním teploty okolních objektů v procesu vyhodnocování výsledků měření, nebo lépe uspořádáním měření tak, aby odražené záření okolních objektů nedopadalo do objektivu kamery vůbec, nebo co nejméně. Jak ukazuje obr. 13, podíl parazitních zdrojů záření odraženého od povrchu snímaného objektu v poměru k záření emitovanému z povrchu samotného objektu je bez ohledu na dané podmínky poměrně významný. Pro dosažení nejvyšší přesnosti měření je z tohoto hlediska ideální, je-li povrchová teplota okolních objektů blízká teplotě povrchu snímaného objektu.

Samostatný problém představuje tak silný zdroj IR záření, jakým je slunce. Spektrální rozsah dlouhovlnných IR detektorů, obvykle 7,5 ÷ 14  $\mu\text{m}$ , sluneční záření, jehož největší energie je podle (5) šířena na vlnových délkách okolo 0,5  $\mu\text{m}$ , do značné míry eliminuje. Protože se však slunce coby zdroj IR záření svým charakterem blíží černému tělesu, vyzařuje energii i v dlouhovlnné části spektra. Z pohledu

velikosti teplot opačným, ale z hlediska intenzity IR záření velmi podobným problémem, je dlouhovlnné záření vesmíru (teplota zimní bezoblačné oblohy je kolem  $-190\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Pro eliminaci vlivu parazitního dlouhovlnného záření je nezbytná vhodná organizace měření tak, aby toto záření prostřednictvím odrazu od snímaného povrchu nedopadalo na detektor kamery, nebyly snímány oslněné povrchy, a to ani příliš krátkou dobu po zastínění, než dojde k teplotnímu vyrovnání. Nekontaktní měření v exteriéru je tedy vhodné provádět v noci při zatažené obloze, pod vhodným úhlem omezujícím případné odrazy IR záření okolních zdrojů do objektivu kamery. V interiéru je třeba eliminovat vliv otopných těles jejich zacinčením nebo vypnutím (dostatečný teplotní rozdíl mezi interiérem a exteriérem je třeba zajistit přenosnými otopnými tělesy, která budou před zahájením měření odstraněna).



Obr. 13. Relativní hodnota zdrojů záření za různých podmínek měření v pásmu dlouhovlnného IR záření při pevných parametrech  $\tau = 0,88$ ;  $T_{\text{ref}} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{\text{atm}} = T_e = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $T_{\text{obj}} = T_{\text{ep}}$ )

**Proudění vzduchu** podél snímaného objektu ovlivňuje ztrátu tepla z jeho povrchu, tedy i výsledný povrchový teplotní reliéf. Povrch snímaného objektu může být prouděním vzduchu ochlazován nebo ohříván. Tento faktor vedle teploty vzduchu závisí na velikosti a tvaru snímaného objektu, jeho orientaci vůči proudění vzduchu a charakteru okolních objektů. Dosažení ideálního úplného bezvětří je při venkovním měření, vzhledem k nemožnosti zacínčení stavebních objektů coby ochrany před větrem, nereálný požadavek, proto je třeba do příslušenství k termokameře zahrnout anemometr a sledovat rychlost proudění vzduchu. Rychlost proudění vzduchu v okolí měřeného objektu do cca  $1,2\text{ ms}^{-1}$  je únosná i při požadavku na vyšší přesnost měření. Přijatelné přesnosti měření je ještě dosahováno při rychlosti větru do  $3,0\text{ ms}^{-1}$ . Nelze doporučit měření při rychlosti větru nad tuto hodnotu.

Vliv **transparence atmosféry** mezi snímaným objektem a termokamerou je v běžných případech významný zejména při větší vzdálenosti. Zeslabení zářivého toku při průchodu atmosférou může být způsobeno jednak přímou absorpcí (pohlčováním) a jednak rozptylem IR záření na molekulách plynu, aerosolech, kapkách vody, částicích kouře apod. Na snižování transparence se u „čistého“ vzduchu podílejí zejména molekuly  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{CH}_4$  a  $\text{CO}$ , které vymezují ve spektrální závislosti koeficientu propustnosti tzv. atmosférická okna (obr. 4). Prostupnost pro IR záření významně klesá při znečištění vzduchu. Měření by se neměla provádět při nadměrné koncentraci pevných částic v atmosféře (prach, smog, zplodiny apod.) a relativní vlhkosti vzduchu vyšší než 70 %.

Znalost **vzdálenosti mezi snímaným objektem a detektorem termokamery** je důležitá proto, že radiace objektu je částečně pohlčována v atmosféře, která je mezi objektem a kamerou, a že přenos radiace v atmosféře klesá (je utlumován) s rostoucí vzdáleností, a to i v atmosférických oknech (obr. 4), ve kterých termokamery pracují. Kompenzace probíhá zadáním vzdálenosti mezi objektem a kamerou do software kamery během měření či do příslušného software během vyhodnocování výsledků. Pro přijatelné rozlišení termogramů by vzdálenost mezi snímaným objektem a kamerou neměla překračovat 50 m (pro podrobná měření výrazně méně).

## Závěr

Ze sumarizace podmínek, které musí být dodrženy při nekontaktním snímání teploty obvodových plášťů pomocí infratechniky vyplývá, že povrch snímaného objektu:

- se nachází v prostředí (vzduchu), které má vysokou propustnost (nízkou pohltivost)  $\tau$  v pásmu IR vlnových délek, na kterých pracuje použitý přístroj;
- je nepropustný („neprůhledný“) v pásmu IR vlnových délek, na kterých pracuje použitý přístroj (tzn. že jeho propustnost – transmisivita –  $\tau = 0$ );
- má emisivitu  $\epsilon$ , která je známá, nebo může být určena s vysokou přesností;
- má odrazivost  $\rho$ , kterou může použitý přístroj spočítat;
- „přijímá“ záření z obklopujícího prostředí a odráží jej směrem do objektivu přístroje.

Jak je patrné z výše uvedeného textu, existuje poměrně vysoký počet činitelů ovlivňujících přesnost výsledků měření teplotních reliéfů obvodových plášťů za použití nekontaktní termografie. Zásady, které je třeba dodržovat při těchto měřeních, se mohou lišit pro měření z vnitřní strany obvodových konstrukcí a pro měření exteriérová. Pro analýzu a hodnocení tepelně technických vlastností obvodových plášťů budov je ideální měřit rozložení povrchových teplotních polí jak z vnitřní, tak z vnější strany. Může ovšem nastat situace, že v exteriéru nebude možné dosáhnout dostatečně příznivých podmínek pro měření, potom musí stačit pouze měření interiérové.

Při přesném nekontaktním měření teplotního reliéfu na vnějším povrchu obvodového pláště je třeba dodržet tyto zásady:

- termografické měření je třeba předem připravit – seznámit se se skladbou měřené konstrukce, způsobem vytápění nebo klimatizování objektu, zajistit přístupnost měřených povrchů a stabilizaci teplot vnitřních prostorů;
- měřit pouze při dostatečném rozdílu teplot vzduchu na vnitřní a vnější straně konstrukce, což je v běžných případech minimálně  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  a více, a to po dobu alespoň 24 h před zahájením měření (pro vytvoření ideálního stavu by teplota vnějšího vzduchu neměla být více než  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ );
- provádět měření pouze tehdy, nebyla-li snímaná plocha vystavena účinkům slunečního záření minimálně 12 hodin před zahájením měření a po celou dobu jeho průběhu;
- neprovádět měření, pokud je snímaná plocha nadměrně ochlazována větrem (rychlost by neměla přesahovat  $3\text{ ms}^{-1}$ );
- během měření a minimálně 24 h před jeho zahájením nesmí být snímaný povrch smáčen deštěm;
- během měření nesmí mezi termokamerou a snímaným objektem pršet, sněžit nebo být mlha;
- během měření dbát na minimalizaci rizika jeho znehodnocení vlivem teplotních odrazů okolních zdrojů tepla

(záření bezoblačné oblohy; odrazy slunečního záření od lesklých ploch okolních objektů, např. prosklených fasád; odrazy záření okolních objektů s teplotou výrazně odlišnou od teploty daného prostředí); dílčí povrchy snímat co nejkolemněji.

Při termografickém měření obvodového pláště z interiérové strany je při zvýšených nárocích na přesnost třeba dodržovat tyto zásady:

- snímané povrchy by neměly být během měření a s dostatečným časovým předstihem před ním ovlivňovány jinými zdroji tepla nebo chladu (otopná tělesa, rozvody tepla, osvětlovací tělesa, výdechy klimatizace, mrazáky apod.), které je třeba odclonit nebo vypnout;

- zaclonění měřených povrchů (obrazy, nábytek, závěsy apod.) musí být odstraněno alespoň 6 h před měřením;

- během měření nesmí mít vzduch mezi objektivem termokamery a snímaným povrchem relativní vlhkost vyšší než 70 %, být nadměrně znečištěn apod.;

- vnější povrch snímané konstrukce nesmí být vystaven působení slunečního záření minimálně 12 h před zahájením měření;

- během měření a po dobu minimálně 24 h před jeho zahájením musí být dosaženo dostatečného teplotního rozdílu na vnější a vnitřní straně konstrukce (nejlépe alespoň 20 °C a více);

- během měření nesmí kolísání teploty vnitřního vzduchu překročit meze  $\pm 2$  °C;

- dílčí povrchy snímat co nejkolemněji.

Nekontaktní měření musí být provázeno nezbytnými úkony, jako je precizní zjištění emisivity snímaných povrchů některou z přímých nebo nepřímých metod, průběžná kontrola výsledků měřením teploty povrchu ve vybraných referenčních bodech kontaktním způsobem, sledování teploty a relativní vlhkosti vzduchu a vzdálenosti mezi objektivem kamery a snímaným povrchem. Při dodržování příslušných zásad by přesnost nekontaktního měření povrchových teplot neměla vybočovat z rozmezí  $\pm 5$  % z měřicího rozsahu nebo  $\pm 1,0$  K. Výčet zásad uvedený v tomto článku pokrývá nejčastěji se vyskytující situace, nelze jej tedy považovat za zcela vyčerpávající. Vždy je třeba respektovat individuální podmínky měření.

**Článek vznikl za podpory výzkumného záměru č. 1 MSM 21000001 „Funkční způsobilost a optimalizace stavebních konstrukcí“.**

#### Literatura

- [1] Cawfield, S.: Infrared Inspection Methods and Data Collection Techniques. Maintenance Technology, 10/2000.
- [2] Kelch, C. K. – Seffrin, R. J.: Infrared Thermography for PPM. Maintenance Technology, 05/1999.
- [3] Madding, R. – Lyon, B. R.: Environmental Influences on IR Thermography Surveys. Maintenance Technology, 12/1999.
- [4] Drastich, A.: Netelevizní zobrazovací systémy. FEI VUT Brno, 2001.
- [5] Herink, M.: Metodika měření a vyhodnocení tepelně technických vlastností obvodových plášťů budov pomocí termovize. VÚPS Praha, 1989.
- [6] FLIR: Operator's Manual ThermaCAM TM P60. Portland, 2003.
- [7] ČSN EN 13187 (73 0560) Tepelné chování budov – Kvalitativní určení tepelných nepravidlostí v pláštích budov – Infračervená metoda. ČSN, 1999.

**Pašek, J. – Svoboda, J.: Physical Aspects of the Application of Non-Contact Thermography in the Analysis of External Skins of Buildings**

Non-contact temperature measurement for the determination of temperature fields distribution on the surface of different objects has multiple uses nowadays. The procedure is named non-contact thermography and it finds wider and wider applications in the construction industry. It is particularly suitable for the quality assessment of external skins regarding their thermal insulating properties. The exploitation of this sophisticated method is, however, often affected by insufficient knowledge of background factors that influence measurement, their neglect, and/or incorrect evaluation or interpretation of the results achieved, which limits the potential of the method.

**Pašek, J. – Svoboda, J.: Physikalische Aspekte der Anwendung der kontaktlosen Thermographie bei der Analyse von Gebäudeaußenwänden**

Die kontaktlose Messung der Temperatur zur Bestimmung der Verteilung der Temperaturfelder an der Oberfläche verschiedener Objekte wird heute breit angewendet. Dieses Verfahren nennt sich Kontaktlose Thermographie und wird im Bauwesen in ständig breiterem Maßstab angewandt, insbesondere zur Feststellung der Qualität von Bauhüllen vom Gesichtspunkt ihrer wärmedämmenden Eigenschaften. Die Anwendung dieser raffinierten Methode ist allerdings oft von einer unzureichenden Kenntnis oder völligen Auslassung der die Messung beeinflussenden zusammenhängenden Faktoren bzw. falschen Auswertung oder Interpretation der erzielten Ergebnisse begleitet, was die durch diese Methode gebotenen Möglichkeiten degradiert.

**Hába, J. – Janas, T. – Švancarová, Š.  
Slovník definic a výklad některých  
vybraných pojmů stavebního práva**

Nakladatelství ARCH, Praha, 2003,  
I. díl – 184 s., 295 Kč, II. díl – 176 s., 290 Kč

Cílem práce bylo vytvořit srovnávací slovník, který by pomohl objasnit a sjednotit některé pojmy s různými výklady z oblastí daňových, účetních, všeobecně právních nebo z oblastí zákonů ve vztahu k nemovitostem. Publikace je tematicky rozdělena do dvou dílů – v prvním je uvedeno 136 jednotlivých pojmů, ke kterým jsou přiřazeny definice podle oblasti, se kterými se nejčastěji autoři setkávají, tj. všeobecně právní, stavební, katastr nemovitostí, daně a účetnictví a pojišťovnictví. Pokud v nejjednodušších předpisech v dané oblasti není definice uvedena, je zde poznámka, že daná oblast uvedený pojem výslovně nedefinuje, i když se s ním aktivně pracuje. Druhý díl obsahuje řadu slovních spojení, která bývají předmětem různých výkladů naší odborné veřejnosti. Autoři se zde pokusili o náhled z pozice stavební a stavebně inženýrské praxe. Slovník by se mohl stát pomocníkem nejen znalců, ale i stavebně právních odborníků, právníků nebo odborníků v oblasti daní.

# Vlastnosti svazku laserového dálkoměru a jeho odrazu na různě umístěných plochách

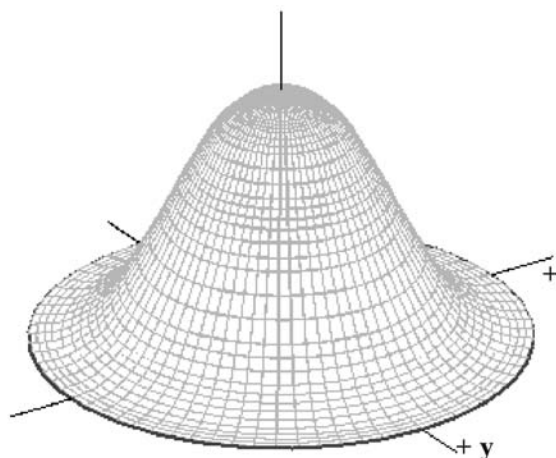
Ing. Jana ŠTRONEROVÁ, Ph.D.  
 ČVUT – Fakulta stavební  
 Praha

V článku je věnována pozornost vlastnostem laserového dálkoměru a jeho odrazu, a to především rozložení zářivého toku laserového svazku, vlivu náklonu odrazného povrchu a odklonu dálkoměrného svazku od záměrné přímky na měřenou vzdálenost. Dále článek upozorňuje na problematiku měření vzdáleností na rozhraní dvou rovnoběžných ploch různě vzdálených od zdroje svazku a na rozhraní dvou na sebe kolmých ploch.

## Úvod

V rámci řešení problému měření topografie ploch objektů a návrhu optimálních metod získání časoprostorové informace o daném objektu je soustředěna pozornost na laserové přístroje, a to na drahé laserové skenovací přístroje [1] a [2] nebo na vývoj levných a jednoduchých zařízení pracujících na principu prostorového snímání stopy laserového svazku [3]. Obecně lze použít pro určení topografie plochy objektu bezkontaktní metody zaměření souřadnic podrobných bodů na daném povrchu. Mezi tyto metody patří prostorová polární metoda, která využívá pro určení vzdáleností laserové dálkoměry (využívají ji i zmíněné laserové skenovací přístroje). Následující text informuje o problémech práce s nimi a upozorňuje na možné důsledky jejich zanedbání.

Vlastnostmi svazku laserového záření jsou zde myšleny jeho geometrie a rozložení zářivého toku v jeho stopě. Tyto vlastnosti ovlivňují podle specifické konfigurace výslednou naměřenou vzdálenost od její skutečné hodnoty při ideálních podmínkách (bodová laserová stopa, totožnost záměrné přímky pro směrové určení podrobného bodu (záměrná přímka) s dálkoměrným laserovým svazkem a hladký odrazný povrch kolmo natočený k laserovému svazku).



Obr. 1. Gaussovo těleso nad kruhovou laserovou stopou

## Rozložení zářivého toku svazku laseru

Podle známých skutečností [4] je rozložení zářivého toku svazku laseru ve stopě pro základní kmitový vid nejlépe aproximováno dvourozměrným Gaussovým rozdělením.

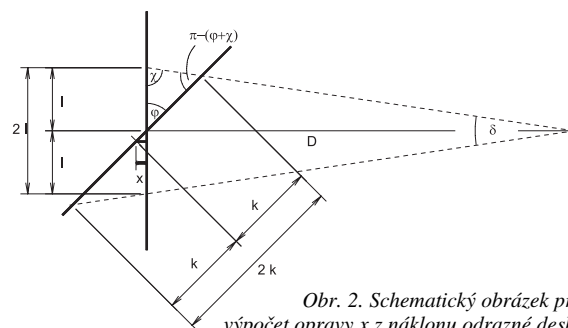
$$F_2(x, y) = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y} \cdot \left( \int_{x_a}^{x_b} \int_{y_a}^{y_b} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2} \right)} dx dy \right), \quad (1)$$

kde  $x, y$  jsou osy pravoúhlé soustavy s počátkem ve středu stopy,

$\sigma_x, \sigma_y$  – charakteristiky tvaru Gaussova tělesa ve směrech  $x, y$  (při  $\sigma_x = \sigma_y$  – laserová stopa kruhová, při  $\sigma_x \neq \sigma_y$  je laserová stopa eliptická),

$x_a, x_b, y_a, y_b$  – hraniční hodnoty intervalů pro výpočet zářivého toku v definované oblasti (při  $x_a = x_b = y_a = y_b = \infty$  je hodnota  $F_2(x, y) = 1$ ).

Na obrázku 1 je znázorněno Gaussovo těleso definující rozložení zářivého toku laserové kruhové stopy ( $\sigma_x = \sigma_y$ ).



Obr. 2. Schematický obrázek pro výpočet opravy  $x$  z náklonu odrazné desky

## Vliv náklonu odrazného povrchu

Z obrázku 2 je patrné, že při náklonu odrazného povrchu dochází k prodloužení naměřené délky úměrně zvětšujícímu se náklonu. U tohoto případu není důležitý směr náklonu destičky, pro jakýkoli náklon dochází ke zvětšování délky. Ze vztahu (2) je patrné, že výsledná oprava  $x$  závisí na divergenci svazku, měřené délce  $D$  a úhlu sklonu  $\varphi$ . Pro malý divergenční úhel, který laserové svazky mají, jsou opravy naměřené délky minimální a je možné je proto v dalších výpočtech zanedbat.

$$x = l \cdot \sin^2(\varphi) \cdot \frac{\sin\left(\frac{\delta}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\delta}{2}\right)}{\cos\left(\varphi + \frac{\delta}{2}\right) \cdot \cos\left(\varphi - \frac{\delta}{2}\right)}, \quad (2)$$

$$l = D \cdot \operatorname{tg} \frac{\delta}{2}, \quad (3)$$

kde  $l$  je polovina průmětové úsečky (obr. 2) v daném směru (Hz či V) (3),

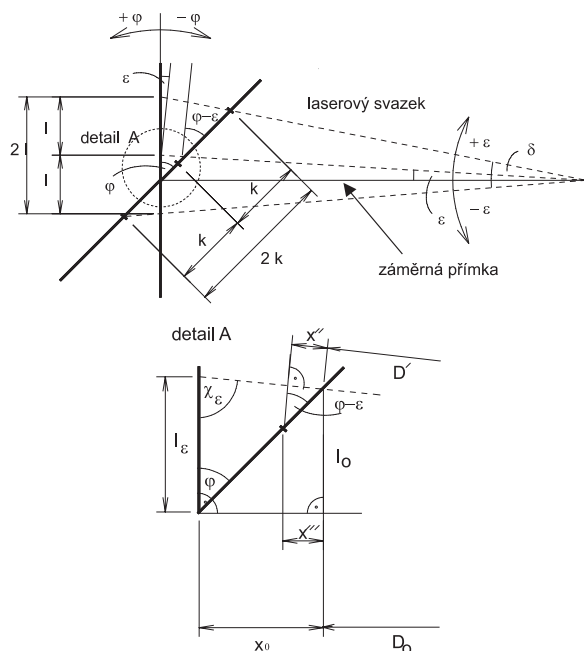
$\varphi$  – úhel sklonu odrazné desky,

$\chi$  – pomocný úhel se vypočte ze vztahu  $\chi = \pi/2 - \delta/2$ ,

$\delta$  – divergenční úhel svazku,  
 $D$  – vzdálenost při kolmém postavení odrazné desky.

### Vliv odklonu dálkoměrného svazku od záměrné přímky

Z obrázku 3 je zřejmé, že při odklonu dálkoměrného svazku od záměrné přímky dochází ke zkracování či prodloužení měřené délky, a to v závislosti na velikosti a směru odklonu odrazné desky, velikosti a směru sklonu dálkoměrného svazku od záměrné přímky a měřené délce.



Obr. 3. Schéma pro stanovení vlivu odklonu dálkoměrného svazku od záměrné přímky

Na detailu A v obrázku 3 je uvedena oprava  $x''$ , která se vypočítá podle vzorce (2) s doplněním, že  $\varphi = \varphi - \varepsilon$ . Jelikož je hodnota  $x$  ve vzorci (2) zanedbávána, bude zanedbána i v tomto případě, a tím z dalšího výpočtu vymizí i oprava  $x'''$ .

Vztah pro výpočet opravy naměřené délky  $x_0$  z odklonu dálkoměrného svazku od záměrné přímky

$$x_0 = D' \cdot \sin \varepsilon \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (4)$$

Výsledná délka se vypočte podle vzorce

$$D = D_0 + x_0 = D' \cdot \cos \varepsilon + D' \cdot \sin \varepsilon \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (5)$$

kde  $\varphi$  je úhel sklonu odrazné desky v daném směru,

$D'$  – měřená vzdálenost (není opravována o hodnotu  $x$  (resp.  $x'''$ )),

$\varepsilon$  – úhel odklonu dálkoměrného svazku od záměrné přímky v daném směru,

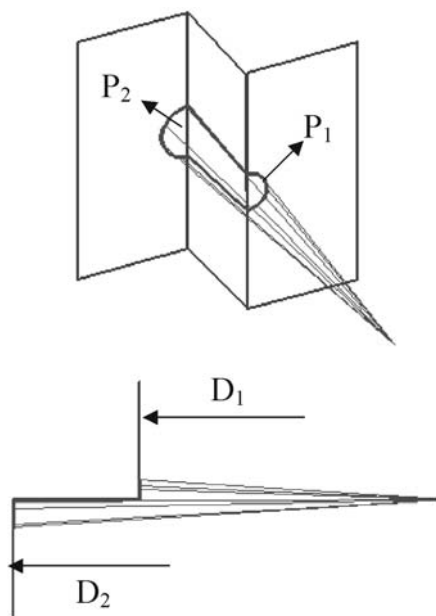
$D$  – vzdálenost k odrazné desce, při jejím kolmém postavení k záměrné přímce, s tím že zanedbáváme změnu vzdálenosti vlivem odklonu dálkoměrného svazku.

Ze vzorce (4) je patrné, že výsledná oprava závisí na směru a velikosti sklonu odrazné desky, směru a velikosti odklonu dálkoměrného svazku od záměrné přímky a měřené délce. Nezávisí již na divergenci svazku, neboť zanedbáváme  $x'''$ . Oprava naměřené vzdálenosti, pokud je dálkoměrný svazek odkloněn od záměrné přímky, radikálně

roste při velkém úhlu sklonu odrazné desky. Pro hodnotu nulového sklonu odrazné desky a nebo nulového odklonu dálkoměrného svazku je oprava naměřené délky zanedbatelná. Z uvedeného vyplývá, že při nejistotě shodnosti dálkoměrného svazku se záměrnou přímkou není vhodné provádět měření pod velkým úhlem dopadu. Pro praxi je vhodné provádět kontrolu shodnosti záměrné přímky s dálkoměrným svazkem a přístroj rektifikovat.

### Rozhraní dvou rovnoběžných ploch různě vzdálených od zdroje laserového svazku

Laserová stopa je rozhraním dvou ploch rozdělena na dvě části  $P_1$  a  $P_2$ , z nichž každá je v konstantní vzdálenosti od zdroje svazku  $D_1$  a  $D_2$  (obr. 4). Pokud nad kružnicí sestrojíme Gaussovo těleso, je objem jeho dvou rozdělených částí definován jako zářivý tok části dopadajícího laserového svazku na danou plochu  $P_1$  nebo  $P_2$ .



Obr. 4. Rozdělení laserové stopy na rozhraní dvou rovnoběžných ploch

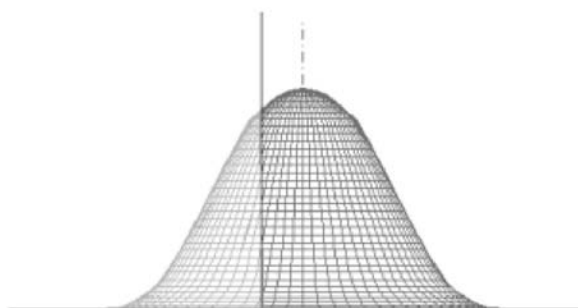
Na obrázku 5 jsou zakresleny (různým odstínem) oblasti rozděleného Gaussova tělesa (pohled z boku). Výpočet objemu vymezené oblasti lze provést podle obecného vzorce pro dvojrozměrné rozdělení (1). V případě, že bude rozhraní rozdělovat laserovou stopu na dvě části, lze používat pro výpočet jednorozměrného normálního rozdělení (6), neboť v kolmém směru na rozhraní dostáváme pravděpodobnost výskytu rovnou jedné. Místo výpočtu objemu částí Gaussova tělesa je pak počítána část plochy pod Gaussovou křivkou (obr. 5)

$$F(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt, \quad (6)$$

kde  $t$  je normovaná normální veličina a definuje polohu rozhraní.

Pokud nyní vezmeme v úvahu princip měření laserového dálkoměru, dostáváme se při měření na rozhraní k problému diferenciálních posunů. Při postupném přechodu z jednoho povrchu na druhý dochází k postupné změně naměřených délek, které jsou počítány jako vážený průměr jednotlivých délek  $D_1$  a  $D_2$ , přičemž váhami jsou objemy jednotlivých částí Gaussova tělesa (resp. plochy pod Gaussovou křiv-

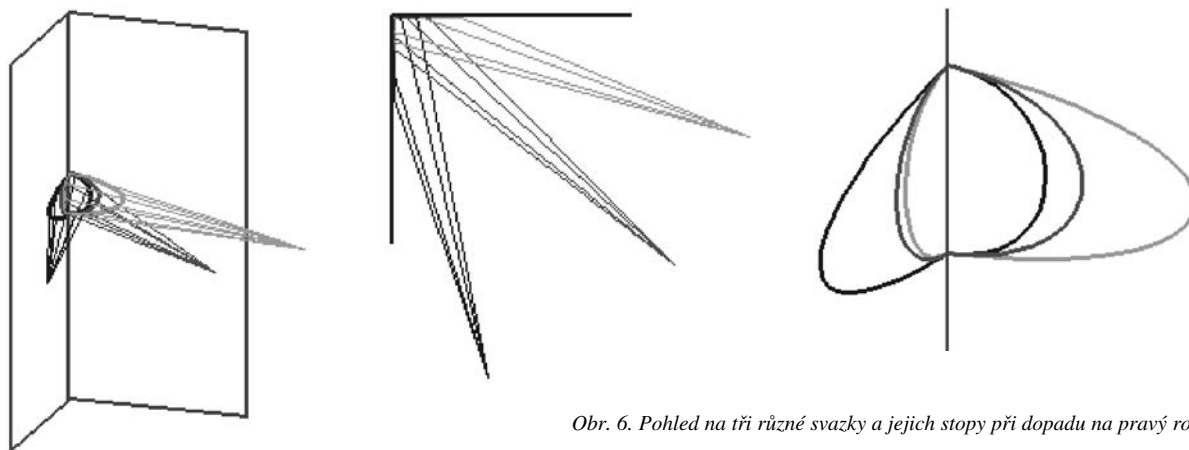
kou). Toto však neplatí pro všechny přístroje [5], některé při přechodu z jednoho povrchu na druhý mají velmi vážné chyby výsledné délky, a proto je nutné tento postup výpočtu u daného přístroje ověřit.



Obr. 5. Rozdělení plochy pod Gaussovou křivkou na dvě části

### Rozhraní dvou na sebe kolmých ploch (hrany objektů)

Z jakéhokoli místa měření se za předpokladu totožnosti dálkoměrného svazku a záměrné přímky z pohledu od zdroje dálkoměrného svazku jeví plochy tvořící roh jako dva svislé povrchy, které rozdělují symetrický svazek na dvě stejné poloviny (na každou stěnu dopadá stejné množství záření). Z bližšího zkoumání stopy svazku na obou stěnách vyplývá, že jen v případě, kdy zdroj svazku leží v osové rovině obou stěn, budou obě poloviny stopy shodné. Na obrázku 6 jsou tři polohy laserového svazku a jeho stopy při dopadu na vnitřní roh. Při dopadu na vnější roh bude stopa osově převrácená a naměřená vzdálenost se bude prodlužovat, proti rohu vnitřnímu.



Obr. 6. Pohled na tři různé svazky a jejich stopy při dopadu na pravý roh

Pro odvození je použita teorie, že naměřená délka je počítána jako vážený průměr všech naměřených vzdáleností měřených v dané stopě. Stopu lze pro výpočet výsledné teoretické vzdálenosti při měření na roh rozdělit na diferenciální svislé proužky, kde jednotlivé body ve svislém proužku mají konstantní vzdálenost od zdroje laserového svazku. Váhy pro jednotlivé svislé proužky odpovídají pravděpodobnosti vymezeného intervalu  $(t_o, t_{o+1})$  Gaussova tělesa (resp. plochy). V intervalu  $t \in \langle -a, +a \rangle$ , kde  $a$  odpovídá rozložení zářivého toku celé stopy, na něž je převedena šířka stopy, lze vypočítat pro libovolný počet svislých proužků (intervalů  $(t_o, t_{o+1})$ , kde  $o$  je index počítaného proužku) váhu pro daný proužek,

$$F(t)_o = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_{t_o}^{t_{o+1}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (7)$$

Definujme si roh jako dvě přímky (obr. 7), které svírají pravý úhel, neboť při symetrii laserové stopy se stačí pohybovat jen v jednom vodorovném řezu. Pro každý diferenciální svislý proužek, který bude v této definici (dvě kolmé přímky) představovat diferenciální úsečku AB na dané přímce, lze podle známých matematických vzorců vypočítat pro každou souřadnici  $x$  středu  $S$  této úsečky (poloha svislého proužku stopy) souřadnici  $y$  (vzdálenost od zdroje svazku).

Nyní je vše připravené (váhy  $F$  (7) i jednotlivé vzdálenosti diferenciálních svislých proužků od zdroje svazku  $y$ ) pro výpočet výsledné naměřené délky  $D_\varphi$  pomocí váženého průměru pro daný úhel natočení pravého rohu stěn  $\varphi$ .

$$D_\varphi = \frac{F^T \cdot y_\varphi}{\sum_{-a}^a F_o}. \quad (8)$$

Při výpočtu výsledné délky nezáleží na celkové měřené délce, ale pouze na šířce stopy a úhlu natočení rohu.

Pro interval  $t \in \langle -a, +a \rangle$  lze vypočítat pomocí skutečné délky  $D_0$  k rohu koeficient zkrácení délky  $r_\varphi = D_\varphi - D_0$  pro daný úhel, a pak pro libovolně širokou stopu  $s$  a daný úhel  $\varphi$  bude vypočtena změna vzdálenosti  $\Delta$  podle úměry

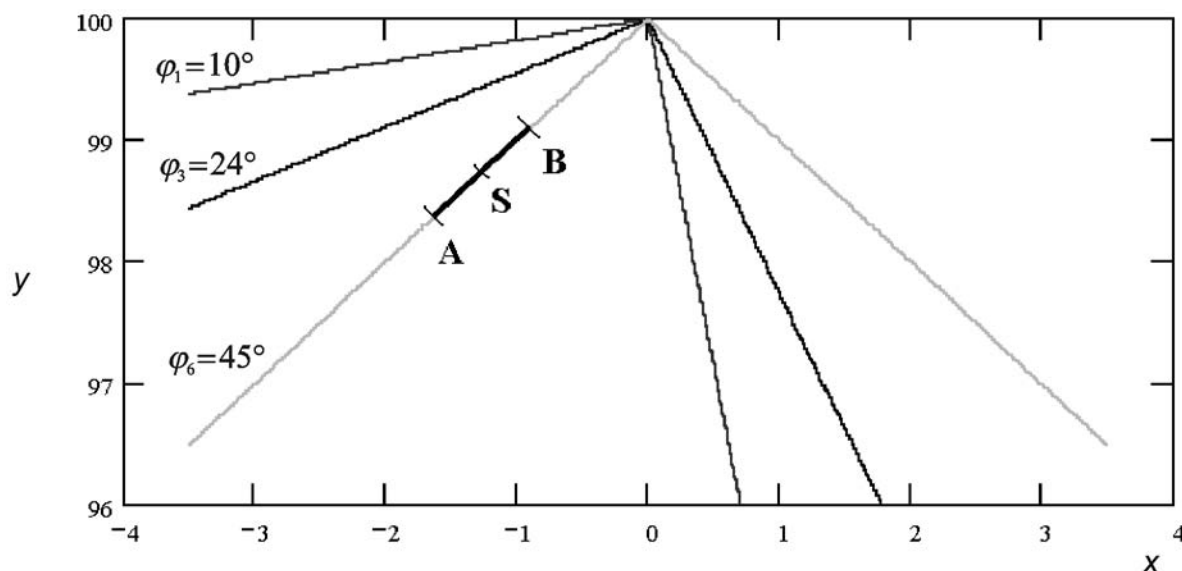
$$\Delta = \frac{s}{2a} \cdot r_\varphi. \quad (9)$$

Z teorie vyplývá, že při použití laserových dálkoměrů s pasivním odrazem pro měření na rohy dochází ke zkracování délek, pokud jde o vnitřní rohy, a prodlužování délek, pokud jde o vnější rohy. Tato změna délek, tzn. rozdíl mezi naměřenou a skutečnou délkou k hraně rohu, vzniká z důvodu nenulové šířky stopy laserového svazku. Hodnota rozdílu délek se zvětšuje se zvětšující se šířkou stopy a závisí též na úhlu rohu k záměrné přímce a intervalu  $t$  laserové stopy.

### Závěr

U laserových dálkoměrů s pasivním odrazem je nutné pro určení správné vzdálenosti k danému bodu na rovinné ploše zajistit, aby osa laserového svazku byla totožná s přímkou určující polohu daného bodu (tzv. záměrná přímka), pak změna délky vlivem natočení cílové plochy je zanedbatelná.

Z uvedeného je dále zřejmé, že při měření na rozhraní ploch dochází vzhledem k nenulové šířce laserové stopy k zaoblování hran (měřením nelze získat ostrou hranu). Velikost a tvar zaoblení závisí v případě rozhraní rovnoběžných ploch na velikosti stopy a rozdílu vzdáleností měřených ploch od zdroje svazku a v případě rozhraní kolmých ploch na velikosti stopy a úhlu natočení daného rohu ke zdroji svazku.



Obr. 7. Přímky různě natočených rohů – úhly  $\varphi_1 = 10^\circ$ ,  $\varphi_3 = 24^\circ$  a  $\varphi_6 = 45^\circ$

Článek byl vypracován v rámci grantu č. 103/02/0357 „Moderní optoelektronické metody topografie ploch“.

#### Literatura

- [1] Kašpar, M. – Štroner, M.: Některé aplikace laserových skenovacích systémů. *Stavebnictví a interiér*, 10, 2002, č. 4, s. 44–45.  
 [2] Kašpar, M. – Pospíšil, J. – Štroner, M. – Hladký, R. – Křemen, T.: *Cyrax 3D Laser Scanning System – Testing and Using in*

*Practical Applications*. In: Proc. of International Conference on Engineering Surveying INGENEO, Bratislava, 2002.

- [3] Štroner, M.: Návrh a kalibrace měřicího systému tvořeného teodolitem a digitální kamerou. *Stavební obzor*, 12, 2003, č. 2, s. 56–60.  
 [4] Pospíšil, J.: Podmínky pro využití He-Ne laserů v inženýrské geodézii. [Kandidátská dizertace], ČVUT, Praha, 1986.  
 [5] Štronerová, J.: Vybrané technologické postupy pro kontrolní měření stavebních objektů, jejich normalizační a metrologické zabezpečení. [Doktorská dizertace], ČVUT, Praha, 2002.

#### Štronerová, J.: Properties of the Laser Distance Meter Beam and Its Reflection on Differently Placed Areas

This paper investigates properties of the laser distance meter and its reflection. In particular, it shows distribution of the radiant flux of the laser beam, and the effects of the reflection surface inclination and the deflection of the distance meter beam from the line of sight on the measured distance. Besides, distance measurements on the boundary of two parallel areas with different distances from the beam source and on the boundary of two areas perpendicular to each other are highlighted.

#### Štronerová, J.: Eigenschaften des Strahlenbündels eines Laser-Fernmessgeräts und seiner Reflexion an verschieden angeordneten Flächen

Im Rahmen der Lösung des Projektes „Moderne optoelektronische Methoden der Flächentopographie“ wird im Artikel die Aufmerksamkeit den Eigenschaften eines Laser-Fernmessgeräts und seiner Reflexion gewidmet, und zwar vor allem der Zerlegung des Strahlenflusses des Laserbündels, dem Einfluss der Neigung der Reflexionsoberfläche und der Ablenkung des Fernmessbündels von der Zielachse auf die gemessene Entfernung. Ferner macht der Artikel auf die Problematik der Messung von Entfernungen an der Durchdringungslinie zweier von der Strahlenquelle verschieden entfernter paralleler paralleler Flächen und an der Berührungslinie zweier senkrecht zueinander stehender Flächen aufmerksam.

#### Průcha, P. – Marek, K. Stavební právo v praxi

Nakladatelství ARCH, Praha, 2003, 104 s., 200 Kč

Cílem publikace je poukázat na aktuální a podle názoru autorů na v praxi také nejfrekventovanější, instituty stavebního práva, a to jak v rovině veřejného stavebního práva, tak i v rovině soukromého stavebního práva. Z veřejnoprávní oblasti stavebního práva se publikace zaměřuje, vedle stručné charakteristiky institutu územního plánování, na charakteristiku základních podtypů správního řízení v režimu stavebního zákona, a to zejména územního řízení, stavebního řízení a vyvlastňovacího řízení. V soukromoprávní oblasti stavebního práva se publikace zaměřuje na možnosti využití obchodně právní úpravy ve stavební právní praxi, a to se specifickým zřetelem ke smlouvě o dílo.



## • zprávy

### Nový hotel na Senovážném náměstí

Koncem června loňského roku byla dokončena rekonstrukce budovy bývalé Hypoteční banky Království českého na hotelový komplex Carlo IV. Původní objekt banky,



patřící k nejzajímavějším stavbám koncipovaným v neorenesančním slohu konce 19. století v českých zemích, byl vystavěn na místě bývalých novoměstských kasáren. Autorem projektu byl významný rakouský

architekt Achille Wolf, stavitelem Alois Elhenický. Na plastické výzdobě se podíleli sochaři A. Popp a C. Kluček.

Investorem přestavby na luxusní hotel byla společnost Boscolo International, S. A., generálním dodavatelem firma PSJ holding. Pětihvězdičkový hotel skrývá několik, z pohledu restaurátorského, velice zajímavých prostorů. Za unikátní je považována původní trezorová místnost s kováním trezorových dveří od vídeňské firmy Wertheim. Hotelový provoz již samozřejmě nebude využívat historické, avšak funkčně restaurované trezory k původnímu účelu. Budou zde uchovávána archivní vína, oblíbené ročníky a druhy stálých hostů hotelu.



Krásný pocit z historického prostoru si jistě každý odnese z Lobby sálu, v němž je umístěna recepce. Této bývalé

odbavovací hale banky byla za pečlivého dohledu památkářů vrácena původní podoba. K reprezentativním prostorům v budově patří rovněž schodiště vedoucí středem přízemí, a to nejprve jako jednoramenné, výše dvouramenné s dvojicí sloupů, kovovým zábradlím, mramorovou balustrádou, malovanou klenbou a plasticky bohatě členěnou stěnou.

Společnost Boscolo International, S. A., se stala v posledních letech jedním z neúspěšnějších italských hotelových řetězců. K současné kapacitě osmnácti pětihvězdičkových hotelů by mělo v nejbližším období přibýt celkem 350



nových pokojů v Praze a Budapešti. Volba pražského objektu na Senovážném náměstí si po technické stránce vyžádala řadu zajímavých technických řešení, zejména v oblasti statického za-

jištění stavby. Zájem investora i projektanta (ateliéru DaM, s. r. o.) bylo zachovat kompletní historickou stavební konstrukci a citlivě ji po restaurátorské stránce doplnit do původního stavu. Pro vytvoření 152 pokojů však historická budova nestačila a bylo nutné navrhnout rozšíření do dvorního traktu. V novém objektu je umístěna část pokojů, restaurace, zasedací sály, technické prostory a podzemní garáž. Tato dostavba si vynutila technicky náročnou realizaci hluboko pod základovou spárou historické části hotelu i okolní zástavby.

*Tisková informace*

### **Všeobecné obchodní podmínky pro stavby a dokumentaci staveb**

*Nakladatelství ARCH, Praha, 2003, 120 s., 210 Kč*

Po více než dvou letech od první publikace vyšlo v edici Stavební právo druhé, upravené a doplněné vydání Všeobecných obchodních podmínek pro stavby a dokumentaci staveb (dále jen VOP). Pro S.I.A. ČR – Radu výstavby a pod záštitou Ministerstva průmyslu a obchodu ČR je opět připravila Česká společnost pro stavební právo, tentokrát v úzké spolupráci s Českým svazem stavebních inženýrů. Podnětem byl zájem o tuto problematiku ze strany odborné veřejnosti, která přispěla k aktualizaci VOP svými podněty, poznatky a doporučeními. S jejich využitím byla provedena řada věcných i formulačních upřesnění a doplnění. Současně dochází k jejich významnému rozšíření o pět příloh vymezujících doporučený obsah jednotlivých druhů (stupňů) dokumentace staveb.

Druhé vydání Všeobecných obchodních podmínek pro stavby a dokumentaci staveb rozšiřuje a upřesňuje jejich metodické určení při uplatnění § 273 Obchodního zákoníku pro oblast investiční výstavby. Při aplikaci dosavadních tuzemských obchodních zvyklostí dotváří základní doporučený řád pro závazkové smluvní vztahy mezi stavebníky (objednateli, investory) a zhotovitelkou podnikatelskou sférou (projektovými, stavebními a montážními subjekty) při přípravě a realizaci staveb.

# STAVEBNÍ OBZOR

## ROČNÍK 13 ČÍSLO 04/2004

### Navigace v dokumentu

#### OBSAH

Witzany, J. – Čejka, T. – Wasserbauer, R. – Gregerová, M. – Pospíšil, P. – Cikrle, P. <b>Teoretický a experimentální výzkum Karlova mostu</b>	<b>97</b>
Lemák, D. – Studnička, J. <b>Vliv obvodových výztuh na působení ocelové válcové skořepiny</b>	<b>112</b>
Vácha, J. <b>Rekonstrukce střechy strojovny a mezistrojovny v Elektrárně Opatovice</b>	<b>118</b>
Chovanec, J. <b>Oceňovací podklady v Německu</b>	<b>121</b>

**4 • 2004**

**ročník 13**

# STAVEBNÍ OBZOR

pozemní stavby  
dopravní stavby  
vodohospodářské stavby  
geotechnika  
konstrukce a materiály  
technologie  
životní prostředí  
geodézie a kartografie  
mechanizace  
informatika  
ekonomika  
software



Fakulta stavební  
ČVUT v Praze



Česká komora autorizovaných  
inženýrů a techniků



Český svaz  
stavebních inženýrů



Fakulta stavební  
VUT v Brně



Fakulta stavební  
VŠB TU-Ostrava

**OBSAH****CONTENTS****INHALT**

Witzany, J. – Čejka, T. –  
Wasserbauer, R. – Gregerová, M.  
– Pospíšil, P. – Cikrle, P.

**Teoretický a  
experimentální  
výzkum**

**Karlova mostu ..... 97**

Witzany, J. – Čejka, T. –  
Wasserbauer, R. – Gregerová, M.  
– Pospíšil, P. – Cikrle, P.

**Theoretical and  
Experimental  
Investigation**

**of Charles Bridge ..... 97**

Witzany, J. – Čejka, T. –  
Wasserbauer, R. – Gregerová, M.  
– Pospíšil, P. – Cikrle, P.

**Theoretische und  
experimentelle  
Untersuchung der**

**Karlsbrücke ..... 97**

Lemák, D. – Studnička, J.

**Vliv obvodových  
výztuh na působení  
ocelové válcové  
skořepiny ..... 112**

Lemák, D. – Studnička, J.

**The Effect of External  
Reinforcement on the  
Behaviour of Cylindrical  
Steel Shell ..... 112**

Lemák, D. – Studnička, J.

**Einfluss von  
Umfangsaussteifungen  
auf das Verhalten einer  
Stahlzylinderschale .... 112**

Vácha, J.

**Rekonstrukce střechy  
strojovny a  
mezistrojovny  
v Elektrárně  
Opatovice ..... 118**

Vácha, J.

**Reconstruction of the Roof  
of the Machine Room  
and Intermediate Machine  
Room in the Opatovice  
Power Plant ..... 118**

Vácha, J.

**Erneuerung des Dachs des  
Maschinenraums und des  
Zwischenmaschinenraums  
im Kraftwerk  
Opatovice ..... 118**

Chovanec, J.

**Oceňovací podklady  
v Německu ..... 121**

Chovanec, J.

**Pricing Documents  
in Germany ..... 121**

Chovanec, J.

**Bewertungsunterlagen  
in Deutschland ..... 121**

**REDAKČNÍ RADA****Předseda:**

prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.

doc. Ing. Miroslav KAUN, CSc.

Ing. Jana KORYTÁROVÁ, PhD.

**Místopředseda:**

doc. Ing. Alois MATERNA, CSc.

Ing. Karel KUBEČKA

Ing. Petr KUNEŠ, CSc.

**Tajemník:**

doc. Ing. Milan KAŠPAR, CSc.

doc. Ing. Ladislav LAMBOJ, CSc.

doc. Ing. Ivan MOUDRÝ, CSc.

doc. Ing. Jaroslav NOVÁK, CSc.

doc. Ing. Luděk NOVÁK, CSc.

**Členové:**

Ing. Miroslav BAJER, CSc.

doc. Ing. Pavel HÁNEK, CSc.

Ing. Jiří HIRŠ, CSc.

Ing. Ivan HRDINA

doc. Ing. Vladimír JELÍNEK, CSc.

Ing. Miroslav JEŽEK, CSc.

doc. Ing. Miloslav PAVLÍK, CSc.

prof. Ing. J. PROCHÁZKA, CSc.

doc. Ing. Vlastimil STARA, CSc.

Ing. Karel SVOBODA

doc. Ing. Josef VITÁSEK, CSc.

prof. Ing. Jiří WITZANY, DrSc.

Ing. Renata ZDAŘILOVÁ

**STAVEBNÍ OBZOR**, odborný měsíčník, vydává  
Fakulta stavební ČVUT Praha společně s Fakultou  
stavební VUT Brno, Fakultou stavební VŠB TU  
Ostrava, Českou komorou autorizovaných inženýrů  
a techniků činných ve výstavbě a Českým svazem  
stavebních inženýrů. Řídí redakční rada, vedoucí  
redaktorka Marcela Klímová. Adresa redakce:  
Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel./fax: 224 354 596,  
klimova@fsv.cvut.cz, http://web.fsv.cvut.cz/obzor.  
Vychází každý měsíc kromě července a srpna,  
cena za výtisk je 40 Kč včetně DPH (+ poštovné a  
balné). Objednávky odběru i reklamace přijímá  
Ing. Milan Gattringer, MG DTP, Borovanská 3388, 143 00  
Praha 4, tel./fax: 241 770 220, e-mail: mgdtp@volny.cz.  
Odběr je možné zrušit až po vyčerpání zaplace-  
ného předplatného. Inzerce adresujte redakci. Tech-  
nická redakce a realizace: Ing. Milan Gattringer. Po-  
dávání novinových zásilek povoleno Ředitelstvím  
pošt Praha, č. j. NP 144/1994, ze dne 21. 10. 1994. Do  
sazby 18. 3. 2004. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

**INDEX 47 755, ISSN 1210-4027**

## Teoretický a experimentální výzkum Karlova mostu

prof. Ing. Jiří WITZANY, DrSc.<sup>1)</sup>, Ing. Tomáš ČEJKA, PhD.<sup>1)</sup>  
doc. Ing. Richard WASSERBAUER, DrSc.<sup>1)</sup>  
doc. RNDr. Miroslava GREGEROVÁ, CSc.<sup>3)</sup>  
RNDr. Pavel POSPÍŠIL, PhD.<sup>2)</sup>, Ing. Petr CIKRLÉ, PhD.<sup>2)</sup>

Dlouhodobé sledování a průzkum Karlova mostu in situ a v laboratoři, zaměřený na chemické, biochemické a mineralogické procesy prováděné od roku 1994, ukázalo na pokračující vliv anorganických vodorozpustných a hygroskopických solí nehomogenně obsažených v jednotlivých částech kamenné mostní konstrukce, na závažné snižování kvalitativních parametrů kamenného zdiva a životnosti Karlova mostu. Monitorování deformačních změn poprsních zdí a mostních kleneb prokázalo odezvu a pokračující přetváření kamenné mostní konstrukce účinkem změny teploty a vlhkosti. Numerická analýza pootočení, poklesu a posunutí v základové spáře prokazuje mimořádnou citlivost Karlova mostu vzhledem k účinkům vynuceného přetvoření a závažnosti těchto účinků, které v minulosti byly hlavní příčinou porušení, popř. zřícení některých mostních pilířů a kleneb. Působením těchto účinků dochází ke vzniku napjatosti, která překračuje v některých částech pevnost kamenného zdiva mostních kleneb, otevírání spár ve zdivu a vytváření plastických kloubů, které předchází ztrátě stability a zřícení mostních kleneb. Potápěčský průzkum dna prokázal mimořádný význam betonových desek uzavírajících prostor mezi základy mostních pilířů a ochrannými kesonovými věnci u pilířů č. 3, č. 4, č. 7 z hlediska ochrany jejich základové spáry. Poslední průzkum ukázal na narušení ochranného betonového věnce základu pilíře č. 8. Základy těchto pilířů spolu s pilíři č. 2 a č. 9 (bez ochranných věnců), které jsou založeny jako původní u úrovni upraveného dna, představují závažné ohrožení stability těchto mostních pilířů a navazujících mostních kleneb při povodni (na tyto závažné skutečnosti bylo již upozorněno v [1]).

### 1. Historie a příčiny porušování Karlova mostu při povodních, sanace a zabezpečení mostních pilířů proti účinkům povodně

Mělké založení mostních pilířů Karlova mostu v úrovni upraveného dna cca 2,0 až 2,5 m pod úrovní normální hladiny vody (tzv. normálem 184,954 m), na naplavených dřevěných vorech tzv. skříních (podle prof. Z. Bažanta), značná nerovnoměrnost srážek povodí Vltavy (28 tis. km<sup>2</sup>), spolu se zmenšením průtokové šířky Vltavy mohutnými mostními pilíři (cca o 20 %), jsou jedny z hlavních příčin častého porušení Karlova mostu při povodních (obr. 1).

V minulosti k tomu ještě přistupovalo hromadění dřeva a předmětů unášených vzdutou hladinou řeky nejčastěji na části mostu přiléhající k malostranskému nábřeží (viz obr. 6, lit. [1]). Hromadění dřeva před mostem bylo příčinou intenzivnějšího proudění povodňové vody v jeho střední a pravo-

břežní části, ale také celkově intenzivnějšího proudění vody u dna řeky, vzniku turbulencí a v důsledku toho intenzivního podemilání mostních pilířů. K nejčastějšímu narušení mostních pilířů a jejich základů, popř. zřícení mostních kleneb, docházelo mezi pilíři č. 3 až č. 9 (obr. 1). V této části mostu došlo v letech 1902 až 1904 k zabezpečení mělkých základů pilířů č. 3, č. 4 a č. 7 kesonovými věnci tvořenými sedmi samostatnými bloky spuštěnými až na úroveň tvořenou silurskými břidlicemi. Základy obnovených mostních pilířů č. 5 a č. 6 byly v roce 1892 provedeny na kesonech založených až na úroveň silurských břidlic (obr. 1). Mostní pilíře č. 8, č. 9 a č. 10 mají základy na původní mělké úrovni urovnaného dna ze 14. a 15. století. U pilíře č. 8, jehož obnovená část po povodni v r. 1784 je založena na pilotovém roštu (viz Zpráva o rekonstrukci mostu z r. 1892, lit. [1]), byl proveden při sanaci v letech 1902 až 1904 betonový věncem tvořený vrstvou kamenných bloků s uzavírací betonovou deskou proměnné tloušťky (obr. 2).

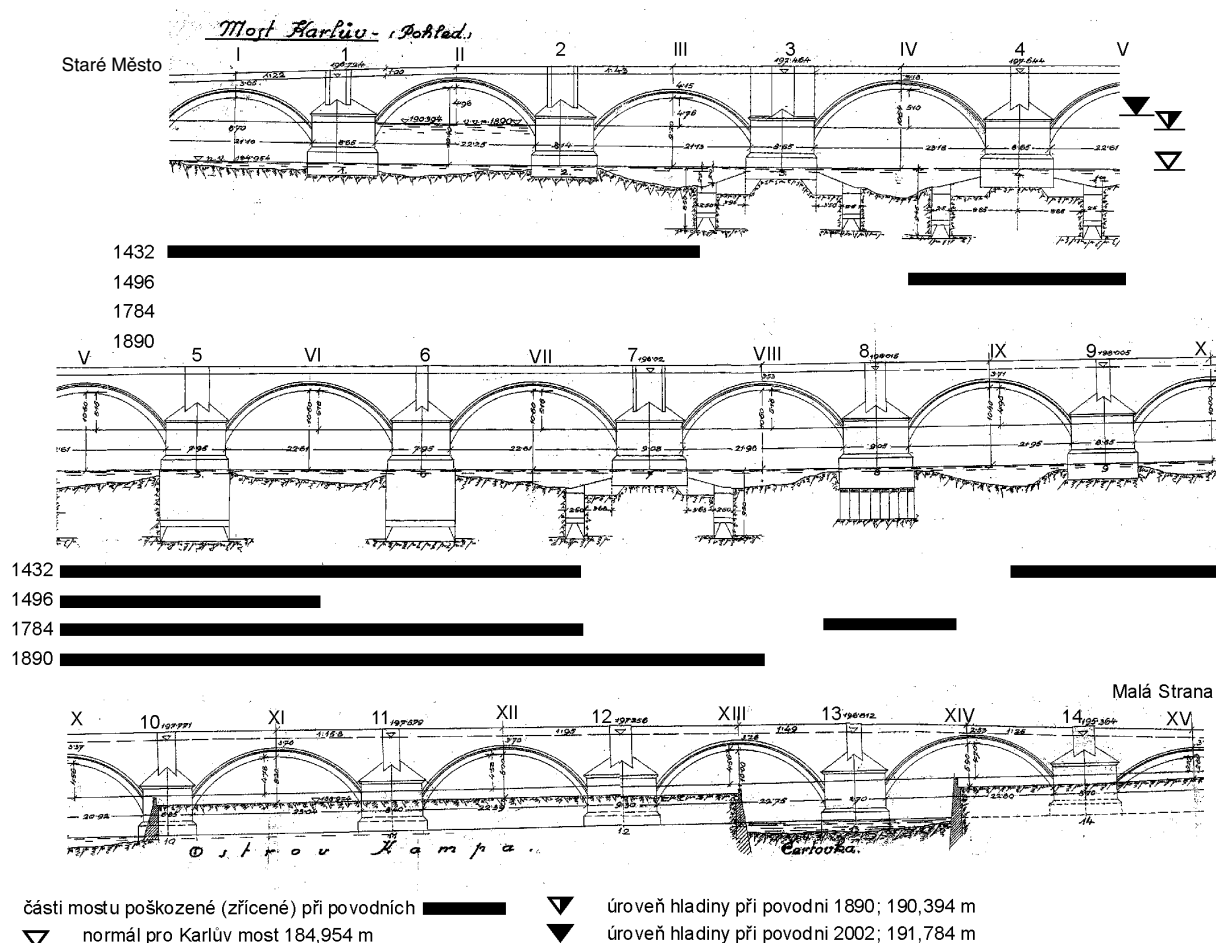
Při povodni v r. 1890 došlo k značnému vymletí dna v okolí pilíře č. 8 a poškození pilotového roštu na východní a severní straně pilíře [1]. Značná část základů mostního pilíře č. 10, na rozdíl od mostních pilířů č. 8 a č. 9, se nachází mimo řečiště na břehu Vltavy na Kampě.

Při povodni v r. 2002 bylo provedeno opatření, které zamezilo hromadění předmětů v části řečiště přiléhající k malostranskému nábřeží, a tím umožnilo průtok povodňové vody celým řečištěm. Tímto opatřením byla při povodni v r. 2002, v porovnání s předchozími povodněmi, vytvořena, z hlediska účinku povodňové vody na základy mostních pilířů, zcela odlišná situace. Podle dvourozměrné simulace proudění vody ve Vltavě při povodni v roce 2002 (viz Příloha lit. [1]) došlo ke změně směru proudnic a rozložení rychlostního pole. Především se zvýšila intenzita proudění na malostranské části mostu mezi pilíři č. 6 a č. 10, přičemž nejvyšší rychlosti dosahoval proud řeky mezi pilíři č. 9 a č. 7, tedy mostními pilíři založenými na původní úrovni, tj. 2,0 až 2,5 m pod úrovní normální hladiny řeky (obr. 3). Pilíř č. 7 má provedenou ochranu základové spáry kesonovým věncem a pilíř č. 8 narušeným ochranným věncem z kamenů s uzavírací betonovou deskou a pilíř č. 9 má původní mělké založení (obr. 1).

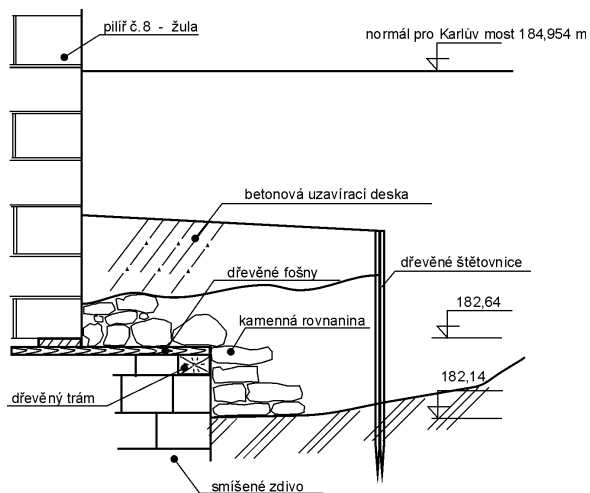
Z hlediska současného stavu říčního dna [4] lze jako **kritický stav ohrožující stabilitu Karlova mostu** při povodni klasifikovat založení mostních pilířů:

- **č. 9;** založený na původní úrovni, bez ochranného věnce, u kterého lze očekávat při povodni intenzivní boční erozi (proudnice směřují šikmo k podélné ose pilíře) na východní straně spolu s vyšší rychlostí proudění;
- **č. 8;** založený na původní úrovni, s ochranným věncem

<sup>1)</sup> Fakulta stavební ČVUT, <sup>2)</sup> Fakulta stavební VUT Brno, <sup>3)</sup> Přírodovědecká fakulta MU Brno



Obr. 1. Pohled na Karlův most (dokumentace z r. 1905), mostní pilíře č. 1 až č. 4, č. 7 až č. 14 založeny na původní mělké úrovni cca 2,0 až 2,5 m pod normální úroveň hladiny; založení pilířů č. 5 a č. 6 na kesonech a původní kesonové věnce u pilířů č. 3, č. 4 a č. 7; pilíř č. 8 založený z části na pilotách po povodni v r. 1784 (viz obr. 2, lit. [14])



Obr. 2. Ochranný věnec základů a základové spáry mostního pilíře č. 8 (podle Ing. J. Zemánka, TSK, lit. [4])

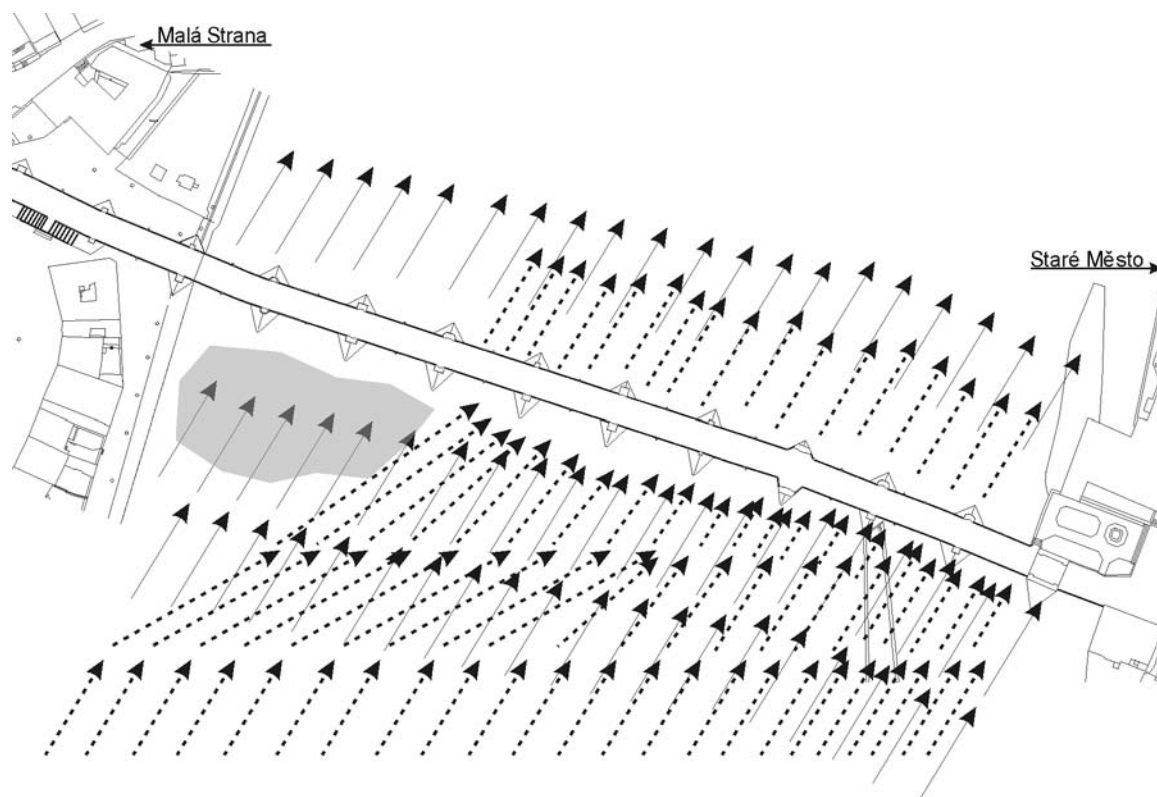
tvoreným kamennými bloky různé velikosti uloženými mezi narušené a nedostatečně kotvené dřevěné štětovnice a betonovou deskou uzavírající prostor mezi štětovnicemi a stěnami mostního pilíře. Potápěčský průzkum [4] prokázal místa výrazných lokálních narušení tohoto ochranného „betonového“ věnce (vyplavené kamenné bloky, narušená „obálka“ ochranného věnce tvořená dřevěnými štětovnicemi, kaverny v kamenné rovnánině na celou hloubku ochranného věnce, obr. 2);

- č. 7 a dále pilířů č. 3 a č. 4, které byly v letech 1902 až 1904 zabezpečeny kesonovými věnci s vrchní betonovou deskou („zátkou“). V případě narušení betonové desky uzavírající prostor mezi původním základem mostních pilířů a kesonovými bloky hrozí nebezpečí eroze a narušení základového podloží pilířů účinkem vířivých proudů a turbulencí proudící vody.

Zvýšená rychlost a destruktivní turbulence vytvářející kaverny a narušující základovou spáru, podloží a základové zdivo mostních pilířů č. 3, č. 4, č. 7 (s původními kesonovými věnci a betonovou deskou), zejména pilíře č. 8 (narušený betonový ochranný věnec) a pilířů č. 2 a č. 9 (původní založení v úrovni upraveného dna bez ochranného věnce) představují v případě zvýšeného průtoku vody zejména při povodni závažné ohrožení Karlova mostu. Je to důsledek nejen pravděpodobně očekávaného vyššího množství protékající povodňové vody, ale i změněné situace v rozložení rychlostního pole a směru proudnic u mostních pilířů.

Z hlediska **spolehlivého zabezpečení základové spáry a základů mostních pilířů** při zvýšeném průtoku vody a při povodni se jeví jako nezbytné urychleně provést:

- **sanaci základů mostních pilířů č. 2, č. 8 a č. 9** ochrannými betonovými věnci vybetonovanými po obvodu základů mostních pilířů a obálkou tvořenou záporami z mikropilot, popř. betonovými nebo ocelovými štětovnicemi, popř. kesonovými bloky zakotvenými ve



Obr. 3. Schematické znázornění směru proudnic u Karlova mostu s vloženou překážkou a bez vložené překážky (podle [13])

← - - - - - vložená překážka naplaveného dřeva (1890)  
 ← ————— bez vložené překážky (2002)

skalním podloží (v úrovni silurských břidlic), včetně stabilizace základového podloží mostních pilířů. Ochrannou železobetonovou desku – „zátku“ – je třeba provést z hutného vodotěsného betonu (tloušťky cca 0,6 až 0,7 m). Rozměry a uspořádání ochranného betonového věnce je třeba ověřit na fyzikálním modelu (spolehlivé zabezpečení základové spáry a podloží proti vířivým proudům a turbulencím pro možné směry proudnic a rychlosti vodního proudu). U mostního pilíře č. 8 je nutné před provedením nové betonové desky odstranit stávající dřevěné štětovnice a narušenou kamennou rovnatinu s vrchní betonovou deskou a provést sanaci narušeného pilotového roštu;

- sanaci stávajících kesonových věnců mostních pilířů č. 3, č. 4 a č. 7, která zahrnuje detailní kontrolu spolehlivosti zapaštění kesonů, opravu narušených částí a zajištění těsnosti kesonové obálky, stabilizaci základového podloží mostních pilířů, odstranění narušených částí, popř. celé stávající uzavírací betonové desky a provedení nové železobetonové desky z vodotěsného betonu (tl. 0,6 až 0,7 m). Při sanaci těchto stávajících kesonových věnců je třeba zohlednit výsledky výzkumu erozních účinků povodňové vody na uvedeném fyzikálním modelu (rozměry a uspořádání).

Součástí zabezpečení pilířů Karlova mostu proti účinkům povodně je i sanace narušeného zdiva pilířů a základů. Jde především o odstranění narušené malty ve spárách zdiva a následné zaplnění spár a kaveren (injektáž), sanaci narušených kamenných bloků (odstranění řas, usazenin, mikroorganismů, injektáž, plombování, konzervace).

## 2. Numerická analýza a modelování vlivu poklesu, popř. posunutí mostních pilířů v základové spáře na narušení kamenné mostní konstrukce

Podemletí a narušení základové spáry mostních pilířů, které předcházelo pootočení, poklesu, popř. posunutí základu mostního pilíře, bylo nejčastější příčinou zřícení přilehlých mostních kleneb. Závažnost tohoto účinku, který se v klenbách uložených na pokleslý pilíř projeví jako účinek vynucené deformace, je dána jednak mimořádnou citlivostí kleneb vzhledem k tomuto účinku a v případě zděných kleneb nízkou pevností zdiva v tahu.

Teoretická analýza počáteční odezvy mostních kleneb na účinek **pootočení** základové spáry mostního pilíře (o úhel  $\varphi = 0,06^\circ$  – pokles hrany mostního pilíře o 10 mm) prokázala vznik tahových normálových napětí  $+\sigma$  ( $+\sigma_x$ ,  $+\sigma_y$ ,  $+\sigma_z$ ) s extrémními hodnotami zejména v částech mostní klenby přiléhajících k pokleslé a diagonálně protilehlé hraně mostního pilíře, které překračují pevnost v tahu kamenného zdiva ve spárách i v kamenných blocích. Části mostní klenby s výskytem tahových napětí ( $+\sigma_x$ ,  $+\sigma_y$ ,  $+\sigma_z$ ) v celém průřezu klenby jsou oblastmi počínající dezintegrace a rozpadu kamenného zdiva klenby provádějící pokles hrany mostního pilíře podemletím základu (viz lit. [1]).

Předmětem analýzy počáteční odezvy mostních kleneb přiléhajících k pilíři, u něhož dochází k **poklesu** (zvolena hodnota poklesu  $\Delta_z = 10$  mm), popř. **k posunutí v základové spáře** účinkem tlaku povodňové vody a nahromaděných předmětů (zvolena hodnota  $\Delta_y = 10$  mm), bylo porovnání extrémních hodnot normálových napětí a jejich rozložení v ploše klenby pro případ (obr. 4) samotné klenby (bez spolupůsobení s poprsnými zdmi), při spolupůsobení

s poprsními zdmi, při spolupůsobení s poprsními zdmi sepnutými ocelovými táhly a při spolupůsobení s poprsními zdmi, k nimž je prostřednictvím liniových kloubů připojena betonová deska tl. 200 mm (teoretický případ, podle provedených sond neodpovídá realizovanému provedení (viz lit. [1], [2] a [15]).

Předmětem provedených numerických analýz je získání objektivních podkladů z hlediska posouzení optimálního návrhu a řešení opravy Karlova mostu. Kamenná konstrukce Karlova mostu a výplň mostního tělesa jsou charakteristické výraznou heterogenitou z hlediska fyzikálně mechanických vlastností jednotlivých kamenných bloků (v rámci jedné mostní klenby je zabudováno více než tisíc kamenných bloků lišících se fyzikálně mechanickými vlastnostmi, stupněm narušení chemickými a biochemickými degradačními procesy, vlhkostí a rozměry), rozdílnou kvalitou, mocností a provedením výplňových vrstev. K tomu přistupuje i změna vlastností po výšce kamenných bloků. S ohledem na tyto objektivní skutečnosti nelze definovat jednoznačný výpočtový materiálový model mostní konstrukce. V tomto směru diskutovaná nelineární analýza výrazně heterogenní konstrukce narušené řadou mechanických poruch je z hlediska spolehlivosti vstupních parametrů popisujících významně fyzikálně mechanické a rozměrové charakteristiky mostní konstrukce nereálná. Zvolený výpočetní model – materiálový, geometrický, zatížení – použitý v rámci uvedené lineární analýzy poskytuje cenné informace o chování kamenné mostní konstrukce a umožňuje **porovnání** posuzovaných variant.

Na základě provedené analýzy lze konstatovat:

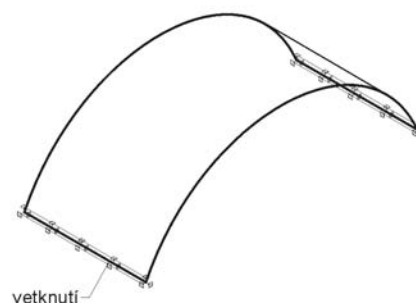
- při **poklesu**, popř. **posunutí** v základové spáře vznikají při teoreticky uvažovaných relativně malých hodnotách vynucených deformací ( $\Delta_{z,(y)} = 10 \text{ mm}$ ), v některých průřezích klenby normálová napětí  $\sigma_x$  a  $\sigma_y$ , která překračují pevnost kamenného zdiva mostních klenb v tahu (popř. i v tlaku) a která předcházejí, spolu s desintegrací zdiva v oblastech tahových napětí v celém průřezu klenby, první fázi procesu porušování mostních klenb;

- při **poklesu** mostního pilíře (obr. 5, obr. 6) dochází účinkem spolupůsobení klenby s poprsními zdmi k nárůstu a výrazné změně pole příčných normálových napětí  $\sigma_y$ . Ocelová táhla (varianta C), na rozdíl od betonové desky (varianta D), nemají v porovnání s variantou B vliv na velikost a rozložení normálových napětí po ploše klenby. Při sprážením poprsních zdí betonovou deskou (varianta D) dochází k dalšímu nárůstu příčných normálových napětí ve zdivu mostní klenby o 30 až 60 % v porovnání s variantou B, popř. C (poprsní zdi sepnuté ocelovými táhly);

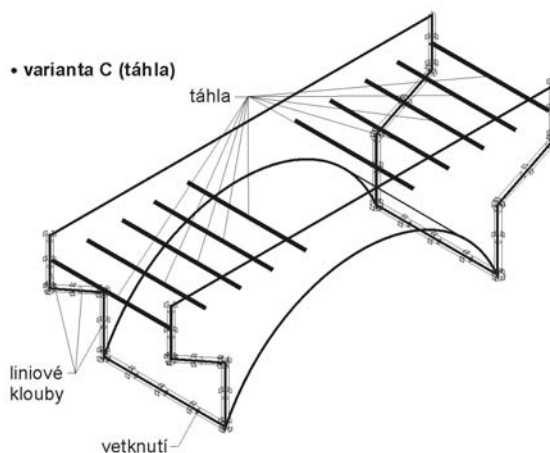
- při **poklesu** mostního pilíře dosahují podélná normálová napětí  $\sigma_x$  ve variantě A, tj. pouhé klenby v porovnání s variantami B, C a D, tj. se spolupůsobením s poprsními zdmi, až několikanásobných hodnot, přičemž mezi variantou B a variantou C nejsou výrazné rozdíly v hodnotách všech sledovaných složek napjatosti. Sepnutí poprsních zdí (varianta C), na rozdíl od sprážení poprsních zdí betonovou deskou (varianta D), neovlivňuje negativně odezvu kamenné mostní konstrukce na zatěžovací účinky a vlivy. Účinkem spolupůsobení poprsních zdí s betonovou deskou (varianta D) dochází k celkovému zvýšení tuhosti mostní konstrukce a v důsledku toho k dalšímu nárůstu podélných normálových napětí  $\sigma_x$  (o 30–40 %) v porovnání s variantou B a C;

- při **posunutí** mostního pilíře v základové spáře (obr. 7, obr. 8) dochází účinkem spolupůsobení mostní klenby s poprsními zdmi (varianty B, C a D) k výraznému poklesu příčných i podélných normálových napětí  $\sigma_y$  a  $\sigma_x$  (cca o 50 %).

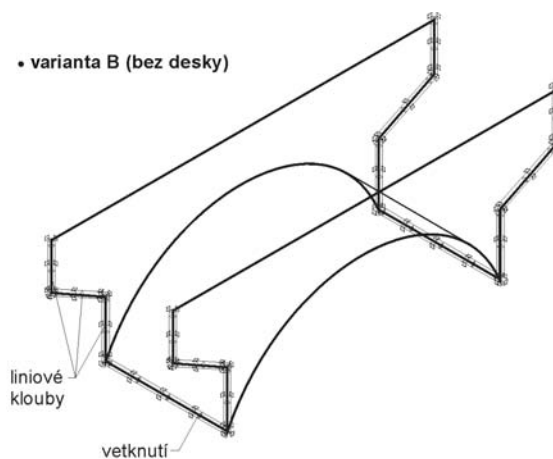
#### • varianta A (klenba)



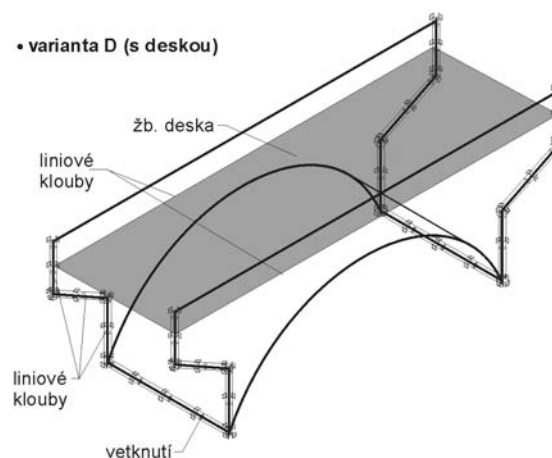
#### • varianta C (táhla)



#### • varianta B (bez desky)

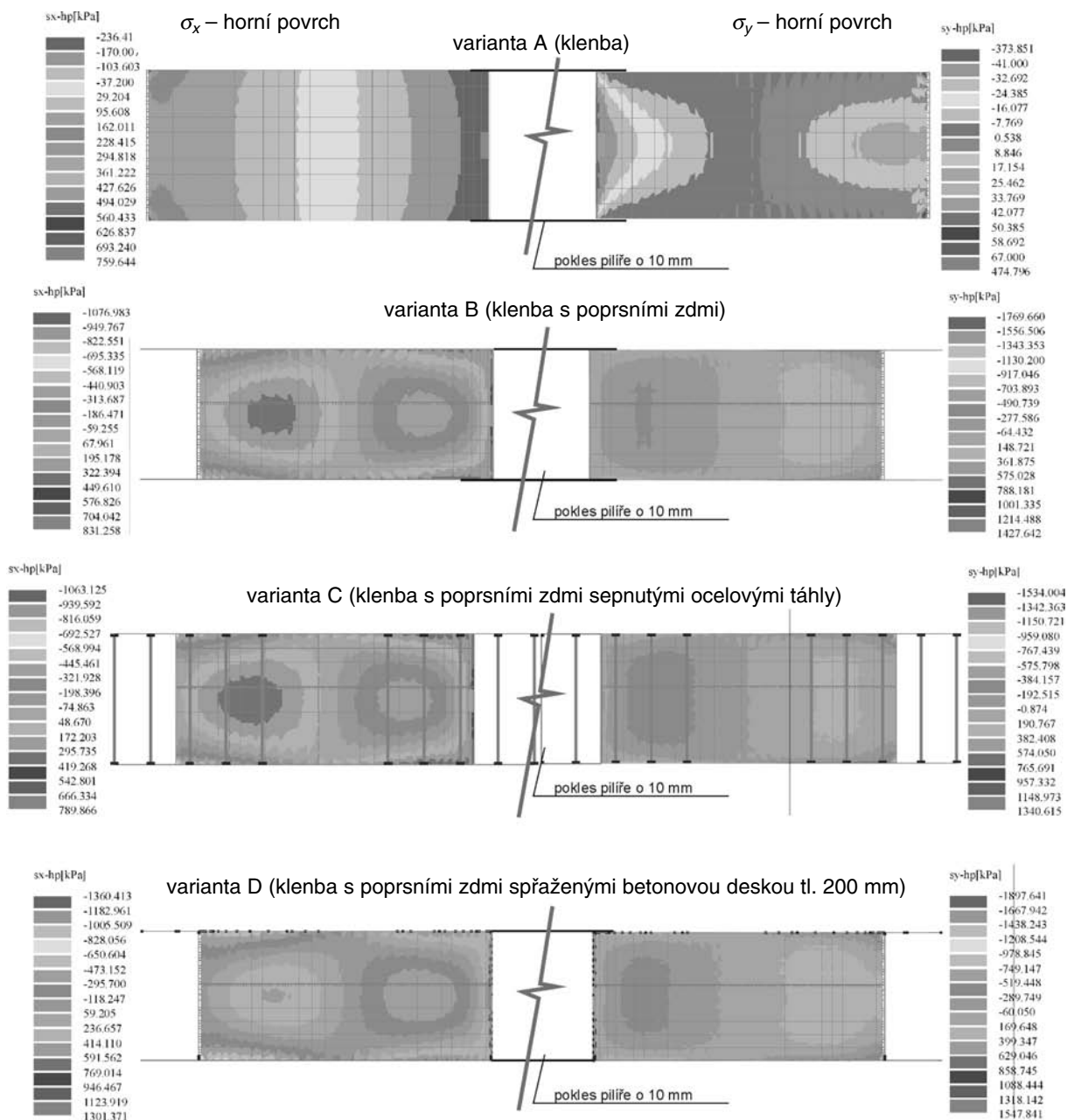


#### • varianta D (s deskou)



Obr. 4. Schéma vyšetřovaných modelů kamenné mostní konstrukce





Obr. 5. Pole normálových napětí  $\sigma_x$  (podélných) a  $\sigma_y$  (příčných) v mostní klenbě při poklesu mostního pilíře o 10 mm

Z hlediska extrémních hodnot i rozložení podélných normálových napětí  $\sigma_x$  vyvolaných posunem mostního pilíře v základové spáře je neoptimálnější varianta C, tj. při sprážení poprsních zdí ocelovými táhly (nižší hodnoty  $\sigma_x$  o cca 20–40 % v porovnání s variantou D, tj. při sprážení poprsních zdí betonovou deskou);

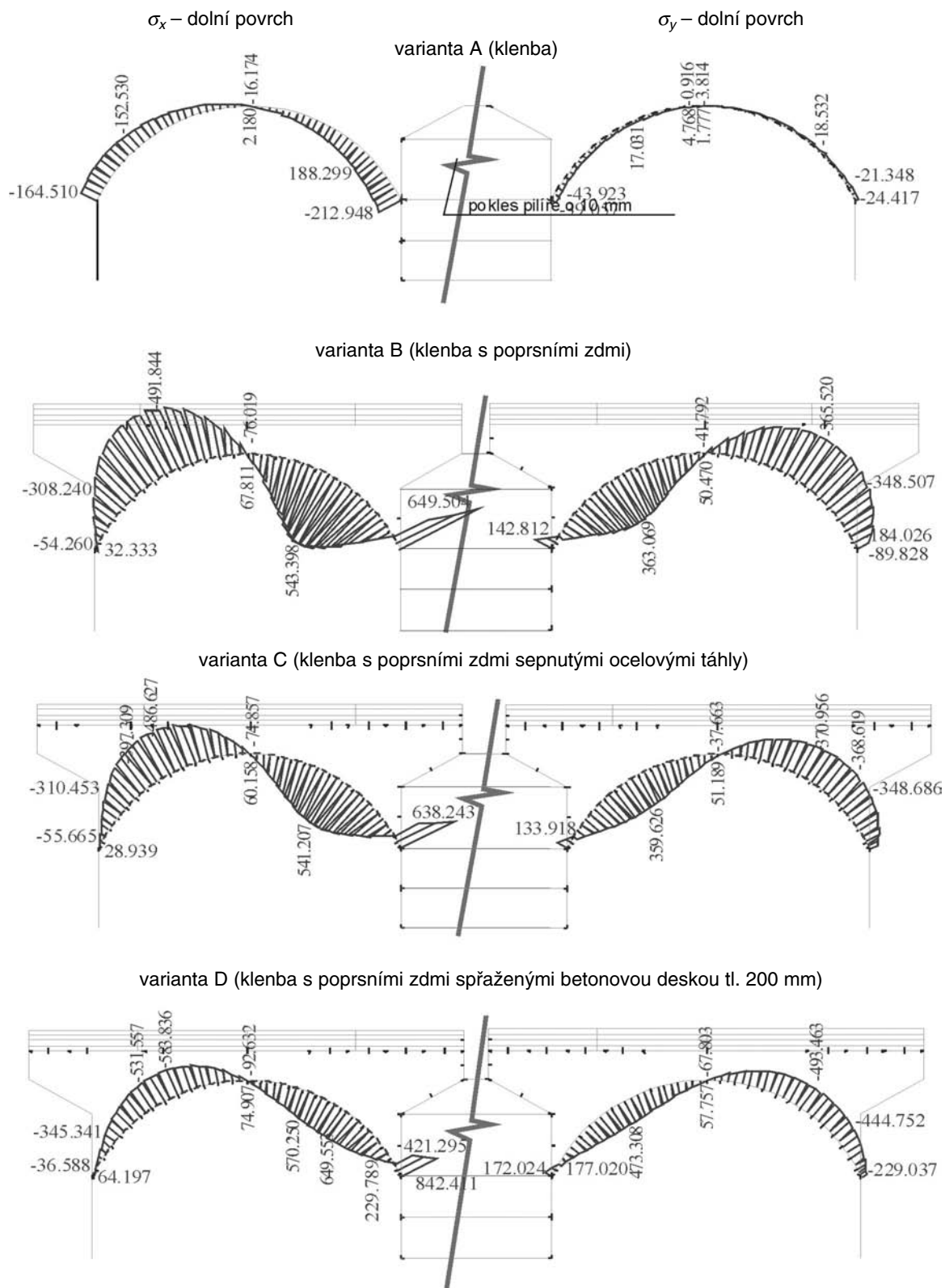
- při **posunutí** mostního pilíře v základové spáře dochází v mostní klenbě ke vzniku vysokých hodnot příčných normálových napětí  $\sigma_y$ , která v porovnání s hodnotami podélných normálových napětí  $\sigma_x$  dosahují více než dvojnásobných hodnot. Rozdíl ve velikosti normálových napětí  $\sigma_y$  ve variantě B (spolupůsobení klenby s poprsními zdmi), variantě C (sprážení zdí ocelovými táhly) a variantě D (sprážení poprsních zdí betonovou deskou) se pohybují v rozmezí cca  $\pm 10$  %;

- při **posunutí** mostního pilíře v základové spáře vznikají v patě mostních klenb značné posouvající síly. Z porovnání hodnot posouvajících sil  $Q_{x(y)}$  je patrný relativně malý účinek

betonové desky (varianta D) z hlediska „odporu“ mostní konstrukce proti posunutí mostního pilíře v základové spáře. Rozhodující je spolupůsobení mostní klenby s poprsními zdmi – kritickým místem je ložná spára mezi klenbou a poprsní zdí. Zvýšení vodorovné tuhosti poprsních zdí při jejich sprážení betonovou deskou naopak urychlí při uvedeném účinku porušení ložné spáry a následný proces porušení mostní klenby (viz obr. 9).

#### Poznámka:

Velikost napjatosti ve všech jejích složkách při působení nesilových účinků je výrazně ovlivněna tuhostí konstrukce. Velikost mechanického stavu napjatosti vzrůstá s tuhostí konstrukce, která „brání“ volnému průběhu deformace od nesilového účinku. Nárůst např. normálových napětí v tahu v kamenném zdivu mostních klenb je příčinou vzniku trhlin a narušení zdiva. Jde o nalezání takové tuhosti mostní konstrukce, která při žádoucím omezení deformací a přetváření nebude současně příčinou vzniku napjatosti způsobujících narušení kamenného zdiva.



Obř. 6. Schéma průběhu normálových napětí  $\sigma_x$  a  $\sigma_y$  v podélné ose klenby při poklesu mostního pilíře o 10 mm

### Shrnutí

Analýza počáteční odezvy mostních klenb na účinek vynucené deformace – pootočení, pokles, posun mostního pilíře v základové spáře – prokázala mimořádnou závažnost tohoto účinku, který představuje v případě nedostatečného zajištění základů mostních pilířů reálné ohrožení Karlova mostu.

Vysoká míra rizika a pravděpodobnosti zřícení mostních klenb při změně tvaru základové spáře základů mostních pilířů vyžaduje spolehlivé zabezpečení mostních pilířů vzhledem k uvedenému účinku. Základním opatřením je ochrana základové spáře mostních pilířů se základy v původní mělké úrovni před erozními účinky proudící vody, zejména při zvýšeném průtoku vody při povodních.

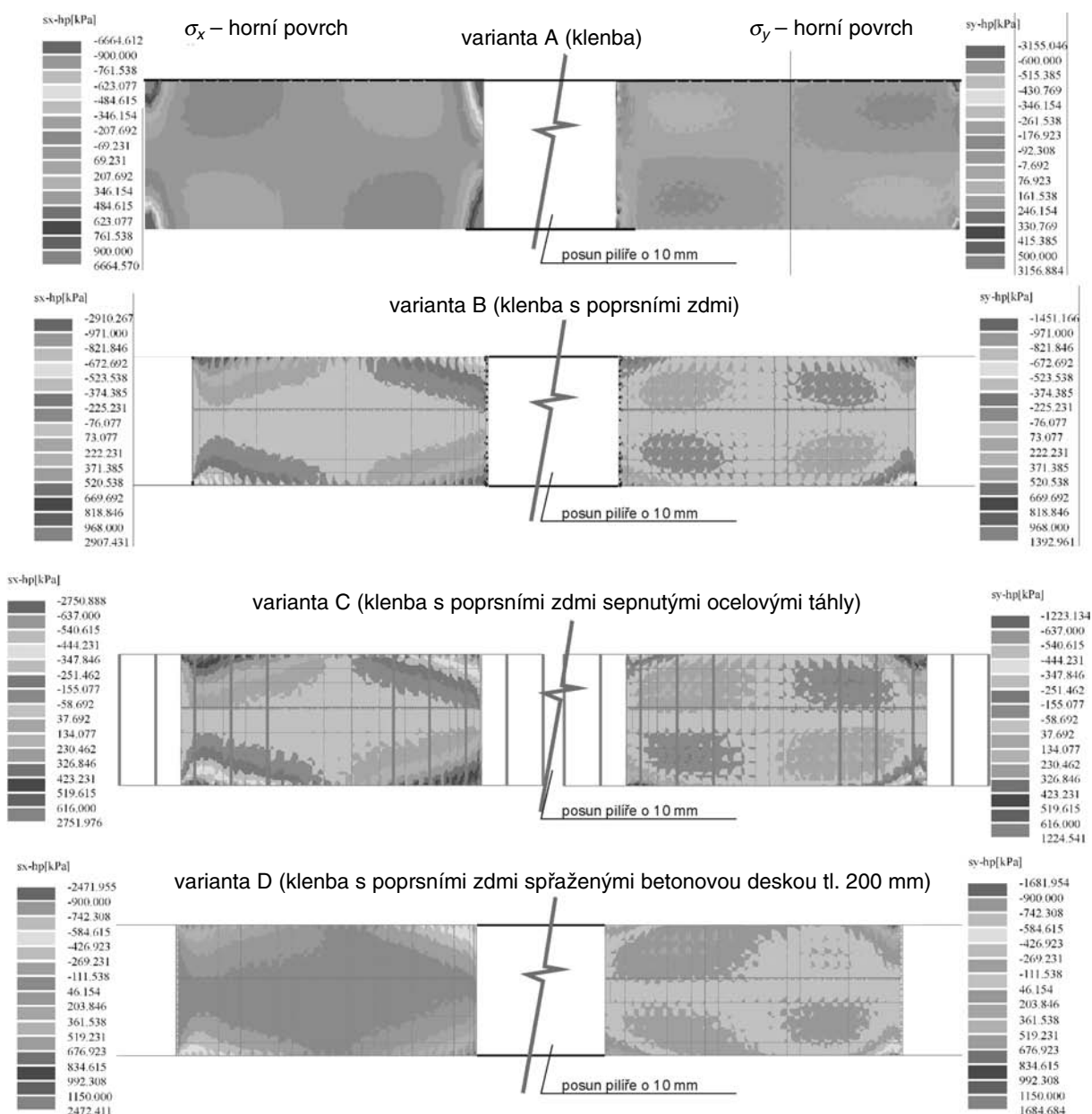
Provedené numerické analýzy prokazují převažující negativní vliv „betonové desky“ při působení nesilových účinků a účinků vynucené deformace. Jak bylo uvedeno v [1], tvrzení o pozitivním vlivu „betonové desky“ na kamennou mostní konstrukci je nesprávné a dosud nikterak podepřené. Betonová deska, jejíž kvalitu, provedení a zakotvení do poprsních zdí nelze jednoznačně definovat (viz lit. [1], [2] a [15]) a další úpravy prokazatelně přispívají k postupnému narušování historické kamenné mostní konstrukce. Betonová deska a úpravy výplně mostního tělesa provedené při poslední opravě Karlova mostu nežádoucím způsobem zvyšují tuhost, a tím současně napjatost kamenné mostní konstrukce vystavené trvale probíhajícím a cyklickým mechanickým stavům napjatosti vyvolaných změnou teploty a vlhkosti a procesům, které postupně degradují její mechanickou odolnost a snižují životnost Karlova mostu.

### 3. Průzkum časového vývoje degradačních procesů Karlova mostu

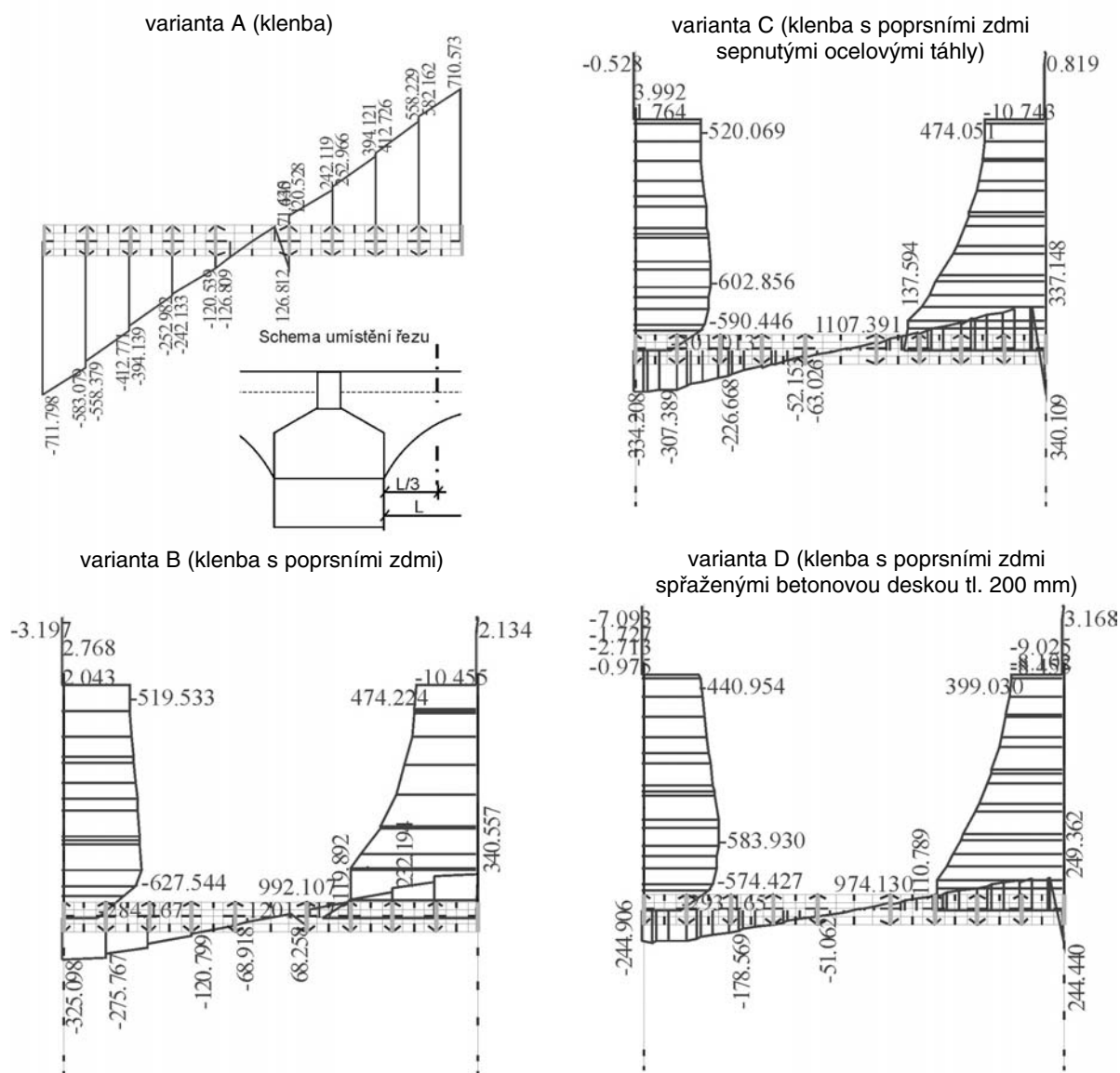
V rámci [3] je prováděno dlouhodobé monitorování a

průzkum časového vývoje a intenzity degradačních procesů fyzikálně mechanických, chemických, biochemických a mineralogických způsobených nesilovými účinky a vlivy. **Monitorování deformací a dlouhodobého přetváření** kamenné mostní konstrukce [5] navazuje na dlouhodobé sledování vodorovných a svislých deformací mostních oblouků, vyklánění poprsních zdí, stavu a rozvoje trhlin a změn povrchu lícnicích ploch oblouků prováděné v letech 1984–1988 (PŮDIS), 1994 a 2000. Monitorování od r. 2003 zahrnuje měření časových změn vodorovných a svislých deformací horního líce (koruny) poprsních zdí, časových změn svislých deformací vybraných mostních oblouků, náklonů poprsních zdí a rozvoje trhlin na lícnicí ploše vybraných kleneb (obr. 10).

Sledování měřených veličin (Kloknerův ústav ČVUT, lit. [16]) je prováděno laserovou metodou a vteřinovým náklonoměrem. Ve třech mostních polích jsou na líci mostních kleneb instalovány deformetry s elektrickým dálkovým odečtem pro sledování vertikálních pohybů mostních kleneb. Ve dvou mostních obloucích jsou měřeny změny šířky trhlin pomocí strunového tenzometru s elektrickým odečtem.



Obr. 7. Pole normálových napětí  $\sigma_x$  (podélných) a  $\sigma_y$  (příčných) v mostní klenbě při posunutí mostního pilíře o 10 mm

$\sigma_x$  – dolní povrch

Obr. 8. Schéma průběhu normálových napětí  $\sigma_x$  (podélných) na dolním povrchu klenby (v  $1/3$  rozponu klenby) při posunutí mostního pilíře o 10 mm

Souhrnné vyhodnocení měřených deformací bude provedeno v rámci závěrečné zprávy grantového úkolu v roce 2004 [3]. Provedená dílčí měření jsou dokladem tvarových a rozměrových změn kamenné mostní konstrukce účinkem změny teploty a vlhkosti (obr. 11, podle Ziglery, 2003).

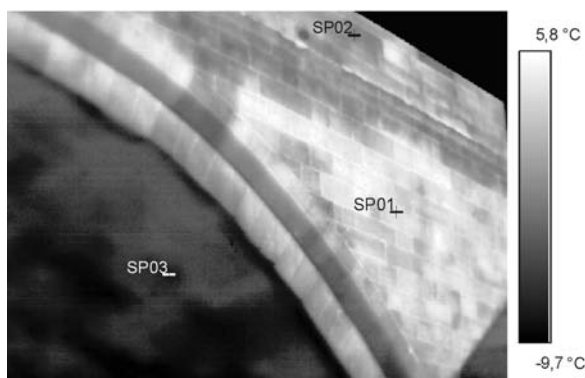
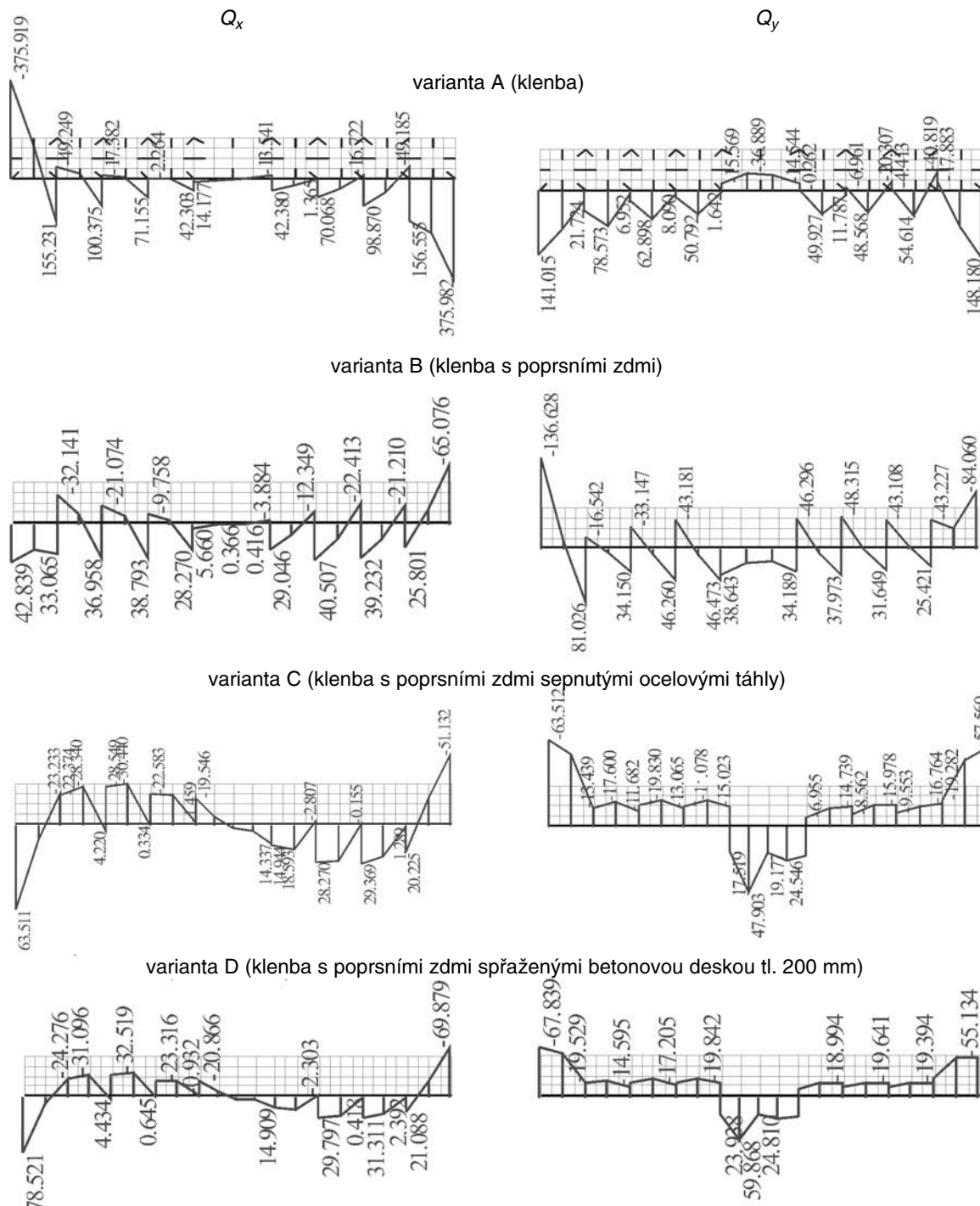
Součástí prováděného výzkumu in situ je sledování interakce rozloženého teplotního pole na povrchu Karlova mostu v závislosti na změnách venkovních teplot a proudění vzduchu (obr. 12).

V rámci dlouhodobého sledování vývoje **fyzikálních, mineralogicko-petrografických, chemických a biochemických vlastností** stavebních materiálů použitých na stavbu Karlova mostu jsou prováděny nanostrukturální mikrochemické analýzy a studium sekundárních minerálů a eflorescencí [7], [8]. Pro studium časového vývoje fyzikálních vlastností v závislosti na vnějších faktorech byly využity zbytky kvádrů nacházejících se na břehu Kampy u mostního pilíře č. 10 materiálově shodných s varietaми pískovců až slepenců zabudovaných v kamenné konstrukci Karlova

mostu a vrtná jádra z původních lokalit pískovců, z Božanova, Nučic, Vyšehořovic a Kamenných Žehovic.

**Cílem fyzikálně chemických a mikrobiologických analýz** bylo dále rozšířit a prohloubit znalosti o stavu materiálů použitých na stavbu mostu, popř. následné opravy získané výzkumem provedeným v letech 1994–2000. Ve zvolených půlročních intervalech jsou v pevně zvolených místech rovnoměrně rozložených po lícni ploše klenob (25 měřených míst) prováděny odběry povrchových krust a vrstev kamenných bloků, spojovací a spárovací malty. Takto získaný rozsáhlý soubor bude podkladem pro formulování závislosti popisujících vývoj degračních procesů a jejich vlivu na významné vlastnosti komponentů kamenného zdiva v čase.

Příklad dílčího zpracování výsledků je uveden v tab. 1, ze které je patrný vztah mezi vlhkostí oblouku, pH pískovcových kamenů a celkovým počtem bakterií a dále vztah mezi koncentrací síranů a počtem sírných bakterií. Materiálová nehomogenita, rozdílné petrofyzikální parametry, vliv

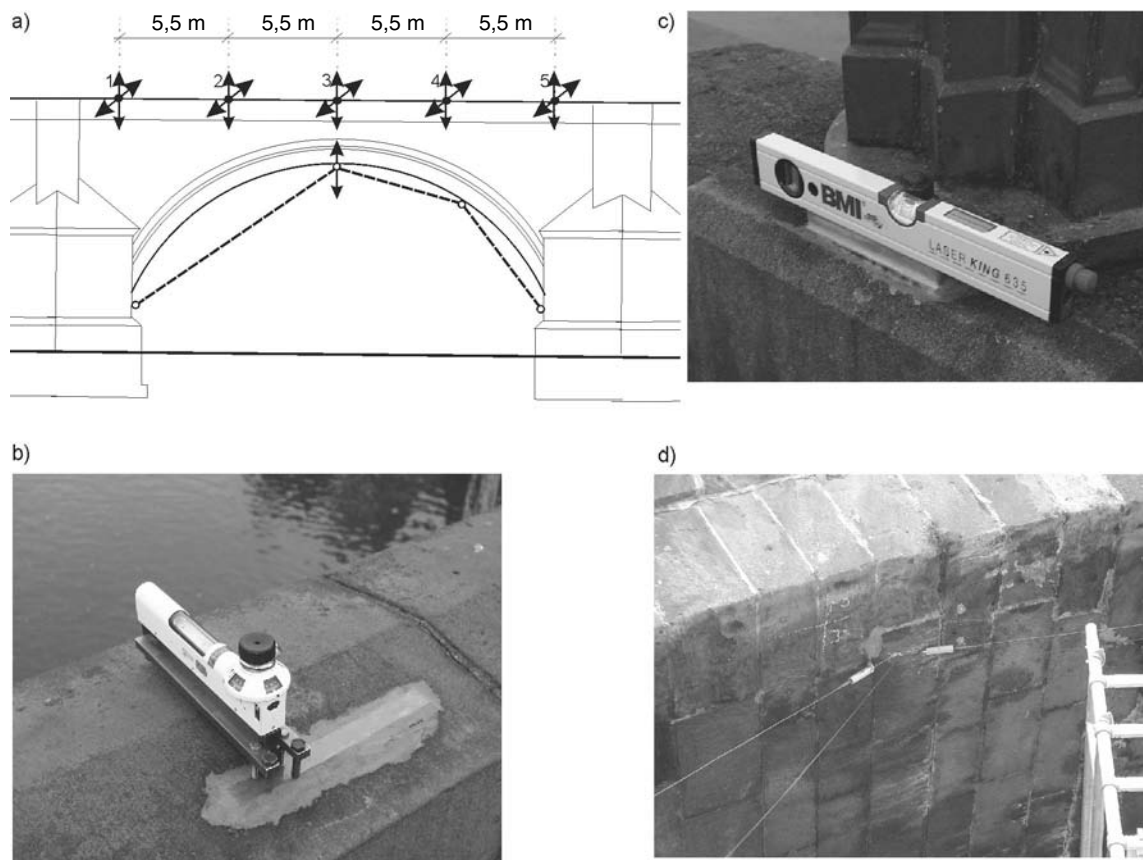


Obr. 12. Povrchová teplota mostní klenby a poprsní zdi (termovize, únor 2004)

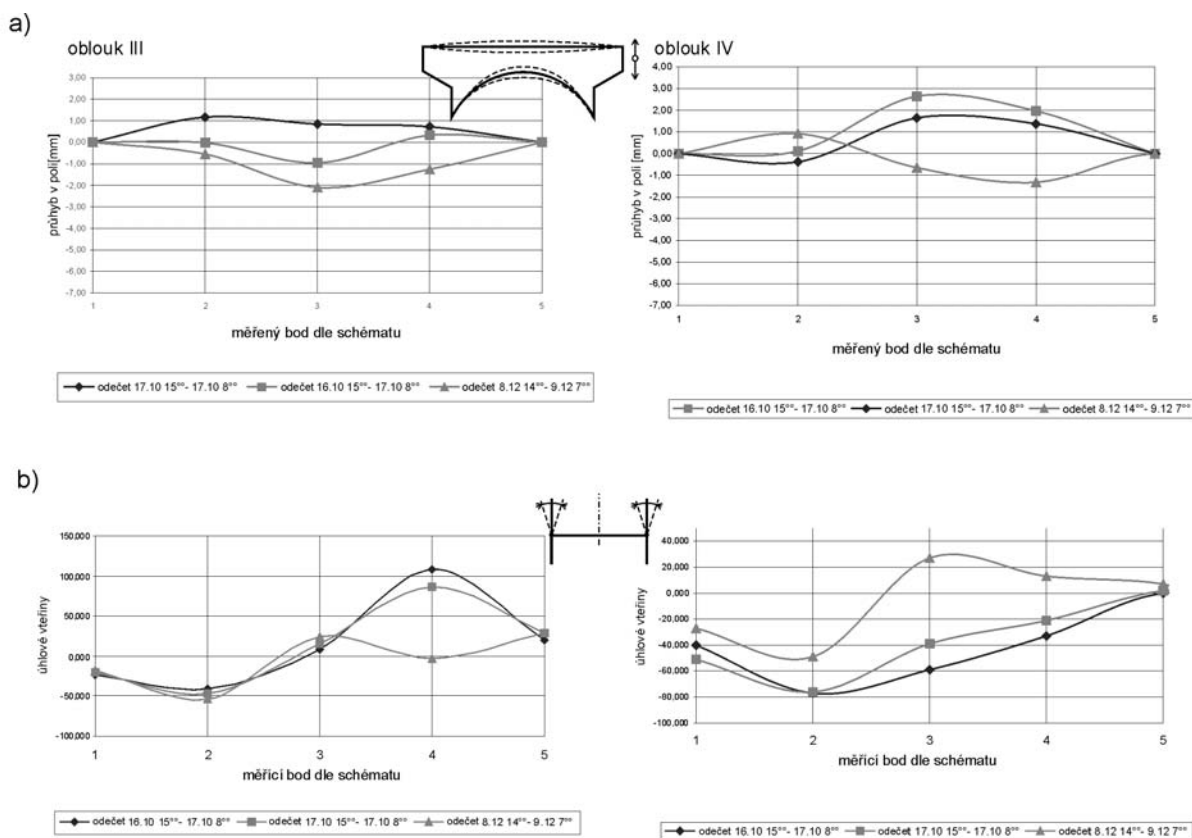
Obr. 9. Průběh posouvajících sil  $Q_x$ ,  $Q_y$  v patě klenby přiléhající k mostnímu pilíři, u něhož došlo k posuvu v základové spáře

rozdílných mikroklimatických podmínek, vliv různé úrovně dřívě provedených rekonstrukcí znesnadňují formulaci jednoznačných závěrů. Aktuální hodnoty salinity a mikrobního osídlení jsou jen nepatrným výsekem stále se měnícího komplexu fyzikálně chemických a biochemických pochodů v jednotlivých lokalitách Karlova mostu.

**Petrografickými rozbory** bylo prokázáno, že konstrukční materiály použité v kamenném zdivu a v tělese Karlova mostu se vyznačují značnou materiálovou heterogenitou způsobenou rozdílnými vlastnostmi pískovců použitých na stavbu a následně opravy Karlova mostu, dále prohloubené rozdílnou mírou intenzity jejich degradace a stárí (viz lit. [1], [2]).



Obr. 10. Monitorování náklonu a svislých deformací poprsních zdí (mostních kleneb)  
 a – schéma monitorovaných míst; b – odečet náklonu poprsních zdí pomocí libelového sklonoměru s citlivostí úhlové vteřiny; c – odečet svislých deformací parapetních zdí (mostních kleneb) laserovou vodováhou (pomocí laserového paprsku); d – strunové deformetry na líci klenby



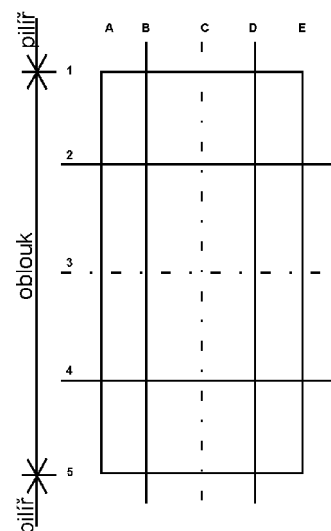
Obr. 11. Průběh deformací poprsní zdi v klenbovém III. a IV. poli  
 a – svislých, b – vodorovných

Tab. 1. Fyzikálně chemické a mikrobiologické údaje získané z krust a povrchových vrstev na lícni ploše klenbového oblouku č. III (pozice 3; střed oblouku)

Parametr	Lokalita oblouku				
	A	B	C	D	E
vlhkost [%]	15,1	13,1	11,8	13	15
pH	7	6,5	4	7,5	8
počet bakterií	6,5	16,9	10	19,5	1,5
plísně	0	0	0	90	10
amonizační bakterie	0	350	450	50	500
nitrifikační bakterie	7	5	20	5	12
denitrifikační bakterie	2	1	2	2	2
sírné bakterie	150	270	500	500	175
chloridy	1,5	1,09	0,92	0,22	1,75
sírany	47,72	23,18	61,67	25,42	2,29
dusičnany	3,55	7,14	8,92	6,25	2,75
dusitany	0,011	0,046	0,004	0,004	0,003
amoniak	0,14	0,30	0,14	0,12	0,10
močovina	0,14	0,23	0,17	0,17	0,12

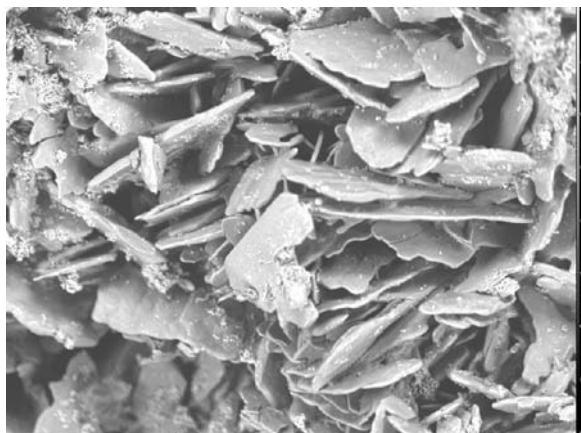
Legenda: A, E – paty oblouků; C – střed oblouku; B, D – mezilehlé pozice.

Celkový počet jednotlivých druhů bakterií je udáván v úrovni  $10^3$ , koncentrace solí jsou vyjádřeny v  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$  pískovce (odběry v roce 2003).



V návaznosti na výsledky mikroskopických rozborů hornin provedených v letech 1994, 1999 a 2000 bylo v rámci stávající etapy průzkumu potvrzeno, že nejvyšší rezistivitu vzhledem k působení vnějšího prostředí mají božanovské pískovce (křídové, cenomanské křemenné pískovce, arkózovité pískovce až arkóny z okolí Božanova – oblouk V. a VI., rekonstrukce z let 1966–1975, 1996), jejichž trvanlivost souvisí s podílem křemitého pojiva. Všechny studované povrchové vzorky stavebních kamenů z konstrukce Karlova mostu se od původních pískovců liší karbonát-sulfátovým tmelem (kalcit a sádrovec + sírany alkalických kovů).

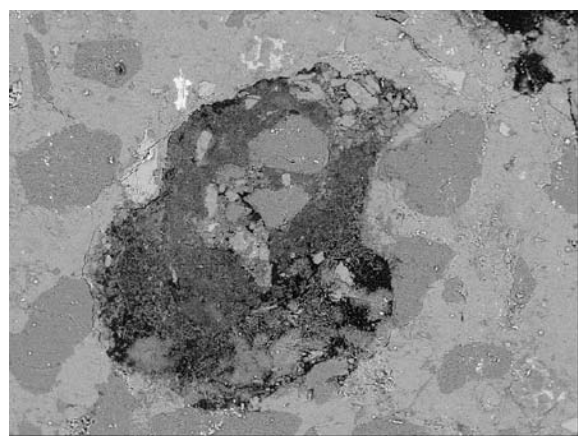
**Mikrostrukturní a nanostrukturní studia vodorozpustných solí** v pískovcích a maltách Karlova mostu v Praze jsou zaměřena na tvorbu mezoforem a mikroforem materiálového zvětrávání a problematiku krystalizačních a hydratačních tlaků přírodních solí (produkují síly, které jsou řádově srovnatelné s tlaky mrznoucí vody). Vznik horninových oslabených zón, mikrotrhlin a nanotrhlín představuje jednu z prvních predispozic fyzikálního rozpadu materiálů. Eflorescence je doprovodným jevem degradace materiálů a současně v konstrukci pozorovatelným projevem. Nově byl stanoven alunogen ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3\cdot 17(\text{H}_2\text{O})$ ),



Obr. 13. Vzorek č. IV-3-D (c). Tabulkovité, nepravidelně omezené krystaly alunogenu ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3\cdot 17(\text{H}_2\text{O})$ ). Cameca, foto R. Čopjaková

obr. 13). Ionty hliníku mohou migrovat materiály ve formě hydroxidů a jsou komplexotvorné. Vznik alunogenu odráží změnu pH a dokládá zvýšenou aciditu heterogenního materiálového prostředí.

**Nanostrukturní mikrochemické analýzy** byly využity pro studium spojovacích malt a spárových hmot. Spárové hmoty lze rozdělit do dvou základních skupin – na malty s přísadkou cementu a písku a cementové pasty. Styčné plochy mezi spárovací hmotou a pískovcovými kvádry jsou obvykle zřetelně mineralizovány. Nejčastěji v nich jsou přítomny jehlicovité krystaly síranů, méně často jsou přítomné lemy karbonátů. V pórovém systému cementových past a malt lze obdobně jako v železobetonové desce, colcretu (injektážích cementových maltách) a keramzitbetonu identifikovat póry vyplněné ettringitem thaumasitem a sádrovcem (obr. 14).



Obr. 14. Vzorek č. III-1-A – spárová malta. Celkový pohled na pór vyplněný směsí ettringitu+thaumasitu. Cameca SX 100, foto R. Škoda

Na základě studia spárových malt Karlova mostu byl poprvé prokázán vznik thaumasitu a ettringitu, za níže popisovaných fyzikálně chemických podmínek, v tomto typu stavebních materiálů. Ettringit a thaumasit vznikají bez sádrovce v rozmezí hodnot pH 4,5–6 při vlhkostech nižších

i vyšších než 15 %. Při pH vyšším než 7 a vlhkosti vyšší než 15 % vzniká pouze sádrovec a při stejné vlhkosti a pH = 7 vzniká sádrovec spolu s ettringitem a thaumasitem.

V porovnání s výsledky získanými v roce 1994 a 2000 je zřejmé, že **vlhkost zdiva Karlova mostu** se postupně stále zvyšuje. Nejvyšší hodnoty vlhkosti zdiva byly zjištěny ve vrcholech oblouků (tj. ve středních profilech B, C a D). Průzkumem prokázána zvýšená až velmi vysoká vlhkost ve vrcholu klenbových oblouků je dokladem zatékání srážkové vody z povrchu vozovky do mostního tělesa. Ostatní zdroje vlhkosti (kapilární elevace, sorpce, difúze případně povrchová kondenzace) se podílejí na vlhkostním režimu mostu omezeně.

Hodnota vlhkosti (podle Burgetové, 2003) v pilířích zůstává přibližně na úrovni hodnot zjištěných v minulých letech (1994 a 2000), pouze v některých místech došlo k mírnému zvýšení vlhkosti. Dále na pilířích přetrvává absence projevů provázejících vysychací frontu (usazené soli), což ukazuje na dominantní podíl srážkové vody zatékající do mostního tělesa na vlhkostní režim Karlova mostu.

#### Poznámky:

- **oblouk III** (převážně vysehořovický pískovec při opravách nahrazen hořickým pískovcem)

Ve vrcholu klenbového oblouku dosahuje vlhkost ve spárách hodnot 13,5–15,1 %, v kameni 8,4–12,5 %. Nejvyšší vlhkost byla zjištěna ve spáře 21,3 %. Průsak vody se místně projevuje výrony vody ze spár a trhlin;

- **oblouk IV** (převážně vysehořovický pískovec při opravách nahrazen hořickým pískovcem)

Nejvyšší hodnoty vlhkosti se pohybují v rozmezí 11,9–19,3 %, **vlhkostní maximum** bylo naměřeno **24,4 %**. Průsak vody se místně projevuje výrony vody ze spár;

- **oblouk VI** (po rekonstrukci v r. 1892, převážně božanovský pískovec)

Ve vrcholu oblouku byly zjištěny hodnoty vlhkosti 4,8–9,9 %, uprostřed oblouku ojediněle 20,1 %. V mostní klenbě jsou provedeny 2 otvory, v nichž jsou osazeny odpadní trubky pro odvod vody z vnitřních vrstev mostu (ze sběrného žlabu v místě vylehčovacích kleneb, viz obr. 9 [1]). Při měření 9.7.–11.7. 2003 (tj. v období srážkově výrazně podnormálovým (zdroj ČHMÚ) bylo zjištěno množství vytékající vody, které činí 0,56 l/h;

- **oblouk X** (směs historických kamenů, pískovec z Kamenných Žehrovců, arkózy, hořický pískovec)

Ve vrcholu oblouku byly zjištěny opět velmi vysoké hodnoty vlhkosti 10,8–14,8 %. Na tomto oblouku je velmi vysoká vlhkost v rozmezí od 12,6–14,2 % do 22,9 %.

Povrchové vlhkosti **spodního líce kamenných oblouků** velmi kolísají, a to v celkovém intervalu od 1 % (X. oblouk) do 24,4 % (IV. oblouk), v závislosti na druhu a stáří kamene, hygroscopických vlastnostech přítomných solí a výskytu lokálního zatékání.

Na pěti místech (III. oblouk, IV. oblouk, VI. oblouk, X. oblouk) byly naměřeny hodnoty vlhkosti vyšší než 20 % a přibližně na čtvrtině měřicích míst byly zjištěny hodnoty v intervalu 10–20 %.

Průzkumem byla prokázána velmi vysoká vlhkost zdiva, zejména ve **vrcholech klenbových oblouků**. V roce 1994 při měření vlhkosti byly hodnoty povrchové vlhkosti spodního líce oblouků v rozsahu 2–15 %. V roce 2000 byly naměřeny hodnoty vlhkosti v rozsahu 2,2–16,8 %.

**Nasákavost** jednotlivých pískovců stanovená na vzorcích odebraných z mostu je velmi variabilní, pohybuje se v širokém rozmezí 3,4–11,85 % (podle Hoška, 1994; Cikrle, 2002), nasákavost pískovců odebraných v původním lomu je 5,49–10,86 % (podle Boušky, 2003).

**pH povrchu** pískovcových kamenů Karlova mostu se pohybuje v širokém rozmezí od 4 (oblouk III a X) do 9,5 (oblouk III), nejčastěji v rozmezí 6,5–7,5 (tab. 2).

Proti roku 1994 se zvýšily koncentrace všech sledovaných **aniontů, kationtů a močoviny** (tab. 3).

Tab. 2. Úroveň pH oblouku č. III a č. IV v roce 1994 a 2003

Oblouk, pilíř*	Úroveň pH	
	1994	2003
III/2	7,5	4,0
III	6,5	6,5
III/3	8,0	5,0
IV/3	8,5	6,5
IV	7,0	7,0
IV/4	9,5	4,0

\* Arabská čísla označují pilíře, římská čísla oblouky Karlova mostu (III/2 – pilíř č. 2 náležející k oblouku č. III).

Tab. 3. Salinita oblouků č. III a č. IV v roce 1994 a 2003

Oblouk, pilíř*	Rok	Koncentrace iontů solí a močoviny [mg·g <sup>-1</sup> ]					
		SO <sub>4</sub>	Cl	NO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub>	močovina
III/2	1994	1,85	0,36	5,73	0,000	0,36	0,36
III/2	2003	2,83	1,00	13,96	0,026	0,13	0,17
III	1994	0,82	0,20	0,90	0,001	0,14	0,23
III	2003	61,67	0,92	8,92	0,004	0,14	0,17
III/3	1994	6,86	1,04	3,10	0,008	0,48	0,36
III/3	2003	17,00	2,04	19,70	0,011	0,40	0,32
IV/3	1994	2,20	0,24	0,56	0,002	0,12	0,23
IV/3	2003	6,82	0,95	3,87	0,023	0,34	0,14
IV	1994	8,18	1,23	38,36	0,003	0,11	0,18
IV	2003	88,30	2,35	27,80	0,000	0,05	0,22
IV/4	1994	5,54	0,31	3,80	0,000	0,10	0,18
IV/4	2003	5,87	4,13	21,70	0,005	0,11	0,17

\* Označení pilířů a oblouků je totožné jako v tab. 2, středy oblouků a plochy přivrácených pilířů.

V porovnání s rokem 1994 obsah agresivních solí (tab. 3) stoupl u oblouků č. III a IV, částečně i u oblouku č. VI téměř ve všech místech povrchové vrstvy. Stále se zrychlující vzestup koncentrace solí na povrchu pískovcových kamenů Karlova mostu je dobře patrný u vzestupu salinity VI. oblouku za pouhé poslední tři roky (tab. 4). Výrazný je zejména vzestup síranů a dusičnanů.

Z dosud provedených prací vyplývá, že k vážnému narušení povrchu pískovcového kamene (exfoliaci) většinou dochází při obsahu SO<sub>4</sub> vyšším než 2 % a koncentraci NO<sub>3</sub> nad hodnotu 0,5 až 1 %.

#### Poznámky:

Koncentrace **chloridů** v jednotlivých obloucích v roce 2003 kolísá relativně málo, a to v hranicích od 0,44 mg/g (oblouk III) do 12,7 mg/g pískovce (oblouk X). Koncentrace chloridů v patách pilířů mají slabě stoupající tendenci proti koncentracím nalezeným ve vrcholech oblouků. Nejčastěji se hodnoty chloridů pohybují v rozmezí 1,0–2,5 mg/g materiálu, což je více, než bylo nalezeno při dřívějších odběrech povrchu pískovcových kamenů Karlova mostu do hloubky 20 mm. Koncentrace chloridů v jednotlivých obloucích náleží podle klasifikace WTA 4-5-97 do oblasti středního až vysokého zasolení.

Koncentrace **síranů** se pohybuje ve velmi širokém rozmezí od 0,92 mg/g pískovce (oblouk III) do 130 mg/g pískovce (oblouk X). Vysoké hodnoty 60 až 130 mg/g pískovce se objevují zvláště ve středu X. oblouku, ale i ve vrcholech ostatních oblouků. Proti hodnotám nalezeným v minulých letech, kde maxima síranů dosahovala 76,6 mg/g pískovce, jsou nynější maximální hodnoty ještě vyšší. Podle klasifikace WTA náleží koncentrace síranů do oblasti vysokého zasolení. Proto také v místech vysoké koncentrace síranů lze pozorovat silnou exfoliaci povrchu pískovce.



Tab. 4. Vývoj salinity středu a paty VI. oblouku Karlova mostu v letech 2000 až 2003

Lokalita oblouku	Rok	Úroveň pH	Koncentrace iontů solí a močoviny [mg/g pískovce]					
			Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub>	močovina
pata	2000	7,0	0,55	12,84	11,00	NT	0,000	0,22
střed	2000	7,0	0,94	5,94	15,85	NT	0,021	0,44
pata	2003	5,0	2,54	44,00	44,00	0,00	0,060	0,14
střed	2003	7,0	2,42	80,00	84,00	0,12	0,160	0,56

Obsah dusičnanů je ve všech obloucích značně vysoký a překračuje téměř ve všech místech hodnotu 0,15 % (WTA 4-5-97) stanovenou pro vysoké zasolení. Koncentrace dusičnanů se pohybují v rozmezí 1,01 mg/g pískovce (oblouk III) až 85 mg/g (oblouk VI) a v porovnání s rokem 2000 zůstaly v podstatě na stejné úrovni. Aritmetický průměr se zvýšil z cca 18 na 20,4 mg/g pískovce, přičemž v roce 2003 se současně zvýšil počet hodnot nad 20 mg NO<sub>3</sub>/g pískovce.

O zvýšeném obsahu solí dusíku v tělese Karlova mostu svědčí i výsledky chemických rozborů vody protékající VI. obloukem. Při analýzách vody, která protékala odpadní trubkou, byly získány tyto hodnoty: pH 7, Cl 120, SO<sub>4</sub> 285, NO<sub>3</sub> 1100, NO<sub>2</sub> 0,14, NH<sub>3</sub> 0,73, močovina 0,3 mg/l 000 ml vody. Uvedené hodnoty nejlépe charakterizují značnou intenzitu chemických a biologických procesů, které v mostu probíhají.

Obsah dusitanů je nízký a pohybuje se v rozmezí 0,002 (oblouk III) až 0,067 mg/g (oblouk VI). Dusitany jsou stále pouze v nízkých teplotách a v kyselém pH, a proto nelze očekávat v jednotlivých lokalitách jejich vyšší koncentrace.

Obsah amoniaku a močoviny zůstává stále nízký. Hraniční hodnoty amoniaku činily 0,04 (oblouk X) až 1,94 mg/g pískovce (oblouk VI), avšak proti roku 2000 stoupla koncentrace amoniaku z průměrné hodnoty 0,020 na 0,049 mg/g pískovce. Hraniční hodnoty močoviny činí 0,08 (lokalita III C4) až 1,74 mg/g pískovce (oblouk VI). Rovněž koncentrace močoviny má slabě stoupající tendenci. Maximum koncentrace močoviny na V., VI. a IX. oblouku v roce 2000 činilo 0,44 mg/g pískovce, nyní je druhé nejvyšší maximum 1,30 mg/g pískovce, což znamená v některých místech Karlova mostu vzestup o řád.

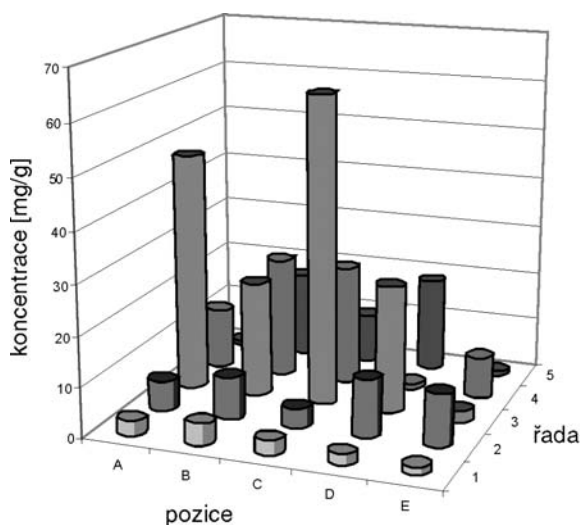
**Mikrobní osídlení analyzovaných oblouků Karlova mostu** se jako celek proti roku 2000 rovněž výrazně zvýšilo. Celkové počty bakterií nyní dosahují hodnot 16 až 20 000 zárodků v 1 g pískovce, přičemž většina maxim se nachází u paty pilířů. Zcela výjimečné hodnoty byly zjištěny v počtech sírných bakterií. Zatímco v roce 1994 byla jejich koncentrace nepatrná (1–5 buněk/g pískovce), na III. oblouku byl nyní nalezen souvislý biofilm sírných bakterií, který dosahoval ve středové části oblouku hodnot 5·10<sup>5</sup> buněk v 1 g pískovce. Výskyt sírných bakterií dobře koreloval s koncentrací síranů v této lokalitě. Výskyt síranů byl patrný ve všech sledovaných mostních klenbách, avšak celkový počet sírných bakterií byl relativně nižší.

Jako další významný druhotný metabolit je nutné zmínit dusičnan draselný. Metabolit se vyskytoval na všech sledovaných obloucích a, jak vyplynulo z modelových experimentů, degradoval povrchovou strukturu pískovcového obložení spolu s oslabením jeho pojivové složky.

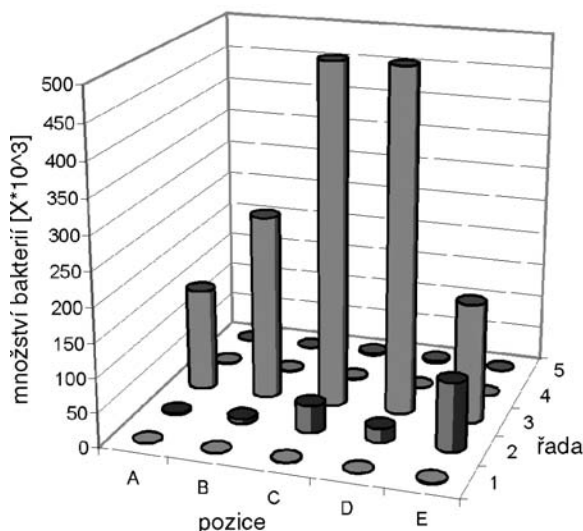
Velmi pozoruhodný je souvislý a zcela vyrovnaný pokryv povrchu oblouků Karlova mostu denitrifikačními bakteriemi. Tyto organizmy tvoří průvodce nitrifikačních i sírných bakterií a nebyly dosud v tak velkém rozsahu na Karlově mostě zachyceny. Jejich přítomnost indikuje stálou a vysokou hladinu solí dusíku na povrchu oblouků mostu.

Všechny studované povrchové vzorky stavebních kamenů (pískovců, lit. [1], [2]) z konstrukce Karlova mostu se svým složením od přírodní proveniencie liší. I přesto, že v přírodě neobsahují Ca-tmely, po dlouhodobé expozici v konstrukci Karlova mostu mají všechny

**pískovce karbonát-sulfátový tmel.** Od povrchu směrem do nitra pískovce se objevují nitrokalit, halit, pickeringit, alunogen, jarosit ...+ sádrovec a v pórovém systému byly identifikovány sádrovec a kalcit. Uvedené sekundární minerály vznikají krystalizací z roztoků při odpařování. Jejich postupná krystalizace z roztoků závisí na jejich migrační schopnosti. Při zvyšující se koncentraci solí postupně vyplňují prostor pórů nebo puklin a vyvíjejí krystalizační tlaky na okolní stěny. Řada z nich migruje až na líc kamene a krystalizuje na jeho povrchu (eflorescenty). Impulsem pro následnou rupturní degradaci je úplné vyplnění pórového systému krystaly za současného neustávajícího přínosu dalších solných roztoků. Poté začne krystalizace solí probíhat v intergranulárách nebo v zrnech, mimo vyplněné



Obr. 15. Koncentrace síranů na líci klenbového oblouku č. III



Obr. 16. Intenzita osídlení oblouku č. III sírnými bakteriemi

póry. Velikost krystalizačních tlaků závisí m. j. na stupni přesycení roztoků a teplotě v průběhu krystalizace. Mohou dosahovat hodnot 2 až 50 MPa [9] a často vedou až k úplnému rozpadu porézního materiálu.

Druhým procesem, který se rovněž může uplatnit při degradaci takto exponovaných stavebních materiálů, je prostupující zóna podsaturovaných solných roztoků. Ta vede k rozpouštění solí, k jejich další migraci a krystalizaci na jiném místě. Dochází ke vzniku sekundárních pórů a mikrotrhlin, které představují oslabené zóny v kameni. Tyto procesy se mohou mnohonásobně opakovat. Pokud vazebné síly jsou menší než síla gravitační, dochází k postupnému odlupování a opadávání materiálu.

Při porovnání výsledků 1994–2003 je patrná změna v minerálním složení **eflorescentů**, která souvisí jednak s vývojem klimatu v centru Prahy a s klimatickými podmínkami v době odběru vzorků. Bylo zjištěno, že s postupem času v rámci eflorescentů relativně narůstá podíl nitrátů a klesá podíl síranů. Pravděpodobně v závislosti na klimatických podmínkách zároveň kolísá podíl bezvodých forem solí a jejich hydrátů.

Výsledky porovnávacích měření a zkoušek prokázaly také značnou heterogenitu **fyzikálně mechanických vlastností pískovců** použitých jako stavební materiál Karlova mostu. Opět se potvrdila změna vlastností pískovce při změně vlhkostního stavu (viz *tab. 5 a tab. 6*).

### Shrnutí

**Proti roku 1994** se na povrchu klenbových oblouků č. III, IV, VI, X, **výrazně zvýšily koncentrace  $SO_4$  a  $NO_3$** . Koncentrace síranů dosáhla, proti minulým letům, vysokých hodnot zvláště ve středu X. oblouku, kde byla také pozorována silná exfoliace povrchu pískovce. O zvýšeném obsahu solí dusíku v tělese Karlova mostu svědčí výsledky chemických rozborů vody, která protékala odpadní trubkou na VI. oblouku. Protékající voda obsahovala v 1 litru až 1 100 mg

*Tab. 5. Dynamický modul pružnosti pískovců v různých vlhkostních stavech*

Těleso	Lokalita	Dynamický modul pružnosti $E_u$ [MPa]		
		vlhký po odběru	vlhký v laboratoři	vysušený při 70 °C
B	Božanov	11 300	12 800	14 100
N	Nučice	34 500	31 100	29 000
V	Vyšehořovice	7 700	7 400	6 900
KZ	K. Žehrovice	19 100	17 300	18 000

Lokalita	Ve stavu vysušeném			Ve stavu nasyceném			Ukazatel změknutí zkušebních těles (KZ) $R_{c,n}/R_c$
	objemová hmotnost $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	pevnost v tlaku $R_c$ [MPa]		objemová hmotnost $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	pevnost v tlaku $R_{c,n}$ [MPa]		
		jednotlivá	průměrná		jednotlivá	průměrná	
Božanov	2 100	47,4					
Božanov	2 110	40,8	<b>44,1</b>	2 199	33,9	<b>33,9</b>	<b>0,77</b>
Nučice	2 238	58,2		2 361	52,8		
Nučice	2 287	70,3	<b>60,3</b>	2 339	31,9	<b>45,1</b>	<b>0,75</b>
Nučice	2 212	52,4		2 370	50,5		
Vyšehořovice	1 861	26,3	<b>26,3</b>	2 109	27,6	<b>27,6</b>	<b>1,05</b>
K. Žehrovice	2 182	58		2 265	41,6		
K. Žehrovice	2 186	61,2	<b>58,5</b>	2 277	51,9	<b>45,6</b>	<b>0,78</b>
K. Žehrovice	2 162	56,4		2 269	43,2		

$NO_3$ . Uvedená hodnota je charakteristická pro vysokou intenzitu chemických a biologických procesů probíhajících uvnitř Karlova mostu.

**Mikrobní osídlení** analyzovaných oblouků Karlova mostu se jako celek proti roku 2000 rovněž **výrazně zvýšilo**. Celkové počty bakterií dosahovaly hodnot 16 až 20 000 zárodků v 1 g pískovce, přičemž většina maxim se nacházela u paty pilířů. Výskyt sírných bakterií dobře koreloval s koncentrací síranů v této lokalitě.

Z modelových experimentů se vzorky hořických a božanovských pískovců vyplynulo, že k vážnému narušení povrchu pískovcového kamene (exfoliaci) většinou dochází, jestliže v závislosti na druhu a struktuře kamene je u  $SO_4$  překročena hranice 2 %, a koncentrace  $NO_3$  se pohybuje nad hodnotou 0,5 až 1,0 %.

Autoři vyslovují poděkování za poskytnutí řady cenných informací Ing. J. Zemánkovi (TSK).

**Příspěvek byl vypracován za podpory grantového projektu č. 103/02/0990 GA ČR „Výzkum vlivu nesilových účinků a agresivního prostředí na stárnutí historických staveb se zvláštním zaměřením na Karlův most v Praze“.**

### Literatura

- [1] Witzany, J. a kol.: Chemická a biochemická degradace Karlova mostu, analýza odolnosti a bezpečnosti kamenné mostní konstrukce při povodni, průzkum základového zdiva a základů mostních pilířů, *Stavební obzor*, **12**, 2003, č. 6, s. 161–180.
- [2] Witzany, J. a kol.: Karlův most – hodnocení stavebně technického stavu. *Stavební obzor* **11**, 2002, č. 8, s. 225–249.
- [3] Witzany, J.: Výzkum vlivu nesilových účinků a agresivního prostředí na stárnutí historických staveb se zvláštním zaměřením na Karlův most v Praze. GA ČR 103/02/0990, 2001–2004.
- [4] Záchraná potápěčská služba ČR – Podvodní průzkum dna a stavu podpěr po povodni v srpnu roku 2002. Praha, září 2002. Aktualizovaný potápěčský průzkum 2003/2004 (Ing. J. Zemánek).
- [5] Záruba, J. – Bouška, P. a kol.: Průběžná zpráva o sledování deformací konstrukcí Karlova mostu a měření mechanicko-fyzikálních vlastností kamene z lokalit použitých při výstavbě mostu. Dílčí část GA ČR 103/02/0990. KÚ ČVUT, říjen 2003.
- [6] Cikrle, P.: Zkoušky pískovců použitých jako materiál do Karlova mostu v Praze. Kámen, 2004 (v tisku).

*Tab. 6. Pevnost v tlaku pískovce ve stavu vysušeném a nasyceném stanovená na tělesech o průměru 50 mm*

- [7] Gregerová, M. – Pospíšil, P.: Výsledky mineralogicko-geochemického studia eflorescentů Karlova mostu v Praze. Uhlí, rudy a geologický průzkum, 2004 (v tisku).
- [8] Gregerová, M. – Pospíšil, P.: Příprava a realizace terénního průzkumu historických kamenných konstrukcí. Kámen, 2004 (v tisku).
- [9] Winkler, E. M.: Stone: Properties, Durability in Man's Environment – 2d ed. Vienna and New York, Springer Verlag 1975.
- [10] Nord, A. G. – Ericsson, T.: Chemical Analysis of Thin Black Layers on Building Stone, Studies in Conservation 88, 1993, pp. 25–35.
- [11] Massey, S. W.: The Effects of Ozone and NO<sub>x</sub> on the Deterioration of Calcareous Stone, BRE Information, 1999, p. 109–121.
- [12] Barcelona, Vero L. a kol.: Proposal of Method of Investigation for the Study of Presence of Bacteria in Exposed Works of Art in Stone. Proceed. of 5th Int. Symp. „The Conservat. of Stone“. Bologna, 1976, p. 237.
- [13] Dílčí výsledky dvourozměrné simulace proudění vody ve Vltavě. DHI – Hydroinform, a. s., Praha, 1997.
- [14] Witzany, J.: Stavebně technický stav a rekonstrukce Karlova mostu. Inženýrská komora, časopis ČKAIT, 1997.
- [15] Dokumentace kopaných sond v mostovce Karlova mostu – 13 s. + fotodokumentace. Stavební geologie – Geotechnika, a. s., Praha, září 2002.
- [16] Gregerová, M. – Pospíšil, P.: Petrografické a mineralogicko-geochemické zhodnocení stavebních materiálů historických kamenných konstrukcí. Kámen, 2004 (v tisku).

Witzany, J. – Čejka, T. – Wasserbauer, R. – Gregerová, M. – Pospíšil, P. – Cikrle, P.: Theoretical and Experimental Investigation of Charles Bridge

The long-term monitoring and investigation of Charles Bridge have been done both in situ and in the laboratory and, since 1994, they have focused on chemical, biochemical and mineralogical processes in the bridge. They have shown a continuing influence of inorganic, water-soluble and hygroscopic salts non-homogeneously contained in individual sections of the bridge stone structure on a serious reduction of quality parameters of the stone masonry and durability of Charles Bridge. The monitoring of deformation changes of spandrel walls and bridge vaults has proven a response and on-going deformation of the bridge stone structure due to temperature and moisture changes. Numerical analysis of angular displacement, subsidence and shift in the foundation surface prove an exceptional sensitivity of Charles Bridge to the effects of forced deformation, as well as to the extent of these effects, which were the main cause of the failure, or collapse of some of the bridge piers and vaults. These effects lead to the development of the state of stress which exceeds the strength of the stone masonry of the bridge vaults, to opening of gaps in the masonry, and development of plastic joints which precede stability loss and collapse of the bridge vaults. The underwater investigation of the bottom has proven an exceptional significance of concrete slabs, closing the space between the footings of the bridge piers and protective caisson collars at piers 3, 4, and 7 viewing protection of the foundation surface of these piers. The latest investigation has shown a failure of the protective concrete collar of the footing of pier 8. Footings of these piers together with piers 2 and 9 (without protective collars), which have original foundations at the level of the graded bottom, represent a serious threat to stability of these bridge piers and adjacent bridge vaults during floods. These serious facts were also presented in [1].

Witzany, J. – Čejka, T. – Wasserbauer, R. – Gregerová, M. – Pospíšil, P. – Cikrle, P.: Theoretische und experimentelle Untersuchung der Karlsbrücke

Die seit 1994 laufende auf die chemischen, biochemischen und mineralogischen Prozesse gerichtete langfristige Beobachtung und Untersuchung der Karlsbrücke vor Ort und im Labor hat auf den fortschreitenden Einfluss inhomogen in den einzelnen Teilen der steinernen Brückenkonstruktion enthaltener anorganischer wasserlöslicher und hygroskopischer Salze und auf eine schwerwiegende Verringerung der Qualitätsparameter des Steinmauerwerks und der Lebensdauer der Karlsbrücke hingewiesen. Die Aufzeichnung der Verformungsänderungen der Brüstungsmauern und der Brückengewölbe hat die Reaktion und fortschreitende Verformung der Brückenkonstruktion durch die Einwirkung der Veränderung der Temperatur und Feuchtigkeit nachgewiesen. Eine numerische Analyse der Verdrehung, des Absinkens und der Verschiebung in der Fundamentsohle beweist die außerordentliche Empfindlichkeit der Karlsbrücke hinsichtlich der Wirkungen der Zwangsverformung und des Ernstes dieser Wirkungen, die in der Vergangenheit die Hauptursache für Schäden bzw. das Einstürzen einiger Brückenpfeiler und -gewölbe gewesen sind. Durch diese Einwirkungen kommt es zu einem Spannungszustand, der in einigen Teilen die Festigkeit des Steinmauerwerks der Brückengewölbe überschreitet, zum Aufklaffen von Fugen im Mauerwerk und zur Bildung plastischer Gelenke, die einem Stabilitätsverlust und dem Einsturz der Brückengewölbe vorausgehen. Eine Untersuchung des Grundes durch Taucher hat die außerordentliche Bedeutung der Betonplatten erwiesen, die den Raum zwischen den Fundamenten der Brückenpfeiler und den schützenden Senkkastenkränzen an den Pfeilern Nr. 3, 4 und 7 vom Gesichtspunkt des Schutzes der Fundamentsohle dieser Pfeiler erwiesen. Die letzte Untersuchung hat eine Beschädigung des Betonkranzes des Fundaments des Pfeilers Nr. 8 erwiesen. Die Fundamente dieser Pfeiler stellen zusammen mit den Pfeilern Nr. 2 und 9 (ohne Schutzkränze), die als ursprüngliche auf der begrabigten Flussbettsohle gegründet sind, eine schwerwiegende Gefährdung der Stabilität dieser Brückenpfeiler und der anschließenden Brückengewölbe bei einem Hochwasser dar (Auf diese ernsthafte Tatsache wurde bereits in [1] hingewiesen.).

# Vliv obvodových výztuh na působení ocelové válcové skořepiny

Ing. Daniel LEMÁK, PhD.  
STATIKA Olomouc, s. r. o.

prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.  
ČVUT – Fakulta stavební, Praha

Skořepinové konstrukce se stavějí z betonu, oceli a v současnosti i z mnoha dalších materiálů. Pro ocel je typické použití pro komíny, nádrže, sila, potrubí apod. Na rozdíl od betonových skořepin se ocelové často ztužují výztuhami. Publikovaná práce hledá závislost mezi vyztužením válcových skořepin obvodovými výztuhami a poloohybovým chováním skořepin zatížených větrem. Výsledkem práce jsou vztahy určené pro návrh obvodových výztuh eliminujících poloohybové působení skořepin tak, že je možné dané konstrukce analyzovat pomocí prutových numerických modelů bez výrazných odchylek od skutečnosti.

## Úvod

Skořepinové konstrukce se liší tvarem (válcové, kulovité, paraboloidy atd.), vyztužením stěn (podélné, příčné, ortogonální výztuhy atd.), typem působícího zatížení, použitým materiálem (ocel, beton) atd. Tato velká variabilita spolu s neobvyklostí nebo menší četností výskytu skořepin v běžné praxi je spojena s množstvím problémů při návrhu, které nezvládnuty vedly u řady konstrukcí k poruchám. Zde se soustředíme pouze na ocelovou válcovou skořepinou zatíženou větrem.

U ocelových válcových skořepin může po vzniku velkých nepružných deformací dojít k poruchám v důsledku vyboulení nebo vlivem plastického kolapsu. Nedochozí zde tedy k obdobnému porušení jako například u deskových prvků, kde převažuje namáhání ohybem a jejichž chování je proto možné snadněji předvídat.

Je všeobecně známo, že tenké skořepinové konstrukce přenášejí zatížení zejména prostřednictvím membránových (tahových a tlakových) sil působících ve stěně skořepiny. Rovněž je známo, že při symetrickém zatížení a podepření jsou skořepiny konstrukcemi velmi výkonnými. Přenášení nesouměrných a lokálních zatížení naproti tomu není vítané. Pro souměrné zatížení, jednoduchou geometrii konstrukce a jednoduché okrajové podmínky (např. válcové skořepiny s osově symetrickým zatížením uložené na jednom konci po obvodu) je analýza skořepiny zjednodušenými metodami snadná a přiměřeně výstižná. Jakmile však jeden ze zjednodušujících faktorů chybí, je analýza napjatosti skořepinové konstrukce „ručními“ výpočetními metodami velmi komplikovaná a ve výsledku nejistá.

V současné stavební praxi patří mezi skořepinové konstrukce hlavně komíny, potrubí, zásobníky a nádrže. Z předchozího vyplývá, že jejich analýzu je možné provést zjednodušenými metodami jen v případě, že jsou splněny stanovené podmínky.

Jinou možností analýzy skořepinových konstrukcí je vytvoření podrobného modelu konstrukce, který se analyzu-

je s různou přesností a za různých předpokladů. Její náročnost lze stupňovat od nejjednodušších výpočtů spočívajících v lineární analýze konstrukce, přes stabilitní výpočty dokonalé neboli ideální (bez imperfekcí) konstrukce, až po geometricky, popř. fyzikálně nelineární výpočty na modelu konstrukce s imperfekcemi. Všechny tyto metody jsou obsaženy v evropské předběžné normě pro skořepiny [8]. Je možné provádět i analýzu vlastních tvarů kmitání konstrukce, popř. analýzu na obecné dynamické zatížení konstrukce.

Většina uvedených typů analýzy numerických modelů je v současné stavební praxi dostupná. Avšak v době návrhu konstrukce, tj. v době určování jejích základních rozměrů a předkládání různých variant, jsou podrobné analýzy vždy problematické, zejména z časových i finančních důvodů. Proto se autoři článku zaměřili na zjednodušení návrhu válcových skořepin namáhaných větrem, tedy jednoznačně daného tvaru skořepiny se specifickým zatížením poměrně hojně se vyskytujícím v inženýrské praxi. Principem prezentované metody je navrhnout vyztužení válcové skořepiny obvodovými výztuhami takovým způsobem, aby ji bylo možno uvažovat při výpočtu jako prutový prvek, tedy se zanedbaným vlivem zploštění průřezu (tj. se zanedbáním vlivu poloohybové teorie). Jde zejména o stanovení mezní vzdálenosti výztuh skořepiny a stanovení jejich potřebné (minimální) tuhosti.

Bude-li tedy předběžný návrh konstrukce komína odpovídat vymezeným podmínkám, bude komín možné bezpečně navrhnout jednoduchým prutovým výpočtem. To platí pochopitelně i pro podobné konstrukce, jako jsou některé typy věží, stožárů nebo potrubí tvořených válcovými skořepinami, u nichž rozhoduje zatížení větrem.

## Současné znalosti

Limitní poměr mezi poloměrem  $r$  a tloušťkou  $t$  válcové skořepiny, kdy již není nutné skořepinu vyztužovat, lze převzít z klasifikace podle norem pro navrhování ocelových konstrukcí, např. [7]. Podle údajů této normy je kruhovou trubku nutné zařadit mezi průřezy čtvrté třídy, tedy mezi průřezy, jejichž ohybová nebo tlaková únosnost je v důsledku lokálního boulení stěn nebo pásnic menší než jejich plná pružná únosnost, pokud  $r/t > 45$ . Pod touto hranicí je tedy možné uvažovat válcové duté profily jako pruty.

Pro výztuhu ztužující volný konec skořepiny existuje v normách API-Standard, BS 2654 a DIN 4119 požadavek na minimální průřezový modul výztuhu

$$W = 0,058 \cdot D^2 \cdot L, \quad (1)$$

kde  $D$  je průměr skořepiny a  $L$  vzdálenost výztuh. Poněkud mírnější požadavek obsahuje [1]. Moment setrvačnosti výztuhu, která brání boulení skořepiny, je dán vztahem

$$I = 0,048 \cdot t^3 \cdot L, \quad (2)$$

kde  $t$  je tloušťka stěny skořepiny a  $L$  vzdálenost výztuh.

Moment setrvačnosti pro mezilehlé výztuhy bránící boulení skořepiny je dán vztahem

$$I = 0,077 \cdot t^3 \cdot L \cdot N^{-0,45}, \quad (3)$$

kde  $N$  je počet výztuh po délce skořepiny,  $t$  tloušťka stěny skořepiny,  $L$  vzdálenost výztuh.

Cílem práce bylo tyto hodnoty prověřit a dát je do souladu se vzdálenostmi výztuh, což je jistě jeden z podstatných parametrů.

### Parametrické studie

První část práce [5] se zabývala provedením parametrické studie využitím numerických modelů řešených metodou konečných prvků (MKP). Výstupem byly podklady pro stanovení limitní vzdálenosti výztuh. V numerických modelech byla využita jak lineární analýza konstrukce, tak geometricky nelineární analýza konstrukce, a rovněž byly provedeny výpočty využívající klasickou lineární analýzu boulení. Druhá část práce obsahuje parametrické studie (provedené opět pomocí numerických modelů řešených MKP) pro stanovení optimální tuhosti výztuh při použití limitní vzdálenosti obvodových výztuh válcové skořepiny zjištěné v první části. Pro nalezení konečné závislosti mezi průměrem válcové skořepiny, její tloušťkou, limitní vzdáleností výztuh a jejich optimální tuhostí (při uvažování zatížení větrem) byly vypracovány dvě studie vyhodnocené metodou regresní analýzy.

Všechny výpočty, jejichž výsledky jsou v této práci využity, byly provedeny programem IDA NEXIS 32 dodávaným firmou SCIA s řešiči firmy FEM consulting [2], který pracuje na principu MKP. Program je určen pro statickou (lineární analýza konstrukce, geometricky nelineární analýza konstrukce atd.) i dynamickou a stabilitní analýzu konstrukcí.

Numerické skořepinové modely konstrukce byly vytvořeny z obecně nekomplanárních čtyřúhelníkových deskostěnových prvků se čtyřmi uzly ve vrcholech, které mají parametry deformace  $u$ ,  $v$ ,  $w$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ ,  $\theta_z$ . Popsané prvky používají Mindlinovu teorii ohybu. Velikost jednotlivých prvků byla mezi 10 až 75 mm, podle průměru a délky modelu. V úvodu první parametrické studie bylo zjištěno, že je nezbytné zajistit minimálně sto prvků po obvodu nebo po délce modelu (délkou modelu je myšlena délka jednoho segmentu konstrukce vymezeného obvodovými výztuhami). Uvedené členění zajistí, že zvolená síť neovlivní přesnost parametrické studie.

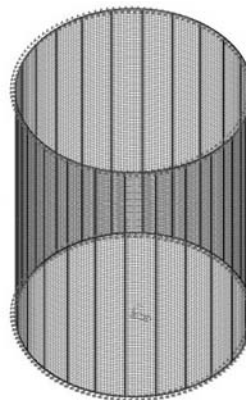
Zatížení větrem bylo uvažováno podle [6] pro referenční rychlost větru  $v_{ref} = 24 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  a kategorii terénu II. Skořepina byla uvažována z oceli S235. Výpočty byly provedeny za předpokladu dokonalé pružnosti materiálu.

### Limitní vzdálenost výztuh

Model skořepiny zavedený do parametrické studie je zřejmý z obr. 1. Pro studii byly vytvořeny čtyři základní skupiny výpočtů rozdělených podle průměru skořepiny – 400 mm, 800 mm, 1 600 mm a 2 400 mm. Proměnnými parametry byla délka a tloušťka skořepiny. Numerické modely byly opatřeny okrajovými podmínkami bránícími posunu spodní obvodové linie ve všech směrech a dále pootočení okolo obou horizontálních os. U horní obvodové linie skořepiny bylo bráněno všem posunům v horizontálním směru a dále pootočení okolo obou horizontálních os.

Zvolené okrajové podmínky simulovaly absolutně tuhý obvodovou výztuhu válcové skořepiny. Celý numerický

model tedy představuje segment skořepiny mezi dvěma absolutně tuhými výztuhami. Z výsledků této části studie je tedy možné usuzovat na poloohybovou složku chování válcové skořepiny v závislosti na vzdálenosti výztuh a tloušťce skořepiny.



Obr. 1. Tvar numerického modelu skořepiny použitého pro stanovení limitní vzdálenosti výztuh

Souběžně se skořepinovými modely byly vytvořeny modely prutové, tedy numerické modely tvořené nosníkovými prvky Mindlinovskými. Byly použity stejné okrajové podmínky popsané u skořepinových modelů, avšak úměrné zvolené redukci problému. Zatížení prutového modelu je výsledkem integrace zatížení po obvodu skořepiny. Prutové modely válcové skořepiny byly vytvořeny pro odfiltrování nosníkového chování skořepiny od poloohybového chování.

Rídicím parametrem chování skořepiny pro stanovení maximální vzdálenosti výztuh byla zvolena největší poloohybová deformace  $U_y$ , získaná odečtením posunutí stanoveného prutovým modelem ve směru osy  $Y$ , tedy ve směru působení větru, od příslušného posunutí  $U_y$  z geometricky nelineární analýzy skořepiny. Pro stanovení optimální hladiny poloohybové deformace byla zohledněna doporučení v [9] a [3], která udávají přibližnou vzdálenost výztuh v násobcích průměrů skořepiny. Na základě zkušeností z praxe a s ohledem na výše uvedené závislosti byla zvolena maximální hladina poloohybové deformace  $D/6\ 000$ , přičemž  $D$  je průměr skořepiny. Pro porovnání výsledků navrhovaného postupu byly zkoumány a vyhodnocovány i limitní vzdálenosti výztuh pro hodnotu  $D/10\ 000$ . Pro zjištění limitní vzdálenosti výztuh bylo prověřeno maximální obvodové napětí. Ukazuje se, že nikde nepřesahuje 3 MPa.

Dalším krokem bylo stanovení závislosti největší vzdálenosti výztuh na tloušťce skořepiny. Metodou nejmenších čtverců byla jako optimálně vystihující vyhodnocena lineární regrese. Závislost mezi vzdáleností výztuh a tloušťkou skořepiny pro jednotlivé průměry skořepiny, a tedy i tvar jednotlivých regresních funkcí optimálně aproximujících danou problematiku, je zřejmá z grafu na obr. 2.

Závislost parametrů lineární regrese uvedených v obr. 2 na průměru skořepiny je zřejmá z grafů uvedených v obr. 3, přičemž označení parametrů je zřejmé ze vztahu

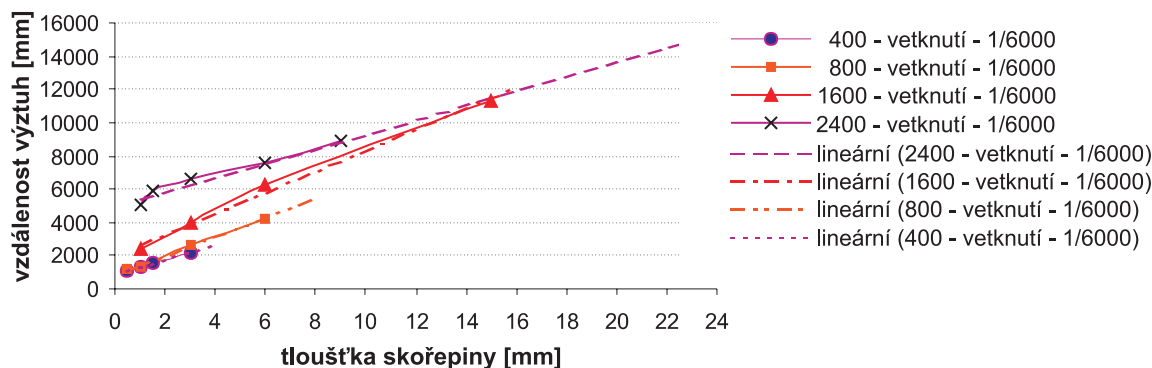
$$L = at + b, \quad (4)$$

kde  $a$ ,  $b$  jsou parametry lineární regrese,

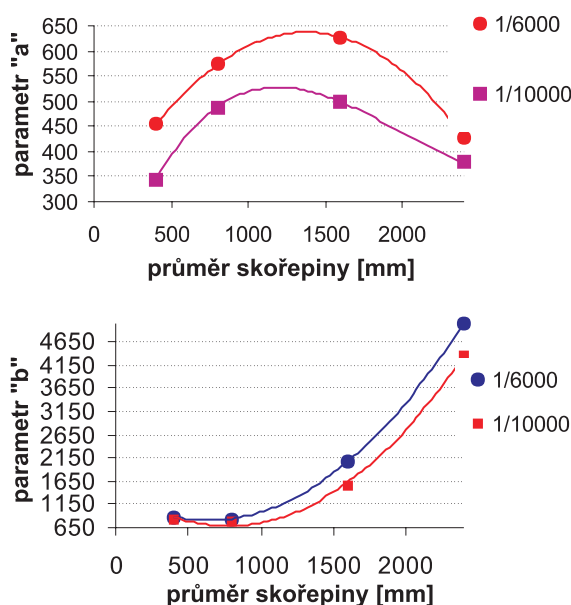
$t$  – tloušťka stěny skořepiny,

$L$  – vzdálenost výztuh.

Dosazením parametrů  $a$  a  $b$  z obr. 3 do rovnice (4) pro maximální vzdálenost výztuh v závislosti na průměru skořepiny a její tloušťce pro omezení poloohybové deformace na



Obr. 2. Závislost maximální vzdálenosti výztuh na tloušťce skořepiny pro skořepinu průměru 400 mm, 800 mm, 1 600 mm a 2 400 mm, pro variantu eliminace poloohybové deformace skořepiny na  $D/6\ 000$



Obr. 3. Závislost parametrů lineární regrese na průměru skořepiny pro variantu eliminace poloohybové deformace skořepiny na  $D/6\ 000$  a  $D/10\ 000$

$D/6\ 000$  je možné získat analytický vztah

$$L = (-3,57 \cdot 10^{-9} D^3 - 1,82 \cdot 10^{-4} D^2 + 5,21 \cdot 10^{-1} D + 2,74 \cdot 10^2)t + 1,4 \cdot 10^{-3} D^2 - 2,1326 D + 1\ 505 \quad (5)$$

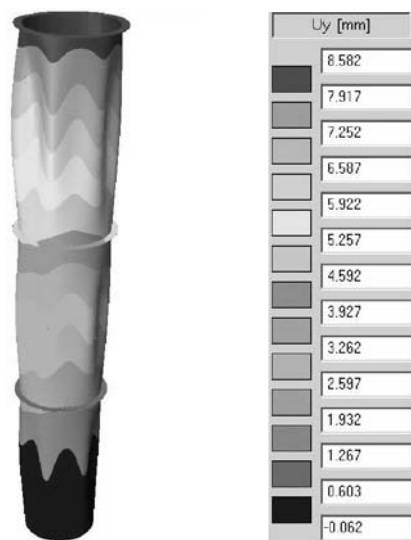
a pro omezení poloohybové deformace na  $D/10\ 000$  vztah

$$L = (9,29 \cdot 10^{-8} D^3 - 5,48 \cdot 10^{-4} D^2 + 9,12 \cdot 10^{-1} D + 6,23 \cdot 10^1)t + 1,4 \cdot 10^{-3} D^2 - 2,1326 D + 1\ 505 \quad (6)$$

Do vzorců (5) a (6) je nutné průměr  $D$  a tloušťku  $t$  skořepiny dosadit v milimetrech a výsledná vzdálenost výztuh pak vyjde také v milimetrech. Uvedené vzorce analyticky vyjadřují největší vzdálenost výztuh (v závislosti na průměru a tloušťce skořepiny), při níž lze ještě pro řešení použít prutový model.

### Optimální tuhost obvodových výztuh

Model skořepiny pro tuto etapu je zřejmý z obr. 4. Pro parametrickou studii byly vytvořeny, stejně jako v předchozí části práce, čtyři skupiny výpočtů rozdělených podle průměru skořepiny 400 mm, 800 mm, 1 600 mm a 2 400 mm. Proměnným parametrem byla její tloušťka a na ní závislá vzdálenost výztuh (5), zaokrouhlená na celé decimetry



Obr. 4. Deformovaný model skořepiny průměru 2 400 mm, tloušťky 1,5 mm, s obvodovými výztuhami modelovanými skořepinovými prvky, s izopásmi deformací ve směru globální osy  $Y$

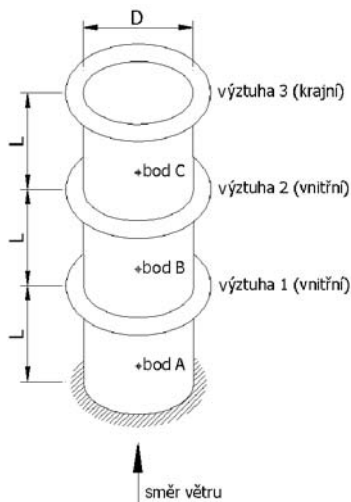
směrem nahoru. Dalším parametrem byla tuhost obvodové výztuhy vztažená ke střednicové ploše skořepiny.

Na numerickém skořepinovém modelu konstrukce, tedy na modelu tvořeném dvojrozměrnými prostorovými prvky, byly použity okrajové podmínky bránící posunu spodní obvodové linie ve všech směrech. Dále bylo u této linie bráněno pootočení okolo obou horizontálních os. U horní obvodové linie nebylo bráněno ani posunutím, ani pootočením.

Obvodové výztuhy byly modelovány pomocí prutového prvku centricky připojeného ke skořepinovému modelu. Vliv jiných způsobů modelování obvodových výztuh na chování modelu byl rovněž zkoumán a je popsán dále.

Zvolené okrajové podmínky numerického modelu představují z globálního hlediska konzolu, kterou v praxi představuje např. konstrukce komína. Celý model této části parametrické studie tedy představuje tři segmenty válcové skořepiny vzájemně oddělené obvodovými výztuhami. Jde o dvě výztuhy vnitřní a jednu výztuhu krajní umístěnou na volném konci konstrukce. Schéma numerického modelu s označením výztuh a sledovaných míst je zřejmé z obr. 5. V této studii bude možné sledovat poloohybovou složku chování válcové skořepiny.

Souběžně se skořepinovými byly vytvořeny i modely prutové. Stejně jako v předchozí části práce byly použity pro odfiltrování nosníkového chování skořepiny od poloohy-



Obr. 5. Schéma numerického modelu použitého pro stanovení optimální tuhosti obvodových výztuh skořepiny s označením výztuh a sledovaných míst

bového chování. Dalo se čekat a výpočty to potvrdily, že se vzrůstající tuhostí vzrůstají i vnitřní síly vnitřních výztuh. Prokázalo se však, že tato závislost neplatí u krajních výztuh, u nichž je tomu přesně naopak. Je tedy zřejmé, že jinou funkci v konstrukci komína má krajní výztuha a jinou funkci mají výztuhy vnitřní. Proto byly dále vyhodnocovány samostatně vnitřní a krajní výztuhy. Porovnání průběhu poloohybové deformace po délce modelu pro jednotlivé modely konstrukce a různou tuhost výztuh je na obr. 6.

Z porovnání různých způsobů modelování skořepiny vyplývají závěry uvedené dále. Excentricky připojená pásovina profilu 200/20 má stejný moment setrvačnosti jako centricky připojená pásovina 300/24. Excentricky připojená pásovina byla modelována excentricky připojeným prutovým prvkem a v dalších modifikacích numerického modelu příslušně připojenými skořepinovými prvky. Na numerickém modelu s obvodovými výztuhami ze skořepinových prvků byla provedena lineární analýza konstrukce i geometricky nelineární analýza konstrukce. Pokud porovnáme chování jednotlivých modelů při různých analýzách konstrukce, dostaneme následující závěry. Pokud se vezme za optimální model konstrukce:

- s excentricky připojenými obvodovými výztuhami vytvořenými ze skořepinových prvků, na kterém byla

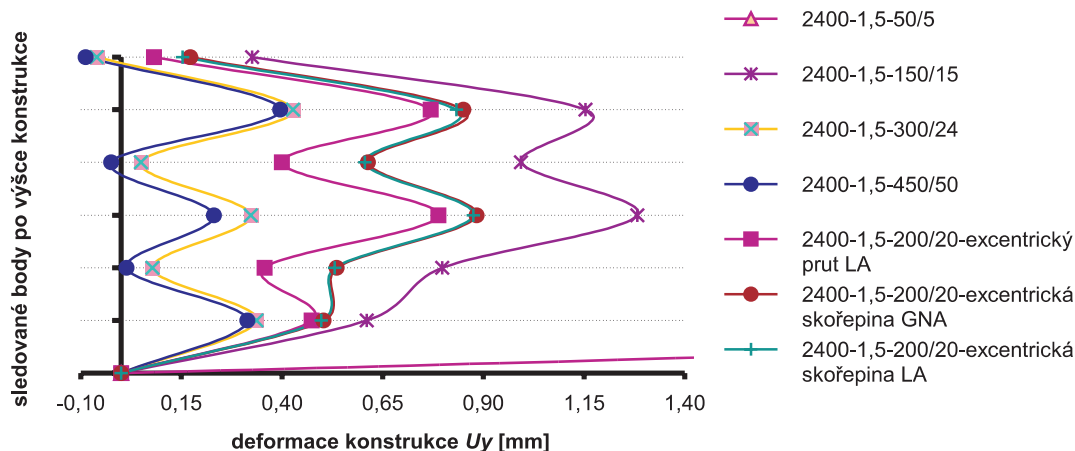
provedena geometricky nelineární analýza, potom stejný model, na kterém byla provedena lineární analýza konstrukce, vykazuje deformace průměrně o 0,3 % menší;

- s excentricky připojenými obvodovými výztuhami vytvořenými z prutových prvků, na kterém byla provedena lineární analýza, vykazuje deformace průměrně o 3,3 % menší;
- s centricky připojenými obvodovými výztuhami vytvořenými z prutových prvků, na kterém byla provedena lineární analýza, vykazuje deformace průměrně o 11,8 % menší.

Vliv zjednodušování modelu na přesnost analýzy je z uvedených hodnot zřejmý. Pro studii byla přesnost zvoleného modelu dostatečná.

Rídicím parametrem chování skořepiny pro stanovení optimální tuhosti obvodových výztuh byla opět zvolena největší poloohybová deformace  $U_y$  v místě výztuh, získaná odečtením posunutí stanoveného prutovým modelem ve směru osy  $Y$ , tedy ve směru působení větru, od příslušného posunutí  $U_y$  z lineární analýzy skořepiny. Zvlášť byla vyhodnocována poloohybová deformace krajní výztuhy a zvlášť vnitřních výztuh, přičemž pro vyhodnocení vnitřních výztuh byla vždy brána větší deformace z obou výztuh. Při porovnání závislosti poloohybové deformace výztuh pro různou tloušťku skořepiny daného průměru na momentech setrvačnosti výztuh bylo zjištěno, že při dodržení limitní vzdálenosti výztuh podle (5) není zásadní rozdíl mezi chováním výztuh. Proto v každé skupině výpočtu byla pro daný typ výztuhy (krajní, vnitřní) určena závislost mezi největší poloohybovou deformací vybranou ze všech tloušťek skořepiny analyzovaných v dané skupině a mezi momentem setrvačnosti výztuh. Z této závislosti pak byla stanovena optimální tuhost výztuhy. Pro nastavení přípustné hladiny poloohybové deformace výztuh byla použita stejná hodnota jako v předchozí části práce zabývající se stanovením limitní vzdálenosti výztuh, tedy  $D/6\ 000$ .

Dalším krokem studie bylo hledání závislosti optimálního momentu setrvačnosti výztuh na průměru skořepiny a závislosti mezi vnitřními silami ve výztuze a průměrem skořepiny. Metodou nejmenších čtverců byla jako nejlépe vystihující vyhodnocena polynomická regrese druhého a třetího stupně. Závislost mezi momentem setrvačnosti výztuh na průměru skořepiny a závislost mezi vnitřními silami na prů-



Obr. 6. Průběh poloohybové deformace po délce konstrukce (návětrná strana), tj. odspodu, v bodech: A, 1, B, 2, C, 3, sledované na válcové skořepině průměru 2 400 mm, tloušťky 1,5 mm, vyztužené obvodovými výztuhami tvořenými pásovinou uvedeného profilu. Pokud není dáno jinak, byla pásovina připojena centricky vzhledem ke střednicové ploše a byla provedena lineární analýza konstrukce.

měru skořepiny, a tedy i tvar jednotlivých regresních funkcí optimálně aproximujících danou problematiku, znázorňují grafy na obr. 7 až obr. 10. Konečné analytické vztahy jsou shrnuty v dále uvedených vzorcích. Je nutné znovu zdůraznit, že jejich platnost závisí na dodržení limitní vzdálenosti výztuh podle (5).

Optimální moment setrvačnosti vnitřních výztuh

$$I = 3,03 D^2 - 3350 D + 872\,700. \quad (7)$$

Optimální moment setrvačnosti krajní výztuhy

$$I = 1,06 D^2 - 935,6 D + 178\,200. \quad (8)$$

Do vzorců (7) a (8) je nutné dosadit průměr skořepiny  $D$  v milimetrech a optimální moment setrvačnosti vyjde v  $\text{mm}^4$ .

Ve vnitřních výztuhách působí ohybový moment  $M$ , posouvající síla  $V$  a normálová síla  $N$ , jejichž největší absolutní hodnoty

$$M = -1,244 \cdot 10^{-10} D^3 + 1,171 \cdot 10^{-06} D^2 - 9,079 \cdot 10^{-04} D + 2,097 \cdot 10^{-01}, \quad (9)$$

$$V = -5,315 \cdot 10^{-10} D^3 + 2,541 \cdot 10^{-06} D^2 - 9,710 \cdot 10^{-04} D + 2,563 \cdot 10^{-01}, \quad (10)$$

$$N = -3,974 \cdot 10^{-09} D^3 + 1,562 \cdot 10^{-05} D^2 - 1,217 \cdot 10^{-02} D + 3,005. \quad (11)$$

V krajní výztuze působí vnitřní síly, jejichž největší absolutní hodnoty jsou:

$$M = 8,302 \cdot 10^{-11} D^3 - 1,194 \cdot 10^{-08} D^2 + 4,259 \cdot 10^{-04} D - 1,254 \cdot 10^{-02}, \quad (12)$$

$$V = 5,242 \cdot 10^{-11} D^3 + 9,791 \cdot 10^{-08} D^2 + 3,283 \cdot 10^{-04} D - 7,084 \cdot 10^{-02}, \quad (13)$$

$$N = 8,306 \cdot 10^{-11} D^3 + 4,020 \cdot 10^{-07} D^2 + 1,441 \cdot 10^{-04} D + 2,940 \cdot 10^{-03}. \quad (14)$$

Do vzorců (9) až (14) je nutné dosadit průměr skořepiny  $D$  v milimetrech a výsledné vnitřní síly jsou pak v kNm a kN.

Ze vzorců je zřejmé, že moment setrvačnosti výztuh a největší vnitřní síly ve výztuhách jsou závislé pouze na průměru skořepiny. Vliv její tloušťky je zahrnut pouze v definici limitní vzdálenosti výztuh.

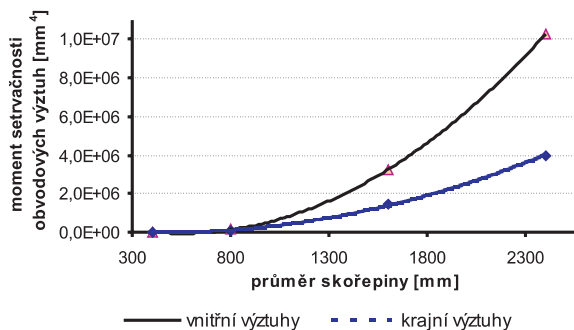
## Závěr

V článku se zkoumá vliv vzdálenosti a tuhosti obvodových výztuh na chování válcové ocelové skořepiny zatížené větrem. Cílem bylo vymezit charakteristiky vyztužení tak, aby u skořepin, které těmto charakteristikám odpovídají, bylo možné provést numerickou analýzu chování velmi zjednodušeným prutovým výpočtem, a tak usnadnit navrhování těchto konstrukcí zejména ve stadiu, kdy se zkoušejí varianty návrhu a podrobný výpočet je z časových nebo finančních důvodů neproveditelný.

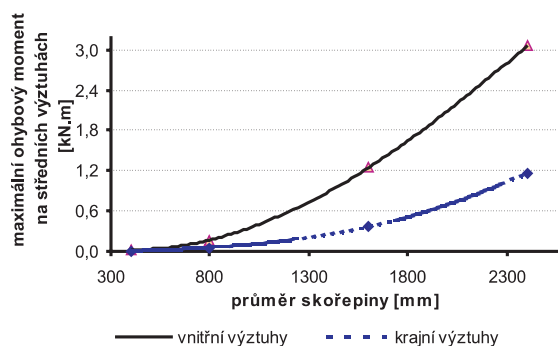
**Výzkum, na jehož základě byl článek napsán, byl podpořen výzkumným grantem č. 103/01/1009 GA ČR a výzkumným záměrem MŠMT 210000003.**

## Literatura

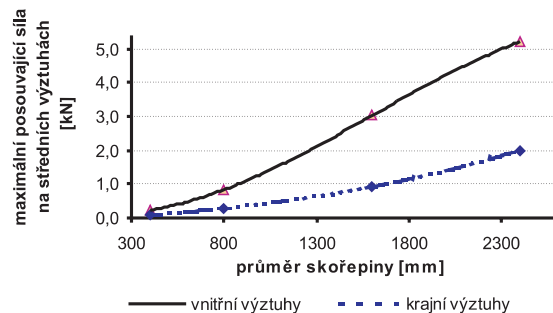
- [1] Brown, C. J. – Nielsen, J.: Silos. Fundamentals of Theory, Behavior and Design. London and New York. E & FN Spon 1998.
- [2] Kolář, V. – Němec, I. – Kanický, V.: FEM Principy a praxe metody konečných prvků. Praha, Computer Press 1997.



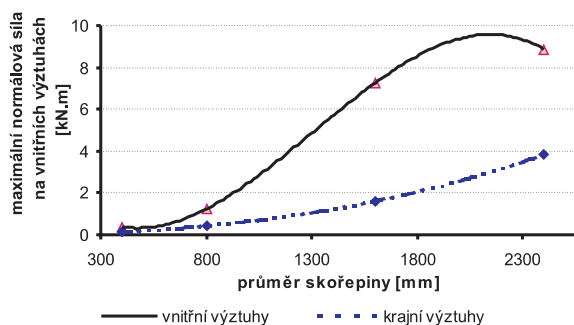
Obr. 7. Závislost momentu setrvačnosti obvodových výztuh na průměru skořepiny



Obr. 8. Závislost maximálního ohybového momentu obvodových výztuh na průměru skořepiny



Obr. 9. Závislost maximální posouvající síly obvodových výztuh na průměru skořepiny



Obr. 10. Závislost maximální normálové síly obvodových výztuh na průměru skořepiny

- [3] Křupka, V. – Schneider, P.: Konstrukce aparátů. Brno, PC-DIR 1998.
- [4] Křupka, V.: Výpočet válcových tenkostěnných kovových nádob a potrubí. Praha, SNTL 1967.
- [5] Lemák, D.: Vliv obvodových výztuh na chování válcové skořepiny. [Dizertace], ČVUT Praha, 2003.
- [6] ČSN P ENV 1991-2-4 Zásady navrhování a zatížení konstrukcí: Část 2-4: Zatížení konstrukcí – Zatížení větrem. ČSN, 1997.
- [7] ČSN P ENV 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. ČSN, 1998.



[8] ČSN P ENV 1993-1-6 Navrhování ocelových konstrukcí: Část 1-6: Obecná pravidla – Doplňující pravidla pro skořepinové

konstrukce. ČSN, 2001.  
[9] ON 73 4116 Vysoké komíny ocelové. ÚNM, 1981.

**Lemák, D. – Studnička, J.: The Effect of External Reinforcement on the Behaviour of Cylindrical Steel Shell**

Shell structures are built from concrete, steel and, nowadays, many other materials. Steel is typically used for chimneys, tanks, silos, pipes, etc. Unlike concrete shells, steel shells are often reinforced with stiffeners. This paper looks for any relationship between cylindrical shell reinforcement with external stiffeners and semi-rigid behaviour of wind-loaded shells. The outcome of this work involves relations determined for the design of external stiffeners, which eliminate the semi-rigid action of shells, while facilitating analysis of structures with strut numerical models without significant deflections from reality.

**Lemák, D. – Studnička, J.: Einfluss von Umfangsaussteifungen auf das Verhalten einer Stahlzylinderschale**

Schalenkonstruktionen werden aus Beton, Stahl und gegenwärtig auch aus vielen anderen Materialien errichtet. Für Stahl ist der Einsatz für Schornsteine, Behälter, Silos, Rohrleitungen u. ä. typisch. Im Unterschied zu Betonschalen werden Stahlschalen oft aussteift. Die vorliegende Arbeit sucht den Zusammenhang zwischen der Aussteifung von Zylinderschalen mit Umfangsversteifungen und dem halb biegeweichen Verhalten von durch Wind belasteten Schalen. Ergebnis der Arbeit sind Beziehungen für den Entwurf von Umfangsversteifungen, die das halb biegeweiche Verhalten so eliminieren, dass die betreffende Konstruktion mit Hilfe von numerischen Stabmodellen ohne erhebliche Abweichungen von der Wirklichkeit analysiert werden kann.

Ministerstvo dopravy ČR  
Ředitelství silnic a dálnic ČR  
Generální ředitelství Českých drah, a. s.  
Sekurkon, organizační a vzdělávací servis  
za účasti České silniční společnosti

pořádají

v rámci doprovodného programu 9. mezinárodního stavebního veletrhu IBF v Brně

9. mezinárodní sympozium



**22.–23. 4. 2004**  
**Brno, hotel VORONĚŽ**

#### PŘEDNÁŠKOVÉ BLOKY

- BLOK I** Problematika správy mostních objektů v České republice  
Plánování a financování mostních staveb  
Legislativa, normy, předpisy  
Poznatky a poučení z chyb a vad zjištěných při projektování a realizaci mostů
- BLOK II** Vystoupení českých a zahraničních účastníků na témata:  
Evropská unie a problematika mostních objektů  
Informace o odborných zahraničních akcích  
Příklady realizovaných významných nových i rekonstruovaných mostních konstrukcí  
Mosty a jejich životnost  
Nové technologie, materiály, výrobky pro mostní stavby  
Různé
- BLOK III** Vystoupení českých odborníků z vysokých škol, vědeckých ústavů, investorských, projektových a zhotovitelských firem na téma „Mosty v ČR“  
Věda a výzkum, projektování mostů  
Realizace novostaveb, přestaveb a oprav mostů  
Příslušenství mostů

Na sympoziu bude udělen čestný titul **Mostní dílo roku 2002** v kategoriích „Novostavba“ a „Oprava nebo přestavba“.

<http://www.mosty2000.cz>

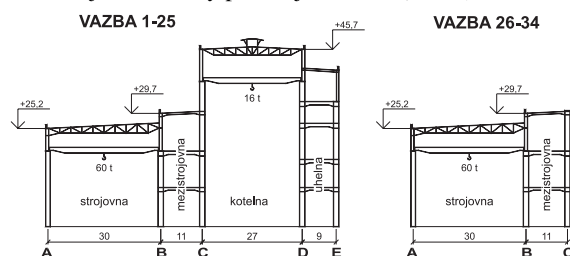
# Rekonstrukce střechy strojovny a mezistrojovny v Elektrárně Opatovice

Ing. Jaroslav VÁCHA  
EXCON, a. s., Praha

Po rekonstrukci zřícené střechy kotelny [1], [2] bylo nutné rekonstruovat i střechy strojovny a mezistrojovny.

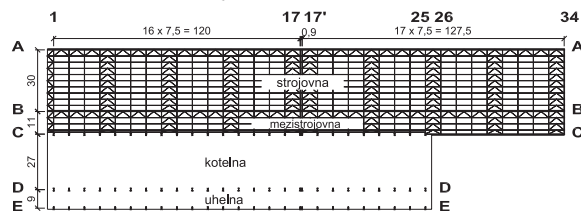
## Konstrukce strojovny a mezistrojovny

Hlavní výrobní objekt Elektrárny Opatovice (EOP) je čtyřlodi (podélný směr přibližně jih–sever), jednotlivé lodi v pořadí uhelna, kotelna (obě délky cca 190 m mezi řadami 1 až 25), mezistrojovna a strojovna (obě délky cca 252 m mezi řadami 1 až 34) jsou řešeny přímo podle požadavků technologie výroby tepla a elektrické energie. Příčná vazba celého objektu staticky působí jako celek (obr. 1).



Obr. 1. Příčný řez hlavním výrobním objektem

Konstrukci uhelny a mezistrojovny tvoří plnostěnné patrové vetknuté rámy ze svařovaných profilů I. Vazník kotelny je příhradový dvoukloubový. Vazník strojovny je rovněž příhradový, s plnostěnným sloupem v řadě A působí jako polarám. Příčné vazby jsou po 7,5 m, vloženy dilatační pole 0,9 m je mezi řadami 17–17'. Podélná stabilita objektu je zajištěna rámovým ztužením mezi sloupy ve všech řadách po celé délce dilatačního úseku. Nosná konstrukce celého objektu byla vyrobena z oceli řady 37. V kotelně je osazen mostový jeřáb s nosností 16 t, ve strojovně je mostový jeřáb s nosností 60 t. Konstrukce části objektu mezi řadami 1 až 27 pochází ze začátku šedesátých let minulého století, část mezi řadami 27 až 34 je o deset let mladší.



Obr. 2. Půdorys střechy strojovny a mezistrojovny

Střešní plášť strojovny a mezistrojovny byl ze železobetonových panelů (rozpětí cca 3 m) uložených na ocelové vaznici (válnované profily I řešené jako spojitý nosník o dvou polích). Železobetonové panely byly na části střechy žebírkové a na části dutinové, na panelech byla ještě krycí vrstva potěru různé tloušťky a objemové hmotnosti. Panely byly osazeny na horní pásnice vaznic a ve spáře mezi nimi

byly zarážky pro zmonolitnění střešní desky po zalití spár. Konstrukce byla ve střešní rovině zavětrována příčnými ztužidly po 30 m a podélným ztužidlem na celou délku dilatačního úseku. Vazníky byly vzájemně propojeny dvěma průběžnými svislými ztužidly (uprostřed rozpětí a v první příhradě). Půdorys konstrukce střechy je na obr. 2.

## Stav střešní konstrukce

Původcem havárie střechy kotelny bylo porušení dolního pásu vazníku u severní štítové stěny (pravděpodobně v řadě 24) [1]. Destrukce se potom rozšířila na celou střechu, zbyly jen sloupy. Hlavní příčinou zřícení ocelové konstrukce kotelny bylo její přetížení (střešní plášť byl těžší, než měl být podle původního stavebního projektu) a nekvalitní výroba.

V rámci zkoumání příčin havárie byl proveden přepočítání celé příčné vazby a střechy objektu. Z výsledku vyplynulo, že konstrukce střech strojovny a mezistrojovny jsou přetížené obdobně jako konstrukce kotelny před havárií. Z důkladné prohlídky včetně nedestruktivních zkoušek vybraných svarů vyplynuly následující závěry:

- některé svarové přípoje jednotlivých prvků příhradového vazníku strojovny neodpovídají dílenské dokumentaci (velikost a délka svarů);
- kvalita svarových přípojů vazníku strojovny je nevyhovující;
- přípoj vazníku ke sloupu v řadě B byl uvažován jako kloubový, skutečné provedení však odpovídalo částečnému vetknutí (při havárii došlo k porušení nevhodného přípoje a připojení vazníku po havárii působilo jako kloub);
- k vaznicím mezistrojovny byly připojeny závěsy technologických rozvodů nevhodným způsobem (na konzolách ze stojiny vaznice), čímž docházelo k dodatečnému namáhání vaznic kroucením (namáhání samotným kroucením vyčerpávalo až 50 % celkové únosnosti vaznice);
- fyzický stav střešních železobetonových panelů nezaručoval bezvadné fungování pro dobu požadovaných dalších minimálně dvaceti let.

Na základě přepočtu a analýzy skutečného stavu konstrukce bylo rozhodnuto zrekonstruovat střechu strojovny a mezistrojovny. Opravy ve strojovně byly zahájeny na jaře 2003, okamžitě po dokončení hlavních rekonstrukčních prací v objektu kotelny.

## Demontáž krytiny

Prvním krokem byla demontáž střešního pláště. Tato činnost se ukázala být technicky i finančně nesmírně náročná vzhledem k velikosti střech (strojovna cca 7 600 m<sup>2</sup>, mezistrojovna cca 2 800 m<sup>2</sup>, celkem 10 400 m<sup>2</sup>), a tím obrovskému objemu přesunovaných hmot. Střechy jsou navíc omezeně přístupné pro zdvihací mechanismy – v čele v řadě 1, v čele v řadě 34 a mezistrojovna ještě podélně v řadě C mezi sloupy 26 až 34. Zbytek podélné stěny v řadě C a celá podélná stěna v řadě A jsou pro zdvihací techniku nepřístupné. Pro demontáž panelů byly proto navrženy

speciální postupy a technické pomůcky. Zdůrazněme ještě, že celá demontáž stávajícího pláště, oprava nosné konstrukce a montáž nového pláště probíhaly za plného provozu elektrárny, a v letních měsících dokonce souběžně probíhala i generální oprava jedné z turbín (obr. 3, obr. 4).



Obr. 3. Vyměňovaný střešní plášť v polích 32–34 s nezakrytým montážním prostupem



Obr. 4. Demontovaný žebříkový panel s vrstvou betonu

### Oprava střechy strojovny

Stávající těžká krytina (cca 300 kg/m<sup>2</sup>) byla nahrazena novým střešním pláštěm z akustických trapézových plechů TR 106/250/0,75 kladených po spádu na stávající vaznice (s tepelnou izolací a hydroizolační fólií). Plechy jsou spojitě přes dvě pole (á 3 m) a mezi tabulemi plechu po spádu je posuvný styk (pro zamezení vlivu teplotních změn při pokládání). Na obou koncích střechy byly provedeny montážní prostupy 6 x 7,5 m zakryté odnímatelnými poklopy.

Ponechané příhradové vazníky jsou z dvojic profilů U (pásky, některé diagonály) nebo L (diagonály). Po odlehčení střechy a následné možnosti převládajícího sání větru dojde ke změně orientace osových sil v prutech vazníku. Proto je nutné zajistit nejslabší diagonály dodatečně vevařenými podružnými diagonálami ke zkrácení vzpěrné délky v rovině vazníku a stabilitu spodního pásu dodatečnými svislými ztužidly mezi vazníky. Svislá ztužidla mezi vazní-

ky jsou řešena tak, aby propojovala vždy pouze dvojice vazníků. Stávající připojení ztužidla do vaznice je zrekonstruováno tak, aby nepřeneslo svislou sílu (svislé ztužidlo vzhledem k původnímu pevnému připojení k vaznici tvořilo svislou podporu vaznice uprostřed rozpětí, a tím bylo přemáháno svislou reakcí těžkého pláště). Svislý ztužidlový systém mezi vazníky je takto řešen proto, aby se zamezilo přenosu změny deformace jednotlivých vazníků na vazníky sousední. Při rekonstrukci pláště s ohledem na velké odlehčení jednotlivých polí vaznic (spojité nosníky o dvou polích) se průhyb vazníků změnil až o 60 mm. Pro zamezení vlivu teplotních změn na konstrukci vyvolaných ochlazením při otevření střechy byly upraveny i přípoje některých vaznic k vazníku na vodorovně posuvné (délka dilatačních úseků je nyní cca 30 m).



Obr. 5. Pohled na ztužidlové pole a trvalý montážní prostup s novým střešním pláštěm u jižní štítové stěny

Svarové přípoje prvků vazníku vykazovaly na základě prohlídky a defektoskopické kontroly značné odchylky velikosti od původní dílenské dokumentace, a dále i značné množství závad v kvalitě svarů. Pouze délky svarů vykazovaly malé odchylky od původní dokumentace. Za zajímavost lze pokládat, že četnost chyb v přípojích byla po ploše haly rozdílná. Část střechy od řady 1 po řadu 17 vykazovala přibližně stejný počet závad, v části mezi řadami 17 až 27 bylo závad ve svarech výrazně více s tím, že počet závad se od řady 17 zvyšoval k řadě 27 (pravděpodobně se ve výrobě „honil plán“ bez ohledu na kvalitu). Část mezi řadami 27 až 34 (novější přibližně o deset let) vykazovala mnohem méně závad ve svarech, ale naopak více chyb z montáže (např. chybějící šrouby). Všechny nosné svary vazníků byly proto přepočítány s uvážením naměřených velikostí a délek svarů. Pro nevyhovující kvalitu byla v posudku únosnost svarů redukována na 50 %, resp. 65 %. Míra redukce byla závislá na způsobu zpracování naměřené velikosti svarů (zda byly užity minimální naměřené velikosti, nebo výsledky statistického vyhodnocení většího počtu měření). Byly opraveny všechny nosné koutové svary, u kterých byla naměřena menší výška svaru než 3 mm, a všechny koutové svary, které nevyhověly z hlediska únosnosti. Dále byly opraveny všechny nekválně provedené montážní V-svary pásů. V místech kloubového připojení vazníků ke sloupům v řadě B byly vyměněny šrouby a opraveno vodorovně posuvné připojení horního pásu. Pro každý jednotlivý vazník byl individuálně předepsán přesný postup a rozsah opravy (každý z 35 vazníků strojovny měl vlastní dílenský výkres opravy). Dodržení pracovního postupu oprav a kvalita opravovaných svarů byla průběžně kontrolována.

Po dokončení oprav byla ocelová konstrukce od úrovně jeřábové dráhy výše očištěna až na holý kov a opatřena nátěrovou protikorozi ochranou.

### Oprava střechy mezistrojovny

Střešní plášť mezistrojovny byl vyměněn stejným způsobem jako ve strojovně. Před demontáží střešních panelů bylo nutné namontovat nové střešní ztužení mezi vaznicemi, které zajišťovalo vaznice proti vybočení ve čtvrtinách rozpětí. Již bylo uvedeno, že vaznice byly po celou dobu rekonstrukce zatíženy podvšesnými technologickými rozvody (které způsobovaly i přídatné namáhání v kroucení). Vazníky mezistrojovny (plnostěnné příčle rámů) nebylo nutné upravovat. V rámci rekonstrukce bylo na střeše navíc postaveno šest plošin rozměru 5 x 7,5 m s lávkou pro obsluhu zařízení potřebného při generálních opravách kotlů. Ocelová konstrukce byla po dokončení opravy očištěna a natřena stejně jako konstrukce ve strojovně.



Obr. 6. Pohled do strojovny po rekonstrukci

### Závěr

Při rekonstrukci střechy strojovny a mezistrojovny, která bezprostředně navázala na rekonstrukční práce v kotelně, byly řešeny nové složité úkoly. Bylo nutné vybourat a odvést přes 10 000 m<sup>2</sup> železobetonových panelů ze střech, které měly omezenou únosnost, a navíc byly nepřístupné pro běžné zdvihací mechanismy. Dále bylo nutné provést diagnostiku nepříliš kvalitně navržené a vyrobené konstrukce a na základě analýzy skutečného stavu navrhnout optimální opravu tak, aby konstrukce splňovala všechny soudobé parametry únosnosti a životnosti s minimálními nároky na údržbu. Veškeré stavební práce probíhaly za plného provozu tak, aby byly minimalizovány vzájemné protichůdné požadavky stavby a provozu elektrárny. Kvalitu projektů a stavebních prací průběžně kontrolovali zástupci majitele elektrárny Power International z Velké Británie. Společným úsilím všech hlavních dodavatelů (EXCON, a. s. – projekt ocelové konstrukce, diagnostika stávající konstrukce, dodávka a montáž ocelové konstrukce; PPP, s. r. o., Pardubice – projekt stavby; Chládek&Tintěra, silnice–železnice, Pardubice, a. s. – stavební dodávky), subdodavatelů a zástupců investora (EOP) byl objekt rekonstruován tak, aby dalších minimálně dvacet let mohl sloužit bez závad svému účelu, tj. výrobě elektřiny, a především tepla pro velkou část Pardubického a Hradeckého kraje (dvacet let je požadavek investora na morální a fyzickou životnost technologických zařízení). S ohledem na technický stav konstrukcí obdobného stáří bude získané know-how jistě uplatněno při řešení budoucích podobně složitých rekonstrukcí.

Do celkového výsledku díla se příznivě promítl nadstandardně korektní vztah mezi investorem (EOP) a dodavatelem, který vyústil ve společnou snahu odvést kvalitní práci v co nejkratších termínech při účelně vynaložených nákladech. Společné úsilí bylo zakončeno kolaudací a předáním rekonstruované kotelny, strojovny a mezistrojovny v polovině prosince 2003 do provozu. O odpovědném přístupu všech zúčastněných svědčí i skutečnost, že přes nebezpečnou práci v extrémních klimatických podmínkách a v běžících provozech se za celou dobu výstavby nevyskytl žádný vážnější pracovní úraz.



Obr. 7. Pohled na zrekonstruované střechy strojovny a mezistrojovny z kotelny

### Literatura

- [1] Vácha, J. – Háša, P.: Oprava havarované konstrukce střechy kotelny v Elektrárně Opatovice, Stavební obzor, 13, 2004, č. 3, s. 71–74.
- [2] Háša, P. – Jeřábek, L. – Rosenkranz, B. – Vašek, M.: K příčinám havárie ocelové konstrukce střechy kotelny Elektrárny Opatovice nad Labem. Konstrukce, 2004, č. 2 (v tisku).

### Vácha, J.: Reconstruction of the Roof of the Machine Room and Intermediate Machine Room in the Opatovice Power Plant

After the reconstruction of the collapsed roof of the boiler room [1], [2], also the roofs of the machine room and intermediate machine room had to be reconstructed.

### Vácha, J.: Erneuerung des Dachs des Maschinenraums und des Zwischenmaschinenraums im Kraftwerk Opatovice

Nach der Erneuerung des eingestürzten Dachs des Kesselhauses [1], [2] war es notwendig, auch die Dächer des Maschinenraums und des Zwischenmaschinenraums zu erneuern.

## Oceňovací podklady v Německu

Ing. Jaroslav CHOVANEC  
VUT – Fakulta stavební  
Brno

**Příspěvek se zabývá podklady a pomůckami používanými k oceňování, kalkulacím a rozpočtování. V první části je popsána všeobecná situace v rozpočtování a kalkulacích, v části druhé jsou uvedeny příklady softwarových aplikací SirAdos a DBD a jejich použití.**

### Úvod

V průběhu přibližování vstupu České republiky do Evropské unie se naše stavební firmy stále častěji setkávají se způsoby sestavení nabídkové ceny (rozpočtu) používanými na území EU. Vzhledem k tomu, že německá ekonomika tvoří podstatnou část ekonomiky celé EU s velkými stavebními projekty, na kterých mají podíl i naše firmy, setkají se naši pracovníci především s kalkulacemi používanými v Německu. Vzhledem k výhodné zeměpisné poloze tohoto souseda nebudou případné přesuny výrobních kapacit spoje-ny s přepravními potížemi.

### Podklady pro rozpočtování

Podobně jako se u nás při rozpočtování často používají publikace vydané ÚRS, a. s., resp. RTS, a. s., i v Německu se podobné ústavy zabývají zpracováním podkladů pro oceňování a rozpočtování. Jsou to především popisovníky a sborníky cen stavebních prací a dodávek Dynamische BauDaten [5] a SirAdos [3]. Vzhledem k tomu, že na německém trhu neexistují pevně stanovené ceny stavebních prací a stavebních prvků, jde i zde o ceny orientační. Udávají střední hodnoty stavebních prací bez daně z přidané hodnoty pro aktuální stav v průběhu roku.

Současně s požadavkem na stále rychlejší zpracování nabídkových cen k sestavení rozpočtu používají softwarové aplikace, které nabízejí třídění i ceníky stavebních prací a dodávek. Pro jednotlivé části stavební výroby používá klasifikace stavební produkce, stavebních prací STLB – Standardleistungsbuch [6]. Všechny popisy činností zde obsažené jsou v souladu se zadávacím řádem staveb VOB (Verdingungsordnung für Bauleistungen). Stavební činnost se podle [6] v oboru novostavby člení trojmístným číselným kódem, který se dále člení opět kódem ze tří čísel (např. zemní práce 002–Erdarbeiten se dále dělí na výkopy a skrývky, ke kterým je možno přidělit další činnosti, např. naložení, odvoz a poplatek za skládku). Dále jsou k položce uvedeny údaje o třídě těžitelnosti zeminy, způsob výkopu (ručně, mechanizovaně), popř. i typ stroje. Stavební činnosti označené kódem s první číslicí 3 zahrnují rekonstrukce. Podobně jako v předchozím případě sestávají ze tří čísel a ke každé činnosti jsou k dispozici doplňující údaje (např. u položky demoliční práce 384–Abbrucharbeiten je možné specifikovat, zda jde o demolici stěn, betonových základů, střešní konstrukce nebo jen o odstranění omítky, popř. fasády). Každá položka nabízí vyčerpávající doplňující údaje k dané činnosti, pomocí nichž je možné zvolenou stavební práci podle požadavků definovat.

Klasifikace [6] obsahuje ucelený popis veškerých stavebních prací. Text je tvořen tak, aby prostor pro případné nejasnosti ve smluvních podmínkách stavebních děl byl co nejmenší. Jednotlivé stavební práce (dále jen úkony) jsou tříděny do „úkonových oborů“ LB (Leistungsbereichen), které odpovídají označení podle VOB, část C, např.:

- |  |             |
|--|-------------|
| – LB 002 Erdarbeiten                   | DIN 18 300, |
| – LB 012 Mauerarbeiten                 | DIN 18 330, |
| – LB 013 Beton- und Stahlbetonarbeiten | DIN 18 331. |

V těchto oborech je k dispozici pět hierarchicky tříděných textových částí, které musí uživatel sestavit tak, aby odpovídaly popisu konkrétního stavebního oboru. Textová část 1 udává většinou druh stavební práce a jsou jí přiděleny tři číselné znaky, části 2 až 5 obsahují požadované detaily, jako např. stavební materiál, jednotka výměry. K zařazení se používají u každé z těchto částí dva číselné znaky. V závěru postupného specifikování stavebního úkonu vznikne číselný kód celé položky. K dalšímu třídění je možné využít trojmístný číselný kód pro jednotlivé úkony tak, že vznikne číselný kód s maximálním počtem 14 číslic. Tím je splněn požadavek elektronického zpracování.

Vzhledem k tomu, že není možné při popisování stavebních úkonů přihlížet k požadavkům všech uživatelů, bylo nutné do klasifikace zahrnout nevyplněnou textovou část, ve které může uživatel formulovat individuální speciální stavební úkony (*tab. 1*).

Pro zajištění kompatibility při porovnávání různých cenových nabídek (rozpočtů) se pro označení stavebních prvků (elementů) používá DIN 276 (1993) – Elementgliederung, der neue Nummerschlüssel [7] (*obr. 2*). Toto dělení je stejně jako v [6] rozděleno na novostavby a rekonstrukce a na modernizace. Ve schématu je zřejmé uspořádání „nákladových tříd“ podle [6].

Norma [7] člení rozpočet podle hlavních konstrukčních prvků stavebního objektu (základy, vnější zdivo, vnitřní zdivo, střešní konstrukce atd.) tvořících hlavní agregované položky, např. základy 320–Gründun, vnější zdivo 330–Aussenwände, vnitřní zdivo 340–Innenwände. Jednotlivé položky dále obsahují stavební práce tříděné podle [6] a ceny stavebních materiálů.

U nás se pro sestavení rozpočtu, seřazení a označení jeho položek používá Třídník stavebních konstrukcí a prací (TSKP). Ten rozlišuje práce hlavní stavební výroby, tj. práce na hlavní stavební konstrukci objektu, práce pomocné, tj. dokončovací, přidružené, a práce montážní.

### Softwarové aplikace

#### SirAdos

Jednotlivé položky v rozpočtovacím programu jsou členěny podle [7] na makroprvky, hrubé prvky, jemné prvky a výběrové prvky. Tato podrobnost je k popsání veškerých prvků stavebních objektů a stavebních prací dostačující. Pomocí software se dají bilancovat náklady, v plánu je vytvoření podpory pro bilancování tepelného odporu a ekonomické výhodnosti. V budoucnosti budou všechny položky materiálu obsahovat stavebně fyzikální údaje [2], [3].

0	Sicherheitseinrichtungen, Baustelleneinrichtungen (bezpečnostní zařízení)
1	Gerüstarbeiten (lešnářské práce)
2	Erdarbeiten (zemní práce)
3	Landschaftsbauarbeiten (úprava krajiny)
4	Landschaftsbauarbeiten-Pflanzen (sadové úpravy)
5	Brunnenbauarbeiten und Aufschlußbohrungen (studny, vrtání studen)
6	Bohr-, Verbau-, Ramm- u. Einpreßarbeiten, Anker, Pfähle (vrtací, beranící práce, kotvy, pilíře)
7	Untertagebauarbeiten (podpovrchové práce)
8	Wasserhaltungsarbeiten (vodovodní práce)
9	Abwasserkanalarbeiten (odpadní vody – práce)
10	Dränarbeiten (drenážní práce – trativod)
11	Abscheider- und Kleinkläranlagen (odlučovače a malá odkaliště)
12	Mauerarbeiten (zdící práce)
13	Beton- und Stahlbetonarbeiten (betonové a železářské práce)
14	Natur- und Betonwerksteinarbeiten (kamenářské práce, beton, přírodní kámen)
16	Zimmer- und Holzbauarbeiten (dřevořádkové a tesařské práce)
17	Stahlbauarbeiten (ocelářské práce)
18	Abdichtungsarbeiten (izolační práce)
20	Dachdeckungsarbeiten (pokrývačské práce)
21	Dachabdichtungsarbeiten (střešní izolační práce)
22	Klempnerarbeiten (klempnické práce)
23	Putz- und Stuckarbeiten, Wärmedämmsysteme (omítkařské a štukatéřské práce, zateplovací systémy)
24	Fliesen- und Plattenarbeiten (obkladačské a dlaždičské práce)
25	Estricharbeiten (potěry, mazaniny)

Tab. 1. Ukázka  
třídění stavebních  
prací [6]

**Makroprvek** je stavebním dílem budovy, např. střecha včetně střešních oken, vnější stěny s okny, základy, vnitřní stěny včetně dveří, stropy včetně schodů a podlahových krytin, nezahrnuje stavební detaily. Na základě redukovaného počtu údajů je možné pomocí makroprvku sestavit předběžný návrh ceny stavebního díla.

**Hrubý prvek** je stavební konstrukce budovy, která se člení podobně jako makroprvek. Jsou to např. základy včetně spodní stavby, vnější zdi včetně vnější a vnitřní povrchové úpravy, vnitřní stěny s omítkou z obou stran, strop včetně podlah, schodiště. Součet stavebních konstrukcí popisuje stavbu podrobně a pomáhá k určení konstrukčního systému budovy. Makroprvky a hrubé prvky jsou tvořeny jemnými prvky a mohou mít v různém stadiu plánování (rozpočtování) různou podobu.

**Jemný prvek** je drobný díl stavební konstrukce, resp. stavebního dílu, např. střešní konstrukce ze dřeva, střešní krytina z pálených cihel včetně spodních izolačních konstrukcí, obložení vnějších povrchů zdi polystyrenem. Popisuje budovu podrobně, je výběrem pozic, které v součtu tvoří a popisují jemný prvek. Pomocí výběrových prvků se dosáhne, že i jemné prvky zůstanou ucelené a přehledné.

Stavební ceny jsou stanoveny na základě výsledků průzkumu spolkového trhu a v rámci update software jsou aktualizovány po třech měsících. Software počítá se třemi druhy cen podle rozpětí (nízkou, střední, vysokou), tzv. von-mittel-bis Preise. Kromě cen jsou ke každé pozici rozpočtu přiděleny časové hodnoty (normohodiny) pro stavební výkony. Všechny ceny jsou v souladu se zadávacím řádem staveb, obsahují hotové stavební výkony včetně platu (odměn pracovníků) a materiálu, ale bez daně z přidané hodnoty. Některým položkám není přidělena cena. Je to způsobeno jejich různorodostí a závislostí na konkrétních podmínkách na staveništi. Tyto ceny musí rozpočtář po dů-

kladném prozkoumání podmínek a na základě vlastní zkušenosti doplnit. Rozšířenou možností tohoto software je zobrazení čárového kódu u každé položky. To slouží k opětovnému načtení položek do počítače a následnému upravení jeho částí. Stavebník však musí mít k dispozici čtecí zařízení a verze vytištěného rozpočtu musí být v souladu s verzí programu v jeho počítači. Dále je možno k hlavním položkám zobrazit skicu umístění prvku ve stavebním objektu. To poslouží k rychlejší orientaci v rozpočtu.

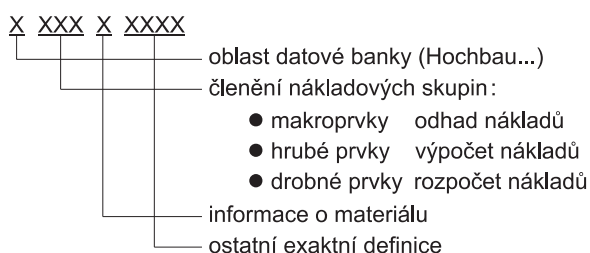
#### Dynamische BauDaten (DBD)

Softwarová aplikace Dynamische BauDaten [5] využívá při sestavování rozpočtu stavebních prací, jak již bylo uvedeno, klasifikaci [6]. Při zadávání jednotlivých položek rozpočtu se vychází z oborů prací zadáváním upřesňujících údajů (tloušťka stěny, druh, rozměry). Aplikace poté automaticky přiřadí úplný popis podle třídníku každé položce. Pracuje na platformě aplikace MS Excel, tzn. způsobem, na jaký jsou naši uživatelé zvyklí. Nabízí v podstatě dva druhy kalkulací – přírážkovou a zpětnou. U první se zadávají jednotlivé položky rozpočtu podle dokumentace a aplikace k nim přiřazuje úplné popisy podle [6] v souladu se zadávacím řádem, normativ pracnosti a jemu odpovídající hodinový mzdový tarif dělníka. Ten sestává z tarifního platu, odvodů do fondů (sociální a zdravotní daň, příspěvek na nezaměstnanost, církev atd.) a vedlejších nákladů (náklady na vyhodnocení mezd). Aplikace nabízí „běžné ceny“, uživatel však může zadat cenu podle vlastního uvážení. Její výši lze ovlivnit změnou celkové nabídkové ceny, jednotkových nákladů, krycího příspěvku (marže) a změnou přírážky na ostatní náklady (Sonstige Kosten). Měnit lze i hodinové sazby dělníků. Aplikace nabídne sazbu a uživatel ji pak může upravit. Zpětnou kalkulaci je vhodné provádět až po dokončení předběžné. Výchozím údajem je totiž celková

cena objektu z přírážkové kalkulace. Tuto cenu si může uživatel v rámci následné kalkulace upravit a aplikace přepočítá zpětně náklady na odměny pracovníků. Kalkulační vzorec obsahuje materiál, mzdy, ostatní náklady a tzv. přídatky, které slouží ke krytí nákladů na zařízení staveniště, zahrnují všeobecné obchodní náklady (nevýrobní střediska) a také riziko a zisk [4], [5].

Cena je v neustálém pohybu a je ovlivňována požadavky trhu a stavebními zakázkami. Konkrétní ceny stavebních

SRN (DIN 276) – I. stupeň	
112	Vedlejší náklady na pozemek
121	Zařízení staveniště
130	Stavební konstrukce
131	Výkop stavební jámy
132	Zakládání
133	Vnější zdivo
134	Vnitřní zdivo
135	Stropy
136	Střechy
137	Stavebně konstrukční vestavby
139	Jiná opatření
140	Technická zařízení
141	Zařízení pro vodu a plyn
142	Zařízení pro zásobování teplem
143	Zařízení pro vzduchotechniku
144	Silnoproudá zařízení
145	Informační zařízení
146	Dopravní zařízení
147	Uživatelsky specifické zařízení
148	Automatizace ve stavbách
149	Ostatní opatření pro technická zařízení
150	Vnější zařízení
151	Úprava okolí
152	Zpevněné plochy
153	Stavební konstrukce a zařízení
155	Vestavby a vnější zařízení
161	Vybavení
170	Vedlejší náklady stavby



Obr. 2. Značení stavebních prvků podle [7]

prvků jsou závislé na situaci na regionálním trhu jednotlivých spolkových zemí, na vývoji nákladů a produktivity a na podmínkách výstavby na konkrétním místě. Kalkulací se rozumí určení ceny konkrétního stavebního výkonu. Při zjišťování cen pomocí [5] je možné zadat jednotlivé parametry stavebního díla, jako je všeobecná situace na trhu (konjunktura, recese), místo realizace stavby. K zadání těchto parametrů je potřebná dostatečná znalost místních poměrů.

SRN (DIN 276) – II. stupeň	
300	Stavební dílo – stavební akce
<b>310</b>	<b>Výkop stavební jámy</b>
311	Zřízení stavební jámy
312	Zarovnání stavební jámy
313	Odvodnění
319	Stavební jáma, ostatní
<b>320</b>	<b>Zakládání</b>
321	Vyspravení stavební jámy
322	Plošné základy
323	Hlubinné základy
324	Základová spára, deska
325	Zemní a základové desky
326	Izolace základů
327	Drenážní práce
329	Zakládání, ostatní
<b>330</b>	<b>Vnější zdivo</b>
331	Nosné zdivo
332	Nenosné zdivo
333	Nosné podpěry, sloupy
334	Vnější okna, dveře
335	Vnější úprava povrchu zdiva
336	Vnitřní úprava povrchu zdiva
337	Skládané vnější zdivo
338	Ochrana proti slunečnímu záření
339	Vnější zdivo, ostatní
<b>340</b>	<b>Vnitřní zdivo</b>
341	Nosné vnitřní zdivo
342	Nenosné vnitřní zdivo
343	Nosné podpěry, sloupy
344	Vnitřní okna, dveře
345	Vnitřní úprava povrchu zdiva
346	Skládané vnitřní zdivo
349	Vnitřní zdivo, ostatní
<b>350</b>	<b>Stropy</b>
351	Konstrukce stropu
352	Povrch stropu
353	Podlahy
359	Stropy, ostatní
<b>360</b>	<b>Střechy</b>
361	Konstrukce střechy
362	Střešní okna a otvory
363	Vrchní vrstva střešní konstrukce
364	Krytiny
369	Střechy, ostatní
370	Stavebně konstrukční vestavby
390	Jiná opatření
400	Stavební dílo – technická zařízení
410	Zařízení pro vodu a plyn
420	Zařízení pro zásobování teplem
430	Zařízení pro vzduchotechniku
440	Silnoproudá zařízení
450	Informační zařízení

Obr. 1. Schéma třídění nákladů rozpočtu [7]

Přesnost potom závisí na zkušenostech a vědomostech uživatele. Jednotlivé činitele ovlivňující cenu na stavebním trhu jsou v aplikaci zachyceny různými koeficienty, které upraví výslednou cenu stavby [4], [5]:

- vliv ekonomické konjunktury 0,85 – 1,25  
(např. nabídka je větší než poptávka, koeficient do 0,85 v opačném případě do 1,25)
- vliv regionu 0,90 – 1,25

– vliv stavebníka	0,90 – 1,20
– vliv minimálního množství	1,05 – 2,40
– vliv velkého množství	0,70 – 0,95

Ceny v aplikaci jsou zpracovány na základě třídníku a pro každou jeho položku mají přidělenou konkrétní hodnotu. Zadává se popis položky, tzv. Kalkulationsatz (kalkulační věta), a na jeho základě je generována cena DBD. Třídník popisuje, označuje a třídí veškeré stavební práce, a to v souladu se zadávacím řádem staveb. Třídění může být k dispozici v různém stupni propracovanosti (podrobnost popisání jednotlivých položek), tomu se přizpůsobuje i DBD.

Rozdělení cen ve stavebním podniku podle zařazení:

podnik	⇒ všeobecné podnikové náklady,
stavba	⇒ všeobecné náklady na stavbu,
jednotlivé úkony	⇒ jednotkové náklady.

Stěžejním bodem při kalkulaci podle [5] jsou jednotkové náklady dílčích prvků, které v souhrnu tvoří veškeré náklady v podniku. Ceny materiálu jsou převzaty většinou z firemních prospektů a katalogů výrobců stavebních hmot. Při mechanických úkonech vykonávaných stroji se čerpají informace z aktuálního třídníku stavebních strojů (Baugeräteliste BGL). Rozlišují se tyto druhy nákladů (kalkulační vzorec):

- stavební látky (materiál),
- mzda (časové hodnoty pro akordní a strojní výkony),
- pomocné stavební látky (lešení, bednění atd.),
- strojní vybavení (odpisy, zúročení, opravy),
- pracovní látky (pro stroje),
- ostatní náklady (doprava, poplatky atd.).

Pro strojní výkony se používají tři druhy nákladů – na stroj (odpisy, opravy), na pracovní hmoty (olej, pohonné látky) a mzda obsluhy stroje.

### Závěr

Stejně jako u nás (TSKP, SKP) existuje i v Německu podrobný třídník stavebních prací a dodávek (STLB), jehož použití při oceňování není závazné. Lze jej však doporučit pro zabezpečení přehlednosti dokumentace a je nutností v případě sestavování nabídek do veřejných soutěží. Jeho podrobnost je podobná jako v ČR, jen značení a obsah jednotlivých položek je odlišný. K porovnávání německých a českých třídníků je třeba mít k dispozici úplný popis položek.

### Literatura

- [1] Drees, G. – Paul, W.: Kalkulations von Baupreisen. Verlag Rudolf Müller 1994.
- [2] Nehm, A. – Riering, E. – Schlinger, M. – Seidel, W.: Gebäudekosten 1994. Baupreistabellen, Teil 1. Stuttgart, Stuttgarter Druckerei GmbH 1993.
- [3] SirAdos Baudaten (Program – Demoverze 3.0). Dresden, Edition AUM, GmbH.
- [4] Thomas Voelckner, software Kostenplanung und Ausschreibung. www.sirados.de.
- [5] DBD – rozpočtovací software. Dr. Schiller & Partner GmbH – Dynamische BauDaten.
- [6] StLB – Třídník stavebních konstrukcí a prací. BU Weimar, 1994.
- [7] DIN 276 (1993) – Elementgliederung, der neue Nummer-schlüssel.

### Chovanec, J.: Pricing Documents in Germany

This contribution deals with pricing documents which are used in expertise on assessing building labour and deliveries in Germany. The first part shows the current state of budgeting. The second part describes frequently used software applications for pricing support, SirAdos and DBD.

### Chovanec, J.: Bewertungsunterlagen in Deutschland

Der Beitrag behandelt die in Deutschland zur Bewertung, Kalkulation und Ausarbeitung von Preisangeboten angewandten Unterlagen. Im ersten Teil wird die allgemeine Situation in der Kosten- und Preisplanung in Deutschland beschrieben. Im zweiten Teil werden konkrete Beispiele von Anwendungen der Softwares und DBD angeführt.

## Studie o technice v českých zemích 1945–1992

Encyklopedický dům, Praha, 2004, I. – III. díl, 980 Kč

Rozsáhlé třísvazkové dílo z autorské dílny Národního technického muzea. Kolektiv více než 200 externích autorů vedených RNDr. Jaroslavem Foltou, CSc., zachytil ve třiceti kapitolách na více než třech tisících stranách proměny jednotlivých oborů techniky ve druhé polovině dvacátého století. Dílo bohatě doplňují dnes již historické fotografie, tabulky a grafy. Jednotlivé svazky nejsou samostatně prodejné.

[www.encyklopedie.cz](http://www.encyklopedie.cz)



## IFH/Intherm

21. – 24. dubna 2004  
Norimberk

### Oborové členění:

- sanitární technika
- vytápěcí technika
- větrání a klimatizace
- klempířská technika
- měřicí, zkoušecí a regulační technika
- potrubí, dálkovody, příslušenství
- pumpy
- armatury
- nářadí
- zpracování odpadu



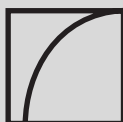
[www.expocs.cz](http://www.expocs.cz)  
[www.ghm.de](http://www.ghm.de)



**Brněnské výstaviště vstoupilo do dalšího roku své existence a s ním také vrcholí přípravy na novou veletržní sezónu.**

**20. – 24. dubna**

obsadí areál



**STAVEBNÍ  
VELETRHY  
BRNO 2004**

V tomto roce se pod hlavičkou stavebnictví představí pět výstavních celků. K tradičnímu komplexu veletrhů **IBF, SHK BRNO** a **URBIS** přibudou dva další. Jedenáctý veletrh techniky pro tvorbu a ochranu životního prostředí **ENVIBRNO** se uskuteční v jarním termínu, skutečnou premiérou bude veletrh elektroinstalací a osvětlovací techniky **ELEKTRO**.

☑ V předvečer veletrhů zopakují organizátoři akci z minulého roku – ouverturu pro odbornou veřejnost. Letos jsou srdečně zváni všichni příznivci architektonických památek. Setkání **Památky, památkáři, inženýři a architekti** symbolicky proběhne v historické budově funkcionalistického Pavilonu Brno dne **19. dubna**. Během večera by mj. měla být podepsána smlouva o spolupráci mezi Národním památkovým ústavem ČR, ČKAIT a ČSSI.

☑ Středem zájmu jistě bude oficiální zahajovací akce Stavebních veletrhů Brno, naplánovaná na **20. dubna**. Mezinárodní konference **Evropské stavební fórum Brno 2004** bude soustředěna na setkání zástupců vysokých stavebních škol z celé Evropy. Akce se uskuteční pod záštitou ministryně školství ČR Petry Buzkové, hejtmana Jihomoravského kraje Stanislava Juránka a primátora města Brna Petra Duchoně. Souběžnou akcí bude setkání studentských delegací evropských stavebních fakult **BauFak**, které má již několikaletou tradici v německy mluvících zemích.

☑ Na dny **20. a 21. dubna** je naplánován **Envikongres 2004** na téma „IPPC a nejlepší dostupné techniky ve střední Evropě“. Setkání zástupců Ministerstva životního prostředí ČR, Ministerstva průmyslu a obchodu ČR a Ministerstva zemědělství ČR s odborníky a zahraničními hosty by mělo mj. přiblížit nové směrnice pro ochranu životního prostředí.

☑ Mezinárodní sympozium **Mosty**, pořádané ve dnech **22. a 23. dubna**, seznamuje s nejnovějšími poznatky z oblasti mostní tematiky nejen z České republiky, ale i zahraničí. Záštitu nad letošním, již 9. ročníkem, převzal ministr dopravy ČR Ing. Milan Šimonovský.

☑ Dne **21. dubna** se v rámci doprovodného programu SHK BRNO pod záštitou prezidenta Hospodářské komory ČR Dr. Ing. Jaromíra Drábka a Ministra průmyslu a obchodu ČR Ing. Milana Urbana uskuteční konference **Technická zařízení budov v 21. století**. Příspěvky odborníků by měly představit danou tematiku v kontextu blížícího se vstupu do EU.

☑ Na **22. dubna** se chystá **Konference o inteligentních budovách**, která představí hlavní tematiku premiérového veletrhu **ELEKTRO**, tj. propojení elektrooborů se stavebnictvím.

K tradičním akcím Stavebních veletrhů Brno pak patří vyhlášení výsledků soutěže **Stavba Jihomoravského kraje** a udělení **Zlatých medailí** nejlepším exponátům veletrhů **IBF, SHK BRNO** a nově i **ELEKTRO**. Jako každý rok bude udělena **Cena odborných novinářů**.

*Tisková informace*

## **Technický slovník naučný**

### **M – O**

*Encyklopedický dům, Praha, 2004, 470 s., 500 ilustrací vč. barevné přílohy, 410 Kč*

Projekt největšího výkladového slovníku z oblasti techniky za poslední půlstoletí vstoupil pátým svazkem do své druhé poloviny. Celý Technický slovník naučný zahrne 43 tis. hesel v osmi svazcích s frekvencí vydávání dvou svazků ročně, poslední vyjde roku 2005. Toto dílo autorsky zpracoval kolektiv více než 200 externích autorů a konzultantů z řad vysokoškolských pedagogů i odborníků z praxe. Zachycuje současnou techniku, včetně souvisejících teoretických oborů a technologií. Obrací se k zájemcům o rychlou, kvalitní a aktuální informaci, zdůrazňuje novinky, ale uvádí i stručnou historii jednotlivých oborů a technických objevů. Vychází za podpory některých vysokých škol technického směru a od 4. svazku je částečně financován Grantovou agenturou ČR.

[www.encyklopedie.cz](http://www.encyklopedie.cz)

## • zprávy

### TUGENDHAT v pavilonu G



Jedním ze zvýrazněných témat letošního veletrhu IBF jsou rekonstrukce stavebních památek. V rámci tohoto veletrhu bude 20. dubna 2004 v pavilonu G zahájena dlouhodobá výstava věnovaná významné stavební památce moderní architektury – vile Tugendhat. Ta je v současné době před rekonstrukcí a výstava by ji měla připomínat v době, kdy bude uzavřena pro veřejnost. Akci připravila Nadace vila Tugendhat ve spolupráci s Muzeem města Brna, které má vilu ve správě a připravilo koncepci rekonstrukce a dalšího využití této stavební památky.

Vila Tugendhat, kterou v roce 1929 navrhl architekt Ludwig Mies van der Rohe, dnes patří k chloubám české moderní architektury. V roce 2002 byla zapsána do seznamu světových kulturních památek UNESCO. Nadace vznikla

především na základě iniciativy bývalého ředitele Domu umění města Brna Dr. Pavla Lišky, kterou podpořily brněnské společnosti Veletrhy Brno, a. s., a Moravské noviny

Rovnost. Hlavním důvodem bylo právě získání potřebných financí, protože veřejné finanční prostředky na obnovu této stavební památky nestačí. Nadace připravuje i různé doprovodné akce, např. program na vybavení studijního centra moderní architektury, které by se mělo nacházet ve vile po ukončení rekonstrukce.

Výstava přinese základní informace o historii vily a jejím osudu až do roku 2001. Menší verze expozice by se postupně měly objevit i na dalších místech v Brně a v Praze (v Národním tech-

nickém muzeu, v Commerzbank, v Domě umění města Brna apod.).



*Tisková informace*



### AMI / AMITEC

**17. – 25. dubna 2004  
Lipsko**

Veletrh AMI je v Lipsku v roce 2004 nejdůležitější akcí v oboru automobilů. Na ploše přibližně 130 tis. m<sup>2</sup> nabízí více než 400 vystavovatelů přehled novinek a stavu celé automobilové branže, očekává se více než 260 tis. návštěvníků. Nabídka je doprovázena rámcovým programem, který spojuje zážitky, tematické přehlídky, odborné akce i typické akční dny pro speciální skupiny návštěvníků.

Nabídka vystavovaných značek sahá od malých vozů až po luxusní limuzíny, od kabrioletů až po rodinné vozy, od terénních vozů po roadstery. Vystavované značky reprezentují přes 99,9 % nově registrovaných vozů v Německu. Je očekáváno více než sto premiér modelů, veletržní novinky a speciální modely. Návštěvníci se mohou těšit na obsáhlou nabídku v oblasti lehkých užitkových vozů, příslušenství, péče o automobily a služeb.

Na téma alternativní způsoby pohonu organizuje pořadatel opět expozici věnovanou pohonu plynem, v níž si lze prohlédnout aktuální vozy a získat informace o přednostech, cenách a technických parametrech stejně jako o infrastruktuře. Na doprovodných odborných akcích budou diskutovat výrobci, uživatelé, zástupci svazů a firem zásobujících plynem o vývoji trhu, bezpečnosti, hospodárnosti a zkušenostech se zaváděním automobilů na plyn v podnicích. Premiéru bude mít stánek s automobily poháněnými tekutým plynem. V oblasti lehkých užitkových vozů se soustřeďuje nabídka na vozy do celkové hmotnosti 7,5 t včetně nástavby a vybavení. V průběhu 20. a 21. dubna proběhnou „Odborné dny transportérů“ se zkušebními jízdami, ukázkami zabezpečení nákladu a workshopy.

Šedý veletrh AMITEC (17. – 21. dubna) je jarním místem setkání odborníků z oblasti automobilových dílů, vybavení dílen a čerpacích stanic. Jako fórum pro oblast péče, servis a opravy automobilů nabízí AMITEC základnu pro prezentaci informací a pro komunikaci. To platí hlavně v době změny struktur v automobilové branži. K tomu se přidává pro odborné publikum jedinečná výhoda přítomnosti renomovaných značek osobních vozů a transportérů v rámci paralelního veletrhu AMI.

[www.ami-leipzig.de](http://www.ami-leipzig.de)



# EACWE 4

.....

**Prague, Czech Republic, 11 – 15 July, 2005**

**The Fourth European & African Conference on Wind Engineering**

The Conference represents a continuation to the series of conferences held at Guernsey 1993, Genova 1997 and Eindhoven 2001. The EACWE 4 is organised by:

- International Association of Wind Engineering (IAWE)
- **Institute of Theoretical and Applied Mechanics**, Academy of Sciences of the Czech Republic
- Faculty of Civil Engineering and Klokner Institute of the Czech Technical University
- Czech Society for Mechanics
- Engineering Academy of the Czech Republic

#### □ **Topics to be discussed**

- Wind climate and structure; Boundary layer, gradient, turbulence, 3D effects; Flow fields, dispersion.
- Static & dynamic wind load; Snow loading/drift; Windstorm disaster; Combined wind-rain effects.
- Dynamics of structures - linear/non-linear; Random vibration due to wind; Stochastic mechanics.
- Bluff body aerodynamics; Aeroelasticity - flow and structure interaction, response stability.
- Computational fluid dynamics and wind engineering; Simulations, informatics in wind engineering.
- Experimental methods, facilities and devices; Wind tunnel measurements; Design of models; Full scale measurements; On/off-line data processing, filtering and mining.
- Vibration control and suppression passive/active; Monitoring of structures, identification, reliability; Material properties and behaviour under wind load.
- Urban wind problems; Human comfort, pedestrian wind environment; Dispersion of pollutants.
- Wind energy; Wind turbines – design/dynamics /testing.
- Highway/railway/pedestrian bridges; Towers, masts, chimneys, cooling towers; High/low-rise buildings, cables, roofs; Offshore structures.
- Benchmarks, case studies, standards and codes, limit states of structures under wind load.

#### □ **Venue**

The EACWE4 will be held in Prague, the capital of the Czech Republic. The Conference will take place at the Conference Centre of the Czech Technical University, at the Krystal Hotel.

#### □ **Submission of Papers**

Papers of theoretical (analytical/numerical), experimental (laboratory/in-situ) or applied (civil/ maritime/offshore, etc.) character are welcome. Summary in English (approx. 200 words) is requested from those who would like to present a paper. It should be sent either via e-mail in PDF format to the contact e-mail address (preferable method) or by regular mail (contact address - see below)

**before 30 June 2004.**

The papers accepted for presentation will be published in the EACWE 4 Conference Proceedings. Each paper will be published in the form of an extended abstract (2 pages) in the Book of Extended Abstracts, while its full text version (6 to 12 pages) will appear at a CD ROM.

#### □ **Contact Address:**

**Conference Chairman: Dr. Jiří Náprstek**  
**Institute of Theoretical and Applied Mechanics**  
 Prosecká 76  
 CZ-19000 Prague 9  
 Czech Republic

Tel: +420-286 892 515, +420-286 882 121  
 Fax: +420-286 884 634  
 e-mail: [eacwe2005@itam.cas.cz](mailto:eacwe2005@itam.cas.cz)  
 WWW page: <http://www.itam.cas.cz/eacwe2005>

## ● recenze

**Kašpar, M. a kol.**

### **Laserové skenovací systémy ve stavebnictví**

*Vega, Hradec Králové, 2003, 111 s., 22 tab., 116 obrázků, 150 Kč*

Laserové skenovací systémy jsou moderní systémy pro bezkontaktní určování prostorových souřadnic, trojrozměrných souřadnic a vizualizaci nejen staveb, ale i ocelových konstrukcí, podzemních prostor, terénů apod. Toto se děje s mimořádnou rychlostí a přesností. I když tyto systémy jsou určité odborné veřejnosti známy a jsou jí využívány, přesto si myslím, že po poznání jejich základních principů provozování se jejich používání ještě rozšíří. A k tomu právě slouží shora uvedená monografie, která tak vyplnila mezeru odborných publikací pro stavebnictví a geodézii v České republice.

Publikace je členěna do jedenácti kapitol doplněných tabulkami a obrázky. Po úvodní kapitole, která představuje laserové skenovací systémy, je druhá a třetí kapitola věnována teorii. Jednak fyzikálnímu principu laserových skenovacích systémů a jednak teorii fungování laserových skenovacích systémů, základním typům skenerů a vlivům, které mohou ovlivnit výsledky měření. Čtvrtá kapitola podává vyčerpávající přehled laserových skenovacích systémů pro stavebnictví a příbuzné obory a jejich výrobců. Každá z devíti podkapitol nejprve pojednává v krátkosti o historii firmy, co se týče skenovacích systémů, což pokládám za důležitý sdělený poznatek, a poté se věnuje přehledu a technickým parametrům jednotlivých přístrojů.

Jedna z nejdůležitějších a nejobsažnějších je kapitola pátá, která pojednává o praktickém využití laserových skenovacích systémů nejen ve stavebnictví, ale i v příbuzných oborech. Jde o zaměřování složitých konstrukcí, reálného stavu stavebních konstrukcí, o využití při výstavbě nebo rekonstrukcích dopravních staveb všeho druhu a o vytváření přesných topografických map složitých terénních útvarů. Zajímavé jsou podkapitoly věnované využití laserových skenovacích systémů v podzemním stavitelství:

- při zaměřování profilů během ražby slouží k vypracování nejen dokumentace, ale i k přesným výpočtům objemu nadvýrubů nebo podvýrubů a v podstatě i k optimalizaci návrhu ostění tunelu;
- při ražbě tunelů k získání údajů o tloušťce ostění;
- při rekonstrukci tunelů pro vytvoření přesné dokumentace;
- při dokumentaci např. krasových útvarů v jeskyních.

Ne nepodstatné je jejich využití v architektuře při přípravě a zpracování dokumentace historických budov a v archeologii k zaměřování a dokumentaci zkoumaných objektů i

nalezených předmětů. U této kapitoly zvlášť vyniknou barevné obrázky. Vedle podrobného a vyčerpávajícího slovního zpracování právě barevná doprovodná dokumentace ukazuje jednotlivé postupy a výsledky práce systémů.

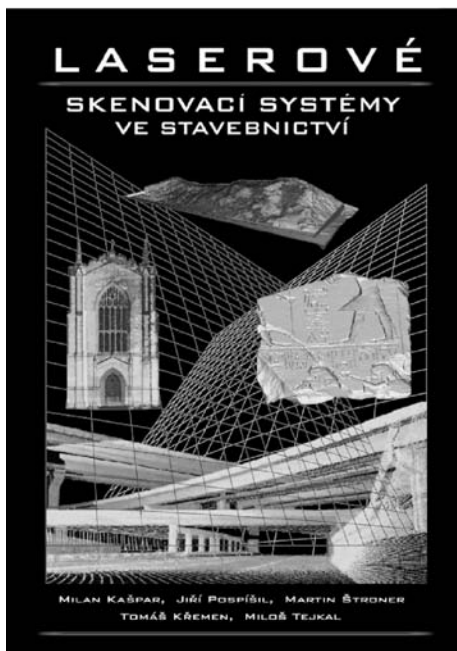
V zemích Evropské unie i ve Spojených státech je v současné době již běžná technologie leteckého laserového skenování. Tomuto problému je věnována kapitola šestá. Jsou zde uvedeny především některé letecké laserové systémy dostupné v Evropě, systémy zpracování leteckého laserového skenování, a samozřejmě i barevné ukázky z praktického využívání. V kapitole sedmé, věnované ekonomickým přínosům využívání laserových skenovacích systémů, mě zaujala tabulka, která přináší porovnání klasické metody s fotogrammetrickou metodou a metodou využití těchto systémů. Dokazuje až 75% snížení nákladů proti klasickým metodám, což již stojí za úvahu, zvláště uveďme-li si nesporné výhody skenovacích systémů – přesnost, vysokou hustotu naměřených bodů, krátkou dobu potřebnou pro pořízení velkého množství dat, automatizované zpracování pořízených dat.

Kapitola osmá se dotýká bezpečnosti práce s laserovými přístroji a v kapitole deváté je uveden obsáhlý seznam nejen literatury citované, ale také doporučené pro rozšíření poznatků uvedených v této monografii. V kapitole desáté je uveden seznam výrobců a prodejců laserových skenovacích systémů i s jejich poštovními i e-mailovými adresami a webovými stránkami.

První dvě teoretické kapitoly doplňuje teoretická kapitola jedenáctá, která zahrnuje vliv prostředí na průchod svazku, rozbor prostorové polární metody, transformaci souřadnic v prostoru, přesnost měření, vliv úhlu skenování na přesnost, skenování materiálů s různými fyzikálními vlastnostmi, možnost vzniku vícenásobného odrazu a měření na rozhraní dvou ploch. Kapitola je ukončena sedmi tabulkami, které slouží k posouzení bezpečnosti práce s lasery.

Monografie je doplněna resumé v českém, anglickém a německém jazyce. Publikaci, na které kromě odborné úrovně oceňuji barevné provedení obrázků, je k zakoupení v nakladatelství Vega a v prodejních technické literatury vysokých škol v Praze, Brně, Ostravě, Plzni, Bratislavě a Košicích. Podle mého soudu se stane pomocníkem a průvodcem odborníků zabývajících se výstavbou, údržbou a rekonstrukcí stavebních objektů včetně podzemních, dále pracovníků památkové péče, pedagogů i studentů odborných a vysokých škol.

*prof. Ing. Věra Voštová, CSc.*



# STAVEBNÍ OBZOR

## ROČNÍK 13 ČÍSLO 05/2004

### Navigace v dokumentu

#### OBSAH

Lízal, P. – Schmid, P. <b>Kontrola dodatečného zateplení obvodových plášťů panelových budov</b>	<b>129</b>
Křivý, V. – Marek, P. <b>Posudek spolehlivosti polotuhých styčnicků ocelových konstrukcí</b>	<b>132</b>
Tesárek, P. – Černý, R. – Drchalová, J. – Rovnaníková, P. – Kolísko, P. <b>Mechanické, tepelné a vlhkostní vlastnosti nemodifikované energosádry – část I</b>	<b>138</b>
Doležel, T. – Jandeková, D. – Konvalinka, P. <b>Vliv cyklů zmrazování–rozmrazování na materiálové charakteristiky betonu</b>	<b>143</b>
Ficker, T. – Podešvová, Z. <b>Neizotermická difúze vodních par v obvodových konstrukcích II</b>	<b>146</b>
Štibinger, J. <b>Hydraulický výpočet drenážních odtoků vnitřních skládkových vod řízené skládky TKO Osečná</b>	<b>150</b>
Adámková, M. – Neumann, G. <b>Ověřovací zkoušky totální stanice Leica</b>	<b>155</b>

**5 • 2004**

**ročník 13**

# STAVEBNÍ OBZOR

pozemní stavby  
dopravní stavby  
vodohospodářské stavby  
geotechnika  
konstrukce a materiály  
technologie  
životní prostředí  
geodézie a kartografie  
mechanizace  
informatika  
ekonomika  
software



Fakulta stavební  
ČVUT v Praze



Česká komora autorizovaných  
inženýrů a techniků



Český svaz  
stavebních inženýrů



Fakulta stavební  
VUT v Brně



Fakulta stavební  
VŠB TU-Ostrava

## OBSAH

Lízal, P. – Schmid, P.

**Kontrola  
dodatečného  
zateplení  
obvodových  
plášťů panelových  
budov . . . . . 129**

Křivý, V. – Marek, P.

**Posudek  
spolehlivosti  
polotuhých styčnicků  
ocelových konstrukcí . . . 132**

Tesárek, P. – Černý, R. – Drchalová, J.  
– Rovnaníková, P. – Kolísko, P.

**Mechanické, tepelné a  
vlhkostní vlastnosti  
nemodifikované  
energósádry – část I . . . . 138**

Doležel, T. – Jandeková, D. –  
Konvalinka, P.

**Vliv cyklů  
zmrazování–rozmrazování  
na materiálové  
charakteristiky betonu . . 143**

Ficker, T. – Podešvová, Z.

**Neizotermická  
difúze vodních par  
v obvodových  
konstrukcích II . . . . . 146**

Štibinger, J.

**Hydraulický výpočet  
drenážních odtoků  
vnitřních skládkových  
vod řízené skládky  
TKO Osečná . . . . . 150**

Adámková, M. – Neumann, G.

**Ověřovací zkoušky totální  
stanice Leica . . . . . 155**

## CONTENTS

Lízal, P. – Schmid, P.

**Check of Additional  
Padding External  
Coating of Panel  
Blocks of Flats  
Warm – Render  
Strip Tensile Test . . . . . 129**

Křivý, V. – Marek, P.

**Reliability  
Assessment  
of Semi-Rigid Joints  
of Steel Structures . . . . . 132**

Tesárek, P. – Černý, R. – Drchalová, J.  
– Rovnaníková, P. – Kolísko, P.

**Mechanical, Thermal  
and Moisture Unmodified  
Energy Gypsum  
– Part I . . . . . 138**

Doležel, T. – Jandeková, D. –  
Konvalinka, P.

**The Effect of Freezing–  
Thawing Cycles on Material  
Characteristics  
of Concrete . . . . . 143**

Ficker, T. – Podešvová, Z.

**Non-Isothermic  
Water Vapour  
Diffusion in External  
Structures II . . . . . 146**

Štibinger, J.

**Hydraulic Calculations  
of the Landfill Leachate  
Rate from the Internal  
Landfill Drainage System  
in Osečná . . . . . 150**

Adámková, M. – Neumann, G.

**Verification Tests of the Leica  
Total Station . . . . . 155**

## INHALT

Lízal, P. – Schmid, P.

**Kontrolle des zusätzlichen  
Wärmeschutzes der  
Außenwände bei  
Plattenhäusern – Überprüfung  
der Bewehrungsschicht  
durch eine Zugprüfung . . 129**

Křivý, V. – Marek, P.

**Beurteilung der  
Zuverlässigkeit von  
halbsteifen Knoten von  
Stahlkonstruktionen . . . . 132**

Tesárek, P. – Černý, R. – Drchalová, J.  
– Rovnaníková, P. – Kolísko, P.

**Mechanische, Wärme- und  
Feuchtigkeitseigenschaften  
nicht modifizierten  
Energiegipses – I. Teil . . . 138**

Doležel, T. – Jandeková, D. –  
Konvalinka, P.

**Einfluss  
der Frost-Tau-Zyklen auf  
die Materialcharakteristiken  
von Beton . . . . . 143**

Ficker, T. – Podešvová, Z.

**Nichtisothermische  
Diffusion von  
Wasserdämpfen in  
Hüllkonstruktionen II . . . 146**

Štibinger, J.

**Hydraulische Berechnung der  
Drainageabflüsse für die  
inneren Deponiewässer der  
geordneten Deponie für  
festen Hausmüll Osečná . 150**

Adámková, M. – Neumann, G.

**Prüfungen der Totalstation  
Leica . . . . . 155**

## REDAKČNÍ RADA

### Předseda:

prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.

### Místopředseda:

doc. Ing. Alois MATERNA, CSc.

### Členové:

Ing. Miroslav BAJER, CSc.

doc. Ing. Pavel HÁNEK, CSc.

Ing. Jiří HIRŠ, CSc.

Ing. Ivan HRDINA

doc. Ing. Vladimír JELÍNEK, CSc.

Ing. Miroslav JEŽEK, CSc.

doc. Ing. Miroslav KAUN, CSc.

Ing. Jana KORYTÁROVÁ, PhD.

Ing. Karel KUBEČKA

Ing. Petr KUNEŠ, CSc.

doc. Ing. Ladislav LAMBOJ, CSc.

doc. Ing. Ivan MOUDRÝ, CSc.

doc. Ing. Jaroslav NOVÁK, CSc.

doc. Ing. Luděk NOVÁK, CSc.

doc. Ing. Miloslav PAVLÍK, CSc.

prof. Ing. J. PROCHÁZKA, CSc.

doc. Ing. Vlastimil STARA, CSc.

Ing. Karel SVOBODA

doc. Ing. Jiří VÁŠKA, CSc.

doc. Ing. Josef VITÁSEK, CSc.

prof. Ing. Jiří WITZANY, DrSc.

Ing. Renata ZDAŘILOVÁ

STAVEBNÍ OBZOR, odborný měsíčník, vydává  
Fakulta stavební ČVUT Praha společně s Fakultou  
stavební VUT Brno, Fakultou stavební VŠB TU  
Ostrava, Českou komorou autorizovaných inženýrů  
a techniků činných ve výstavbě a Českým svazem  
stavebních inženýrů. Řídí redakční rada, vedoucí  
redaktorka Marcela Klímová. Adresa redakce:  
Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel./fax: 224 354 596,  
klimova@fsv.cvut.cz, http://web.fsv.cvut.cz/obzor.  
Vychází každý měsíc kromě července a srpna,  
cena za výtisk je 40 Kč včetně DPH (+ poštovné a  
balné). Objednávky odběru i reklamace přijímá  
Ing. Milan Gattringer, MG DTP, Borovanská 3388, 143 00  
Praha 4, tel./fax: 241 770 220, e-mail: mgdtp@volny.cz.  
Odběr je možné zrušit až po vyčerpání zaplace-  
ného předplatného. Inzerce adresujte redakci. Tech-  
nická redakce a realizace: Ing. Milan Gattringer. Po-  
dávání novinových zásilek povoleno Ředitelstvím  
pošt Praha, č. j. NP 144/1994, ze dne 21. 10. 1994. Do  
sazby 1. 4. 2004. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

## Kontrola dodatečného zateplení obvodových plášťů panelových budov

Mgr. Petr LÍZAL, CSc.  
Ing. Pavel SCHMID, PhD.  
VUT – Fakulta stavební  
Brno

Aktuálním problémem kontaktního systému dodatečného zateplení obvodových plášťů panelových budov je diagnostika stavu a kontrola jakosti použitých materiálů při stanovení limitních podmínek pro jednotlivé etapy pracovního prostupu. Článek navazující na práci [1] seznamuje s průběhem ověřování vlastností výztužné vrstvy tahovou zkouškou.

### Úvod

K ověření předpokládaných a teoreticky uvažovaných hodnot in situ byl vybrán třináctipodlažní objekt, na němž byly diagnostikovány charakteristické vlastnosti tepelných izolací a stavebního lepidla. Laboratorními zkouškami byla ověřena schopnost tvrdnutí lepidla při nízkých teplotách a po zmrazovacích cyklech. Teoretický výpočet stacionárního teplotního pole v konstrukci byl ověřen měřením přímo ve skladbě obvodového pláště po aplikaci izolantů. Před nanesením konečné povrchové úpravy byla ověřena jakost použitého lepidla kontrolní zkouškou navrženou EOTA (European Organization for Technical Approvals) [5]. Obdobný zkušební postup je uveden v technických pravidlech CZB 2001 [6]. Podle stanovených postupů se zkoušku nepodařilo ve většině případů úspěšně dokončit nebo jednoznačně vyhodnotit. Teprve po úpravě upevnění a použití videokamery bylo možné digitální obraz porušení měřeného povrchu archivovat a zkoušku vyhodnotit.

### Příprava zkušební vzorku

K posouzení byl vybrán certifikovaný kontaktní systém, jehož pracovní postup byl rozdělen do několika etap:

- úprava podkladu,
- montáž soklových lišt,
- lepení izolantů,
- upevnění hmoždinkami,
- nanesení výztužné vrstvy a kladení výztuže,
- penetrace,
- konečná povrchová úprava.

Technologický předpis omezuje realizace minimální teplotou vzduchu a podkladu +5 °C [3].

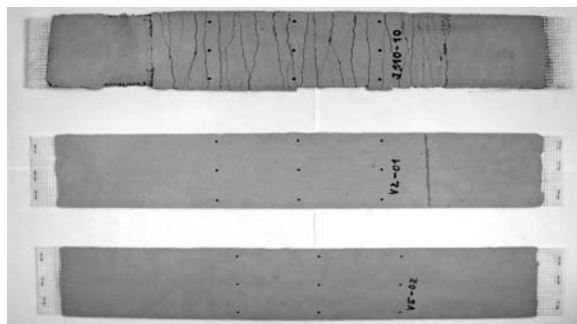
Předmětem příspěvku je výsledek posouzení vhodnosti použité vrstvy omítky s výztužnou tkaninou v uvedeném systému (výztužná vrstva). Množství naneseného lepidla závisí na podkladu – minimální vrstva po vytvrzení má být alespoň 3 mm. Zkušební tělesa výztužné vrstvy byla

připravena v rozměrech 600 x 100 mm s přesahem uložení síťoviny 100 mm na každou stranu. Před zkouškou, sedm dní po zhotovení vzorku, následovalo nalepení trojúhelníkové kovové destičky na každou stranu, aby byl zajištěn plynulý přenos zatížení z desek na omítkové pásky. Takto připravené vzorky se téměř vždy porušily v těsné blízkosti nalepených destiček před ukončením požadovaných operací [4].

Výsledkem pokusů, jak upnout zkušební tělesa pro požadované stupně zatěžování a odlehčování bez poškození, je následující postup přípravy vzorku. Na tuhou podkladovou desku se umístí separační fólie a pomocí šablony a natahovacího pravítka se nanese první vrstva malty (stěrková hmota), do které se vtlačí síťovina s přesahem 150 mm. Síťovina se přehne zpět tak, aby nad 600 mm přesahovala min. 30 mm na každé straně. Následuje nanesení druhé vrstvy malty a uložení zkušebních těles do prostředí o teplotě 21 °C a relativní vlhkosti 56 %. Třetí den se vzorek sejme ze separační fólie. Nejdříve za sedm dní, nebo podle pokynu výrobce, je možné zahájit vlastní zkoušku [8].

### Metodika zkoušek

Proužek síťoviny ve vzorku se přehne a přes podložku z plastu nebo překližky upne do čelistí lisu. Před upnutím se podle šablony vyznačí sledovaný úsek nanesením devíti bodů tak, že uprostřed vzorku a v jeho středu bude jeden bod a od něj ke stranám ve vzdálenosti 40 mm další dva body. Od středu na obě strany se nanese po třech bodech ve vzdálenosti 100 mm obdobně jako uprostřed (*obr. 1*).



Obr. 1. Zkušební tělesa rozměrů 600 x 100 mm s přesahem síťoviny a vyznačením měřicích bodů před provedením zkoušky a po tahové zkoušce

Na vynesené bodové pole se zaměří kamera, upevněná na stojanu stativu. Je důležité zajistit, aby vzdálenost mezi kamerou a vzorkem zůstala v průběhu měření stálá, protože jakákoli změna má za následek změnu velikosti v tabulkovém formátu na disku s hodnotami síly a času. Tyto



soubory je pak možno snadno analyzovat s použitím konvenčních tabulkových programů. Poté se uskuteční měření všech bodů. Minimální teoretické rozlišení je závislé na velikosti zorného pole kamery [2].

Dále je třeba provést kalibraci zápisu souřadnic optických bodů. Nejjednodušší je použití tenkého kalibračního přípravku z papíru, na kterém jsou dva terče se známou vzdáleností středů. Do zorného pole se umístí kalibrační vzorek tvořený čtyřmi body přesně rozmístěnými do čtverce. Souřadnice při kontrole horizontálního a vertikálního směru musí být identické. Na *obrázku 2* je kamera pracující v systému Pal propojená s počítačem, v němž software zpracovává data snímána kamerou. V zatěžovacím zařízení, rovněž takto propojeném, jsou zpracovávána data ze zatěžovací zkoušky. V čelistech zatěžovací soustavy je upnut vzorek armovací stěrky KZS.



Obr. 2. Osazení zkušebního tělesa do lisu a příprava snímacího zařízení k vyhodnocení zkoušky

Při tahových zkouškách vyztužené vrstvy lze pro danou hladinu zatížení měřit poměrné deformace materiálu ve směru namáhání. Výstupem měření je pracovní diagram. Je také možné zjistit hodnotu modulu pružnosti v měřené oblasti materiálu pro danou hladinu zatížení. Měřicí systém je schopen monitorovat vznik a rozvoj trhlin pro danou hodnotu zatížení. Kromě vlastního zatěžovacího diagramu umožňuje archivovat digitální obraz porušení měřeného povrchu při zvolené hodnotě zatížení. Zkušební tělesa se desetkrát zatíží na 50 % očekávané tahové pevnosti a při jedenáctém cyklu se zatíží až do přetržení při rychlosti posuvu 0,5 m/min. V průběhu zatěžování jsou ukládány digitální snímky při protažení 0,5 %, 1,0 % a 1,5 %.

## Závěr

V současné době se takto provádějí tahové zkoušky, které umožňují objektivní posouzení armovacích stěrek různých výrobců. Kontrola kontaktně zateplených panelo-

vých domů, u nichž byly provedeny tahové zkoušky, prokázala, že příčina většiny poruch je ve vyztužné vrstvě, která nevyhověla požadovanému parametru (šíře trhliny při protažení 1,5 % max. 0,15 mm) [7]. Tento parametr považujeme za jeden z nejdůležitějších, protože při zjištění trhlin širších než 0,2 mm byly diagnostikovány poruchy v povrchových vrstvách. Domníváme se proto, že tuto zkoušku je třeba provádět nejen u mechanicky kotvených systémů, ale u všech kontaktních způsobů zateplení.

Armovací vrstvy s pojivem na bázi cementu mohou být významným zdrojem poruch, které se projeví i ve finální vrstvě celého systému. Proto je třeba tyto vrstvy i nadále sledovat tahovými zkouškami odolnosti proti vzniku a rozvoji trhlin při zvyšujících se hladinách poměrných deformací materiálů. Zkouškou jsou simulovány podmínky délkových změn materiálů vyvolané prudkými změnami teploty povrchů obvodových plášťů budov.

V současné době probíhají laboratorní zkoušky odolnosti armovacích vrstev různě tloušťky při působení rozdílných teplot. Zvolený studijní interval  $-30$  až  $+50$  °C je podložen teplotami měřeními na reálné konstrukci v podmínkách dané klimatické oblasti.

Zkušební předpis [5] stanoví odolnost proti tepelně vlhkostním cyklům na zkušební stěně o ploše 6 m<sup>2</sup>. Rozsah zkoušky určuje rychlost pronikání vody vyztužnou vrstvou a pojivovým materiálem konečné povrchové úpravy. Prozatím v ČR tuto zkoušku nikdo neprovádí, v Rakousku a Německu si zajistili výjimku, aby tento zkušební postup prozatím nemuseli provádět. Jsme přesvědčeni, že zařazení tahové zkoušky stěrky s vyztužnou tkaninou do povinného hodnocení by po určité době nahradilo v ČR zkušební postup uvedený v [6], protože jde o zařízení, jehož sestavení bude trvat delší dobu a je finančně velmi náročné.

**Příspěvek vznikl v rámci řešení výzkumného záměru CEZ J22/98:261100007 MŠMT ČR „Teorie, spolehlivost a mechanismus porušování staticky a dynamicky namáhaných stavebních konstrukcí“.**

## Literatura

- [1] Lízal, P. – Schmid, P.: Kontaktní zateplovací plášť budov – ověřování vlastností vyztužné vrstvy. *Stavební obzor*, 11, č. 10, s. 293–295.
- [2] Lízal, P. – Schmid, P. – Mašek, D.: Využití videoextenzimetru při ověření vlastností armované stěrky KZS. [Sborník], Techsta 2000, ČVUT Praha, s. 196–199.
- [3] Technologický předpis pro provádění tepelně izolačních systémů Tex Color. TexColor Olomouc, spol. s r. o.
- [4] Technická pravidla pro navrhování, ověřování a provádění – vnější kontaktní zateplovací systémy TPZ 2001-1. Cech pro zateplování budov ČR, 2001.
- [5] DRAFT ETAG No. 14 External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering – 5.5.4.1 Render Strip Tensile Test. EOTA Brussels, 1999, pp. 50–51.
- [6] Vnější kontaktní zateplovací systémy (zkušební předpis č. 5, TPZ 2002, pro šíření trhlin při protažení 1,5 %). CZB, s. 39.
- [7] Kritéria pro kvalitativní třídy VKZS (tab. 7 – Požadavky na vlastnosti vyztužné vrstvy, TPZ 2001-2). CZB, s. 28.
- [8] Lízal, P. – Schmid, P.: Upravený zkušební postup vyztužné vrstvy vnějšího kontaktního zateplení. *Tepelná ochrana budov*, 2003, č. 3, s. 12–14.

Lízal, P. – Schmid, P.: Check of Additional Padding External Coating of Panel Blocks of Flats Warm – Render Strip Tensile Test

The diagnostics of the current condition and check of quality of materials used for the determination of limit conditions for individual stages of work procedure is an actual problem. This issue is related to the use of the contact system of the additional padding external coating of outdoor panel blocks of flats warm.

Lízal, P. – Schmid, P.: Kontrolle des zusätzlichen Wärmeschutzes der Außenwände bei Plattenhäusern – Überprüfung der Bewehrungsschicht durch eine Zugprüfung

Ein aktuelles Problem der Realisierung des unmittelbar aufgetragenen Wärmeschutzes der Außenwände von Plattenhäusern ist die Diagnostik des bestehenden Zustands und die Überprüfung der Qualität der verwendeten Baustoffe bei Festsetzung der Limitbedingungen für die Durchführung der einzelnen Etappen des Arbeitsvorgangs. Der an die Arbeit [1] anknüpfende Artikel macht mit dem Verlauf der Überprüfung der Eigenschaften der Bewehrungsschicht durch eine Zugprüfung bekannt

## ● osobní zprávy

### Zemřel doc. Ing. Jindřich Šmejcký, CSc.



Odbornou veřejnost jistě překvapila smutná zpráva, že dne 24. března 2004 zemřel náhle, v plné aktivní činnosti, významný odborník v oboru pozemních staveb a oblíbený vysokoškolský pedagog Fakulty stavební ČVUT.

Jindřich Šmejcký se narodil 26. ledna 1939 v Čáslavi, kde také úspěšně

absolvoval studium na klasickém gymnáziu. V letech 1957 až 1962 studoval na Fakultě stavební ČVUT, obor Konstrukce pozemních staveb. Vzhledem k velmi dobrým studijním výsledkům byl koncem roku 1962 přijat za asistenta na Katedru konstrukcí pozemních staveb. Pro jeho další odborný růst mělo značný význam působení v Ústavu generálního projektanta Fakulty stavební jako samostatného projektanta v letech 1965–1966. Po této době se s plným zaujetím věnoval pedagogické činnosti v rámci Katedry konstrukcí pozemních staveb jako odborný asistent. Svou pedagogickou činnost soustavně doplňoval úzkou spoluprací s odbornou praxí. Ze spoluúčasti na významných projektech lze připomenout fasádní plášť Ústřední telekomunikační budovy v Praze–Žižkově, fasádní plášť televizního vysílače Kamzík v Bratislavě a fasádní plášť a vnitřní dělicí stěny hotelu Praha. Tato významná spolupráce s praxí, průběžná vědecko-publikační činnost a soustavné pedagogické působení profilovaly docenta Šmejckého jako uznávaného specialistu kompletačních konstrukcí.

Mimořádná odborná erudice a plné zaujetí pro pedagogickou práci neměly na fakultě vlivem normalizačních zásad v sedmdesátých letech adekvátní odezvu. Až v roce 1981 mohl doc. Šmejcký obhájit svou kandidátskou dizertační práci, a teprve v roce 1988 byl po habilitačním řízení jmenován docentem pro obor konstrukce pozemních staveb, i když již řadu let povinnosti docenta na katedře vykonával.

Charakteristickou oblastí jeho pedagogické činnosti byly vždy kompletační konstrukce, které přednášel v denním

studiu, ale i ve studiu při zaměstnání. Bohaté odborné zkušenosti studentům pravidelně předával v předmětech „projekt“ i při diplomových pracích. Stal se také spoluzakladatelem předmětu „CAD v pozemních stavbách“ na Katedře konstrukcí pozemních staveb Fakulty stavební ČVUT.

Vedle bohaté pedagogické činnosti se výrazným způsobem podílel na vědecko-výzkumné činnosti katedry. Byl řešitelem několika vědecko-výzkumných projektů a vedoucím skupiny pedagogů, kteří zpracovávali grantový úkol v oboru obvodových plášťů. Byl autorem nebo spoluautorem řady učebních textů s tematikou kompletizačních konstrukcí, článků v odborném tisku a referátů na vědeckých konferencích.

Velmi široká byla činnost Jindřicha Šmejckého v politopadových mimofakultních aktivitách. V roce 1991 se stal spoluzakladatelem odborného časopisu Stavební obzor, byl členem České komory autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě a široké odborné veřejnosti je znám jako předseda autorizační komise této komory. Byl také aktivním členem Komory soudních znalců.

Bohatou činnost pedagogickou, vědecko-výzkumnou i soustavnou spoluprací s praxí uměl vždy spojovat s prací pro kolektiv. V letech 1971–1972 pracoval jako předseda Stavebního bytového družstva zaměstnanců Fakulty stavební na ČVUT s mnoha dobrými výsledky ve prospěch nebydlících pedagogů, mnoho užitečného vykonal i jako spolupracovník odborů.

Mezi blízkými spolupracovníky byl oblíben jako skromný, obětavý kamarád i jako výborný organizátor dobré, veselé kolektivní zábavy, doprovázené hudbou. Oblíben byl i mezi studenty, z nichž se mnozí pod jeho vedením stali známými a uznávanými odborníky. Akademická obec i odborná veřejnost, studenti Fakulty stavební ČVUT, kamarádi a přátelé ztrácejí v docentovi Šmejckém výraznou osobnost oboru pozemní stavby, skromného a přátelského spolupracovníka a učitele.

prof. Ing. arch. Vladislav Dlesek, DrSc.

# Posudek spolehlivosti polotuhých styčníků ocelových konstrukcí

Ing. Vít KŘIVÝ  
FAST VŠB TU–Ostrava

prof. Ing. Pavel MAREK, DrSc.  
FAST VŠB TU–Ostrava  
ÚTAM AV ČR, Praha

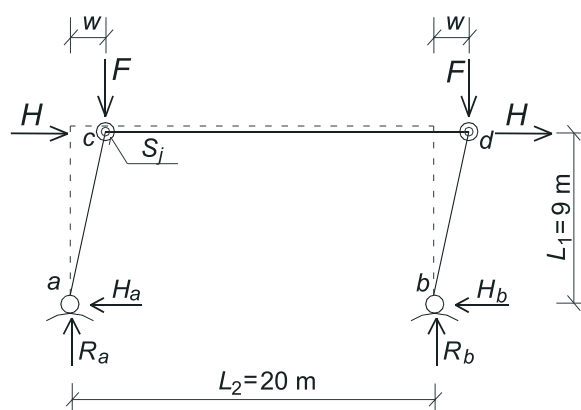
Práce se zabývá problematikou posudku spolehlivosti polotuhých styčníků ocelových konstrukcí. Pravděpodobnostní přístup metody SBRA je vysvětlen a porovnán s postupem podle metody dílčích součinitelů, která je aplikována v současných normách. Definované rozdíly v přístupu obou metod jsou následně diskutovány.

## 1. Úvod

Problematice posuzování spolehlivosti polotuhých styčníků<sup>1)</sup> ocelových konstrukcí byla v uplynulé dekádě věnována v zahraničí a v tuzemsku zvýšená pozornost [1], [2]. Skutečné působení těchto styčníků, které nelze považovat ani za ideálně tuhé, ani ideálně kloubové, jakož i posudek jejich bezpečnosti a použitelnosti, vyžaduje zavedení zvláštních předpokladů a kritérií. Výsledky výzkumu byly zpracovány v souladu s podstatou metody dílčích součinitelů do formy eurokódů [3], [4]. Následující text poukazuje na kvalitativní rozdíly v posouzení spolehlivosti ocelových konstrukcí s polotuhými styčníky:

- pravděpodobnostní metodou SBRA (Simulation Based Reliability Assessment [5], [6];
- podle citovaných norem a práce [2], aplikující metodu dílčích součinitelů.

Základní rozdíly v přístupech k vyjádření spolehlivosti podle těchto metod jsou v textu naznačeny na posudku jednoduchého ocelového rámu tvořeného třemi dokonale



Obr. 1. Schéma rámu (zatížení, rozměry)

tuhými prvky a zajištěného proti vybočení z roviny rámu, viz obr. 1 (též [7], [8]). Pozornost je zaměřena na hodnocení vlivu polotuhých styčníků c a d na bezpečnost (tj. na aplikaci kritéria únosnosti definované „referenční hodno-

tu“ [6]) a na použitelnost nosné rovinné soustavy zatížené vertikálními a horizontálními silami, přičemž transformační model pro stanovení účinků zatížení respektuje vliv teorie druhého řádu. V podporách a, b je předpokládáno ideální kloubové uložení rámu.

Ke zvýraznění a hodnocení rozdílů mezi aplikacemi uvedených dvou metod je v následujícím textu věnována pozornost zejména:

- vyjádření jednotlivých zatížení a rozboru kombinací jejich účinků,
- modelům působení polotuhých styčníků,
- definicím odolnosti a referenčních hodnot uplatněných při posudku bezpečnosti (únosnosti) a použitelnosti.

## 2. Pracovní diagramy polotuhého styčnicku a podstata posudku spolehlivosti

Základním předpokladem nutným k rozboru odezvy rámu na zadaná zatížení a k posouzení spolehlivosti styčnicků c a d je uplatnění vhodného modelu vyjadřujícího vztah  $M-\Phi$ , popisujícího závislost mezi ohybovým momentem  $M$  ve styčnicku a relativním pootočením  $\Phi$  spojovaných průtů rámu. K základním charakteristikám modelu patří momentová únosnost (odpovídající vyčerpání pružné oblasti působení nebo úplné plastifikaci), rotační tuhost  $S_j$  a rotační kapacita  $\Phi_{Cd}$ . Ke stanovení vnitřních sil ve styčnicku lze spoj rozdělit na jednotlivé části, tzv. komponenty [2], [8]. Jak je zjednodušeně naznačeno na obr. 2, vycházejí posudky (při zanedbání vlivu osových a posouvajících sil v polotuhém styčnicku) podle SBRA a podle eurokódu ze zcela odlišných modelů polotuhého styčnicku.

### 2.1. Pracovní diagram a posudek spolehlivosti styčnicku podle SBRA

Vztah  $M-\Phi$  je vyjádřen přímkou odpovídající pružné odezvě styčnicku na zatížení, přičemž je velikost  $M_R$  závislá na hodnotě meze kluzu oceli vyjádřené histogramem.

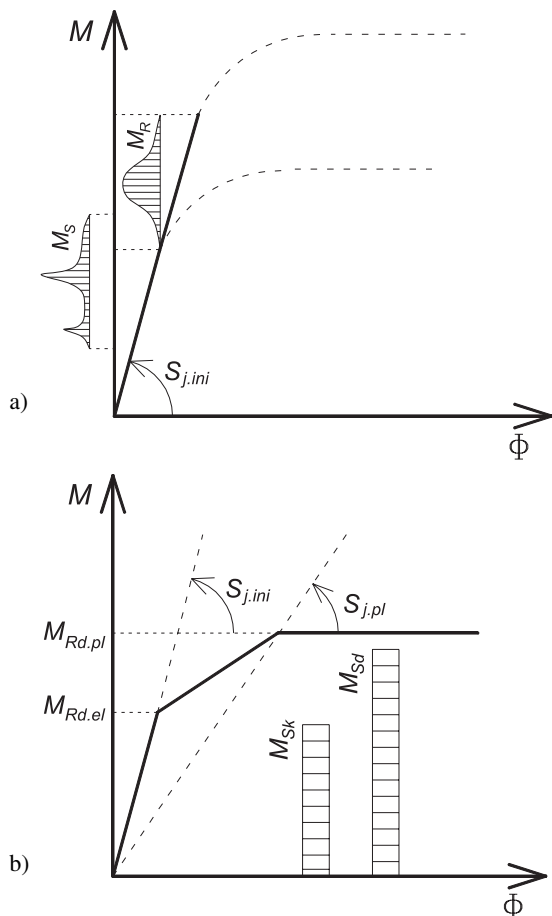
Bylo by možno uvažovat též o částečném využití pružné plastické oblasti působení se zavedením přípustného omezeného rozsahu pružně plastického působení styčnicku. Tomuto rozšíření je věnována pozornost v závěru textu.

Při posudku bezpečnosti je nutno prokázat, že vypočtená pravděpodobnost poruchy  $P_f [(M_R - M_S) < 0]$  je menší než návrhová pravděpodobnost  $P_d$  uvedená např. v normě [9], přičemž je moment  $M_S$  vyjádřen histogramem reprezentujícím, v souladu s podstatou metody SBRA, kombinací účinků zatížení.

Posudek použitelnosti spočívá v porovnání pravděpodobnosti poruchy  $P_f [(\Phi_{tol} - \Phi_S) < 0]$ , kde  $\Phi_{tol}$  je přípustná hodnota relativního pootočení a  $\Phi_S$  je pružné relativní pootočení odpovídající kombinaci účinků zatížení a návrhové pravděpodobnosti  $P_d$  uvedené v normě [9]. Posudek použitelnosti může být vztážen např. k přípustnému vodorovnému posunu

<sup>1)</sup> Obvykle používanému ne zcela výstižnému termínu „polotuhý“ styčník odpovídají v textu tohoto příspěvku částečně tuhé styčníky ocelových konstrukcí o tuhosti mezi „dokonalým kloubem“ a „dokonalým vetknutím“.

horních styčnic rámu (posun nemá překročit přípustný posun s pravděpodobností  $P_f < P_d$ , kde  $P_d$  je uvedena např. v normě [9]).



Obr. 2. Pracovní diagramy  $M-\Phi$   
a – SRBA, b – EC 3

## 2.2. Pracovní diagram a posudek spolehlivosti styčnicu podle EC3

Vztah  $M-\Phi$  je vyjádřen lomenou přímkou, přičemž část 0 až  $M_{Rd,el}$  má vystihovat pružnou oblast působení styčnicu namáhaného na ohyb, část  $M_{Rd,el}$  až  $M_{Rd,pl}$  zjednodušeně odpovídá oblasti pružně plastické a část na úrovni  $M_{Rd,pl}$  odpovídá plně plastické odolnosti styčnicu namáhaného ohybem, přičemž jsou jednotlivé hodnoty určeny pro návrhovou hodnotu meze kluzu oceli  $f_{yd}$ .

Při posuzování únosnosti (mezního stavu<sup>2)</sup>) je odolnost

Tab. 1. Zatížení rámu

Zatížení	Metoda SBRA		Eurokód	
	zatížení [kN]	histogram	charakteristická hodnota [kN]	součinitel zatížení $\gamma$
stálé	$DL = 1\,500 \cdot DL_{var}$	Dead1.his	$DL_k = 1\,111$	1,35
nahodilé krátkodobé	$SL = 300 \cdot SL_{var}$	Short2.his	$SL_k = 200$	1,50
sněhem	$SN = 300 \cdot SN_{var}$	Snow2.his	$SN_k = 200$	1,50
větre	$W = \pm 100 \cdot W_{var}$	Wind1.his	$W_k = \pm 67$	1,50

a) Histogramy a výpočetní programy viz [6].

b) Zadané hodnoty (1500, 300, 300 a 100 kN) vyjadřují při posudku metodou SBRA extrémní hodnoty jednotlivých zatížení. Pro porovnání výsledků podle obou metod odpovídají uvedené hodnoty návrhovým hodnotám zatížení podle EC3.

<sup>2)</sup> Nutno připomenout, že v metodě SBRA je „bezpečnost“ vztažena k mezi užítosti, zatímco v EC3 je mezni stav únosnosti definován vyčerpáním plastických rezerv, přičemž nadměrná trvalá přetvoření mohou vést ke znehodnocení konstrukce [6].

polotuhého styčnicu vyjádřena hodnotou  $M_{Rd,pl}$ . V posudku použitelnosti se uplatní pouze pružná odezva styčnicu až do dosažení hodnoty momentu  $M_{Rd,el}$ , která je odvozena z hodnoty  $M_{Rd,pl}$  (viz odst. 3.3) a definuje mez pro posudek použitelnosti.

Posudek mezního stavu únosnosti styčnicu podle EC3 spočívá v porovnání návrhové hodnoty kombinace účinků zatížení (vyjádřené momentem  $M_{Sd}$ ) a plastické únosnosti styčnicu vyjádřené momentem  $M_{Rd,pl}$ . Posudek použitelnosti spočívá v porovnání kombinace účinků charakteristických hodnot zatížení vyjádřené momentem  $M_{Sk}$  a mezní hodnoty vyjádřené momentem  $M_{Rd,el}$ .

## 3. Příklad posudku spolehlivosti styčnicu podle SBRA a EC3

### 3.1. Zatížení rámu a zavedené předpoklady

Předmětem oddílu je posudek bezpečnosti jednoduchého rovinného ocelového rámu s polotuhými styčnicemi, naznačeného na obr. 1. V řešeném příkladu je předpokládán rám s dokonale tuhými sloupy i dokonale tuhými příčlami. Spolehlivost rámové konstrukce je paralelně posuzována z hlediska pravděpodobnostního přístupu (v příspěvku reprezentovaného metodou SBRA) a z hlediska metody dílčích součinitelů podle normy [4]. Rám je zatížen ve styčnicích  $c$  a  $d$  vertikální silou  $F = DL + SL + SN$  a horizontální silou  $H = \pm W$ . Zatížení  $DL$ ,  $SL$ ,  $SN$ ,  $W$  jsou uvažována náhodně proměnná, vzájemně nekorelovaná a jsou reprezentována hodnotami uvedenými v tab. 1. Při výpočtu odezvy konstrukce na zatížení je respektována teorie druhého řádu a je předpokládána statická odezva konstrukce na zatížení a zajištění rámu proti vybočení ze své roviny. Všechny geometrické parametry rámu jsou v tomto příkladu konstantní. Použitá ocel je třídy S235.

### 3.2. Posudek spolehlivosti metodou SBRA

#### a) Posudek bezpečnosti

Odolnost (referenční hodnota  $RV$ ) polotuhého spoje je definována momentem  $M_{R,el}$  závislým na pružné únosnosti styčnicu a na mezi kluzu oceli. Velikost přetvoření styčnicu (relativní pootočení) závisí na předpokládané pružné ohybové tuhosti  $S_{j,ini}$  [MNm/rad] a na kombinaci účinků zatížení vyjádřené momentem  $M_S$ , který je funkcí kombinace účinků zatížení. Pro jeho stanovení byl sestaven transformační model zohledňující vliv přetvoření rámu při respektování teorie druhého řádu a vliv ohybové tuhosti styčniců. Moment  $M_S$  je v dalším vyjádřen rovnicí

$$M_S = M_c = -M_d = HL_1 + Fw = WL_1 + (DL + SL + SN)w \quad [\text{kNm}], \quad (1)$$

kde

$$w = w_{in} \frac{1}{1-D} \quad [\text{m}], \quad (2)$$

$$w_{in} = \frac{WL_1^2}{S_{j,ini}} \quad [\text{m}], \quad (3)$$

$$D = \frac{(DL + SL + SN)L_1}{S_{j,ini}} \quad [-], \quad (4)$$

kde kvantita  $D$  vyjadřuje s přiměřenou přesností vliv vertikálních sil na vodorovný posun styčnicků **c** a **d**.

Funkce spolehlivosti styčnicku  $RF$  je vyjádřena vztahem

$$RF = M_{R,el} - MS \quad [\text{kNm}], \quad (5)$$

kde hodnotu momentové únosnosti styčnicku lze zjednodušeně pro potřebu studie uvažovat

$$M_{R,el} = \text{Const}A \cdot f_y \quad [\text{mm}^3, \text{N/mm}^2] \quad (6)$$

(zvolená hodnota  $\text{Const}A = 3,8 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$  reprezentuje „elastický průřezový modul“ styčnicku,  $f_y$  je proměnná hodnota meze kluzu oceli definovaná příslušným histogramem rozdělení četností).

Podmínku pro posouzení bezpečnosti polotuhého spoje lze zapsat ve tvaru

$$P_f = P[(M_{R,el} - M_S) < 0] < P_d, \quad (7)$$

kde  $P_f$  je simulační technikou vypočtená pravděpodobnost poruchy a  $P_d$  návrhová pravděpodobnost pro posudek bezpečnosti zavedená hodnotou  $P_d = 7 \cdot 10^{-5}$  [9].

### Výsledky posudku bezpečnosti metodou SBRA

Programem AntHill™ byly vypočteny pravděpodobnosti poruchy  $P_f$  styčnicku **c** pro šest různých hodnot počáteční ohybové tuhosti  $S_{j,ini}$ . Výsledky jsou uvedeny v tab. 2 a na obr. 4a.

Tab. 2. Ohybová tuhost a odpovídající pravděpodobnosti poruchy

Případ	$S_{j,ini}$ [MNm/rad]	$P_f$		$P_d$	Kritérium $P_f < P_d$
1	1 000	$9,0 \cdot 10^{-6}$	<	$7 \cdot 10^{-5}$	vyhovuje
2	500	$1,7 \cdot 10^{-5}$	<	$7 \cdot 10^{-5}$	vyhovuje
3	200	$5,5 \cdot 10^{-5}$	<	$7 \cdot 10^{-5}$	vyhovuje
4	150	$1,1 \cdot 10^{-4}$	>	$7 \cdot 10^{-5}$	nevyhovuje
5	100	$3,4 \cdot 10^{-4}$	>	$7 \cdot 10^{-5}$	nevyhovuje
6	50	$5,1 \cdot 10^{-3}$	>	$7 \cdot 10^{-5}$	nevyhovuje

Pro návrhovou pravděpodobnost poruchy  $P_d = 7 \cdot 10^{-5}$  [9] je splněna podmínka bezpečnosti  $P_f < P_d$  jen v případech 1 až 3, kdy je pružná ohybová tuhost styčnicku  $S_{j,ini}$  větší než 190 MNm/rad. Styčnický s menší počáteční tuhostí nevyhovují.

### b) Posudek použitelnosti

Posudek použitelnosti spočívá v porovnání pravděpodobnosti  $P_f$  překročení přípustné vodorovné deformace horních styčnicků rámu  $w_{im}$  a návrhové pravděpodobnosti  $P_d$  pro posudek použitelnosti podle normy [9]. Vodorovné posunutí se určí za předpokladu pružného působení styčnicku a pro náhodně proměnné kombinace zatížení, stejně jako tomu bylo v posudku bezpečnosti. Podmínku pro posouzení použitelnosti konstrukce lze tedy pro posudek použitelnosti vyjádřit rovnicí

$$P_f = P[(w_{lim} - w) < 0] < P_d, \quad (8)$$

kde  $w$  je vodorovné posunutí rámu určené vztahem (2).

### 3.3. Posudek spolehlivosti podle EC3

Předmětem tohoto oddílu je posudek spolehlivosti výše vyšetřovaného rámu, viz obr. 1, tentokrát metodou dílčích součinitelů podle normy EC3. Geometrie rámu je zadána stejně, jako tomu bylo při posudku metodou SBRA, návrhové hodnoty zatížení odpovídají extrémním hodnotám zatížení podle SBRA. V závěru je zvýšená pozornost věnována stanovení trvalých plastických deformací při namáhání styčnicku v oblasti pružné plastického působení.

#### a) Posudek mezního stavu únosnosti

Odolnost (referenční hodnota  $RV$ ) polotuhého spoje je definována návrhovým momentem  $M_{Rd,pl}$ , odpovídajícím plně plastifikaci styčnicku, viz obr. 2. Hodnotu momentové únosnosti styčnicku  $M_{Rd,pl}$  lze zjednodušeně pro potřebu studie určit vztahem

$$M_{Rd,pl} = \frac{\text{Const}B \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{5,7 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,1} = 1165 \text{ kNm}, \quad (9)$$

kde hodnota  $\text{Const}B = 5,7 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$  reprezentuje „plastický průřezový modul“ styčnicku a  $f_{yk}$  je charakteristická hodnota meze kluzu oceli. (Podle normy [4] se předpokládá, že hodnota pružné momentové únosnosti styčnicku je rovna přibližně 2/3 únosnosti plastické, a proto  $\text{Const}A = 2/3 \text{ Const}B$ .)

Působící návrhový moment  $M_{Sd}$  je funkcí kombinace účinků zatížení. Pro stanovení účinku zatížení byl sestaven transformační model zohledňující vliv ohybové tuhosti spojů a vliv vodorovné deformace rámu od účinku horizontálních i vertikálních sil, tj. vliv teorie druhého řádu pro soustavu v rovnovážném stavu. Za předpokladu využití plně plastické únosnosti styčnicku  $M_{Rd,pl}$  se redukuje počáteční tuhost přípoje  $S_{j,ini}$  na hodnotu sečné tuhosti  $S_j$  součinitelem  $\mu$  podle vzorce

$$S_j = \frac{S_{j,ini}}{\mu} \quad [\text{MNm/rad}], \quad (10)$$

kde součinitel  $\mu$  lze konzervativně uvažovat  $\mu = 3$ . Pro rozhodující kombinaci zatížení lze velikost momentu  $M_{Sd}$  vyjádřit vztahem

$$M_{Sd} = \gamma_Q W_k L_1 + (\gamma_G DL_k + \psi_0 \gamma_Q (SL_k + SN_k)) w_d \quad [\text{kNm}], \quad (11)$$

kde

$$w_d = w_{in,d} \frac{1}{1-D} \quad [\text{m}], \quad (12)$$

$$w_{in,d} = \frac{\gamma_Q W_k L_1^2}{S_j} \quad [\text{m}], \quad (13)$$

$$D = \frac{(\gamma_G DL_k + \psi_0 \gamma_Q (SL_k + SN_k)) L_1}{S_j} \quad [-], \quad (14)$$

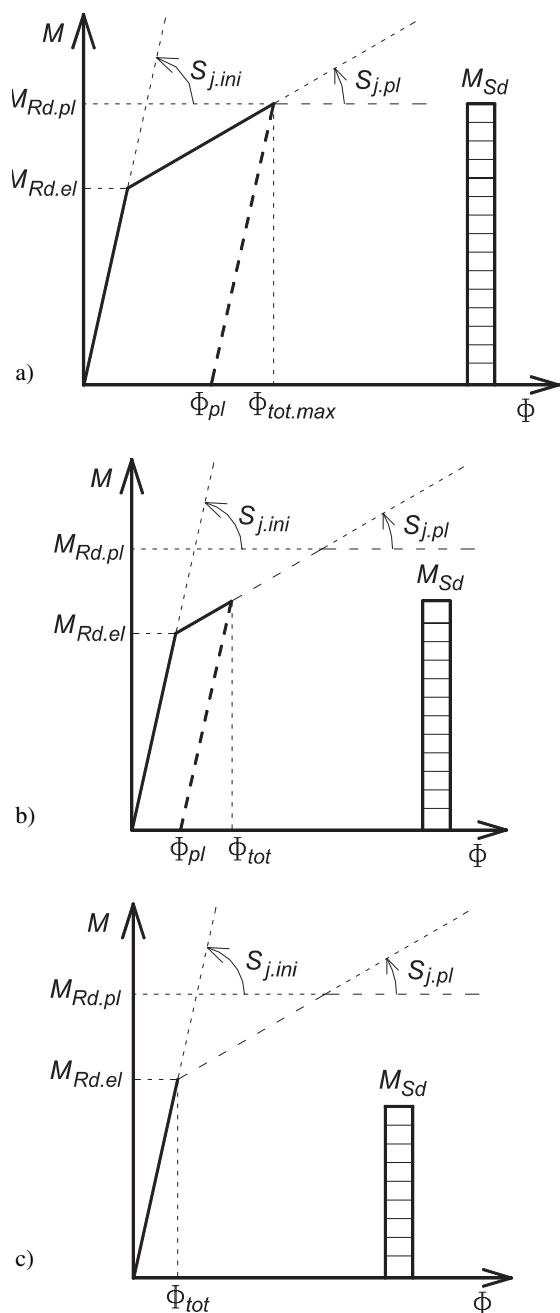
kde konstanta  $D$  vyjadřuje (s postačující přesností) vliv vertikálních sil na vodorovný posun styčnicků **c** a **d**. Posuzovaný spoj vyhoví z hlediska bezpečnosti, je-li splněna podmínka

$$M_{Sd} \leq M_{Rd,pl}, \quad (15)$$

kde  $M_{Sd}$  je ohybový moment od účinku zatížení na přetvořené konstrukci v rovnovážném stavu (11) a  $M_{Rd}$  je plastická momentová únosnost spoje (9).

### Výsledky posudku mezního stavu únosnosti podle metody dílčích součinitelů

Výsledky výpočtu podle odst. 3.3 jsou shrnuty v tab. 3 a na obr. 4b. V tabulce jsou uvedeny návrhové hodnoty ohybového momentu  $M_{Sd}$  a vodorovného posunu rámového rohu  $w_d$  v závislosti na počáteční  $S_{j,ini}$  (sečné  $S_j$ ) ohybové tuhosti polotuhého spoje **c**.



Obr. 3. Určení trvalých plastických deformací u různě namáhaných styčnicků

a – na mez plastické únosnosti, b – v oblasti pružně plastického působení, c – v oblasti pružného působení styku

Tab. 3. Ohybová tuhost a odpovídající ohybové momenty

Případ	$S_{j.ini}$	$S_j$	$w_d$	$M_{Sd}$		$M_{Rd.pl}$	Posouzení
	[MNm/rad]	[mm]					
1	1 000	333	26	949	<	1 165	vyhovuje
2	500	167	54	1 004	<	1 165	vyhovuje
3	230	76	136	1 162	<	1 165	vyhovuje
4	200	67	164	1 214	>	1 165	nevyhovuje
5	150	50	248	1 375	>	1 165	nevyhovuje
6	100	33	504	1 868	>	1 165	nevyhovuje

Vodorovné přetvoření  $w_d$  je pro první mezní stav únosnosti počítáno z návrhových hodnot zatížení s přihlédnutím k součiniteli kombinací podle EC3. Podmínka spolehlivosti  $M_{Sd} \leq M_{Rd.pl}$  je splněna jen v případech 1 až 3, kdy je počáteční ohybová tuhost styčnicku  $S_{j.ini}$  větší než 230 MNm/rad. Styčnický s menší počáteční tuhostí nevyhoví.

#### b) Posudek použitelnosti

Pro posudek druhého mezního stavu použitelnosti konstrukce se podle normy [4] předpokládá pružná odezva styčnicku na působící zatížení (viz odst. 2.2). Účinek zatížení (horizontální posun horních styčnicků rámu  $w_k$ ) odpovídá pouze kombinaci charakteristických hodnot zatížení. Konstrukce vyhoví kritériu použitelnosti, je-li splněna podmínka

$$w_k \leq w_{lim} \text{ [mm]}, \quad (16)$$

kde  $w_k$  je vypočtená hodnota vodorovného posunutí horních styčnicků rámu pro rozhodující kombinaci účinků zatížení a  $w_{lim}$  přípustná vodorovná deformace.

#### c) Určení trvalých deformací plasticky namáhaných styčnicků

U polotuhého spoje namáhaného nad mez elastické únosnosti dochází ke vzniku pružně plastických deformací a po odlehčení ke vzniku deformací trvalých. Tyto plastické deformace mohou mít nepříznivý vliv např. na spolehlivost konstrukce z hlediska porušení nízkocyklickou únavou při střídavém zatížení (např. při seizmickém zatížení nebo při střídavém zatížení větrem zleva a zprava) a na použitelnost konstrukce.

Velikost trvalého natočení styčnicku  $\Phi_{pl}$  (resp. odpovídajícího trvalého vodorovného přetvoření rámu  $w_{pl}$ ) lze určit z pracovního diagramu  $M-\Phi$  po jeho odlehčení. Na obrázku 3 jsou naznačeny modelové situace znázorňující stanovení celkových  $\Phi_{tot}$  a trvalých plastických deformací  $\Phi_{pl}$  různě namáhaných styčnicků.

U styčnicků namáhaných v oblasti pružného působení styku, viz obr. 3c, nedochází ke vzniku trvalých plastických deformací. Pro spoj namáhaný na mez plastické únosnosti, viz obr. 3a, platí vztahy určené normou [4]

$$\frac{S_{j.ini}}{S_j} = \mu \cong 3, \quad (17)$$

$$M_{Rd.el} = \frac{2}{3} M_{Rd.pl} \text{ [kNm]}. \quad (18)$$

Velikost trvalé deformace styčnicku  $\Phi_{pl}$  po jeho pružném odlehčení lze, za předpokladu platnosti vzorců (17) a (18), přibližně určit vztahem

$$\theta_{pl} = \frac{7}{9} \theta_{tot,max} \text{ [rad]}, \quad (19)$$

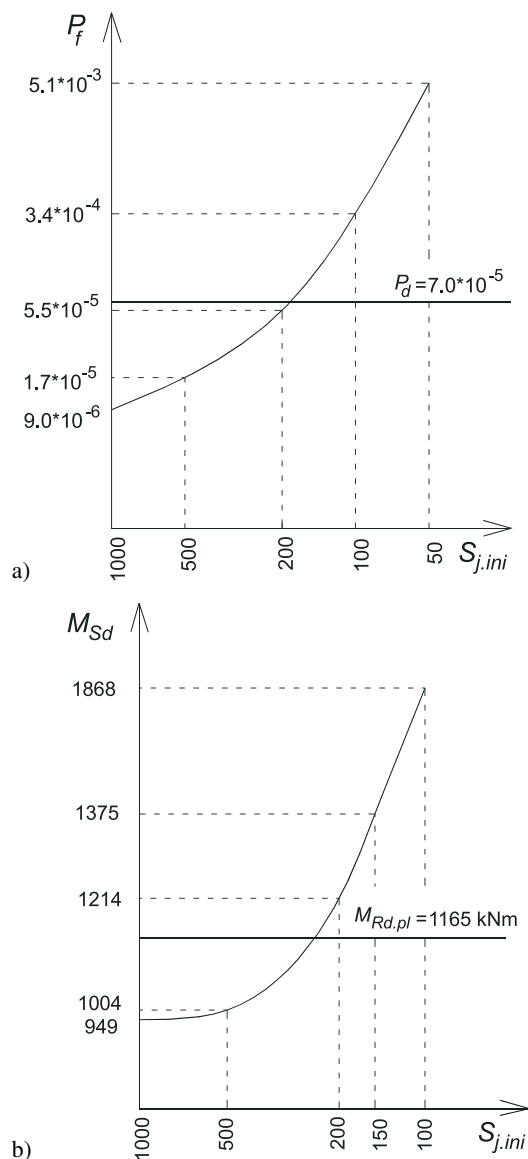
kde  $\Phi_{tot,max}$  je celkové natočení spoje namáhaného na mez plastické únosnosti. Je-li spoj namáhan v oblasti pružně plastického působení, tj. v intervalu  $M_{Sd} \in (M_{Rd.el}; M_{Rd.pl})$ , pak je velikost trvalé plastické deformace styčnicku  $\Phi_{pl}$  určena rozmezím

$$\theta_{pl} \in \left( 0; \frac{7}{9} \theta_{tot,max} \right) \text{ [rad]}. \quad (20)$$

#### 4. Porovnání výsledků obou metod a jejich diskuze

Výsledky studie zkoumající vliv ohybové tuhosti spojů c a d na bezpečnost (resp. mezní stav únosnosti) styčnicku jsou pro obě uvedené metody znázorněny na obr. 4. Vzhledem k zásadní rozdílnosti principů a předpokladů metody SBRA

a metody dílčích součinitelů nelze přímo porovnávat výsledky získané stochastickou analýzou posouzení spolehlivosti konstrukce s výsledky získanými analýzou deterministickou podle EC3. Výsledky a poznatky z posudku spolehlivosti vyšetřované rámové konstrukce jsou proto diskutovány a posuzovány pro oba přístupy samostatně.



Obr. 4. Vliv ohybové tuhosti spoje na spolehlivost styčnicku  
a – výsledky posudku bezpečnosti podle SBRA, b – výsledky posudku mezního stavu únosnosti podle EC3

#### 4.1. Poznámky k posudku metodou SBRA

Výsledky studie uvedené v tab. 2 a obr. 4a dovolují sledovat závislost pravděpodobnosti poruchy styčnicku  $P_f$  a hodnoty ohybové tuhosti  $S_{j,ini}$ . Kritériu bezpečnosti  $P_f < P_d = 7 \cdot 10^{-5}$  [9] vyhoví v uvedeném příkladu pouze styčnický s hodnotou počáteční ohybové tuhosti vyšší než 190 MNm/rad. Styčnický s menší počáteční tuhostí nevyhovují. Toto pozorování ilustruje větší „citlivost“ styčnicků s menší ohybovou tuhostí na zvýšené účinky zatížení odpovídající teorii druhého řádu. Při malé tuhosti spojů dochází u konstrukce k výraznějšímu nárůstu deformace, a tím i k zvýraznění vlivu teorie druhého řádu, dochází k zvětšení vnitřních sil a nárůstu pravděpodobnosti poruchy  $P_f$ . Využití pružné plastické oblasti únosnosti spoje  $M_{R,pl}$  by bylo spojeno s výrazným poklesem ohybové tuhosti styčnicku, viz obr. 2. Lze

tedy usuzovat, že plasticky namáhaný spoj bude mnohem citlivější k účinkům zatížení stanoveným podle teorie druhého řádu než spoj namáhaný v oblasti pružného působení styku.

#### 4.2. Poznámky k posudku metodou dílčích součinitelů

Z výsledků studie uvedených v tab. 3 a na obr. 4b lze usuzovat na závislost „hodnoty“ mezního stavu únosnosti  $M_{Sd} \leq M_{Rd,pl}$ , které vyhoví v uvedeném příkladu pouze styčnický s počáteční ohybovou tuhostí vyšší než 230 MNm/rad. Styčnický s menší počáteční tuhostí nevyhoví. Obdobná závislost mezi pravděpodobností poruchy a počáteční tuhostí spoje byla pozorována v odst. 3.2. Výrazný nárůst vnitřních sil v důsledku platnosti teorie druhého řádu lze pozorovat především u spojů s menší ohybovou tuhostí, tj. v oblasti působení polotuhých spojů.

Využití plně plastické únosnosti spoje  $M_{R,pl}$  je vždy spojeno s výrazným poklesem ohybové tuhosti styčnicku, viz obr. 2. Lze tedy usuzovat, že konstrukce s plasticky namáhanými polotuhými spoji bude velmi citlivá z hlediska účinků teorie druhého řádu a účinky zatížení, zvýšené v souladu s teorií druhého řádu, mohou mít výrazný vliv na výslednou velikost vnitřních sil v konstrukci. Studie naznačuje, že nelze zanedbat zvýšený účinek zatížení v důsledku přetvoření konstrukce.

Jako velmi důležitý faktor posudku spolehlivosti konstrukce se jeví stanovení trvalých plastických deformací polotuhých styčnicků  $\Phi_{pl}$  namáhaných nad mez jejich elastické únosnosti. Dosáhne-li ve smyslu posudku podle EC3 zatížení jednorázově hodnot přesahujících z hlediska odezvy styčnicku na zatížení pružnou oblast působení, vznikají trvalé deformace konstrukce. Lze usuzovat, že hodnota těchto trvalých plastických deformací může ve vybraných situacích výrazně překročit limitní hodnotu přetvoření z hlediska použitelnosti. Dalším závažným faktorem posudku spolehlivosti konstrukce je stanovení maximálních pootočení polotuhých styčnicků  $\Phi_{tot}$  namáhaných jednorázově v oblasti pružně plastického chování styčnicku. Z obrázku 3 je patrný výrazný nárůst celkových deformací styčnicku u spojů namáhaných v oblasti pružně plastického působení. Toto jednorázové navýšení deformací styčnicků může významně omezit spolehlivost posuzované konstrukce (praskání skel obvodových plášťů, poruchy technologických zařízení apod.). Je proto potřebné věnovat těmto poznatkům zvýšenou pozornost v dalších studiích.

#### 5. Souhrn a závěry

Příspěvek se zabývá porovnáním posudku spolehlivosti zvoleného ocelového rámu podle metody SBRA a postupů uvedených v EC3 z hlediska podstaty, předpokladů, strategie a výsledků posudku bezpečnosti (resp. mezního stavu únosnosti) a použitelnosti se zřetelem k vlivu polotuhých styčnicků. Pozornost je zaměřena na rozdílnost obou metod z hlediska vyjádření zatížení, způsobu rozboru kombinace účinků zatížení, na rozdílné pojetí modelů polotuhých spojů a na rozdíly v posudcích spolehlivosti podle SBRA a podle EC3.

V eurokódech jsou jednotlivá zatížení reprezentována charakteristickými a návrhovými hodnotami. Při posudku prvního mezního stavu únosnosti konstrukce stanovuje EC3 účinek zatížení z návrhových hodnot, při posudku druhého mezního stavu použitelnosti je účinek zatížení stanoven z hodnot charakteristických. Pro stanovení účinků zatížení využívá EC3 kombinačních vzorců. V metodě SBRA jsou jednotlivá zatížení reprezentována křivkou trvání a odpovídajícími histogramy. Metoda SBRA nezavádí různé hodnoty

ty zatížení do posudku bezpečnosti a do posudku použitelnosti konstrukce, jako je tomu u EC3. Stanovení výsledných účinků zatížení a jejich kombinace je v pravděpodobnostní metodě SBRA založeno na analýze interakce všech náhodných veličin (včetně zatížení) simulační technikou.

Lze připomenout:

- pro stanovení mezní únosnosti styčnicku předpokládá EC3 využití plně plastické únosnosti spoje  $M_{Rd,pl}$ , přičemž je únosnost vztažena k „návrhové“ hodnotě meze kluzu  $f_{yd}$ . V posudku použitelnosti se předpokládá pružná odezva styčnicku do dosažení hodnoty momentu  $M_{Rd,el}$ ;

- posudek pravděpodobnostní metodou SBRA je z hlediska bezpečnosti založen na určení pravděpodobnosti  $P_f$  překročení referenční úrovně  $RV$  (odpovídající v uvedených příkladech vyčerpání pružné oblasti působení styku) a splnění kritéria  $P_f < P_d$ , kde  $P_d$  je návrhová pravděpodobnost [9]. Posudek použitelnosti může být vztažen např. k přípustnému vodorovnému posunu horních styčnicků rámu, který nesmí být překročen s větší pravděpodobností než přípouští norma.

Významným faktorem ovlivňujícím spolehlivost konstrukce s polotuhými styčnickými je vliv účinků zatížení určených s přihlédnutím k teorii druhého řádu. Studie provedené na vybrané rámové konstrukci ukazují na závažnou závislost mezi pravděpodobností poruchy a hodnotou ohybové tuhosti polotuhých spojů. Uvedené studie naznačují význam závislosti účinků zatížení (určených podle teorie druhého řádu) na hodnotě ohybové tuhosti styčnicku. Lze zdůraznit, že pokles ohybové tuhosti styčnicků namáhaných v plastické oblasti jejich působení může v mnoha situacích vyvolat nezanedbatelné zvýšení vnitřních sil a také vznik nežádoucích trvalých plastických deformací konstrukce po odlehčení.

Je vhodné upozornit na skutečnost, že spoje s hodnotou počáteční ohybové tuhosti nižší než 150 MNm/rad (hodnoty voleny pro potřebu studie) již nemusí vzhledem k posuzované konstrukci odpovídat dobré inženýrské praxi. Při návrhu konstrukce lze pro předběžný odhad „vhodné“ tuhosti spojů využít vztahů uvedených v normě [3].

Předložená studie má přispět k dalšímu výzkumu zaměřenému na přechod od dosavadních metod k plně pravděpodobnostním metodám odpovídajícím éře počítačů a aplikovatelným v projekční praxi.

**Příspěvek vznikl za podpory ÚTAM AV ČR, Praha, FAST VŠB TU–Ostrava a v rámci projektu č. 103/04/1451 GA ČR.**

## Literatura

- [1] Chen, W. F. – Toma, S.: *Advanced Analysis of Steel Frames*. Boca Raton, Florida, CRC Press, Inc. 1995.
- [2] Wald, F. – Sokol, F.: *Navrhování styčnicků*. ČVUT, Praha, 1999.
- [3] ČSN P ENV 1993-1-1: *Navrhování ocelových konstrukcí, Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. ČSN, 1992.
- [4] ČSN P ENV 1993-1-1: *Navrhování ocelových konstrukcí, Příloha A2, Styčnický konstrukcí*. ČSN, 2000.
- [5] Marek, P. – Guštar, M. – Anagnos, T.: *Simulation-Based Reliability Assessment for Structural Engineers*. Boca Raton, Florida, CRC Press, Inc. 1995.

[6] Marek, P. – Brozzetti, J. – Guštar, M. – Tikalsky, P.: *Probabilistic Assessment of Structures Using MonteCarlo Method. Basics, Exercises, Software*. 2nd edition, ÚTAM AV ČR Praha, 2003.

[7] Křivý, V.: *Posouzení spolehlivosti styčnicků ocelových konstrukcí podle současných metod a metody SBRA*. [Diplomová práce], FAST VŠB-TU Ostrava, 2003.

[8] Marek, P. – Křivý, V.: *Reliability Assessment of Semi-Rigid Partial-Strength Joints and Structures*. Proc. of the 8th Scientific Conference „Connections and Joints in Metal Structures“. *Konstrukce stalowe*, 2003, No. 5, pp. 30–33.

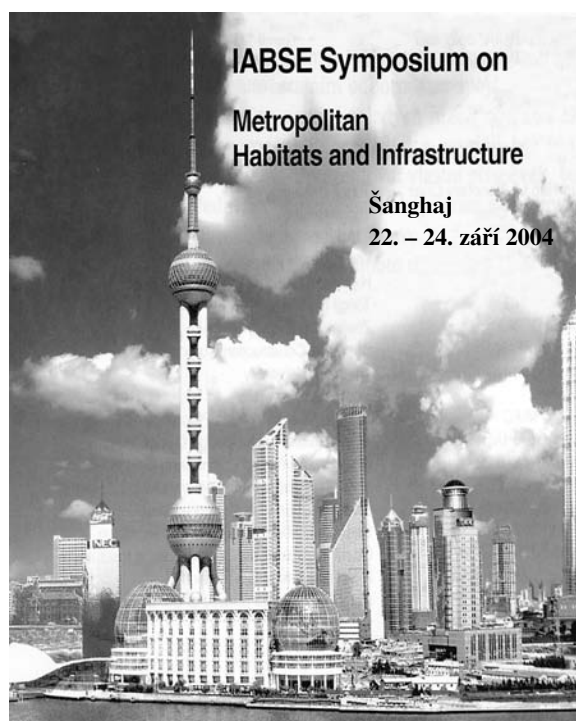
[9] ČSN 73 1401-1998: *Navrhování ocelových konstrukcí*, ČSN, 1998.

## Křivý, V. – Marek, P.: Reliability Assessment of Semi-Rigid Joints of Steel Structures

This paper looks at reliability assessment of semi-rigid joints of steel structures. The SBRA reliability assessment approach is explained and compared with the Partial Reliability Factors method, PRFM, applied in codes. The differences between the SBRA method and PRFM are specified and discussed.

## Křivý, V. – Marek, P.: Beurteilung der Zuverlässigkeit von halbsteifen Knoten von Stahlkonstruktionen

Der Artikel befasst sich mit der Beurteilung der Zuverlässigkeit von halbsteifen Knoten von Stahlkonstruktionen. Es wird das Zuverlässigkeitskonzept der SBRA-Methode erklärt und mit dem Konzept der Teilsicherheitsfaktorenmethode, die in den derzeitigen Normen angewandt wird, verglichen. Die Unterschiede beim Vorgehen beider Methoden werden definiert und nachfolgend diskutiert.





# Mechanické, tepelné a vlhkostní vlastnosti nemoifikované energosádry – 1. část

Ing. Pavel TESÁREK  
 prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.  
 RNDr. Jaroslava DRCHALOVÁ, CSc.  
 ČVUT – Fakulta stavební, Praha

doc. RNDr. Pavla ROVNANÍKOVÁ, CSc.  
 VUT – Fakulta stavební, Brno

Ing. Jiří KOLÍSKO, PhD.  
 ČVUT – Kloknerův ústav, Praha

V článku je prezentováno referenční měření mechanických, tepelných a vlhkostních vlastností energosádry. Naměřená data zahrnují hodnoty pevnosti v tahu za ohybu, pevnosti v tlaku, součinitele vlhkostní vodivosti, faktoru difúzního odporu, součinitele tepelné vodivosti, objemové měrné tepelné kapacity a součinitele teplotní délkové roztažnosti, které poslouží pro porovnání s hodnotami naměřenými na modifikované energosádře v budoucích měřeních.

## Úvod

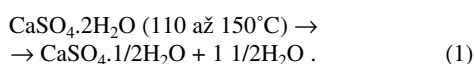
Oxid siřičitý představuje závažné znečištění životního prostředí. Do ovzduší se dostává s kouřovými plyny, pokud se spaluje uhlí s obsahem síry. Zdrojem emisí oxidu siřičitého byly donedávna zejména tepelné elektrárny a teplárny, kde se spaluje energetické uhlí, které obsahuje až 2 % síry. Od roku 1998 jsou všechny velké zdroje oxidu siřičitého u nás odsiřovány.

Způsobí odsiřování spalin je několik, naše elektrárny využívají zejména:

- fluidní spalování, při němž se jemně mletý vápenc vnáší přímo do spalovacího prostoru, kde se rozkládá a reaguje s oxidačními produkty síry;
- mokrou vápencovou vypírku, při níž reaguje oxid siřičitý se suspenzí vápence.

Mokrý vápencová vypírka produkuje síran vápenatý dihydrát  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Tento odpadní produkt s názvem energosádrovec je druhotnou surovinou pro výrobu sádry. Elektrárnský blok o výkonu 200 MW ho vyprodukuje čištěním kouřových plynů cca 5 t/h. Je zřejmé, že takový velkoobjemový odpad by bylo vhodné zpracovávat, využití by měl především ve stavebnictví. V současné době se zpracovává pouze část produkovaného sádrovce, větší podíl se ukládá na skládky. Zpracování se týká zejména výroby sádry pro sádrokartonové desky a briketování sádrovce pro cementárny, kde slouží jako zpomalovač tuhnutí cementu. Je tedy nanejvýš žádoucí hledat další možnosti využití sádry.

Z energosádrovce se tepelným rozkladem při teplotě 110 až 150 °C vyrábí  $\beta$ -sádra chemického složení  $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$  podle rovnice



Její pevná struktura vzniká zpětnou hydratací za vzniku

sádrovce  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Sádrovec má rozpustnost 256 mg v 100 g vody při 20 °C. Z tohoto důvodu se sádra uplatňuje pouze jako interiérový materiál pro štuky, omítky a v současné době zvláště pro výrobu sádrokartonových desek.

Po vyspání sádry do vody vznikne kaše, která postupně ztrácí tekutost a přechází do tuhého stavu. Počátek tuhnutí je závislý na teplotě rozkladu sádrovce; čím je teplota vyšší, tím sádra pomaleji tuhne. Po zatuhnutí začne sádra tvrdnout, tj. pozvolna nabývá pevnosti, sádrovec rekrystalizuje. Šatava [1] zkoumal velikost a tvar krystalů sádrovce v zatvrdlé hemihydrátové sádře. Zjistil, že její pevnost je úměrná ploše vzájemných kontaktů mezi krystaly. Výrazně závisí na vodním součiniteli, který má běžně hodnotu 0,6 až 0,8. Pokud je záměsová voda více, zanechává v sádře póry, které při uvedeném poměru voda/sádra představují 47 až 55 % objemu [2].

Nevýhodou jsou výrazné změny mechanických vlastností ve vztahu k vlhkosti výrobku. Při navlhnutí výrobku výrazně klesá pevnost a modul pružnosti. Vysušená sádra má dvakrát až třikrát vyšší pevnost než vlhká. Voda obsažená v zatvrdlé sádře je vázaná chemicky a fyzikálně v kapilárách a na jejím povrchu. Zatvrdlá má hygroskopické vlastnosti, proto není vhodné ji používat v prostředí s vyšší relativní vlhkostí vzduchu než 60 % a místech, kde je ve styku s vodou nebo zemní vlhkostí. Její značnou výhodou je, že dosahuje úplné hydratace a konečné pevnosti v relativně krátké době, tj. asi do tří dnů.

Měřením materiálových parametrů sádry se dosud zabývalo u nás i ve světě překvapivě málo výzkumných týmů. Ucelená sada hodnot mechanických, tepelných a vlhkostních vlastností zatím nebyla publikována ani pro sádru bez jakýchkoli přísad. V bývalém Československu se touto problematikou zabýval Šatava [1], [3], který studoval především procesy tvrdnutí sádrových suspenzí, závislost pevnosti na mikrostruktuře atd. V ČSN nebyly žádné hodnoty pro sádru nalezeny, pouze základní parametry pro sádrokarton [4]. Rochla ve známé publikaci Stavební tabulky [5] uvádí některé parametry u položky sádrové tvárnice Promonta (vyráběné litím čisté sádry bez přísad a plniv) a položky sádrové desky. Další hodnoty se dají najít v technických podkladech firmy Gypstrend, s. r. o. – Mrovec, Peterková [6], jsou zde uvedeny u výrobku Superblok TPP8-tvárnice přičkovat ze sádrové hmoty plně. V zahraničí se podle dostupných prací měření na běžné sádře zabývalo více osob, ale jejich počet také není příliš velký. Mechanické vlastnosti (pevnost v tlaku, v tahu za ohybu, Youngův modul pružnosti, Poissonova konstanta) jsou známy z publikací Klein a Ruffer [7], Singh a Garg [8], Tazawa [9]. Tepelné vlastnosti (součinitel tepelné vodivosti, měrná tepelná kapacita, součinitel teplotní vodivosti) zjišťovali Danten a kol. [10],

Mehaffey a kol. [11], Sultan [12]. Z vlhkostních vlastností jsou známy faktor difúzního odporu, který stanovil Hanusch [13], a sorpční a desorpční izotermy naměřené Dahlem a kol. [14].

V článku je prezentováno referenční měření mechanických, tepelných a vlhkostních vlastností energosádry jako základ pro porovnání s hodnotami zjišťovanými při budoucích měřeních.

## Experimentální metody

### ■ Pevnost v tlaku

Zkoušení pevnosti v tlaku probíhalo na šesti polovinách vzorků získaných po zkoušení pevnosti v tahu za ohybu, přičemž poloviny zkušebních vzorků byly zatěžovány kolmo na směr hutnění. Při zkoušce bylo postupováno podle ČSN 72 2301 Sádrová pojiva [15]. Vzorky byly zbaveny formy 15 minut po skončení tuhnutí a uloženy ve zkušební místnosti. Z přístroje WPM 100 kN s rozsahem stupnice 0–20 kN byla odečtena hodnota síly  $F$  [kN], která odpovídá zatěžovací ploše lisu 40 x 40 mm. Pevnost v tlaku byla vypočítána jako podíl síly a zatěžovací plochy. Výsledná pevnost v tlaku jedné sady (tří vzorků) byla vypočtena jako aritmetický průměr výsledků šesti zkoušek, po vyloučení největší a nejmenší hodnoty. Pevnost v tahu za ohybu byla určována po 2 a 24 h, dále pak po 3, 7, 14 a 28 dnech. Při této zkoušce se také sledovala vlhkost jednotlivých vzorků.

### ■ Pevnost v tahu za ohybu

Podle normy [15] byl vzorek umístěn tak, aby jeho hrany, které byly horizontální při zhotovení, se nacházely ve vertikální poloze. Šlo o tříbodový ohyb, vzdálenost podpěrných válečků byla 100 mm. Z přístroje byla odečtena síla  $F$  [kN]. Zkouška probíhala na zařízení WPM 50 kN s rozsahem stupnice 0 až 10 kN. Pevnost v tahu za ohybu byla vypočtena standardní vyhodnocovací procedurou. Pevnost v tahu za ohybu se měřila ve stejných časových úsecích jako pevnost v tlaku.

### ■ Součinitel vlhkostní vodivosti

#### Určení pomocí sorpčního experimentu

Pro stanovení této veličiny byl použit experiment založený na kapilárním sání vody z volné hladiny do vzorku ve vertikální poloze. Vzorek byl izolován proti vodě a vlhkosti na čtyřech stěnách pláště a zavěšen pomocí kovové konstrukce nad nádobu s vodou tak, aby jeho spodní čelo bylo ponořeno 2 mm. Vahadla se vzorkem byla položena na vahách propojených s počítačem a umožňujících automatickou registraci dat. Konstantní hladina v nádobě byla udržována z láhve s vodou, obrácené dnem vzhůru, pomocí dvou kapilár, které z ní vycházely. Závislost množství vody ve vzorku na od-mocnině z času od počátku měření byla využita ke stanovení koeficientu absorpce vody, který je roven směrnici její lineární části.

Pro výpočet průměrné hodnoty součinitele vlhkostní vodivosti  $D_w$  [m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>] byla použita rovnice

$$D_w \approx \left( \frac{A}{w_c} \right)^2, \quad (2)$$

kde  $A$  je koeficient absorpce vody [kgm<sup>-2</sup>s<sup>-1/2</sup>],  $w_c$  nasycená vlhkost [kgm<sup>-3</sup>].

#### Určení z vlhkostních profilů

Pro měření obsahu vlhkosti byla použita kapacitní metoda

[16] založená na principu měření změny kapacity kondenzátoru, jehož dielektrikem je zkoumaný materiál. Měřicí frekvence leží v rozsahu 250 až 350 kHz. K měření byl použit kapacitní senzor, plošná sonda měla tvar deskového kondenzátoru s rozměry 20 x 40 mm. Vlhkostní profily byly určeny při simulování jednorozměrného transportu vlhkosti v horizontální poloze, aby byl vyloučen vliv gravitace. Stěny pláště vzorku byly izolovány proti vodě a vlhkosti smršťovací termofólií, jeho čelo bylo potom umístěno do nádoby, ve které bylo přes houbičku v kontaktu s vodou, druhé čelo zůstalo volné. Ve zvolených intervalech se pak přikládala sonda. Měření se provádělo po délce každých 5 mm. Poslední čtení bylo provedeno, když vlhkost dosáhla přibližně poloviny délky vzorku. Poté byl vzorek rozřezán na dílky po 10 mm a vlhkost v nich určena gravimetrickou metodou. Z takto získaných výsledků a posledního čtení z měřiče vlhkosti byla vytvořena kalibrační křivka. Souhrnná kalibrační křivka pro sádru byla určena z hodnot měření na šesti vzorcích, abychom získali přesnější data. Vlhkostní profily jsme potom určili zpětně pomocí této kalibrační křivky. Součinitel vlhkostní vodivosti byl vypočítán z vlhkostních profilů Matanovou metodou [17]. Použité vzorky byly ponechány volně v laboratorním prostředí až do ustálení hmotnosti, jejich hmotnostní vlhkost se pohybovala okolo 18 %. Měření probíhalo při teplotě 25 °C a relativní vlhkosti okolo 50 %.

### ■ Součinitel difúzního odporu

#### Stacionární metoda

Pro měření byla použita jedna ze standardních stacionárních metod – misková metoda (cup metoda) definovaná v ČSN 72 7031 [18]. Součinitel difúze vodní páry  $D$  [m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>] byl vypočten podle rovnice

$$D = \frac{\Delta m \cdot d \cdot R \cdot T}{S \cdot \tau \cdot M \cdot \Delta p_p}, \quad (3)$$

kde  $D_m$  je množství vodní páry prošlé vzorkem [kg],  $d$  tloušťka vzorku [m],  $S$  jeho plocha v kontaktu s vodní párou [m<sup>2</sup>],  $t$  čas odpovídající hmotnosti prošlé vodní páry,  $\Delta_m$  [s],  $\Delta p_p$  rozdíl parciálních tlaků v nádobě pod vzorkem a prostředím nad vzorkem [Pa],  $R$  univerzální plynová konstanta [Jmol<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>],  $M$  molární hmotnost vody [kgmol<sup>-1</sup>],  $T$  absolutní teplota [K].

Na základě výpočtu součinitele difúze vodní páry  $D$  byl určen faktor difúzního odporu podle vztahu

$$\mu = \frac{D_a}{D}, \quad (4)$$

kde  $D_a$  je součinitel difúze vodní páry ve vzduchu [m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>].

Při měření metodou dry cup byla miska se vzorkem naplněna silikagelem a umístěna v klimatizované komoře, kde byla udržována relativní vlhkost okolo 50 %. Při měření metodou wet cup byla miska naplněná vodou umístěna v laboratorním prostředí s relativní vlhkostí okolo 50 %. Hmotnost misky se vzorkem se zjišťovala dvakrát denně po dobu dvou týdnů, teplota v laboratoři se pohybovala okolo 25 °C. Konstantní úbytek (wet cup) nebo přírůstek (dry cup) byl stanoven po ustálení z posledních pěti hodnot pomocí lineární regrese.

#### Nestacionární metoda

Sestava pro měření touto metodou sestává z trubice rozdělené na dvě samostatné komory vzduchotěsně a parotěsně izolované od okolního prostředí a navzájem oddělené vzorkem z měřeného materiálu. V jedné z komor byla

umístěna nádoba s vodou, jejímž vypařováním bylo v této komoře dosaženo relativní vlhkosti 91 %. Ve druhé komoře byla umístěna mísa s absorpčním materiálem (silikagelem), relativní vlhkost v této komoře se pohybovala okolo 12 %. Pomocí vah napojených na počítač jsme mohli stanovit úbytek změny hmotnosti vody a přírůstek silikagelu v závislosti na čase. V obou komorách i v místnosti, kde probíhal pokus, sondy snímaly relativní vlhkost a teplotu. Hlavní výhodou této metody je významná úspora času při dosažení srovnatelných výsledků s metodou stacionární [19]. K výpočtu faktoru difúzního odporu byly použity stejné vzorce jako u stacionární metody.

#### ■ Součinitel tepelné vodivosti a měrná tepelná kapacita

Tepelné vlastnosti byly ověřovány přístrojem ISOMET 2104 (Applied Precision, Slovensko), což je multifunkční zařízení k měření součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$  [ $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ], objemové měrné tepelné kapacity  $c\rho$  [ $\text{Jm}^{-3}\text{K}^{-1}$ ] a teploty [ $^{\circ}\text{C}$ ] pro různé druhy materiálů. Součinitel teplotní vodivosti  $a$  [ $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ ] se počítá podle vztahu

$$a = \frac{\lambda}{c\rho}. \quad (5)$$

Měření se provádělo plošnou sondou na vzorcích ponechaných v laboratorním prostředí s teplotou  $25^{\circ}\text{C}$  a relativní vlhkostí okolo 50 %. Hmotnostní vlhkost byla okolo 18 %.

#### ■ Součinitel teplotní délkové roztažnosti

Součinitel teplotní délkové roztažnosti  $\alpha_T$  [ $\text{K}^{-1}$ ] byl určen z rozdílu délkových změn mezi teplotami  $25^{\circ}\text{C}$  a  $80^{\circ}\text{C}$ . Pro určení délkových změn byl použit optický komparátor Carl Zeiss s přesností  $\pm 0,5$  mm. Součinitel  $\alpha_T$  byl vypočten podle vztahu

$$\alpha_T = \frac{1}{l_{o,T}} \cdot \frac{dl}{dT}, \quad (6)$$

kde  $l_{o,T}$  je délka při referenční teplotě [m],  $dl$  rozdíl délek [m] a  $dT$  rozdíl teplot [K].

#### Materiály a vzorky

Materiálem určeným pro referenční měření byla  $\beta$ -sádra s čistotou vyšší než 98 % energosádrovce z elektrárny Počerady. Vodní součinitel voda/sádra byl 0,627 a odpovídá normální konzistenci podle [15]. Tato norma se sice týká pevnosti v tlaku a tahu za ohybu, ale podle jejích zásad byly vyrobeny posléze všechny vzorky, aby bylo zaručeno, že se bude postupovat stejnou technologií. Vzorky pro měření vlhkostních parametrů byly izolovány na celém povrchu kromě obou čel, která pak byla ve styku s vlhkostí, proti vodě pomocí epoxidu nebo latexové pasty, aby byl zaručen jednorozměrný přenos vlhkosti. Při měření byly použity tyto vzorky:

- součinitel vlhkostní vodivosti (kapacitní metoda)  
6 vzorků 20 x 40 x 300 mm,
- součinitel vlhkostní vodivosti (sorpční experiment)  
6 vzorků 50 x 50 x 23 mm,
- faktor difúzního odporu  
12 vzorků průměru 105 mm a tloušťce 10–22 mm,
- součinitel tepelné vodivosti a měrná tepelná kapacita  
3 vzorky 70 x 70 x 70 mm,
- součinitel teplotní délkové roztažnosti  
5 vzorků 40 x 40 x 160 mm,
- pevnost v tahu za ohybu a v tlaku  
8 sad po 3 vzorcích 40 x 40 x 160 mm.

Pro stanovení nulové hmotnosti byly vzorky nejdříve ponechány v laboratorním prostředí a po ustálení hmotnosti sušeny v sušárně po týdenních cyklech se zvyšující se teplotou 40, 60 a  $80^{\circ}\text{C}$ .

#### Experimentální výsledky

V *tabulce 1* jsou uvedeny základní vlastnosti energosádry, pevnost v tlaku a tahu za ohybu je uvedena na *obr. 1*. Podle normy se zkouší pevnost po 2 h, my jsme sledovali pevnost v tlaku a v tahu za ohybu v delších časových úsecích. Z grafu jsou vidět jasné výkyvy pevnosti související především s vodou vázanou na strukturu, která se po odformování postupně uvolňuje a pravděpodobně se dotváří struktura materiálu. Vzorky pro tuto pevnost měly hmotnostní vlhkost okolo 67 %, vzorky pro 28denní pevnost okolo 24 %. *Obrázek 2* znázorňuje typické vlhkostní profily pro vzorky vyrobené z energosádry, na *obr. 3* jsou hodnoty součinitele vlhkostní vodivosti vypočtené oběma metodami. Z grafu je zřejmé, že hodnota součinitele vlhkostní vodivosti, určená ze sorpčního experimentu, protíná křivku součinitele vlhkostní vodivosti určenou pomocí vlhkostních profilů v hodnotě 83 % maximální vlhkosti, což ukazuje shodu obou metod. V *tabulce 2* jsou uvedeny tepelné vlastnosti energosádry, v *tab. 3* faktor difúzního odporu určený jak stacionární, tak nestacionární metodou.

Tab. 1. Vlastnosti energosádry

Objemová hmotnost	Hustota matrice	Otevřená pórovitost
[ $\text{kgm}^{-3}$ ]		[% objemu]
1 019 $\pm 1,5$ %	2 530 $\pm 2,0$ %	60 $\pm 3,4$ %

Tab. 2. Tepelné vlastnosti energosádry

součinitel tepelné vodivosti [ $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ]	0,47 $\pm 10$ %
objemová měrná tepelná kapacita [ $\text{Jm}^{-3}\text{K}^{-1}$ ]	(1,60 $\pm 10$ %)E+6
součinitel teplotní vodivosti [ $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ ]	(0,29 $\pm 10$ %)E-6
součinitel délkové roztažnosti [ $\text{K}^{-1}$ ]	(7,22 $\pm 15$ %)E-6

Tab. 3. Faktor difúzního odporu [–]

Stacionární metoda		Nestacionární metoda
dry cup	wet cup	
17,3 $\pm 15$ %	5,44 $\pm 15$ %	5,3 $\pm 5$ %

#### Diskuze

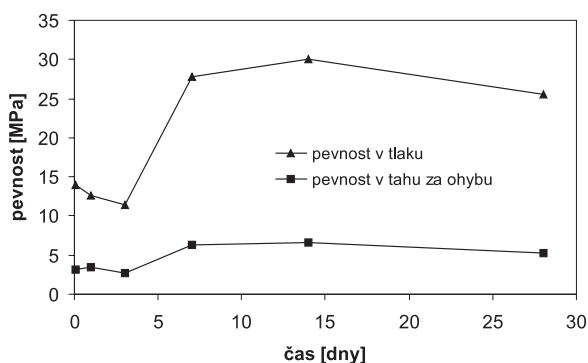
Možnosti porovnání materiálových parametrů energosádry, určených v tomto článku, s parametry naměřenými jinými autory alespoň na běžné sádre (pro energosádr se autorům tohoto článku žádná data nalézt nepodařilo) jsou poměrně omezené, jak již vyplývá z rozboru uvedeného v úvodní části.

● Ze základních vlastností jsme našli v publikaci Klein, von Ruffer [7] hodnotu pórovitosti 55 % pro sádru s vodním součinitelem 0,67 až 0,72. Materiály firmy Gypstrend [6] uvádějí objemovou hmotnost tvárnice z lité sádry 840 až 1 130  $\text{kgm}^{-3}$ . Podle normy [4] je objemová hmotnost sádrokartonu 750  $\text{kgm}^{-3}$ .

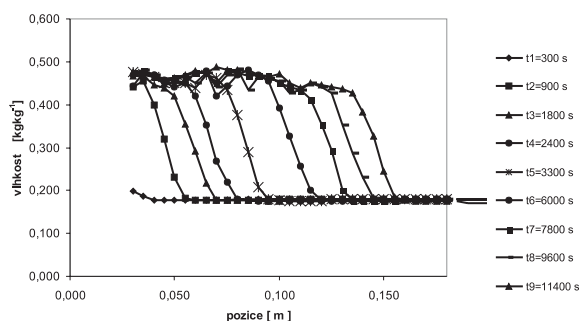
● Ze základních mechanických vlastností např. Klein a von Ruffer [7] určili pro  $\beta$ -sádru s vodním součinitelem 0,67 až 0,72 pevnost v tlaku 20 MPa a pevnost v tahu za ohybu 4 MPa. Singh a Garg [8] uvádějí pevnost v tlaku pro

surovou sádru 12 až 14 MPa, v závislosti na pH, Tazawa [9] pro sádrovou kaši s vodním součinitelem 0,6 pevnost v tlaku 18,2 MPa, pevnost v tahu za ohybu 5,59 MPa.

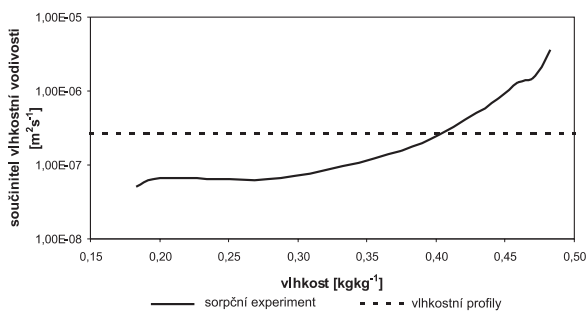
● Z tepelných vlastností Mehaffey a kol. [11] uvádějí součinitel tepelné vodivosti  $0,25 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , Sultan [12]  $0,25 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  pro teploty 20 až  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ . Oba autoři zkoumali chování stěny ze sádrokartonových desek při zatížení požárem. Mrovec a Peterková [6] uvádějí tepelnou vodivost tvárnice ze sádry  $0,20 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ .



Obr. 1. Pevnost v tlaku a v tahu za ohybu



Obr. 2. Typické vlhkostní profily – kapacitní metoda



Obr. 3. Součinitel vlhkostní vodivosti

● Z vlhkostních parametrů měřil Hanusch [13] faktor difúzního odporu  $\mu$  v závislosti na tloušťce sádrokartonové desky. Získal pro tloušťku 9,5 mm  $\mu = 10$  (pro hodnoty 0 a 50 % relativní vlhkosti) a  $\mu = 6,5$  (pro hodnoty 50 a 100 % relativní vlhkosti), pro tloušťku 18 mm  $\mu = 8,5$  (pro hodnoty 0 a 50 % relativní vlhkosti) a  $\mu = 5,5$  (pro hodnoty 50 a 100 % relativní vlhkosti). Měření bylo prováděno podle DIN.

Pro přímé a seriózní porovnání těchto dat s našimi výsledky, bohužel, chybějí podrobnější informace ve výše uvedených zdrojích. Autoři většinou odkazují pouze na platné národní normy a požadavky, které se týkají jak zpracování a výroby vzorků, tak zkušebních postupů, což pro špatnou dostupnost těchto materiálů porovnání komplikuje. Část

autorů navíc při měření použila jako zkoumaný materiál sádrokarton, tedy v podstatě sádrovou desku opatřenou papírovým povrchem. Jak vyplývá již z technologického hlediska, při výrobě sádrokartonu jsou použity různé přísady, např. zpomalovače tuhnutí, retardéry zvyšující požární odolnost, takže je otázkou, zda v tomto případě ještě můžeme hovořit o neupravené sádře.

Můžeme proto provést porovnání pouze víceméně orientační. Vyplývá z něj především, že mechanické parametry energosádry studované v tomto článku byly výrazně lepší než parametry sádry ve výše uvedených zdrojích a např. pevnost v tlaku byla více než 1,5násobná. Naopak součinitel její tepelné vodivosti byl zhruba dvojnásobný proti údajům uvedeným v literatuře a také faktor difúzního odporu měřený metodou dry cup byl téměř dvojnásobný. Z těchto údajů vyplývá, že energosádra ověřovaná v tomto článku byla zejména z mechanického hlediska výrazně kvalitnější než typy studované ve výše uvedených zdrojích.

## Závěr

Cílem článku a první části výzkumu bylo stanovit referenční sadu dat, která by měla obsahovat co nejlépe parametry naměřené na vzorcích vyrobených ze surové energosádry bez přísad. Zajímaly nás především základní mechanické parametry a parametry týkající se transportních procesů v materiálu. Tyto parametry by měly společně s dalším měřením pomoci k pochopení, případně simulování změn v tomto materiálu při kontaktu s vodou, vzdušnou vlhkostí, změnou teploty nebo v důsledku jiného klimatického zatížení. Základní materiál bude nutné modifikovat z důvodů zmíněných již v úvodu, tedy zhoršování vlastností s rostoucím obsahem vlhkosti.

Pro plánované využití obvodových bloků z energosádry bude nutná nejen ochrana proti vodním a vlhkostním vlivům, tedy použití hydrofobizačních přísad, ale i modifikace pro zvýšení pevnosti v tlaku a v tahu za ohybu, zlepšení tepelných vlastností atd. Přitom bude jistě nezbytné prověřit i možné negativní vlivy jednotlivých modifikací na jiné vlastnosti. Znalost referenčních parametrů může významně pomoci při volbě vhodného modifikátoru, který by při vylepšování některého parametru v co nejmenší míře zhoršoval ostatní parametry. Hlavním z důvodů vytvoření referenční sady parametrů je tedy nutnost porovnání hodnot naměřených později na modifikované sádře s referenčními měřeními. Taková referenční sada parametrů energosádry ovšem dosud nebyla publikována.

Modifikovaná sádra, která bude splňovat kritéria, bude použita pro tvorbu bloků, které budou tvořit obvodovou konstrukci. Její chování bude poté simulováno počítačovým programem, který by měl předpovědět chování nově vytvořeného prvku v delším časovém horizontu a také při zatěžování konstrukce vnějšími klimatickými podmínkami.

Na závěr bude jistě užitečné si připomenout několik poznatků technického charakteru získaných při měření. V první fázi experimentů se sádrou byly zároveň ověřeny experimentální metody a jejich aplikace na vzorcích z tohoto materiálu. Některé metody bylo nutné upravit, např. při izolování vzorku proti vodě byla místo běžně používaného epoxidu použita latexová pasta. Sádrové vzorky vypadají na první pohled, jako by měly homogenní strukturu, ale podle získaných výsledků se některé z nich chovají odlišně. Vzhledem k těmto vlastnostem bylo nutno vyrobit více vzorků, než se běžně používá pro jiné materiály. Byl též upraven a sjednocen technologický postup jejich výroby, vysoušení a ošetřování.

Článek byl vytvořen na základě podpory grantu č. 103/03/0006 GA ČR.

#### Literatura

- [1] Šatava, V.: Strength and Microstructure of Cast Gypsum. *Ceramics – Silikáty*, **40**, No. 2, 1996, pp. 72–76.
- [2] Schulze, W. a kol.: *Necementové malty a betony*. Praha, SNTL 1990.
- [3] Šatava, V.: Studie procesu tvrdnutí suspenzí sádry. [Doktorská dizertační práce], Praha, ČVUT, 1968.
- [4] ČSN 73 0540-3 Tepelná ochrana budov, Část 3: Výpočtové hodnoty veličin pro navrhování a ověřování. ÚNMI, 1994, s. 15.
- [5] Rochla, M.: *Stavební tabulky*. Praha, SNTL 1988, s. 17, s. 600, s. 614, s. 625.
- [6] Mrovec, J. – Perková, J.: *Pokyny pro projektanty*. Technické podklady firmy Gypstrend, s. r. o., 2003.
- [7] Klein, D. – von Ruffer, C.: *Grundlagen zur Herstellung von Formengips*. *Keramische Zeitschrift*, 1997, Vol. 49, pp. 275–281.
- [8] Singh, M. – Garg, M.: Retarding Action of Various Chemicals on Setting and Hardening Characteristics of Gypsum Plaster at Different pH. *Cement and Concrete Research*, 1997, Vol. 27, pp. 947–950.
- [9] Tazawa, E.: Effect of Self-Stress on Flexural Strength of Gypsum-Polymer Composites. *Advanced Cement Based Materials*, 1998, Vol. 7, pp.1–7.
- [10] Danten, A. – Hostache, G. – Murat, M. – Dicard, L.: Influence of Water Content on the Thermal Diffusivity of Gypsum Plaster. *Materials and Structures*, 1984, Vol. 17, pp. 303–306.
- [11] Mehaffey, J. R. – Cuerrier, P. – Carisse, G.: A Model for Predicting Heat Transfer through Gypsum Board/Wood-Stud Walls Exposed to Fire. *Fire and Materials*, 1994, Vol. 18, pp. 297–305.
- [12] Sultan, M. A.: Model for Predicting Heat Transfer through Noninsulated Unloaded Steel-Stud Gypsum Board Wall Assemblies Exposed to Fire. *Fire Technology*, 1996, Vol. 32, pp. 239–259.
- [13] Hanusch, H.: Übersicht über Eigenschaften und Anwendung von Gipskartonplatten. *Zement-Kalk-Gips*, 1974, Vol. 5, pp. 245–251.
- [14] Dahl, S. D. – Kuehn, T. H. – Ramsey, J. W. – Yang, C. H.: Moisture Storage and Non-Isothermal Transport Properties of Common Building Materials. *HVAC&R Research*, 1996, Vol. 2, pp. 42–58.
- [15] ČSN 72 2301 Sádrová pojiva – Klasifikace, Všeobecné technické požadavky, Zkušební metody. ÚNMI, 1979.
- [16] Semerák, P. – Černý R.: Kapacitní metoda pro měření vlhkostní vodivosti stavebních materiálů. *Stavební obzor*, **6**, 1997, č. 4, s. 102–103.
- [17] Drchalová, J. – Černý, R.: Non-Steady-State Methods for Determining the Moisture Diffusivity of Porous Materials. *Int. Comm. Heat and Mass Transfer*, 1998, Vol. 25, pp. 109–116.
- [18] ČSN 72 7031 Měření součinitele difúze vodní páry stavebních materiálů metodou bez teplotního spádu. ÚNMI, 1974.
- [19] Černý, R. – Toman, J. – Hošková, Š.: Nestacionární metoda stanovení součinitele difúze vodní páry ve stavebních materiálech. *Stavební obzor*, **10**, 1994, č. 10, s. 304–306.

**Tesárek, P. – Černý, R. – Drchalová, J. – Rovnaníková, P. – Kolisko, P.: Mechanical, Thermal and Moisture Unmodified Energy Gypsum – Part I**

This article presents referential measurements of mechanical, thermal and moisture properties of energy gypsum. The measured data include values of tensile strength in bending, compression strength, moisture conductivity coefficient, diffusion resistance factor, thermal conductivity coefficient, volumetric specific heat capacity, and thermal linear expansivity. These values will facilitate comparison with values measured in modified energy gypsum in the future.

**Tesárek, P. – Černý, R. – Drchalová, J. – Rovnaníková, P. – Kolisko, P.: Mechanische, Wärme- und Feuchtigkeitseigenschaften nicht modifizierten Energiegipses – I. Teil**

Im Artikel wird eine Referenzmessung der mechanischen, Wärme- und Feuchtigkeitseigenschaften von Energiegips vorgestellt. Die gemessenen Daten enthalten die Werte für die Zug- und Biegefestigkeit, die Druckfestigkeit, den Wasserdampf-Diffusionsleitkoeffizienten, die Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl, die Wärmeleitfähigkeit, die spezifische Wärmekapazität bei konstantem Volumen und für den Wärmeausdehnungskoeffizienten, die zum Vergleich mit den an modifiziertem Energiegips in künftigen Messungen gemessenen Werten dienen werden.

### **Všeobecné obchodní podmínky pro inženýrskou činnost ve výstavbě**

*Nakladatelství ARCH, Praha, 2003, 80 s., 199 Kč*

V současné tuzemské tržní ekonomice v souladu s rozvojem a specializací podnikatelské sféry a snahou po optimálním efektu investičního záměru roste zájem investorů (stavebníků) o inženýrskou činnost ve výstavbě. Zároveň s tím se v odborné veřejnosti vytváří poptávka po formování doporučených postupů při zajišťování těchto činností. Předkládaná publikace vychází těmto požadavkům vstříc.

Zpracované „Všeobecné obchodní podmínky pro inženýrskou činnost ve výstavbě“ aplikují § 273 Obchodního zákoníku pro příslušnou oblast inženýrské činnosti. Zaměřují se na závazkové vztahy mezi investorem (stavebníkem) a specializovaným podnikatelským subjektem, který pro něj obstará (zařídí) záležitosti, resp. provede příslušné odborné práce, výkony a služby potřebné k zabezpečení přípravy a realizace stavby – souhrnně označované jako inženýrská činnost ve výstavbě.

Po letech diskuzí je tato publikace v podstatě prvním pokusem o formulování komplexnější doporučené úpravy obchodních podmínek pro provádění vybraných (z hlediska využívání nejčastěji frekventovaných) inženýrských činností ve výstavbě s přihlédnutím k dosavadním tuzemským obchodním zvyklostem. Má povahu dispozitivní pomůcky. Smluvní strany se v souladu s § 273 Obchodního zákoníku mohou dohodnout, že podmínky obchodní smlouvy o inženýrské činnosti nebo část jejího obsahu určí odkazem na tyto obchodní podmínky, popř. na některá jejich ustanovení. Přitom konkrétní aplikace obchodních podmínek bude závislá na specifice obchodního případu.

# Vliv cyklů zmrazování–rozmrazování na materiálové charakteristiky betonu

Ing. Tomáš DOLEŽEL  
Ing. Dagmar JANDEKOVÁ  
doc. Ing. Petr KONVALINKA, CSc.  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

Článek se zabývá experimentálním vyšetřováním dvou betonů různé pevnosti, které byly zatěžovány teplotními cykly zmrazování a rozmrazování, a analyzuje změny některých jejich materiálových charakteristik. Pokles pevnosti v tlaku i energie, potřebné k deformaci zkoušených těles, závisí zejména na jakosti betonu a počtu teplotních cyklů. Z výsledků experimentů vyplývá, že takové zatížení má významný vliv na životnost betonových konstrukcí.

## Úvod

Skutečnost, že cyklické změny teplotního zatížení ovlivňují kvalitu a životnost betonových konstrukcí, je velmi dobře známa [14], [10]. Řada publikovaných prací se zabývá cyklickým teplotním zatěžováním zkušebních těles a zkoumáním jejich materiálových charakteristik, jako jsou součinitel vlhkostní vodivosti, součinitel teplotní délkové roztažnosti, součinitel tepelné vodivosti, součinitel teplotní vodivosti a měrná tepelná kapacita [11], [6], [7]. Materiálové charakteristiky betonu, jako například krychelná pevnost a modul pružnosti betonu v tlaku, však nejsou předmětem tak častého zájmu [14]. Tento článek se zabývá experimentálním vyšetřováním materiálových charakteristik (krychelné pevnosti a pracovním diagramem betonu v tlaku) dvou betonů rozdílné pevnosti.

## Vzorky a experiment

Všechny experimenty byly provedeny na hydraulickém zatěžovacím stroji GROND DSM 2500, umístěném v laboratoři Katedry stavební mechaniky Fakulty stavební ČVUT v Praze. Zatěžovací stroj je schopen vyvodit maximální tlakovou sílu 2 500 kN. Je opatřen hydraulickým servo-mechanismem, který se používá zejména pro řízení zkoušky modulu pružnosti betonu v tlaku přírůstkem deformace. Pro zatěžování zkušebních těles byla použita maximální rychlost  $1 \cdot 10^{-5}$  m/s.

## Měření deformací

Osové deformace sledovaly tenzometrické snímače INOVA PXA 50 s měřicí základnou 100 mm, osazené na dvou protějších stranách zkušebních těles a symetricky ve čtvrtinách kruhových zatěžovacích desek stroje. Na ocelových zatěžovacích deskách stroje byly použity snímače SANDNER EXA s měřicí základnou 25 mm. Pro zjištění průběhu deformací v procesu zatěžování se prováděla měření na dvou snímačích na tělese a čtyřech snímačích na deskách. Výsledky byly opraveny o deformace způsobené nedokonalým dosednutím zatěžovací desky na horní plochu tělesa [15]. Příčinou deformací může být nedokonale rovný povrch vzorku, nepřesnost v rovnoběž-

nosti zatěžovacích desek a povrchu vzorku a seřízení zatěžovací desek. Korekce byly provedeny přímo měřicím softwarem [16].

## Příprava zkušebních těles

Přípravě zkušebních těles byla věnována velká pozornost. Pro výrobu byly použity ocelové válcové formy (výšky 300 mm, průměru 150 mm) a krychle (150 x 150 x 150 mm). Po naplnění forem betonem byla tělesa hutněna na vibračním stole po dobu 30 s. Poté byla uložena ve vlhkém prostředí a dostatečně vlhčena vodou. Odbedněná tělesa byla na dobu 28 dnů umístěna ve vodní lázni. Odtud byla přemístěna do uzavřených plastových pytlů, aby se zabránilo přílišnému vysychání, a to až do stáří 4 měsíců. V době 48 hodin před plánovaným zatěžováním teplotními cykly byla tělesa z pytlů vyjmuta a ponechána na vzduchu. Složení směsi pro výrobu zkušebních těles pevnosti C 25/30 a C 45/55 je uvedeno v tab. 1. Maximální velikost zrna kamene byla 16 mm, nebyly přidány žádné přísady, vodní součinitel  $w/c = 0,41$ .

Tab. 1. Složení směsi pro výrobu zkušebních těles

Složky		Množství	
		C 25/30	C 45/55
portlandský cement CEM Králův Dvůr [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]		340	440
šterk [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	frakce 8 – 16 mm	658	720
	frakce 4 – 8 mm	448	340
	frakce 0 – 4 mm	722	783
voda [ $\text{l}/\text{m}^3$ ]		140	180

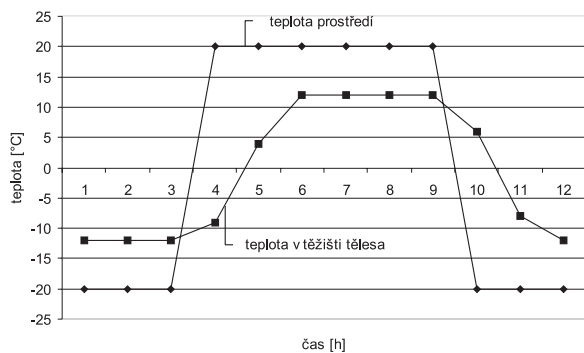
Stáří betonu v době zkoušek bylo pět až šest měsíců. Při zkoušce jednoosého tlaku na krychlích 150 x 150 x 150 mm byla v této době zjištěna průměrná krychelná pevnost 56,4 MPa pro beton C 25/30 a 71,1 MPa pro beton C 45/55.

Velká pozornost byla věnována rovinnosti a paralelnosti zatěžovaných ploch, proto byly vrchní části všech těles upraveny cementovým tmelem. Plnění ocelových forem bylo dáno jejich tvarem a bylo shodné se směrem zatěžování. Významné rozdíly ve výsledcích zkoušek mohou vzniknout při paralelním a kolmém zatěžování ke směru uložení betonu [15].

## Zmrazovací a rozmrazovací cykly

Zkušební betonová tělesa byla střídavě umísťována do mrazicí komory s konstantní teplotou  $-20$  °C a do vodní lázně o teplotě  $+20$  °C. Teplota uvnitř vzorků (do těžiště referenčního vzorku bylo vloženo teplotní čidlo) se v průběhu celého zmrazovacího a rozmrazovacího cyklu měnila od  $-12$  do  $+12$  °C. Z obrázku 1 je patrný typický teplotní profil vzorku v průběhu 12 hodin.

Byly sledovány tři skupiny těles, každá sestavená ze tří krychlí a tří válců. První, nezatěžovaná skupina (referenční tělesa), byla až do doby zkoušek materiálových charakteris-

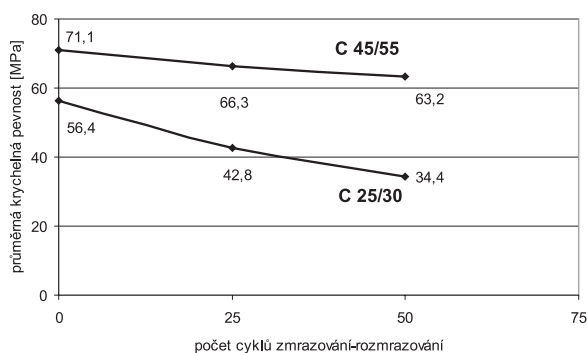


Obr. 1. Typický teplotní profil

tik uložena v prostředí se 100% vlhkostí, druhá skupina byla zatížena 25 cykly a třetí skupina 50 cykly zmrazování a rozmrazování.

### Výsledky

Výsledky zkoušek krychelné pevnosti betonu jsou znázorněny v obr. 2, z něhož je patrné, že zkušební tělesa z betonu C 45/55 mají daleko větší schopnost odolávat cyklům zmrazování a rozmrazování než tělesa z betonu C 25/30. Úbytek pevnosti v tlaku po 50 cyklech zatěžování je u betonu vyšší pevnosti 12 % a u betonu nižší pevnosti 40 %.



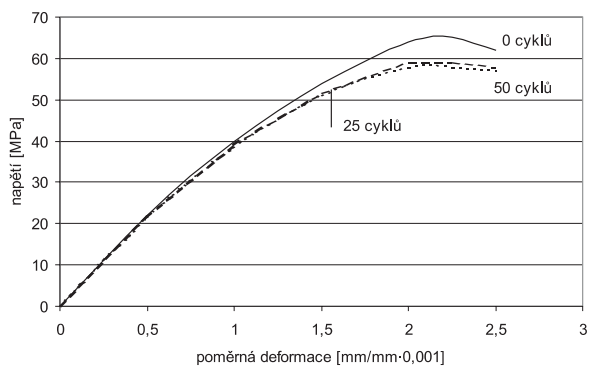
Obr. 2 Vliv cyklů zmrazování-rozmrazování na krychelné pevnosti

Podobné výsledky byly zjištěny u zkoušky modulu pružnosti betonu v tlaku. Z výsledků experimentů je zřejmé, že beton vyšší pevnosti velmi dobře odolává cyklickým změnám teploty. Pokles modulu pružnosti betonu v tlaku činí pouze 9 %. Výrazněji se projevilo cyklické zatížení střídáním teplot u betonu nižší pevnosti, kde došlo k poklesu modulu pružnosti betonu v tlaku o 25 % po 25 cyklech a o 40 % po 50 cyklech zatěžování (obr. 3, obr. 4).

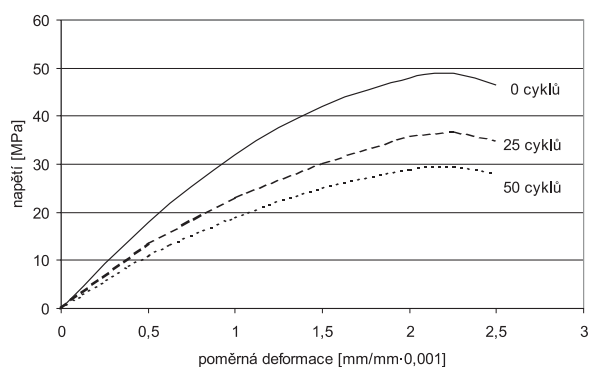
### Závěr

Předmětem zkoumání byly změny vybraných materiálových charakteristik dvou rozdílných betonů zatížených cyklickou změnou teploty s cílem zjistit závislost krychelné pevnosti betonu a modulu pružnosti betonu v tlaku na počtu zatěžovacích cyklů. Na základě vyhodnocení výsledků experimentů je možné shrnout:

- krychelná pevnost betonu C 45/55 se po 50 cyklech zatěžování snížila na 88 %, modul pružnosti betonu C 45/55 v tlaku pak na 91 % hodnoty nezatížených referenčních zkušebních těles;
- cykly zmrazování-rozmrazování poškozují beton nižší pevnosti mnohem více, krychelná pevnost betonu C 25/30



Obr. 3. Pracovní diagram betonu C 45/55



Obr. 4. Pracovní diagram betonu C 25/30

po 50 cyklech zmrazování klesla na 60 % pevnosti zkušebních těles nezatěžovaných, modul pružnosti betonu C 25/30 v tlaku vykazuje stejnou tendenci.

**Výzkum byl podpořen grantem č. MSM 21000004 MŠMT ČR.**

### Literatura

- [1] Bahn, B. Y. – Hsu, Ch.-T. T.: Stress-Strain Behavior of Concrete under Cyclic Loading. ACI Materials Journal, Vol. 95, 1998, No. 2, pp. 178–193.
- [2] Bažant, Z. P. – Bittnar, Z. – Jirásek, M. – Mazars, J.: Fracture and Damage in Quasibrittle Structures – Experiment, Modelling and Computer Analysis. US – Europe Workshop, Prague, 1994.
- [3] Bažant, Z. P. – Ozbolt, J. – Eligehausen, R.: Fracture Size Effect: Review of Evidence for Concrete Structures. Journal of Structural Engineering, Vol. 120, 1994, No. 8, pp. 2377–2398.
- [4] Hsu, L. S. – Hsu, C.-T. T.: Complete Stress-Strain Behavior of High-Strength Concrete under Compression. Magazine of Concrete Research, Vol. 46, 1994, No. 169, pp. 301–312.
- [5] Chin, M. S. – Mansur, M. A. – Wee, T. H.: Effects of Shape, Size and Casting Direction of Specimens on Stress-Strain Curves of High-Strength Concrete. ACI Materials Journal, Vol. 94, 1997, No. 3, pp. 209–219.
- [6] Černý, R. – Drchalová, J. – Rovnaníková, P.: The Effects of Thermal Load and Frost Cycles on the Water Transport in Two High-Performance Concretes. Cement and Concrete Research, 31, 2001, pp. 1129–1140.
- [7] Drchalová, J. – Toman, J. – Černý, R. – Rovnaníková, P.: Hygric and Thermal Properties of HPC for Concrete Containments of Nuclear Power Plants. Concrete for Extreme Conditions, R. K. Dhir, M. J. McCarthy, M.D. Newlands (eds.), London, Thomas Telford 2002, pp. 765–774.

- [8] Konvalinka, P.: Influence of the Testing Technique on Stress-Strain Diagram of Concrete. CTU Reports, Contributions to Mechanics of Materials and Structures, eds.: Bittnar and Šejnoha, CTU Prague, 2000, pp. 205–212.
- [9] Konvalinka, P.: Material Characteristics of Concrete in High Temperature. 8th Bilateral Czech-German Symposium „Significance of Hybrid Method of Reliability and Durability in Engineering Sciences”, Prague, 1999, pp. 43–46.
- [10] Neville, A. – Aitcin, P. C.: High Performance Concrete – an Overview. Materials and Structures, 1998, No. 206, pp. 111–117.
- [11] Pavlík, Z. – Černý, R. – Leschnik, W. – Schlemm, U.: A Microwave Technique for Measuring Moisture Content in Building Materials and its Application to Determination of Moisture Diffusivity. Engineering Mechanics, 2002, No. 9, pp. 31–41.
- [12] Sabir, B. B.: Mechanical Properties and Frost Resistance of Silica Fume Concrete. Cement and Concrete Composites, 1997, No. 19, pp. 285–294.
- [13] Slate, F. O. – Nilson, A. H. – Martinez, S.: Mechanical Properties of High-Strength Lightweight Concrete. ACI Journal, Proc., Vol. 83, 1986, No. 4, pp. 606–613.
- [14] Sun, W. – Zhang, Y. M. – Yan, H. D. – Mu, R.: Damage and Damage Resistance of High Strength Concrete under the Action of Load and Freeze-Thaw Cycles. Cement and Concrete Research, 1999, No. 29, pp. 1519–1523.
- [15] van Mier, J. G. M.: Strain Softening of Concrete in Uniaxial Compression. Report of the Round Robin Test, RILEM TC 148-SSC, 1984.
- [16] Vonk, R. A.: A Micromechanical Investigation of Softening of Concrete Loaded in Compression. Heron 38 (3), 1993.

**Doležel, T. – Jandeková, D. – Konvalinka, P.: The Effect of Freezing–Thawing Cycles on Material Characteristics of Concrete**

This article reports on experimental investigation of two types of concrete of different strengths. They were exposed to loading by temperature cycles of freezing and thawing. The paper analyzes changes of some of their material characteristics. The drop of strength and energy, necessary for the deformation of the tested samples, depends, above all, on concrete quality and the number of temperature cycles. The results of the experiments indicate that such loading has a significant influence on the life cycle of concrete structures.

**Doležel, T. – Jandeková, D. – Konvalinka, P.: Einfluss der Frost-Tau-Zyklen auf die Materialcharakteristiken von Beton**

Der Artikel befasst sich mit einer experimentellen Untersuchung zweier Betone unterschiedlicher Festigkeit, die durch Frost-Tau-Zyklen belastet wurden, und analysiert die Änderungen einiger ihrer Materialcharakteristiken. Die Verringerung der Druckfestigkeit und der zur Deformation der geprüften Probekörper benötigten Energie hängt insbesondere von der Betongüte und der Anzahl der Temperaturzyklen ab. Aus den Ergebnissen der Experimente geht hervor, dass eine solche Belastung bedeutenden Einfluss auf die Lebensdauer von Betonkonstruktionen hat.

## • dizertace



### **Vliv globální změny klimatu na hydrologický režim povodí Bíliny**

*Ing. Romana Košková*

Dizertace se zabývá vlivem změn klimatu na srážkoodtokové poměry v oblasti Severočeského hnědouhelného revíru a vodo hospodářským řešením zdrojů vody pro plnění zbytkové jámy Bílina v optimálním časovém horizontu. Téma souvisí i s hlediskem krajinné tvorby a ochrany životního prostředí.

### **Spolehlivost stokových sítí navržených racionální metodou**

*Ing. David Stránský*

Práce je zaměřena na optimalizaci návrhu a provozu stokových sítí a spolehlivost funkce těchto sítí navržených racionální metodou. Přínosem je kombinace této metody a simulačních prostředků, zjednodušení parametru míry přetížení sítě a zavedení parametru TSF, který charakterizuje časovou proměnlivost této míry.

### **Vliv změny klimatu na závlahy při plnění zbytkových jam**

*Ing. Jindřich Sláma*

Dizertace se zabývá vlivem klimatických změn na vodo hospodářské řešení tzv. mokré cesty rekultivace zbytkové jámy Jiří – Družba v Severočeském hnědouhelném revíru vodou z Ohře. Práce vychází z přirozených i ovlivněných průtoků při celoročním plnění jámy v závislosti na vodnosti období, kapacitě čerpací stanice, dvou klimatických scénářích a minimálním průtokem v Ohři.

### **Contaminant Transport in the Host Rock**

*Ing. Martin Vaníček*

Práce se zabývá problematikou ochrany životního prostředí před znečištěním různými kontaminanty. Zaměřuje se na význam jednotlivých procesů ovlivňujících transport kontaminantů a následné ověření v laboratorních podmínkách. Pomocí stochastického modelu se řeší nebezpečí z použití elektrárenských popelů do násypového tělesa dálnice.

### **Vliv obvodových výztuh na válcové skořepiny**

*Ing. Daniel Lemák*

Práce se zabývá vlivem výztuh na chování válcové ocelové skořepiny, např. komína, při zatížení větrem. Dizertant se zaměřil na zjištění potřebné tuhosti obvodových výztuh a jejich vzdálenosti tak, aby složitý výpočet skořepiny bylo možné nahradit jednoduchým výpočtem prutovým. Výpočty provedené metodou konečných prvků respektují nelineární působení skořepiny. Práce má praktický výstup upotřebitelný v praxi ocelových konstrukcí



# Neizotermická difúze vodních par v obvodových konstrukcích II

## Ověření funkčnosti neizotermických difúzních modelů

doc. RNDr. Tomáš FICKER, DrSc.  
Ing. Zdenka PODEŠVOVÁ  
VUT – Fakulta stavební  
Brno

V příspěvku jsou studovány vlastnosti nově odvozených neizotermických modelů pro výpočet difúzního toku a množství kondenzátu v opláštění budov. Numerické výsledky získané novými modely jsou porovnány s výsledky standardního postupu s cílem vymezit teplotní oblast, ve které je třeba použít přesnějších neizotermických modelů.

### Úvod

Tento příspěvek je pokračováním studie [1]–[4] neizotermické difúze v obvodových pláštích budov a úzce navazuje na pojednání [1], ve kterém byly odvozeny dva nové neizotermické modely DIAL, DRAL a připomenuty standardní izotermické modely IM-TDR, IM-TIR. Model IM-TIR je vlastně standardní izotermický model využívaný normou [5].

Cílem příspěvku je ověřit numerické vlastnosti neizotermických modelů DIAL, DRAL a vymezit teplotní obory jejich platnosti. Numerické výsledky modelů DIAL, DRAL a ČSN (IM-TIR) budeme sledovat na difúzně kondenzačních výpočtech u jednoduché neomítnuté cihelné stěny s obvyklými parametry, avšak s postupně se snižující teplotou na vnější straně, a to až k extrémní hodnotě  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Předpokládáme, že tím postupně vyniknou numerické rozdíly mezi jednotlivými modely a bude možno stanovit přibližné hranice platnosti pro teplotně omezený (izotermický) model podle normy [5], a současně posoudit chování neizotermických modelů DIAL a DRAL.

### Prototyp stěny a její okrajové podmínky

Jak již bylo řečeno, ke studiu numerické kompatibility výše zmíněných modelů používáme prostou neomítnutou cihelnou stěnu. Stěna má šířku  $d = 0,44\text{ m}$ , součinitel tepelné vodivosti  $\lambda = 0,8\text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ , součinitel difúze vodní páry  $\delta = 0,027 \cdot 10^{-9}\text{ s}$  a faktor difúzního odporu  $\mu = 9$ . Vnitřní povrchový tepelný odpor stěny  $R_i = 0,13\text{ m}^2\text{ KW}^{-1}$  a vnější povrchový odpor  $R_e = 0,04\text{ m}^2\text{ KW}^{-1}$ . Vnitřní ( $T_1$ ) a

venkovní ( $T_2$ ) teplotu, vlhkost ( $\varphi$ ) a parciální tlak nasycených ( $p''$ ) a nenasycených ( $p$ ) vodních par zachycuje tab. 1. Je z ní patrné, že vnitřní podmínky zůstávají konstantní, avšak vnější podmínky měníme pro jednotlivé výpočty tak, že teplota postupně klesá. Opravu vnitřní teploty  $T_1$  (korekce součinitelem typu budovy  $e_1$ ) neprovádíme. Dále využijeme vztahů obvyklých ve stavební tepelné technice a vztahů odvozených v modelech DIAL a DRAL. Teplotní profil uvnitř stěny předpokládáme lineární.

### Výpočty podle nových modelů

Vzhledem k návaznosti na článek [1], který prezentuje podrobné odvození všech používaných modelů, shrneme pouze základní vztahy, které jsou pro výpočet nezbytné.

• **Model DIAL** zavádí zobecněný efektivní difúzní odpor  $R_{\text{eff}}^*$  a efektivní difúzní konstantu  $D_{\text{eff}}^*$  takto:

$$R_{\text{eff}}^* = \frac{d}{D_{\text{eff}}^*} \quad [\text{kg}^{-1}\text{m}^2\text{s}], \quad (1)$$

$$D_{\text{eff}}^* = \frac{kp_a(2-n)(T_1-T_2)}{\mu R_a(T_1^{2-n}-T_2^{2-n})} = \frac{5,629 \cdot 10^{-8}}{\mu} \cdot \frac{T_1-T_2}{T_1^{0,19}-T_2^{0,19}} \quad [\text{kg m}^{-1}\text{s}^{-1}],$$

$$n = 1,81, \quad k = 8,9718 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2\text{s}^{-1}\text{K}^{-1,81},$$

$$p_a = 98\,066,5 \text{ Pa}, \quad R_a = 297 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}. \quad (2)$$

Efektivní difúzní odpor na vnitřním  $R_{\text{eff}}^*(i)$  a vnějším  $R_{\text{eff}}^*(e)$  povrchu stěny je v běžných případech proti efektivnímu difúznímu odporu celé stěny  $R_{\text{eff}}^*$  malý, a proto ho v dalším výpočtu zanedbáváme.

Podle modelu DIAL se průběh koncentračních zlomků nasycených ( $y''$ ) a nenasycených ( $y$ ) vodních par a difúzní tok těchto par  $q_w^*$  stanovuje následovně:

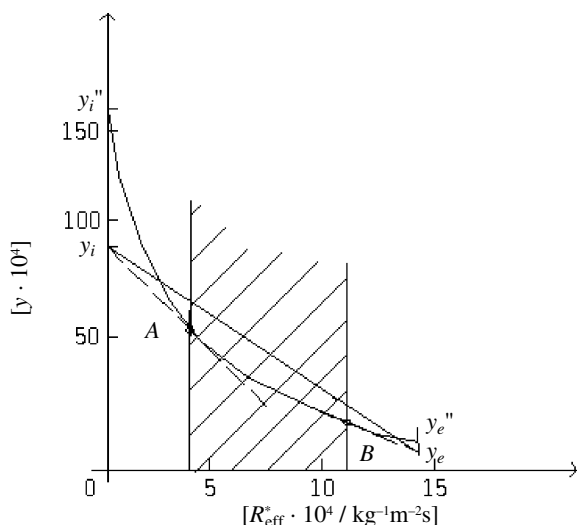
$$p_a = 98\,066,5 \text{ Pa}, \quad R_w = 462 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}, \quad R_a = 297 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}, \quad (3)$$

$$q_w^* \approx \frac{y_{1w}'' - y_{2w}''}{R_{\text{eff}}^*}, \quad (4)$$

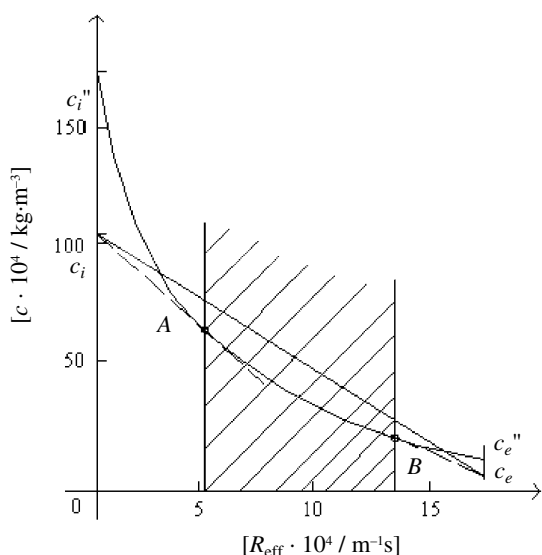
$$y''(x) = \frac{p''(x)}{p''(x) + p_a \left( \frac{R_w}{R_a} \right)} = \frac{p''(x)}{p''(x) + 152\,547,9},$$

Tab. 1. Okrajové podmínky stěny

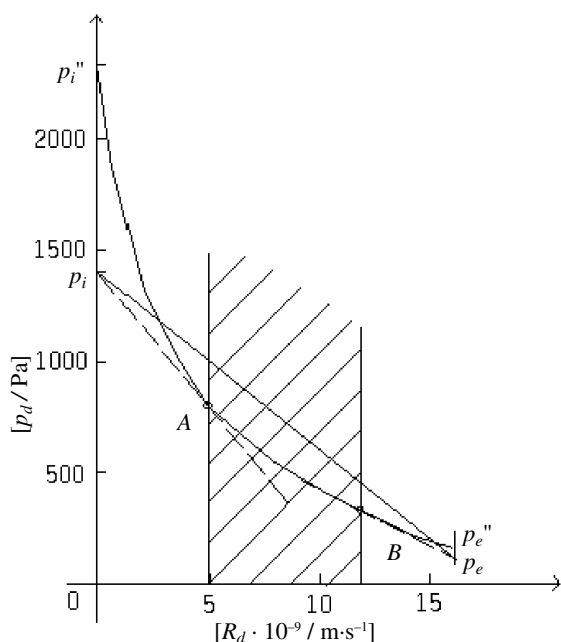
Výpočet	1	2	3	4
vnější okrajové podmínky (exteriér)	$T_2 = -8\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\varphi_2 = 82,6\text{ }%$ $p_2'' = 310,0\text{ Pa}$ $p_2 = 256,6\text{ Pa}$	$T_2 = -18\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\varphi_2 = 84\text{ }%$ $p_2'' = 125\text{ Pa}$ $p_2 = 105\text{ Pa}$	$T_2 = -40\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\varphi_2 = 87\text{ }%$ $p_2'' = 12,932\text{ Pa}$ $p_2 = 7,700\text{ Pa}$	$T_2 = -80\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\varphi_2 = 90\text{ }%$ $p_2'' = 0,124\text{ Pa}$ $p_2 = 0,112\text{ Pa}$
vnitřní okrajové podmínky (interiér)	$T_1 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}, \quad \varphi_1 = 60\text{ }%, \quad p_2'' = 2\,337\text{ Pa}, \quad p_1 = 1\,402,2\text{ Pa}$			



Obr. 1. Stanovení kondenzační oblasti metodou DIAL ( $T_2 = -18^\circ\text{C}$ )



Obr. 2. Stanovení kondenzační oblasti metodou DRAL ( $T_2 = -18^\circ\text{C}$ )



Obr. 3. Stanovení kondenzační oblasti metodou ČSN ( $T_2 = -18^\circ\text{C}$ )[5]

$$y(x) = \frac{p(x)}{p(x) + 152\,547,9}, \quad (5)$$

$$y(x) = 1 - (1 - y_{1w}) \cdot \left( \frac{1 - y_{2w}}{1 - y_{1w}} \right)^{\frac{T_1^{2-n} - (T_1 - \frac{T_1 - T_2}{d} x)^{2-n}}{T_1^{2-n} - T_2^{2-n}}}, \quad n = 1,81, \quad (6)$$

$$y(x) = y_{1w} - \frac{1}{R_{\text{eff}}^*} (y_{1w} - y_{2w}) R_{\text{eff}}^*(x). \quad (7)$$

Okrajové podmínky

$$y(0) = y_{1w}, \quad y(d) = y_{2w}. \quad (8)$$

Hraniční hodnoty  $y_{1w}$  a  $y_{2w}$  jsou stanoveny podle (5) a parciální tlaků  $p_1, p_2$  z tab. 1.

• **Model DRAL** zavádí efektivní difúzní odpor  $R_{\text{eff}}$  a efektivní difúzní konstantu  $D_{\text{eff}}$  následovně:

$$R_{\text{eff}} = \frac{d}{D_{\text{eff}}} \quad [\text{m}^{-1}\text{s}], \quad (9)$$

$$D_{\text{eff}} = \frac{k(n-1)(T_1 - T_2)}{\mu(T_2^{1-n} - T_1^{1-n})} = \frac{7,267 \cdot 10^{-10} (T_1 - T_2)}{\mu(T_2^{-0,81} - T_1^{-0,81})} \quad [\text{m}^2\text{s}^{-1}],$$

$$n = 1,81, \quad k = 8,9718 \cdot 10^{-10} \quad \text{m}^2\text{s}^{-1}\text{K}^{-1,81}. \quad (10)$$

Efektivní difúzní odpor na vnitřní a vnější straně stěny  $R_{\text{eff}}(i), R_{\text{eff}}(e)$  je v běžných případech proti efektivnímu difúznímu odporu konstrukce  $R_{\text{eff}}$  velmi malý, a proto jej rovněž zanedbáváme.

Stanovení průběhu koncentrace nasycených ( $c''$ ) a nenasyčených ( $c$ ) vodních par a jejich difúzního toku  $q_w$ :

$$c(x) = \frac{p(x)}{RT(x)}, \quad c''(x) = \frac{p''(x)}{RT(x)} \quad [\text{kgm}^{-3}],$$

$$R = 462 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}, \quad (11)$$

$$q_w = \frac{c_{1w} - c_{2w}}{R_{\text{eff}}}, \quad (12)$$

$$c(x) = c_{1w} - (c_{1w} - c_{2w}) \frac{T_1^{1-n} - (T_1 - \frac{T_1 - T_2}{d} x)^{1-n}}{T_1^{1-n} - T_2^{1-n}} \quad [\text{kgm}^{-3}],$$

$$n = 1,81, \quad (13)$$

$$c(x) = c_{1w} - \frac{1}{R_{\text{eff}}^*} (c_{1w} - c_{2w}) R_{\text{eff}}^*(x) \quad [\text{kgm}^{-3}]. \quad (14)$$

Okrajové podmínky

$$c(0) = c_{1w} = \frac{p_1}{R_w T_1}, \quad c(d) = c_{2w} = \frac{p_2}{R_w T_2}. \quad (15)$$

### Diskuze

Nově odvozené neizotermické transportní rovnice lze přímo použít v klasickém Glaserově schématu. V grafické části schématu však nesmíme opomenout použít nové souřadnice, které odpovídají novým transportním rovnicím (4) a (12).

Na obrázku 1 je znázorněno použití modelu DIAL v Glaserově schématu. Grafická konstrukce je dělána obdobně jako v klasickém případě [5], avšak s tím rozdílem, že používáme jako nové souřadnice zobecněný difúzní odpor  $R_{\text{eff}}^*$  a koncentrační zlomek vodních par  $y$ . Kondenzační oblast získáme vedením tečen z krajních bodů, které představují hodnotu koncentračních zlomků vodní páry na obou stranách stěny. Tečny jsou vedeny ke křivce nasycených

vodních par  $y''(R_{\text{eff}}^*)$ . Kondenzační oblast se nachází mezi body dotyku A, B (šrafováno).

Obrázek 2 představuje Glaserovo schéma s implementovaným modelem DRAL (souřadnice: zobecněný difúzní odpor  $R_{\text{eff}}$  a koncentrace vodních par  $c$ ), obrázek 3 je klasickým Glaserovým schématem konstruovaným v souladu s [5]. Všechny tři obrázky odpovídají vnější teplotě  $T_2 = -18$  °C. Podobné konstrukce bylo třeba provést pro všechny vnější teploty (tab. 1).

Tabulka 2 shrnuje výsledky výpočtů. Obsahuje difúzní toky  $g_{dA}$  vstupující do kondenzační oblasti AB, kondenzační toky  $g_{dB}$  opouštějící kondenzační oblast a kondenzát  $\Delta g_d$ , který zůstává v konstrukci, a to pro všechny užití modely a všechny teploty. Tabulka 3 obsahuje procentní kondenzační rozdíly mezi jednotlivými modely vzhledem ke standardnímu postupu podle [5]. Z prvního sloupce této tabulky ( $\Delta T = 28$  K) je patrné, že pro malé rozdíly teplot (téměř izotermický stav) existuje dobrý soulad mezi modely DIAL a ČSN, což jsme očekávali, neboť model DIAL je optimalizován pro látky s propojenými vzdušnými póry, jako je tomu u většiny silikátových stavebních materiálů, a také model ČSN používá transportní rovnice určené pro tyto látky, i když v izotermickém stavu. Proto je možno čekat poměrně dobrý soulad mezi oběma modely, zejména při malých teplotních rozdílech. Jinak je tomu u modelu DRAL, který je vhodný spíše pro látky s uzavřenými nepropojenými vzdušnými póry a menším podílem vlastní kompaktnější látky, což je poněkud netypický případ u stavebních materiálů. Kondenzace v takovýchto látkách je ztížena, a proto i model DRAL dává nižší hodnoty kondenzátu v porovnání s ostatními.

Pro větší teplotní rozdíly (druhý a další sloupce tab. 3) se stává model DIAL vzhledem ke své optimalizaci na neizotermický stav (tj. na větší teplotní rozdíly  $\Delta T$ ) jediným přesnějším nástrojem pro určení kondenzátu ve stěnách z materiálů silikátové struktury vystavených velkým teplotním rozdíly. To je také důvod, proč se začínají značněji rozcházet výsledky modelu DIAL s postupem ČSN, jehož transportní rovnice jsou čistě izotermické povahy (platí přesně jen pro  $\Delta T = 0$  K), a který tudíž není vhodný pro

výpočty s většími teplotními rozdíly na obou stranách stěny. Pro značně neizotermické podmínky (např. pro  $\Delta T > 40$  K) se normový model stává téměř nepoužitelný a přesnějším nástrojem k určení kondenzátu v silikátových materiálech v rámci Glaserova schématu zůstává model DIAL.

## Závěr

V příspěvku byla diskutována použitelnost izotermických a neizotermických modelů při výpočtu kondenzátu ve stavebních materiálech. Bylo shledáno, že pro první teplotní oblast ČR jsou rozdíly ve výsledcích izotermických a neizotermických modelů menší než 20 %. Ve druhé teplotní oblasti ČR jsou však vytvořeny již silně neizotermické podmínky, které omezují funkčnost standardního modelu [5], a proto i výsledky mezi izotermickým a neizotermickým postupem se liší již o více než 20 %. Z tohoto důvodu by bylo žádoucí používat již pro tuto druhou teplotní oblast přesnější neizotermické modely, např. DIAL. Při dalším snižování venkovní teploty (viz např. poslední sloupec tab. 3, kde  $\Delta T = 100$  K) dochází k velmi podstatným rozdílům ve výsledcích. Dosud běžně užívaný výpočetní postup [5] by se v takto silně neizotermickém prostředí stal zcela nespolehlivým. Novou alternativu pro materiály silikátové povahy nabízí nový neizotermický model DIAL.

Při posuzování vhodnosti neizotermických modelů se musíme také řídit strukturou stavebního materiálu, např. pro pórovité stavební materiály s propojenými vzdušnými póry je vhodný model DIAL (vzhledem k typu používaných transportních rovnic). Pro speciální materiály, které vedle uzavřených vzdušných pórů obsahují i jistou frakci kompaktnější hmoty, takže difúzní tok musí procházet nejen vzdušnými dutinami, ale i částmi kompaktnější látky, je vhodnější model DRAL. Vzhledem k tomu, že většina stavebních materiálů obvodových konstrukcí má strukturu prvního typu (tj. propojené vzdušné póry silikátového typu), pro tepelně technickou praxi bude univerzálnější model DIAL, u kterého se předpokládají spolehlivé výsledky jak pro izotermické, tak pro neizotermické podmínky.

Tab. 2. Souhrn výsledků

$\Delta T$ (K) [ $\text{kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ]		100		60		38		28	
ČSN	$g_{dA}$	$3,740 \cdot 10^{-7}$	$0,0384 \cdot 10^{-8}$	$2,249 \cdot 10^{-7}$	$1,154 \cdot 10^{-8}$	$1,204 \cdot 10^{-7}$	$4,824 \cdot 10^{-8}$	$7,772 \cdot 10^{-8}$	$6,289 \cdot 10^{-8}$
	$g_{dB}$								
$\Delta g_d$		$3,736 \cdot 10^{-7}$		$2,134 \cdot 10^{-7}$		$7,216 \cdot 10^{-8}$		$1,483 \cdot 10^{-8}$	
DIAL	$g_{dA}$	$2,350 \cdot 10^{-7}$	$0,0256 \cdot 10^{-8}$	$1,724 \cdot 10^{-7}$	$0,907 \cdot 10^{-8}$	$8,775 \cdot 10^{-8}$	$3,364 \cdot 10^{-8}$	$5,920 \cdot 10^{-8}$	$4,686 \cdot 10^{-8}$
	$g_{dB}$								
$\Delta g_d$		$2,347 \cdot 10^{-7}$		$1,633 \cdot 10^{-7}$		$5,411 \cdot 10^{-8}$		$1,234 \cdot 10^{-8}$	
DRAL	$g_{dA}$	$2,105 \cdot 10^{-7}$	$0,0363 \cdot 10^{-8}$	$1,680 \cdot 10^{-7}$	$0,951 \cdot 10^{-8}$	$7,800 \cdot 10^{-8}$	$3,103 \cdot 10^{-8}$	$5,390 \cdot 10^{-8}$	$4,518 \cdot 10^{-8}$
	$g_{dB}$								
$\Delta g_d$		$2,101 \cdot 10^{-7}$		$1,585 \cdot 10^{-7}$		$4,477 \cdot 10^{-8}$		$0,872 \cdot 10^{-8}$	

Tab. 3. Porovnání v procentech

$\Delta T$ (K)	28			38			60			100		
	$\Delta g_d \cdot 10^8$ [ $\text{kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ]	$\Delta(\%)$	[%]	$\Delta g_d \cdot 10^8$ [ $\text{kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ]	$\Delta(\%)$	[%]	$\Delta g_d \cdot 10^7$ [ $\text{kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ]	$\Delta(\%)$	[%]	$\Delta g_d \cdot 10^7$ [ $\text{kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ]	$\Delta(\%)$	[%]
ČSN	1,483	0,0	100,0	7,216	0	100	2,134	0,0	100,0	3,736	0,0	100,0
DIAL	1,234	16,8	83,2	5,411	25	75	1,633	23,5	76,5	2,347	37,8	62,2
DRAL	0,872	41,2	58,8	4,477	38	62	1,585	25,7	74,3	2,101	43,8	56,2

**Literatura**

- [1] Ficker, T. – Podešvová, Z.: Neizotermická difúze vodních par v obvodových konstrukcích I, Odvození neizotermických modelů. Stavební obzor, **13**, 2004, č. 1, s. 19–22.
- [2] Ficker, T. – Podešvová, Z.: Non-Isothermal Diffusion of Water Vapour in Porous Building Materials. Acta Polytechnica 42 (1) (2002) 25.
- [3] Ficker, T. – Podešvová, Z.: Neizotermická difúze vodních par pórovitými materiály. Stavební obzor, **11**, 2002, č. 3, s. 79–81.
- [4] Ficker, T. – Podešvová, Z.: Models for Non-Isothermal Steady-State Diffusion in Porous Building Materials. Acta Polytechnica 43 (1) (2003) 3.
- [5] ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov Část 3: Výpočtové hodnoty veličin pro navrhování a ověřování. ČSN, 1988.

**Ficker, T. – Podešvová, Z.: Non-Isothermic Water Vapour Diffusion in External Structures II – Verification of Functionality of Non-Isothermic Diffusion Models**

This paper is aimed at examining properties of newly derived non-isothermic models for the calculation of the diffusion flux and condensate quantity in skins of buildings. Numerical results obtained with the new models are compared with standard procedure results [5]. The comparison helps to determine the temperature zone in which more accurate non-isothermic models should be employed.

**Ficker, T. – Podešvová, Z.: Nichtisothermische Diffusion von Wasserdämpfen in Hüllkonstruktionen II – Prüfung nichtisothermischer Diffusionsmodelle**

Im Beitrag werden die Eigenschaften neu abgeleiteter nichtisothermischer Modelle für die Berechnung des Diffusionsstroms und der Kondensatmenge in Gebäudehüllen studiert. Die durch die neuen Modelle gewonnenen numerischen Ergebnisse werden mit den Ergebnissen eines Standardverfahrens [5] mit dem Ziel verglichen, den Temperaturbereich zu begrenzen, in dem es notwendig ist, genauere nichtisothermische Modelle zu verwenden.

# • ČVUT



vědeckých výzkumů. Škola představila práce z oblasti fyziky, matematiky, informačních technologií, elektrotechniky a dalších asi dvaceti oborů. Smyslem je představit tyto výsledky potenciálním uživatelům, umožnit jim navázat kontakt s řešiteli projektů, a tím finančně zhodnotit investice vložené do výzkumu.

## Workshop 2004

Koncem března proběhl na Fakultě stavební v Praze několikadenní seminář, na němž byly posterovou formou prezentovány výsledky projektů podpořených v roce 2003 interními a externími granty a výsledky dalších aktivit jednotlivých fakult ČVUT. Součástí této akce, konané již po třinácté, byla pracovní jednání zaměřená na aktuální problémy vědy, výzkumu a vývoje.

ČVUT se v loňském roce podílelo na zhruba šesti stovkách výzkumných projektů, z toho organizátoři upozornili na 260



# Hydraulický výpočet drenážních odtoků vnitřních skládkových vod řízené skládky TKO Osečná

Ing. Jakub ŠTIBINGER, CSc.  
ČZU – Lesnická a environmentální fakulta  
Praha

Jedním z hlavních cílů článku je seznámit čtenáře se způsobem odhadu odtoků vnitřních vod z drenážního systému umístěného ve spodní části skládky. Hydraulický výpočet je založen na teorii De Zeeuwa-Hellingy v podmínkách nasyceného neustáleného drenážního proudění. Výsledky této metodiky byly ověřeny a porovnány s hodnotami drenážních odtoků vnitřních skládkových vod zjištěnými u řízené skládky tuhého komunálního odpadu.

## Úvod

Úlohou vnitřního drenážního systému skládky je mimo jiné zachycení a odvedení vnitřních skládkových vod mimo její těleso tak, aby nedocházelo ke znečišťování půdního prostředí, podzemních a povrchových vod [12]. Tento systém, uložený ve spodní části stavby, se skládá z drenážní vysoce propustné šterkové vrstvy, systému děrovaných sběrných trubkových drénů z plastů a svodného drénu zaústěného do izolované bezodtokové jímky [11].

Odhad drenážních odtoků vnitřních skládkových vod vychází z vodohospodářského řešení problému založeného na matematicko-fyzikálním popisu hydraulických procesů uvnitř tělesa skládky. Zohledňuje jak hydrologické poměry lokality, tak hydrofyzikální vlastnosti odpadu, a v neposlední řadě i způsob jeho ukládání. Pro hydraulický výpočet velikosti (intenzity) drenážních odtoků vnitřních skládkových vod byla v tomto případě použita De Zeeuwova-Hellingova drenážní teorie v podmínkách neustáleného proudění vody k drénům v nasyceném pórovitém prostředí [6]. Výsledky byly ověřeny a porovnány s hodnotami drenážních odtoků vnitřních skládkových vod naměřenými na skládce TKO Osečná.

## Teoretická část

### Drenážní teorie De Zeeuwa-Hellingy

Simulace drenážního odtoku vnitřních skládkových vod předpokládá vymezení konstantního intervalu, např. dne, týdne, měsíce, čtvrtletí či roku. Drenážní teorie De Zeeuwa-Hellingy vychází z předpokladu, že změna drenážního odtoku  $dq$  v časovém úseku  $dt$  je přímo úměrná rozdílu  $(R - q)$  [M/T] mezi dotací (infiltrací)  $R$  [M/T] a drenážním odtokem  $q$  [M/T]. V uvažovaném intervalu  $dt$  (den, týden, měsíc, čtvrtletí, rok) bude dotace (infiltrace)  $R$  konstantní, součinitel přímé úměry  $a$  [1/T] se nazývá De Zeeuwův-Hellingův drenážní faktor. Symbol  $M$ , resp.  $T$ , reprezentuje délkovou, resp. časovou jednotku.

$$\frac{dq}{dt} = a \cdot (R - q). \quad (1)$$

Řešením diferenciální rovnice typu (1) pro  $t = t$ ,  $q = q_1$  a pro  $t = t - 1$ ,  $q = q_{t-1}$  dostaneme

$$q_t = q_{t-1} \cdot e^{-a \cdot dt} + R(1 - e^{-a \cdot dt}), \quad (2)$$

kde  $q$  je drenážní odtok vnitřních skládkových vod [M/T],

$\partial q$  – změna drenážního odtoku [M/T],

$q_t, q_{t-1}$  – drenážní odtok v intervalu  $t, t - 1$  [M/T],

$\partial t = t - (t - 1)$  – časový interval [T],

$R$  – dotace (infiltrace) do drenážního systému [M] konstantní ve zvoleném (vybraném) intervalu (obr. 1),

$a$  – De Zeeuwův-Hellingův drenážní faktor ( $T^{-1}$ ),

$t$  – čas (T).

Rovnice (2) reprezentuje výsledný výraz pro výpočet drenážního odtoku v určitém časovém intervalu  $dt$ .

### Hydrologická bilance skládky

Velikost dotací vnitřních skládkových vod  $R$  do drenážního systému situovaného ve spodní části stavby byla odvoze-

na z kumulativní časové řady hodnot  $\sum_{i=1}^n r_i$  [M], vytvořených

podle zjednodušené hydrologické bilanční rovnice

$$\sum_{i=1}^n r_i = \sum_{i=1}^n S_i + \sum_{i=1}^n I_i - \sum_{i=1}^n E_i - \sum_{i=1}^n O_i - V \cdot \sum_{i=1}^n W_i, \quad (3)$$

kde  $i$  je interval ve sledovaném období,

$n$  – konečný počet intervalů ve sledovaném období,

$\sum_{i=1}^n r_i$  – řada kumulativních hodnot dotací (infiltrací) ve sledovaném období [M],

$\sum_{i=1}^n S_i$  – řada kumulativních hodnot srážkových úhrnů ve sledovaném období [M],

$\sum_{i=1}^n I_i$  – řada kumulativních hodnot závlahových úhrnů ve sledovaném období [M],

$\sum_{i=1}^n E_i$  – řada kumulativních hodnot úhrnů výparu ve sledovaném období [M],

$\sum_{i=1}^n O_i$  – řada kumulativních hodnot úhrnů povrchového odtoku ve sledovaném období [M],

$V \cdot \sum_{i=1}^n W_i$  – řada kumulativních hodnot úhrnů povrchového odtoku ve sledovaném období [M],

Symbol  $V$  představuje efektivní drenážní pórovitost odpadu v procentech objemu. Parametr  $W$  [M] reprezentuje množství odpadu v délkových jednotkách a lze jej odhadnout ze vztahu  $W = (N \cdot G^{-1}) / S$ , kde  $N$  je množství odpadu [t],  $G$  vyjadřuje hustotu odpadu [t/m<sup>3</sup>] a  $S$  je plocha [M<sup>2</sup>], na které se odpad ukládá.

Hodnoty  $R$  pro vybraný časový interval  $\partial t$  ( $\partial t = t - (t - 1)$ ) budou odhadnuty ze vztahu

$$R = \frac{\partial(\sum_{i=1}^n r_i)}{\partial t}. \quad (4)$$

V případě, že

$$\frac{\partial \left( \sum_{i=1}^n r_i \right)}{\partial t} \leq 0,$$

pak  $R = 0$ . Ze známých hodnot  $R$  a  $s$  použitím De Zeeuwovy-Hellingovy drenážní teorie budou odhadnuty hodnoty drenážních odtoků vnitřních skládkových vod  $q_t$  podle rovnice (2) pro odpovídající intervaly  $\Delta t$ .

## Experimentální část

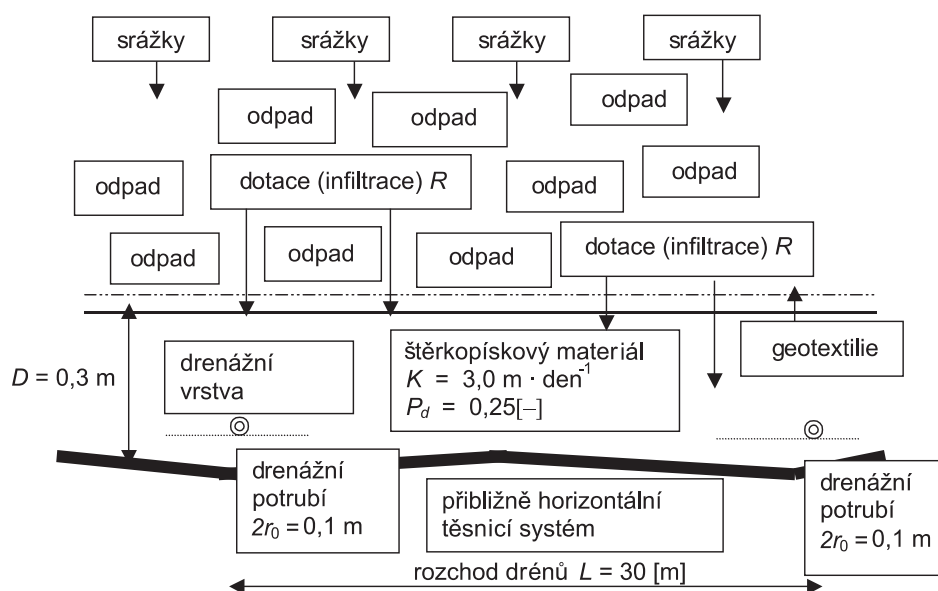
### Hydrologické charakteristiky skládky

Veškerá data nezbytná pro výpočet parametrů rovnic (3), (4), pro aproximaci De Zeeuwova-Hellingova drenážního faktoru  $a$ , a konečně pro vyhodnocení drenážních odtoků vnitřních skládkových vod  $q_t$  podle rovnice (2), byla vzata

z měsíčních hydrologických záznamů lokality Osečná, z provozních záznamů a z údajů monitoringu skládky. Zvolený interval je jeden měsíc – v souladu s drenážní teorií De Zeeuwa-Hellingy se předpokládá, že všechny hodnoty v tomto časovém úseku budou konstantní. Vybrané měřené období bylo reprezentováno rokem 1998. Dlouhodobý roční průměrný srážkový úhrn této oblasti činí 910 mm, dlouhodobá roční průměrná teplota se pohybuje okolo 7,3 °C.

Řízená skládka je situována na pozemcích k. ú. Lázňě Kundratice a obce Druzcov, ve správním území obce Osečná (kraj Liberecký, pověřený obecní úřad Český Dub) na úpatí Lužických hor v nadmořské výšce 780 až 800 m v zalesněné části Ještědského pohoří. Skládka umístěná cca 1,5 km jižně od obce Druzcov byla otevřena v prosinci 1995, její uzavření a zahájení rekultivačních prací je plánováno na rok 2004 [10].

Efektivní plocha skládky  $S$  (m<sup>2</sup>), na kterou se v období 1997/1998 ukládal odpad, byla 21 400 m<sup>2</sup>. Vnitřní drenážní



Obr. 1. Zjednodušené schéma vnitřního drenážního systému včetně procesu dotace (infiltrace)  $R$  a drenážních odtoků vnitřních skládkových vod  $q$   
 ⊙ drenážní odtok  $q$

Tab. 1. Srážky, množství ukládaného odpadu a skutečné (měřené) hodnoty drenážních odtoků vnitřních skládkových vod (1998)

Měsíc	TKO [t]	Srážky	Drenážní odtok
		[mm]	[mm]
leden	15 014	54,0	4,5
únor	11 718	53,5	13,0
březen	17 162	102,0	24,0
duben	23 815	19,5	15,0
květen	23 626	22,5	5,6
červen	23 758	73,0	4,0
červenec	104 138	69,0	9,0
srpen	23 266	36,5	2,3
září	21 405	100,0	32,5
říjen	18 457	80,3	25,4
listopad	17 823	66,1	26,6
prosinec	12 924	24,4	2,3
<b>celkem</b>	<b>331 100</b>	<b>700,8</b>	<b>164,2</b>

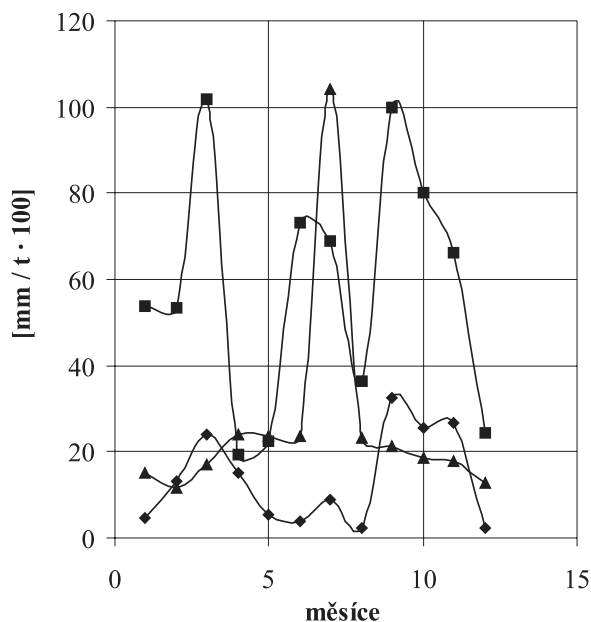
systém ve spodní části stavby tvoří trubková drenáž z pružného plastového děrovaného potrubí s průměrným rozchodem sběrných drénů  $L = 30$  m a vnitřním průměrem sběrných drénů  $DN = 100$  mm. Drény jsou uloženy na přibližně horizontálním fóliovém těsnění [10]. Nad drény byla vytvořena šterkopísková drenážní vrstva tloušťky  $D = 0,3$  m s hydraulickou nasycenou vodivostí  $K = 3,0$  m/den a efektivní drenážní pórovitostí  $P_d = 0,25$  [-] (obr. 1). Z hydrologických údajů, z údajů monitoringu skládky a vzhledem k tomu, že drenážní potrubí je uloženo na nepropustném, přibližně vodorovném fóliovém těsnění, je možné uvažovat průměrnou výšku zvodnělé vrstvy nad drény (tj. v drenážním, odvodňovaném prostředí)  $H = 0,14$  m. De Zeeuw-Hellingův drenážní faktor byl odhadnut [6] ze vztahu  $a = (\pi^2 \cdot K \cdot H) / (L^2 \cdot P_d) = 0,0184$  den<sup>-1</sup>.

Fóliové těsnění spodní stavby skládky je přibližně horizontální, což odpovídá předpokladům De Zeeuwovy-Hellingovy drenážní teorie o existenci vodorovného nepropustného podloží. Skutečnost, že drény jsou uloženy téměř přímo na nepropustné vrstvě, nekoresponduje zcela s drenážní teorií [6], nicméně se zřetelně zohlední v hodnotě drenážního faktoru  $a$ . V případě výrazného příčného sklonu

těsnicího systému spodní stavby skládky je třeba použít jiné modely a metody [3],[5], [9].

### Hydraulické výpočty

Srážky, množství ukládaného odpadu a skutečné hodnoty drenážních odtoků vnitřních skládkových vod ze sledovaného období jsou uvedeny v *tab. 1* a graficky znázorněny na *obr. 2*. Z výsledků experimentálních terénních a laboratorních zkoušek ukládaných odpadů na skládce a z provozních záznamů o způsobu hutnění odpadů bylo možné odhadnout efektivní drenážní pórovitost  $V$  [% obj.] odpadu a hustotu odpadu  $G$  [ $t/m^3$ ], kde  $V = 25,0$  a  $G = 0,85$ .



Obr. 2. Srážky, množství ukládaného odpadu a skutečné (měřené) hodnoty drenážních odtoků vnitřních skládkových vod

—●— drenážní odtok [mm] měřená data,  
—■— srážky [mm], —▲— ukládaný odpad [ $t \cdot 100$ ]

Specifické hydrologické podmínky v místě skládky, způsob ukládání odpadu, množství závlahové vody dodávané na skládku a další (místní a provozní) faktory umožnily redukovat hydrologickou bilanční rovnici typu (3) na výraz

$$\sum_{i=1}^n r_i = \sum_{i=1}^n S_i - V \cdot \sum_{i=1}^n W_i \quad (5)$$

Pomocí této rovnice byly odhadnuty kumulativní dotace (infiltrace)  $\sum_{i=1}^n r_i$  [mm] do vnitřního drenážního systému skládky v jednotlivých měsících roku 1998 (viz poslední sloupec *tab. 2*, kde jsou uvedeny i hodnoty srážkových úhrnů, ukládaného odpadu a retenční kapacity odpadu). Tyto údaje tvoří součtově čáry graficky znázorněné na *obr. 3*. Jediný záznam, který zde není součtovou čarou (ve spodní části grafu), představuje hodnoty (velikosti) dotací  $R$  pro jednotlivé měsíce roku 1998 vypočtené podle rovnice (4).

Ze známých konstantních hodnot dotací  $R$  do vnitřního drenážního systému skládky v jednotlivých měsících roku 1998 (*obr. 3* a *tab. 3*) a ze známé hodnoty De Zeeuwova-Hellingova drenážního faktoru  $a = (\pi^2 \cdot K \cdot H) / (L^2 \cdot P_d) = 0,0184 \text{ den}^{-1} = 0,552 \text{ měsíc}^{-1}$  byly pomocí rovnice (2) vypočteny drenážní odtoky vnitřních skládkových vod  $q_i$  pro každý měsíc roku 1998. V souladu s drenážní teorií De Zeeuwa-Hellingovy se předpokládá, že drenážní odtoky vnitřních skládkových vod  $q_i$  budou v příslušném intervalu (v průběhu měsíce) konstantní. Je-li např.  $q_6 = 26,5 \text{ mm/měsíc}$ ,

znamená to, že celkový drenážní odtok vnitřních skládkových vod za červen (tj. za jeden měsíc) bude 26,5 mm. Hodnoty drenážních odtoků vnitřních skládkových vod  $q_i$  vypočtené podle rovnice (2) jsou spolu s reálnými (skutečnými, měřenými) drenážními odtoky vnitřních skládkových vod prezentovány v *tab. 3* a graficky znázorněny na *obr. 4*. Konstantní hodnoty dotací  $R$  do vnitřního drenážního systému skládky v jednotlivých měsících roku 1998 byly odvozeny z rovnice (4), výsledky jsou prezentovány v *tab. 3* a graficky znázorněny na *obr. 3*.

### Výsledky a diskuze

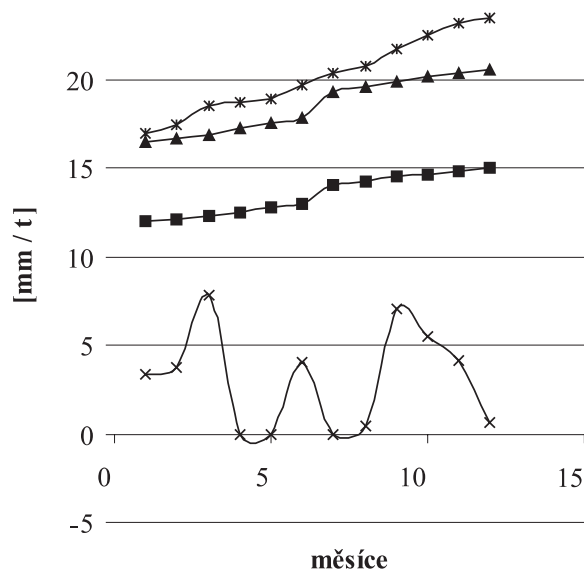
Z porovnání hodnot  $q_i$  vypočtených podle rovnice (2) a hodnot naměřených (skutečných, reálných) drenážních odtoků vnitřních skládkových vod (*obr. 4*, *tab. 3*) je zřejmé, že trend a tvar obou křivek je podobný, i když jsou patrné určité odchylky (*obr. 4*). Zdá se, že maximální difference jsou způsobeny maximem srážkových úhrnů. To by znamenalo, že De Zeeuw-Hellingův drenážní model reaguje na dotace do vnitřního drenážního systému skládky (srážky)

Tab. 2. Měřené\* a vypočtené\* kumulativní hodnoty

Období	Ukládaný odpad* [t]	Srážky* [mm]	Retence odpadu* (infiltrace)* [mm]	
			Retence odpadu*	Dotace (infiltrace)*
12/1995–12/1997	118 313,6	1 640,0	1 626,0	13,9
1998/leden	119 815,0	1 694,0	1 646,7	47,2
únor	120 986,8	1 747,5	1 662,8	84,6
březen	122 703,1	1 849,5	1 686,4	163,0
duben	125 084,6	1 869,0	1 719,1	149,8
květen	127 447,2	1 891,5	1 751,6	139,8
červen	129 823,0	1 964,5	1 784,2	180,2
červenec	140 236,8	2 033,5	1 927,3	106,1
srpen	142 563,5	2 070,0	1 959,3	110,6
září	144 704,0	2 170,0	1 988,7	181,2
říjen	146 549,8	2 250,3	2 014,1	236,1
listopad	148 332,1	2 316,4	2 038,6	277,7
prosinec	149 624,5	2 340,8	2 056,4	284,3

Tab. 3. Naměřené a vypočtené hodnoty drenážních odtoků vnitřních skládkových vod

Měsíc	Srážky	Dotace infiltrace $R$	Měřené hodnoty	Vypočtené hodnoty
leden	54,0	33,4	4,5	20,0
únor	53,5	37,4	13,0	27,4
březen	102,0	78,4	24,0	49,1
duben	19,5	0,0	15,0	28,2
květen	22,5	0,0	5,6	16,2
červen	73,0	40,3	4,0	26,5
červenec	69,0	0,0	9,0	15,2
srpen	36,5	4,5	2,3	10,7
září	100,0	70,6	32,5	36,2
říjen	80,3	55,0	25,4	44,2
listopad	66,1	41,6	26,6	42,8
prosinec	24,4	6,6	2,3	27,4
<b>celkem</b>	<b>700,8</b>	<b>367,8</b>	<b>164,2</b>	<b>343,9</b>

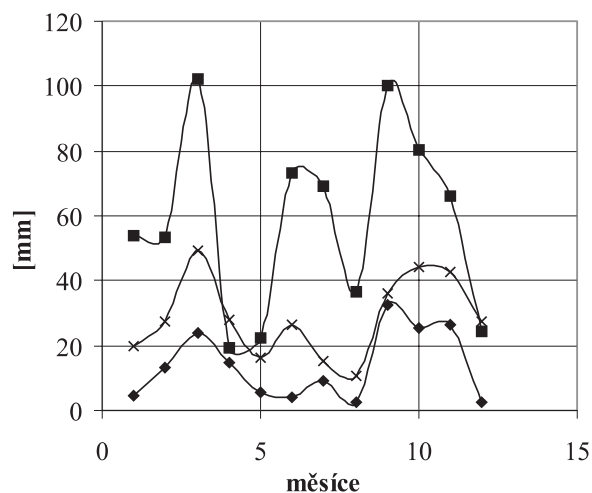


Obr. 3. Celkové (kumulativní) množství srážek, ukládaného odpadu, retenční kapacity odpadu a průběh dotace (infiltrace) R

- celkové množství ukládaného odpadu [t/10 000]
- ▲ retenční kapacita odpadu [mm/100]
- × dotace (infiltrace) R [mm/100]
- \* kumulativní srážkové úhrny [mm/100]

výrazněji než na množství ukládaného odpadu, které vytváří určitou retenční kapacitu, jenž efekt dotací v podobě srážek redukuje.

Použití De Zeeuwova-Hellingova drenážního modelu bude pravděpodobně vhodnější a efektivnější na začátku provozu skládky, kdy vliv srážek je výraznější a vnitřní drenážní systém skládky bude citlivěji reagovat na dotace vody ve formě srážek, postřiku či přívalemých dešťů.



Obr. 4. Porovnání naměřených a vypočtených hodnot drenážních odtoků vnitřních skládkových vod

- ◆ drenážní odtoky – měřené hodnoty [mm], ■ srážky [mm]
- × drenážní odtoky  $q$  [mm] – vypočtené hodnoty

De Zeeuwova-Hellingova drenážní teorie předpokládá relativně větší vzdálenost mezi drenážními potrubím a nepropustným podložím. Tento předpoklad, vzhledem k tomu, že potrubí bylo v případě skládky TKO Osečná uloženo téměř na nepropustném fóliovém podloží, nemohl

být zcela splněn. Zároveň je však třeba zmínit, že tato skutečnost se promítla do hodnoty drenážního faktoru  $a = 0,552 \text{ měsíc}^{-1}$ .

Modelování časových řad drenážních odtoků vnitřních skládkových vod z drenážních systémů skládky je velice složitý proces s ohledem na obtížný matematicko-fyzikální popis dotací (srážky, skrápění skládky, infiltrace) do ukládaného odpadu, který zde reprezentuje jeho retenční kapacitu a v průběhu skládkování se postupně zvyšuje. V neposlední řadě závisí na způsobu ukládání a hutnění odpadu. Z tohoto hlediska se De Zeeuwův-Hellingův drenážní model jeví jako vhodný nástroj pro odhad drenážních odtoků vnitřních skládkových vod v určitém (např. kritickém) období skládkování. Dále je patrné, že vypočtené hodnoty drenážních odtoků vnitřních skládkových vod podle rovnice (2) jsou poněkud vyšší než hodnoty skutečné (naměřené, reálné). V případě výstavby vnitřního drenážního systému skládky, zohledňující hodnoty drenážních odtoků vnitřních skládkových vod odhadnuté podle rovnice (2), lze předpokládat mnohem vyšší zabezpečení vnitřního drenážního systému skládky.

## Závěry

Korektní odhad drenážních odtoků vnitřních skládkových vod v průběhu ukládání odpadu má pro hydrologii skládek, a zejména v úloze návrhu vnitřního drenážního systému [7], velký význam. Popis a hodnocení procesu drenážních odtoků [4], zejména však drenážních odtoků vnitřních skládkových vod, je nezbytné nejen pro objektivní posouzení hydraulické účinnosti vnitřního drenážního systému skládky, ale i pro stanovení návrhových parametrů drenážního systému (včetně kapacity bezodtokových jímek) při výstavbě nových skládek. Ověření použitelnosti relativně méně složitě De Zeeuwovy-Hellingovy drenážní teorie pro odhad drenážních odtoků vnitřních skládkových vod, definovaných rovnicí (1) a (2), ukazuje poměrně dobrou shodu mezi vypočtenými a naměřenými údaji.

Problematiku hydrologie „otevřených“ skládek v krajině je možné komplexně řešit modely typu MODFLOW, SWAP [2], DRAINMOD [8] či HELP [1]. De Zeeuwova-Hellingova aproximace drenážních odtoků vnitřních skládkových vod by mohla sloužit jako jednoduchá pomůcka pro predikci drenážních a odtokových procesů skládek, která vyžaduje minimální množství informací (základní hydrologické údaje lokality, informace o hydrofyzikálních vlastnostech odpadu a způsobu jeho ukládání, údaje o parametrech vnitřního drenážního systému skládky). Výše zmiňovaná metodika včetně porovnání vypočtených a naměřených hodnot drenážních odtoků vnitřních skládkových vod řízené skládky TKO Osečná byla prezentována v září 2003 na mezinárodní konferenci „Drainage Symposium“ v nizozemském Utrechtu a na mezinárodní konferenci „Waste Management – Sardinia 2003“ v říjnu 2003 v italském Cagliari na Sardinii.

**Článek byl zpracován s podporou výzkumného záměru CEZ:J03/98:414100008 „Možnosti zvyšování ekologické stability, retence a akumulace vody v krajině“.**

## Literatura

- [1] Berger, K.: Validation and Enhancement of the HELP Model to Simulate the Water Balance of Surface Covers. [Proceedings],



- 9<sup>th</sup> International Landfill Symposium, Cagliari, CISA publisher 2003.
- [2] van Dam, J. C.: Field-Scale Water Flow and Solute Transport. SWA Model Concepts, Parameter Estimation and Case Studies. [Doctoral Thesis], Wageningen University, 2000.
- [3] D'Antonio, G. – Pirozzi, F.: Hydraulic Behaviour of Leachate at the Bottom of Sanitary Landfills. [Proceedings], 3rd International Landfill Symposium, Vol. II. Cagliari, CISA Publisher, 1991, pp. 899–997.
- [4] Dieleman, P. J. – Trafford, B. D.: Drainage Testing. Irrigation and Drainage Paper 28. Rome, FAO 1976.
- [5] McEnroe, B. M.: Hydraulics of Leachate Collection and Cover Drainage. In: Landfilling of Waste: Leachate, Christensen, Cossu, Stegmann (Eds.), London and New York, Elsevier Applied Science Publisher 1992, pp. 531–541.
- [6] Ritzema, H. P.: Subsurface Flows to Drains. In: Drainage Principles and Applications, H. P. Ritzema (Eds.), ILRI Publ. 16, Wageningen, 1994, pp. 283–294.
- [7] Štibinger, J.: Návrh parametrů vnitřního drenážního systému skládek. [Sborník], mezinárodní konference EIPOS, TU Dresden, 1994, pp. 355–358.
- [8] Skaggs, R. W.: Drainage Simulation Models. In: Agricultural Drainage, R. W. Skaggs & J. Schilfgaard van, American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, 1999, pp. 469–500.
- [9] Upadhyaya, A. – Chauhan, H. S.: Falling Water Tables in Horizontal/Sloping Aquifer. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 127, 2001, No. 6, pp. 378–384.
- [10] Nepublikované dokumenty GESTA Rynoltice, a. s., hydrologická a provozní data ze skládky TKO Osečná, Liberecký kraj, 2001.
- [11] ČSN 83 80 33 Skládání odpadů – Nakládání z průsakovými vodami ze skládek. ČSNI, 2002.
- [12] ČSN 83 80 30 Skládání odpadů – Základní podmínky pro navrhování a výstavbu skládek. ČSNI, 2002.

### Štibinger, J.: Hydraulic Calculations of the Landfill Leachate Rate from the Internal Landfill Drainage System in Osečná

This paper explains the method of the hydraulic calculations of the landfill leachate rate from the internal landfill drainage system, placed at the bottom of the domestic waste sanitary landfill. The method is based on the drainage theory of the De Zeeuw-Hellinga Equation, under the non-steady saturated drainage flow conditions. The results were verified and compared with the data obtained from the sanitary landfill of domestic waste in the Osečná location, North Bohemia, Czech Republic.

### Štibinger, J.: Hydraulische Berechnung der Drainageabflüsse für die inneren Deponiewässer der geordneten Deponie für festen Hausmüll Osečná

Eines der Hauptziele des Artikels ist es, die Leser mit der Art und Weise der Schätzung der Abflüsse von inneren Deponiegewässern aus dem im unteren Teil der Deponie befindlichen Drainagesystem bekannt zu machen. Die hydraulische Berechnung basiert auf der Theorie von De Zeeuw-Hellingy unter den Bedingungen einer gesättigten ständigen (transienten) Drainageströmung. Die Ergebnisse dieser Methodik wurden überprüft und mit den bei einer geordneten Deponie festgestellten Werten der Drainageabflüsse von inneren Deponiegewässern verglichen.

## Vyhlášení soutěže

### O nejlepší dům z cihlového systému POROTHERM 2004

Šestý ročník shora uvedené soutěže je zaměřen na projekty bytových domů. Účelem a posláním je podnítit architektky, projektanty a studenty k ideovému řešení kvalitních projektů bytových domů, jejichž základními charakteristickými rysy by měly být vedle vysoké estetické a technické úrovně cenová výhodnost výstavby, nízké provozní náklady, pohoda bydlení a nízká provozní energetická náročnost, z hlediska architektonického a projektového řešení pak invenční využití všech možností, které cihlový systém POROTHERM nabízí.

#### Uzávěrka soutěže 18.6.2004

Soutěž se koná pod záštitou ministra pro místní rozvoj, partnery jsou Státní fond rozvoje bydlení, mediálním partnerem Vydavatelství Springer Media CZ, dalšími partnery Česká komora architektů, Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků, Český svaz stavebních inženýrů, Fakulta stavební ČVUT, Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR a Obec architektů.

#### Podmínky soutěže je možné získat bezplatně na adresách:

Wienerberger cihlářský průmysl, a. s., odd. marketingu, pí. Dana Prokešová, Plachého 388/28, 370 46 České Budějovice, tel.: 387766111; fax: 387766115; e-mail: info@wienerberger.cz

**www.wienerberger.cz**

PhDr. Václav Chaloupecký – KOMUNIKACE & PROFIT, Revoluční 8 (budova C), 110 00 Praha 1, tel.: 296785700; fax: 296785701; e-mail: komunikace.pr@volny.cz

**www.komunikace-profit.cz**

**www.springermedia.cz**

**www.dumabyt.cz**

**www.estav.cz**

# Ověřovací zkoušky totální stanice Leica

Ing. Markéta ADÁMKOVÁ  
 ČVUT – Fakulta stavební, Praha

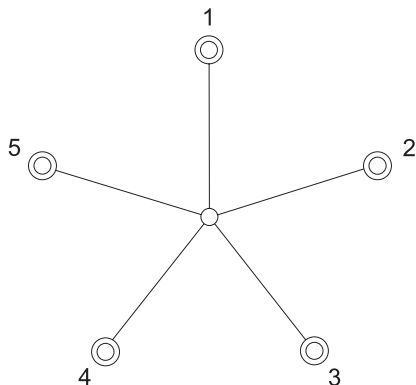
Dipl.-Ing. Gunnar NEUMANN  
 TU – Geodätisches Institut, Dresden

**Příspěvek popisuje zkoušky parametrů totálních stanic vyšší přesnosti TCA 2003 a TCR 1103 firmy Leica Geotronics, které se uskutečnily v rámci programu Erasmus na Technické univerzitě v Drážďanech.**

## Úvod

Ověřovací zkoušky totálních stanic Leica se uskutečnily v průběhu studijního pobytu spoluautorky tohoto textu na Geodetickém institutu Technické univerzity v Drážďanech. Tříměsíční zahraniční stáž v zimním semestru akademického roku 2003/2004 byla zajištěna programem Erasmus na základě pozvání proděkana Prof. Dr.-Ing. habil. Michaela Mösera v rámci tradiční spolupráce Katedry speciální geodézie FSv ČVUT a Katedry inženýrské geodézie GI TUD.

Cílem stáže bylo seznámení se s organizací studia oboru geodézie a kartografie na TUD a s výzkumnou činností katedry inženýrské geodézie, absolvování vybraných přednášek a vypracování zadaného projektu. Vedoucím projektu byl Dipl.-Ing. Gunnar Neumann, vědecký pracovník a vedoucí laboratoří katedry inženýrské geodézie.



Obr. 1. Zkušební bodové pole

## Ověřování úhломěrné části

Zadaný projekt spočíval v experimentálním porovnání parametrů přesnosti úhломěrné i dálkoměrné části dvou univerzálních elektronických teodolitů, které jsou v praxi známé jako totální stanice. Prvním přístrojem byla Leica TCA 2003 s výrobcem udávanou přesností úhlových měření 0,15 mgon a délek 1mm + 1 ppm. Tento typ je vhodný pro velmi přesné práce. Druhou ověřovanou totální stanicí byla Leica TCR 1103 umožňující měření délek s pasivním odrazem (tj. bez odrazného hranolu v cíli) s přesností 2 mm + 2 ppm a s přesností úhlových měření 1 mgon. Tento model je určen pro běžnou inženýrskou praxi.

Ověření přesnosti měření vodorovných směrů probíhalo podle postupu uvedeného v DIN [1] obsahově shodné s mezinárodní ČSN ISO [2]. Měří se osnova pěti směrů bez

uzávěru ve třech skupinách. Cíle by měly být umístěny přibližně v horizontální rovině teodolitu ve vzdálenosti 100 až 250 m a měly by být pravidelně rozloženy (obr. 1). Měření se opakuje čtyřikrát nezávisle za rozdílných povětrnostních podmínek. Vyhodnocení zjištěných hodnot se provádí vyrovnáním měření zprostředkujících. Uvnitř jedné řady  $k$  ( $k = 1, 2, 3, 4$ ) je směr označen  $r_{ij}$ , kde  $i$  udává cíl ( $i = 1, 2, 3, 4, 5$ ) a  $j$  číslo skupiny ( $j = 1, 2, 3$ ). Řady jsou vyhodnoceny jednotlivě.

Po zprůměrování první a druhé polohy dalekohledu a po redukci vzhledem k prvnímu směru je získáno patnáct hodnot  $r_{ij}$ , kde směry  $r_{1j} = 0$ . Ze tří skupin se vypočte průměrný směr k jednotlivým cílům ( $i$ )

$$\bar{r}_i = \frac{r_{i1} + r_{i2} + r_{i3}}{3}$$

Z diferencí

$$d_{ij} = \bar{r}_i - r_{ij}$$

se získají pro jednotlivé skupiny aritmetické průměry

$$\bar{d}_j = \frac{d_{1j} + d_{2j} + d_{3j} + d_{4j} + d_{5j}}{5} \quad \text{pro } j = 1, 2, 3,$$

ze kterých se vypočtou opravy

$$v_{ij} = d_{ij} - \bar{d}_j$$

Pro každou skupinu musí být splněna podmínka

$$\sum_{i=1}^5 v_{ij} = 0 \quad \text{pro } j = 1, 2, 3.$$

Druhá mocnina oprav řady  $k$  je pak

$$\sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^5 v_{ij}^2 = vv_k$$

Výběrová směrodatná odchylka jednoho směru v jedné skupině řady  $k$  je

$$s_k = \sqrt{\frac{vv_k}{(n-1) \cdot (r-1)}} = \sqrt{\frac{vv_k}{8}}$$

Výběrová směrodatná odchylka jednoho směru v jedné skupině určená ze všech čtyř řad podle této normy

$$s_{\text{DIN18723-THEO-Hz}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^4 s_k^2}{4}}$$

Horní hranice spolehlivosti  $C_{s,e}$  pro směrodatnou odchylku  $s_{\text{Hz}}$  je při jednostranném riziku na hladině spolehlivosti  $1 - a = 0,95$

$$C_{\sigma,e} = \chi_e \cdot s = 1,26 \cdot s_{\text{DIN18723-THEO-Hz}}$$

Interval spolehlivosti pro  $s_{\text{Hz}} 0 \leq \sigma_{\text{Hz}} \leq 1,26 \cdot s_{\text{DIN18723-THEO-Hz}}$

Zkoušky podle [1] byly provedeny ve třech sériích:

- pro velmi blízké cíle (2,9 až 3,9 m),
- pro blízké cíle (22 až 30 m),
- pro vzdálené cíle (120 až 220 m).

Velmi blízké a blízké cíle byly tvořeny odraznými fóliemi s cílovým křížem s kružnicí. Ve třetím případě bylo měřeno

jen přístrojem TCA 2003 na cíle představované odraznými hranoly Leica s využitím automatického cílení. Dosažené směrodatné odchylky  $\sigma_{Hz}$  vodorovného směru, měřeného ve dvou polohách dalekohledu (tj. v jedné skupině), jsou uvedeny v tab. 1. Přesnost zenitových úhlů se v rámci projektu neověřovala.

Tab. 1. Směrodatné odchylky směru měřeného v jedné skupině

Vzdálenost cílů [m]	TCA 2003	TCR 1103
	$S$ DIN 18 723-THEO-Hz [mgon]	$S$ DIN 18 723-THEO-Hz [mgon]
2,9 – 3,9	0,34	0,58
22 – 30	0,19	0,42
120 – 220	0,29	–

### Ověřování dálkoměru

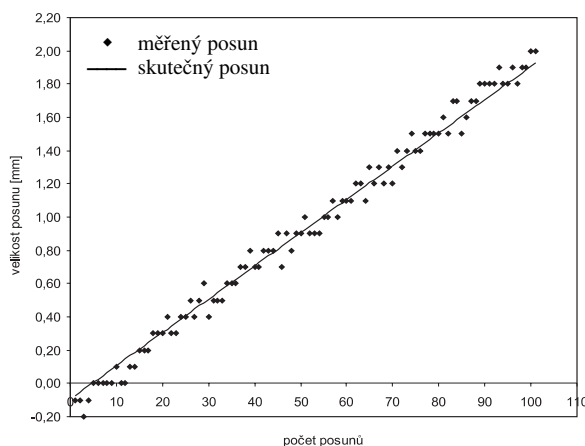
Při ověřovacích zkouškách dálkoměrné části totálních stanic se nepostupovalo podle příslušné části normy [1], která je pro moderní přesné přístroje poněkud hrubá a neprůkazná. Byl použit postup používaný na Katedře inženýrské geodézie GI TUD, který vede ke zjištění „rozdílovací schopnosti dálkoměru“. Měření se provádělo v laboratoři, kde byla na jeden pilíř umístěna totální stanice a na druhý pilíř ve vzdálenosti 24 m speciální přípravek. Na tomto přípravku jsou připevněny kolejničky, po kterých se ve vhodném nosiči pohybuje odrazný hranol dálkoměru. Jeho posun zajišťoval mikrometrický šroub s rozlišovací schopností 0,01 mm (obr. 2).



Obr. 2. Odrazný hranol v přípravku

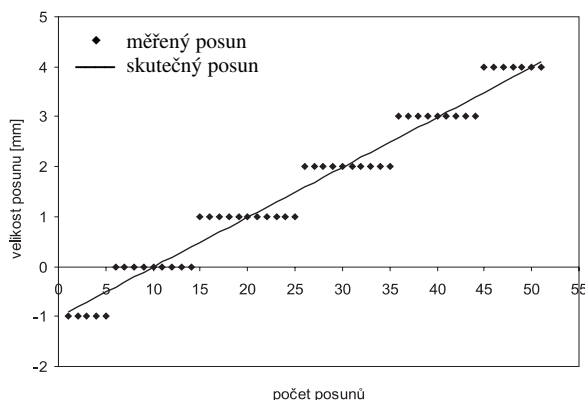
Přípravek byl umístěn tak, aby směr pohybu hranolu ležel v základně. Hranol byl postupně posouván v pravidelném kroku a totální stanicí byla měřena a registrována délka. Zkoušky byly provedeny pro všechny druhy měření délek (standardní, rychlé, přesné). Naměřenými hodnotami posunů pak byla za podmínky metody nejmenších čtverců

proložena přímka, která prezentovala skutečnou vzdálenost. Z diferencí mezi naměřenou vzdáleností a hodnotou danou přímkou byla vypočtena směrodatná odchylka, tj. rozlišovací schopnost dálkoměru.



Obr. 3. Posun měřený totální stanicí TCA 2003 v módu přesného měření délek

Při ověřování totální stanice TCA 2003 byl hranol stokrát posouván o 0,02 mm, celkový posun tedy byl 2 mm. Totální stanice umožňuje registraci délek na 0,1 mm. Obrázek 3 znázorňuje výsledky při přesném měření délek. Při ověřování totální stanice TCR 1103 byl hranol padesátkrát posouván o 0,1 mm, celkový posun byl 5 mm. Totální stanice umožňuje registraci délek na 1 mm.



Obr. 4. Posun měřený totální stanicí TCR 1103 v módu standardního měření délek

Obrázek 4 znázorňuje její výsledky při standardním měření délek. Při měření s pasivním odrazem o povrch cíle byl hranol nahrazen svisle postavenou destičkou orientovanou kolmo k základně. Rozlišovací schopnost měření délek obou totálních stanic je uvedena v tab. 2.

Tab. 2. Rozlišovací schopnost dálkoměru

Typ měření délek	TCA 2003	TCR 1103
	$s$ [mm]	
přesné	0,06	–
rychlé	0,11	0,2
standardní	0,08	0,2
s pasivním odrazem	–	0,2

**Závěr**

Z výsledků ověřovacích zkoušek podle [1] vyplývá, že u obou totálních stanic je přesnost úhlových měření závislá na vzdálenosti a jakosti cíle, a samozřejmě také na podmínkách měření (stav ovzduší, osvětlení, kontrast). Při běžném využití je pak velmi přesná TCA 2003 přibližně jen dvakrát přesnější než TCR 1103. Nesoulad hodnot *tab. 1* s údaji výrobce není významný, protože se vztahují k typickým vzdálenostem cílů řádově ve stovkách metrů a záleží i na jakosti (jednoznačnosti) cílů v bodovém poli. Tabulka také potvrzuje vyšší přesnost pečlivého ručního cílení proti automatickému. Ze druhé části ověřovacích zkoušek vyplývá, že pomocí TCA 2003 lze za konstantních podmínek rozlišit rozdíl v délce o velikosti 0,2 mm a pomocí TCR 1103 rozdíl 1 mm. Tyto výsledky jsou velmi zajímavé pro úvahy o přesnosti geodetických měření ve strojírenství nebo např. měření deformací stavebních a průmyslových objektů.

Český text byl zpracován v rámci výzkumného záměru J 21000001.

**Literatura**

- [1] DIN 18 723 Feldverfahren zur Genauigkeitsuntersuchung geodätischer Instrumente. Teil 3: Theodolite. 1990.  
 [2] ČSN ISO 8322 Geometrická přesnost ve výstavbě. Určování přesnosti měřicích strojů. Část 4 – Teodolity. ČSN, 1994.

Adámková, M. – Neumann, G.: Verification Tests of the Leica Total Station

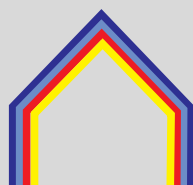
This article describes tests of parameters of total stations of higher accuracy TCA 2003 and TCR 1103 produced by Leica Geotronics. The tests were conducted as part of the Erasmus programme at the Technical University of Dresden.

Adámková, M. – Neumann, G.: Prüfungen der Totalstation Leica

Der Beitrag beschreibt die Parameterprüfungen von Totalstationen höherer Präzision TCA 2003 und TCR 1103 der Firma Leica Geotronics, die im Rahmen des Programms Erasmus an der Technischen Universität Dresden durchgeführt wurden.

**DACH+WAND 2004**

19. – 22. května  
Mnichov



[www.ghm.de](http://www.ghm.de)

**• dizertace****Vliv teploty na porézni strukturu a pevnost betonu**

RNDr. Šárka Hošková

V práci se prohlubují znalosti o vlivu teploty na porézni strukturu betonu a vlivu této struktury na pevnost stárnoucího betonu. Z práce plyne, že není vhodné zkoušet beton při stáří 28 dní, neboť vlivem jeho propařování jsou výsledky zkreslené. Je nutné vyčkat na ukončení hydratace. Na změny pórovitého prostoru betonu s teplotou má vliv i paměť betonu.

**Radiační křehnutí betonu**

Ing. Vít Sopko

V práci se zkoumá interakce betonu se zářením gama a zjišťuje se, zda křehnutí betonu v důsledku záření může ovlivnit bezpečnost jaderných elektráren. Experimentálně se prokázalo, že k významnému ovlivnění mechanických vlastností ozářeného betonu dojde až v době, která mnohonásobně převyšuje jejich životnost.

**Optimalizace aktivační ČOV z hlediska nitrifikace a denitrifikace s praktickou aplikací na ČOV Hlinsko**

Ing. Martin Soudek

Dizertace je věnována analýze dlouhodobé funkce čistírny odpadních vod založené na měření a provozování v terénu, poloprovozních pokusech a modelování vybraných technologických procesů ovlivňujících úspěšný provoz. Je učiněn pokus o optimalizaci provozu. Práce je aplikována na čistírnu v Hlinsku.

mezinárodní vědecká konference

**ŽELEZNICE JAKO SOUČÁST  
INTEGROVANÉHO  
DOPRAVNÍHO SYSTÉMU**

19. května 2004

Dopravní fakulta ČVUT, Horská 3, Praha 2



Informace:

Ing. Zdeněk Říha, Dopravní fakulta ČVUT v Praze  
Katedra ekonomiky a managementu v dopravě  
a telekomunikacích, Horská 3, 128 00 Praha 2  
tel.: 224 359 165, 732 719 818  
e-mail: [xrihaz@fd.cvut.cz](mailto:xrihaz@fd.cvut.cz)

[www.fd.cvut.cz](http://www.fd.cvut.cz)

## • zprávy

### Český statistický úřad převzal nové sídlo

Moderní jedenáctipatrovou budovu u stanice metra Skalka v Praze 10 předali statistikům koncem ledna zástupci stavební firmy Skanska. Budova, která bude kromě republikové centrály i sídlem pražské a středočeské pobočky, přitom vyrostla za pouhých devět měsíců. Nové sídlo je unikátní především díky špičkovému technologickému a bezpečnostnímu vybavení, které statistici pro práci s daty potřebují. Stavba stála 829 mil. Kč, které stát uhradí ve třech splátkách.

Od záplav v roce 2002, kdy původní sídlo na Invalidovně v Karlíně doslova spláchnula Vltava, byl Český statistický úřad rozeset do deseti provizorních míst po celé Praze a jejím okolí. Původní karlínský objekt byl navíc jen mnohaletým provizoriem, který neměl ani stále číslo popisné. Budova byla postavena krátce po druhé světové válce, podle dobových pramenů jako nouzové sídlo správy železnic. O výstavbě nové budovy ČSÚ rozhodla vláda v únoru 2002. Povodně však celý projekt značně urychlily.

Objekt má půdorys tvaru písmene H, má dvě podzemní a tři až jedenáct nadzemních podlaží. Jelikož jde o administrativní budovu, která chce být spíše skromná a elegantní, jsou fasády poměrně jednoduše členěné a i samotné části objektu



jsou ve svém výrazu střídmé. Podél vstupního chodníku jsou zapuštěny záhony s nízkými dřevinami sladěnými v odstínech barev zelené, šedé, modré a stříbrné. Východní část pozemku lemují nově vysazené javory. Na střeše ve výklenku na západní části objektu byla vytvořena střešní zahrada. Zeleň vysázená kolem nově vybudovaného parkoviště vytváří biologickou bariéru kolem oplocení tak, aby byl průhled na zaparkovaná auta maximálně skryt.

Shodou okolností se statistici stěhovali do nového v době 85. výročí existence samostatné státní statistické služby v českých (a slovenských) zemích – 6. ledna 1919 totiž Národní shromáždění jednomyslně přijalo první zákon, který státní statistiku zakotvil do právního řádu mladé Republiky Československé.

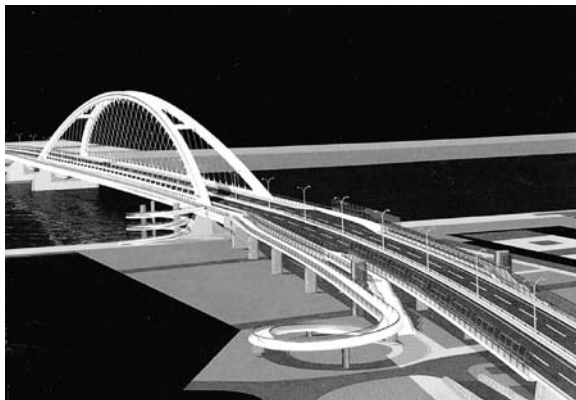
První pracovníci se na Skalce objevili již na přelomu prosince a ledna, poslední pak v dubnu. Nejsložitější stěhování přitom měl tým lidí z oddělení informačních technologií, kteří museli v relativně krátké době bezpečně přesunout všechny servery, zapojit kabely a oživit počítačovou síť. To vše je technologickým mozkiem a nervovou soustavou úřadu, bez níž se statistici neobejdou.

*Tisková informace*

### Bratislava bude svědkem unikátní montáže silničního mostu

Hutní montáže Ostrava získaly prestižní zakázku v hodnotě 118 mil. Kč na montáž silničního mostu Košická v centru Bratislavy. Kromě hodnoty kontraktu, která má pozitivní vliv na hospodaření společnosti i zaměstnanost, je zakázka mimořádná také díky originálnímu způsobu montáže. Specialisté zde totiž použijí světově unikátní technologii, při které most na své místo doslova „připluje“ po Dunaji.

Atraktivní montáž, kterou budou sledovat nejen odborníci, ale i desetitisíce Bratislavčanů, je plánována na konec léta 2004. Hlavní středová část mostu s mohutným obloukem se smontuje podélně na břehu Dunaje. Poté se jeden konec konstrukce přichytí na otočný kloub a druhý konec bude zavěšen na čluny, které pak s využitím síly proudu celý most pootočí o 90° až ke druhému břehu. Tato část montáže bude trvat přibližně jeden den. Poté se oba konce mostu pevně



přimontují k pilířům na březích. Samotnou „plavbu“ budou provázet rozsáhlá bezpečnostní opatření a několikanásobné jištění.

Ocelová konstrukce mostu bude vážit téměř 5 200 t, pomocné konstrukce na člunech pak dalších 800 t. Přímo na stavbě pracuje již nyní ve dvou směnách přibližně 80 montážních specialistů. Most Košická je pátým bratislavským mostem přes Dunaj. Jeho stavbou se umožní plynulejší silniční doprava mezi částmi Petržalka, Ružinov a Mlynské Nivy bez zatížení městského centra. Generálním dodavatelem stavby je sdružení Doprastav a MCE Voest. Montáž provádějí Hutní Montáže Ostrava, hlavní nosníky se vyrábějí v MCE ve Slaném, mostovka pak v maďarském Niergyhadza.

*Tisková informace*

## ● zprávy

### Stav evropské dopravní sítě brání celoevropskému obchodu

Vážný nedostatek finančních zdrojů a nedostatečná koordinace brání rozvoji kvalitní dopravní infrastruktury v Evropské unii, tvrdí nová zpráva PricewaterhouseCoopers. Dokládá, že problémy při synchronizaci investic mezi sousedními zeměmi a chybějící finance ve výši mnoha miliard eur brání výstavbě dálnic, železnic a dalších dopravních projektů. Tato situace poškozuje zájmy evropských spotřebitelů i podniků, které chtějí obchodovat v celoevropském měřítku.

Evropská komise zdůraznila význam kvalitní dopravní sítě stanovením 29 prioritních projektů v rámci Trans-European Network Infrastructure. Tyto projekty předpokládají výstavbu nových či modernizaci stávajících dopravních cest a jejich propojení s cílem usnadnit dopravu napříč celou unií. Projekty zahrnují jak stávající státy EU, tak přistupující země, z nichž se již většina v květnu stane členy EU.

Dopravní sítě v České republice se týkají tři prioritní projekty:

- železniční spoj z Atén do Drážďan, tj. zavedení evropského železničního signalizačního a řídicího systému (ERTMS) a elektrifikace železnice z Brna do Norimberku;
- železniční spoj z Gdaňsku do Vídně si vyžádá modernizaci železnice z Katovic do Břeclavi;
- dálnice z Gdaňsku do Vídně, tj. modernizace dálnice z Katovic do Brna a odtud vybudování nové do Vídně.

Na realizaci těchto projektů je podle stávajících odhadů potřeba do roku 2020 vynaložit 235 miliard eur, což odpovídá zhruba 0,16 % celkového hrubého domácího produktu zemí EU. Ze zkušenosti lze očekávat, že tyto náklady mohou být ještě vyšší. Rozpočet unie na období 2001 až 2006 však počítá jen s 4,2 miliardy eur. Přestože některé země a regiony mohou využít finance z Kohezního fondu a Strukturálních fondů EU, Evropské investiční banky a veřejných rozpočtů jednotlivých zemí, stále značná část prostředků chybí. Evropská unie v současnosti poskytuje na tyto projekty ze všech svých zdrojů zhruba 2,5 miliardy eur ročně a odhadovaná výše každoročních investic z rozpočtů jednotlivých států je zhruba 16 miliard eur. Realizace projektů by za těchto podmínek mohla trvat až třicet let.

Odborníci PricewaterhouseCoopers na financování dopravních projektů doporučují čtyři hlavní opatření, která

mohou pomoci realizovat prioritní projekty a výhody, jež z nich plynou:

- většinu financí by měla zajistit Evropská komise. Vzhledem k dlouhodobému charakteru těchto projektů by měla být schopna zajistit postupné financování v delším období a podle potřeb jednotlivých fází výstavby;
- Evropská komise musí přimět jednotlivé země ke spolufinancování těchto projektů a musí stanovit jasný postup realizace, aby veřejný i soukromý sektor mohl lépe plánovat zdroje;
- posuzovat přínos z hlediska celé EU, protože analýza nákladů a výnosů pouze v rámci jednotlivých zemí nezohledňuje přínos projektů pro sousedící země a EU jako celek;
- je potřeba příliš mnoho prostředků na to, aby vše mohl zajistit jen veřejný sektor. Je proto nutné, aby projekty spolufinancovaly i soukromé subjekty, např. prostřednictvím partnerství veřejného a soukromého sektoru (Public Private Partnership – PPP). Taková spolupráce nejen zajistí dodatečné zdroje, ale také umožní uskutečnit další projekty.

Některé země již nyní využívají k výstavbě infrastruktury soukromé finance. Mnoho států však musí přijmout další legislativu, aby mohly využít soukromé zdroje ve větší míře. Partnerství veřejného a soukromého sektoru bylo například úspěšně aplikováno při výstavbě londýnského metra, což byl zároveň největší projekt PPP ve Velké Británii. Jiným příkladem využití je rozhodnutí irského úřadu pro silnice (Irish National Road's Authority) postavit úsek Kinnead-Kilcock silnice N4/N6 z Dublinu ve spolupráci s konsorciem EuroLink. Je to první projekt PPP v rámci irského národního plánu rozvoje pro období 2000–2006.

Německé ministerstvo dopravy nedávno představilo možnosti financování projektů veřejné výstavby formou PPP. Ministerstvo mimo jiné vypracovalo pokyny pro jeho propagaci a doporučení, jak překonat stávající právní a finanční omezení, a stanovilo metodiku a osvědčené postupy pro dosažení co největší efektivity těchto projektů. Také vytvořilo národní centrum odpovědné za implementaci projektů PPP v Německu.

*Podle tiskové informace PricewaterhouseCoopers*

## PŘEDPLATNÉ

časopisu Stavební obzor na rok 2004

je možné objednat vyplněním elektronického formuláře na internetu na adrese

<http://web.fsv.cvut.cz/obzor>

nebo zasláním písemné objednávky na adresu distributora uvedenou v tiráži časopisu na druhé straně obálky.

## ● technologie

### Města se mohou včas připravit na povodně

Nepřipravenost některých obcí v okamžiku, kdy se na ně začala valit velká voda, ukázaly povodně v roce 2002.

Včasné informace o aktuálním stavu hladiny mohou v případě nebezpečí na mnoha místech nainstancovat evakuaci i ochranu majetku mnohem dříve, a tak podstatně snížit vzniklé škody. Princip je jednoduchý. Na řece je umístěno čidlo, které při vzestupu vody okamžitě odešle varovnou zprávu SMS. Kromě toho může čidlo posílat i pravidelné informace o stavu na řece. Údaje může přijímat radnice a na jejich základě činit rychlá rozhodnutí. Alarmová hlášení mohou být automatizovaně odesílána v podobě SMS a určeným osobám, např. členům povodňové komise. Mladoboleslavská radnice umístila čidlo na Jizeru v oblasti Rožátova. Jako alarmové hodnoty jsou nastaveny 1. a 2. stupeň povodňové aktivity.



Kontrolní systém aktuálního stavu vody MACS

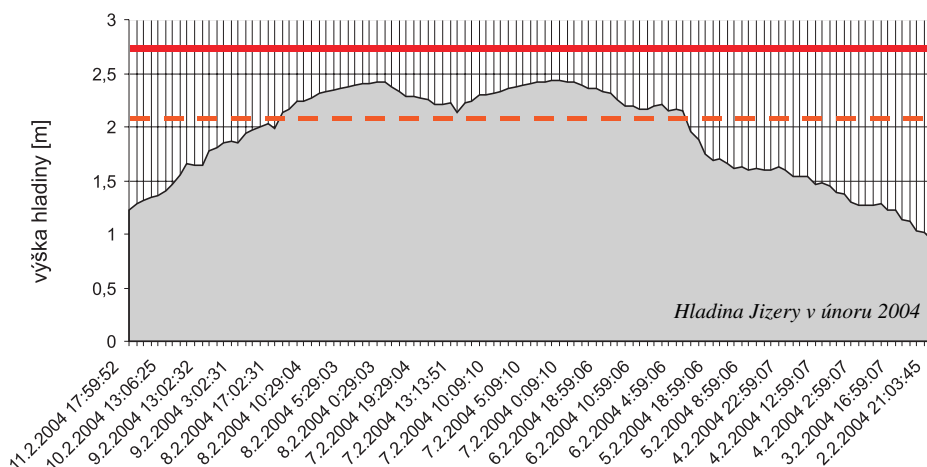
Při jejich překročení čidla okamžitě vyšlou varovné hlášení. Periodu i alarmové hranice je možné dálkově měnit. Díky

tomu lze velmi dobře sledovat rychlost nárůstu nebo poklesu hladiny řeky a včas vydávat nebo odvolávat odpovídající opatření. Data může rovněž kdokoli sledovat on-line na webových stránkách radnice.

Kontrolní systém aktuálního stavu vody (MACS – Measuring And Control System), který vyvinula společnost GT technology za podpory T-Mobile, poskytuje daleko širší využití. Své uplatnění najde tam, kde se pracuje se sběrem hodnot z odložených měřicích stanic (energetika, vodárenství, meteorologie atd.). Měřicí čidla lze např. zařezovat do povrchu vozovky v místech, kde hrozí námrazy. Systém hlásí pokles teploty vozovky k 0 °C. Takové sledování

provazuje i město Mladá Boleslav.

*Tisková informace*



## České vysoké učení technické v Praze



### vyhlásilo veřejnou dvoukolovou architektonickou soutěž

#### na zpracování návrhu urbanistického, architektonického, provozního a technického řešení nové budovy fakulty architektury

Předmětem je zpracování urbanistického, architektonického, provozního a technického návrhu řešení nové budovy v areálu vysokých škol technických v Praze 6-Dejvicích. Soutěžní lhůta pro odevzdání soutěžních návrhů v prvním kole končí 24. května, ve druhém kole 6. srpna 2004.

Veřejná výstava soutěžních návrhů se bude konat v termínu 9.–17. září 2004

www.cka.cc  
www.cvut.cz; www.centralniadresa.cz  
www.ov.ihned.cz

# STAVEBNÍ OBZOR

## ROČNÍK 13 ČÍSLO 06/2004

### Navigace v dokumentu

#### OBSAH

Broža, V. <b>Netradiční technologické postupy při výstavbě hrází malých vodních nádrží</b>	<b>161</b>
Samec, J. – Studnička, J. <b>Model chování spřahovací lišty při statickém namáhání</b>	<b>165</b>
Kuklík, P. – Kopáčková, M. <b>Porovnání řešení pružné vrstvy s Boussinesqovým řešením pružného poloprostoru</b>	<b>171</b>
Fajman, P. – Šejnoha, J. <b>Vliv změny aktivní hloubky na průběh konsolidace podloží pod základovými deskami</b>	<b>176</b>
Tomica, V. – Struhár, F. <b>Poruchy mostů po povodních</b>	<b>181</b>
Varga, T. <b>Vplyv kameniva na mechanické vlastnosti betónov ovplyvnených vysokými teplotami</b>	<b>187</b>



**6 • 2004**

**ročník 13**

# STAVEBNÍ OBZOR

pozemní stavby  
dopravní stavby  
vodohospodářské stavby  
geotechnika  
konstrukce a materiály  
technologie  
životní prostředí  
geodézie a kartografie  
mechanizace  
informatika  
ekonomika  
software



Fakulta stavební  
ČVUT v Praze



Česká komora autorizovaných  
inženýrů a techniků



Český svaz  
stavebních inženýrů



Fakulta stavební  
VUT v Brně



Fakulta stavební  
VŠB TU-Ostrava

**OBSAH**

Broža, V.

**Netradiční technologické postupy při výstavbě hrází malých vodních nádrží . . . . . 161**

Samec, J. – Studnička, J.

**Model chování spřahovací lišty při statickém namáhání . . . . . 165**

Kuklík, P. – Kopáčková, M.

**Porovnání řešení pružné vrstvy s Boussinesqovým řešením pružného poloprostoru . . . . . 171**

Fajman, P. – Šejnoha, J.

**Vliv změny aktivní hloubky na průběh konsolidace podloží pod základovými deskami . . . 176**

Tomica, V. – Struhár, F.

**Poruchy mostů po povodních . . . . . 181**

Varga, T.

**Vplyv kameniva na mechanické vlastnosti betonů ovplyvnených vysokými teplotami . . . . . 187**

**CONTENTS**

Broža, V.

**Untraditional Technological Procedures in the Construction of Dams on Small Water Reservoirs . 161**

Samec, J. – Studnička, J.

**A Model of Perforated Connector Performance . . . . . 165**

Kuklík, P. – Kopáčková, M.

**Comparison of the Solution of the Elastic Layer with Boussinesq Solution of Elastic Semi-Space . . . . . 171**

Fajman, P. – Šejnoha, J.

**The Effect of the Influence Zone on the Evolution of Consolidation in the Subsoil Below Foundation Plates . . . . . 176**

Tomica, V. – Struhár, F.

**Failures of Bridges After Floods . . . . . 181**

Varga, T.

**Influence of Gravels on Mechanical Properties of Concrete at High Temperatures . . . . . 187**

**INHALT**

Broža, V.

**Neuartige technologische Verfahren beim Bau von Dämmen kleiner Wasserrückhaltebecken . 161**

Samec, J. – Studnička, J.

**Verhaltensmodell einer Zahnleiste bei statischer Beanspruchung . . . . . 165**

Kuklík, P. – Kopáčková, M.

**Vergleich der Lösung einer elastischen Schicht mit der Boussinesque-Lösung des elastischen Halbraums . . 171**

Fajman, P. – Šejnoha, J.

**Einfluss einer Veränderung der aktiven Tiefe auf den Verlauf der Nachverdichtung im Unterbau von Fundamentplatten . . . . . 176**

Tomica, V. – Struhár, F.

**Schäden an Brücken nach Hochwässern . . . . . 181**

Varga, T.

**Der Einfluss des Zuschlagmaterials auf die mechanischen Eigenschaften von durch hohe Temperaturen beeinflussten Betonen . . 187**

**REDAKČNÍ RADA****Předseda:**

prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc

**Místopředseda:**

doc. Ing. Alois MATERNA, CSc.

**Členové:**

Ing. Miroslav BAJER, CSc.

doc. Ing. Pavel HÁNEK, CSc.

Ing. Jiří HIRŠ, CSc.

Ing. Ivan HRDINA

doc. Ing. Vladimír JELÍNEK, CSc.

doc. Ing. Miroslav KAUN, CSc.

Ing. Jana KORYTÁROVÁ, PhD.

Ing. Karel KUBEČKA

Ing. Petr KUNEŠ, CSc.

doc. Ing. Ladislav LAMBOJ, CSc.

doc. Ing. Ivan MOUDRÝ, CSc.

doc. Ing. Jaroslav NOVÁK, CSc.

doc. Ing. Luděk NOVÁK, CSc.

doc. Ing. Miloslav PAVLÍK, CSc.

prof. Ing. J. PROCHÁZKA, CSc.

doc. Ing. Vlastimil STARA, CSc.

Ing. Karel SVOBODA

doc. Ing. Josef VITÁSEK, CSc.

prof. Ing. Jiří WITZANY, DrSc.

Ing. Renata ZDAŘILOVÁ

**STAVEBNÍ OBZOR**, odborný měsíčník, vydává Fakulta stavební ČVUT Praha společně s Fakultou stavební VUT Brno, Fakultou stavební VŠB TU Ostrava, Českou komorou autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě a Českým svazem stavebních inženýrů. Řídí redakční rada, vedoucí redaktorka Marcela Klímová. Adresa redakce: Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel./fax: 224 354 596, klimova@fsv.cvut.cz, http://web.fsv.cvut.cz/obzor. Vychází každý měsíc kromě července a srpna, cena za výtisk je 40 Kč včetně DPH (+ poštovné a balné). Objednávky odběru i reklamace přijímá Ing. Milan Gattringer, MG DTP, Borovanská 3388, 143 00 Praha 4, tel./fax: 241 770 220, e-mail: mgdtp@volny.cz. Odběr je možné zrušit až po vyčerpání zaplaceného předplatného. Inzerce adresujte redakci. Technická redakce a realizace: Ing. Milan Gattringer. Podávání novinových zásilek povoleno Ředitelstvím pošt Praha, č. j. NP 144/1994, ze dne 21. 10. 1994. Do sazby 3. 5. 2004. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

## Netradiční technologické postupy při výstavbě hrází malých vodních nádrží

prof. Ing. Vojtěch BROŽA, DrSc.  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

Závažným problémem sypaných hrází malých vodních nádrží je zvýšené riziko porušení účinkem extrémní povodně, což potvrdily mj. i poznatky z povodně v srpnu 2002. Opatření, spočívající v opevnění koruny a vzhledu svahu hráze, se dosud v ČR nepoužívají. V příspěvku jsou uvedeny příklady tohoto přístupu ze zahraničí a varianty řešení s využitím technologie válcovaného betonu, popř. tvrdého násypu. Aktuálnost využití je zdůrazněna potřebou zvýšit retenční i akumulaci schopnost krajinného prostředí.

Hráze malých vodních nádrží a rybníků patří v ČR k nejfrekventovanějším vodohospodářským stavebním objektům. Jejich počet se v současné době pohybuje kolem 25 tisíc, v 17. století však byl až trojnásobný. Z uvedeného velkého počtu je možno vyčlenit tisíc až dva tisíce objektů významných z hlediska bezpečnosti území, kde v případě jejich porušení mohou vzniknout velké hospodářské škody, popř. mohou být ohroženy lidské životy. V rámci statistických údajů o povodni v srpnu 2002 se uvádí, že došlo k protržení, popř. poškození na ~950 hrázích rybníků a malých nádrží.

Tato skutečnost logicky nabádá k úvahám, jak zmenšit riziko těchto poruch, převážně v důsledku přelití hrází, při výskytu extrémních povodní. Přitom je třeba brát v úvahu, že výstavba malých nádrží je trvale aktuální. Jsou totiž nejvýznamnějším prostředkem pro zvýšení retenční schopnosti krajiny, navíc jediným, kde je možno účinky bez pochyb kvantifikovat, a zároveň lze pomocí nich zvyšovat akumulaci schopnost přírodního prostředí, což se ukazuje stále více aktuální ve vztahu k dopadům rozvíjejících se změn klimatu na odtokové poměry v povodích. Přitom malé vodní nádrže jsou historicky součástí české krajiny, jejich realizace obvykle nemá negativní účinky na prostředí a veřejnost je přijímá většinou příznivě.

### Poučení z historie

Zde by bylo možno uvést množství konkrétních případů poukazujících na to, jak naši předci již od 13. století (popř. i dříve) v souvislosti s výstavbou rybníků účelně zasahovali do odtokových poměrů v povodích, mj. proto, aby snížili ohrožení svých děl povodňovými jevy. Pokud jde o vzdouvací objekty, na rozdíl od praxe posledních desetiletí je

u nich zřejmě výrazně větší převýšení koruny hráze nad běžnou provozní hladinou. Někdy je možno předpokládat, že zhruba odhadovali objem extrémní povodně (z přívalového deště) a usilovali o to, aby při zvýšeném odtoku přes přeliv (spíš úsporně koncipovaný) byl tento objem v nádrži bezpečně zachycen. Při větší povodni, vymykající se tehdejší zkušenostem, došlo k přelití a porušení zemních hrází, což nebyl jev nijak výjimečný.

Aktuální požadavky na bezpečnost území, chápané v rámci představ člověka na počátku třetího tisíciletí o prostředí pro život, jsou výrazně větší než v minulosti, a proto by bezpečnost objektů, trvale, popř. i dočasně vzdouvajících vodu nad okolní terén, měla být nepochybně větší než v minulosti.

### Hlavní koncepční problémy

Pokud se nehodláme zabývat specifickými otázkami výrazně komerčně profilované skupiny rybochovných nádrží, pak jsou trvale aktuální z hlediska funkce:

■ **zásobní** vedle formulovaných požadavků na dodávku vody též problémy minimálního zůstatkového průtoku v toku pod nádrží. Zde by měly být brány v úvahu i požadavky krajiny (včetně veřejného zájmu), aby ani v obdobích extrémního sucha (při zvýšeném výparu) nedošlo k poruchám v nadlepšovací účinku nádrže do toku. Ukazuje se, že v extrémně suchých obdobích může dojít i k bezodtokovému stavu. Konstrukční řešení hrází pak musí splnit větší nároky na těsnicí funkci (včetně napojení na podloží a podloží samostatně), aby se dostatečně omezily ztráty průsakem. To se samozřejmě týká objektu po úroveň hladiny zásobního prostoru; výše lze připustit i výrazně větší průsaky, nesmějí však ohrožovat stabilitu objektů;

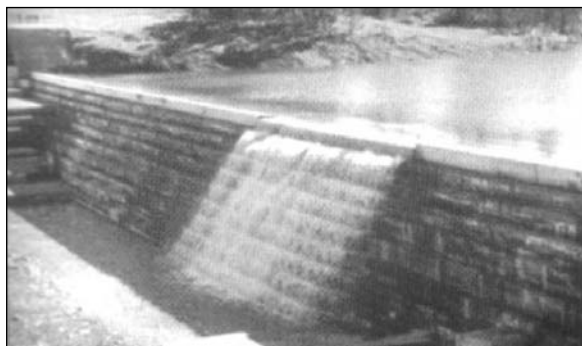
■ **ochranné** s požadovaným zachycením povodňového objemu nad stanovenou hodnotou odtoku, zejména problémy bezpečnosti vzdouvacích staveb ve vztahu k extrémním povodním. Kromě posouzení případných ničivých účinků při porušení hráze přelitím nelze pominout ani hlediska sociálněpolitická.

Projektant přitom stojí před rozhodováním, zda podle současných norem, popř. metodických pokynů, sice navrhnout (resp. posoudit) přeliv pro případ výskytu  $N$ -leté povodně ( $N$  je dáno normou, hydrologické údaje poskytl ČHMÚ), nebo volit bezpečnější řešení. Klade si řadu dalších otázek typu: „Neexistují (nebo v budoucnu nebudou existovat) důvody pro zvýšení bezpečnosti návrhu?“, „Nemohou se při budoucích povodňových epizodách vyskytnout v povodí jevy, které ještě více ohrozí dílo v porovnání s ustanoveními normy (účinky splaví, porušení nádrží výše položených v povodí atd.)“, „Nevyskytne se v blízké bu-

doucnosti v povodí nádrže extrémní povodeň, která projekt zničí, a i když podle norem bude vše v pořádku, kredit projektanta rozhodně utrpí?“. Všechny tyto úvahy ho vedou k hledání způsobů, jak zvětšit v daných podmínkách povodňový odtok z nádrže, aby se snížila pravděpodobnost porušení hráze při přelítí přes korunu. Přitom logicky se nabízející řešení, tj. zvětšení kapacity pojistných zařízení díla, se obecně nepovažuje za racionální.

### Projektové řešení

V podmínkách ČR jsou malé vodní nádrže historicky spojeny se zemními hráze, jejichž konstrukční materiál většinou současně zajišťoval těsnicí i stabilizační funkci. Tento stav lze hodnotit jako vyhovující – až na hrozbu porušení při přelítí za extrémní povodně. Logickým východiskem by mohlo být zvětšení odolnosti dotčených zón hráze proti erozivním účinkům přelévající se vody, aspoň v úseku, který pro tento účel vyčleníme. Takové řešení se, bohužel, u nás běžně nesleduje, možná i proto, že opevňovací prvky na vzdušném svahu hráze by narušily obvyklé zatravnění, které napomáhá splýnutí vzdouvací stavby s okolní krajinou.



Obr. 1. Nízká hráz z válcovaného betonu – „přeliv“ ve funkci (Tobesofkee Creek – USA)

V zahraničí, konkrétně v USA, však bylo u dříve vybudovaných hrází, často podstatně vyšších, než je běžné u našich malých nádrží, použito opevnění koruny a vzdušného svahu (včetně přechodu u paty) jako racionální východisko pro zvýšení kapacity pojistného zařízení vyžadované státní správou. Byla využita rychle se rozvíjející technologie válcovaného betonu – na vzdušném svahu se ve vodorovných páslech o šířce ~2,5 až 3,0 m a tloušťce 0,3 m přibetonovalo opevnění se stupňovitým lícem. Hubená směs se rozhrmovala malým dozerem a hutnila vibračním válcem. Přes problémy vyplývající z limitovaných rozměrů pracoviště se použití válcovaného betonu hodnotilo jako výhodné, omezující zejména pracnost (v porovnání s jinými variantami). Přednosti válcovaného betonu se v dalších letech projeví rozšířením oblasti jeho použití též pro malé vzdouvací objekty (obr. 1 a obr. 2). To může být inspirací i pro naše nízké hráze. Válcovaný beton je materiál s dostatečnou odolností vůči účinkům povrchové i vnitřní eroze vody a pro uplatnění technologických postupů postačí běžná stavební mechanizace (používaná pro hutněné násypy).

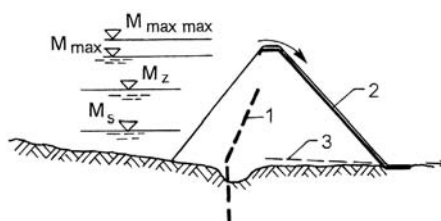
Pokud bychom důsledně sledovali požadavky na hráz malé nádrže se zásobní i ochrannou funkcí, u níž bychom preferovali vysokou odolnost při přelítí, pak je nutno zajistit (obr. 3):

- v dolní části omezení průsaku vody (vodotěsnost dolní části hráze, napojení na podloží i vlastního podloží);
- v horní části a v oblasti vzdušného svahu odolnost proti erozivním účinkům vody;

- v celé soustavě svedení vody (včetně průsakové) do dolní vody tak, aby nebyla ohrožena stabilita hráze.



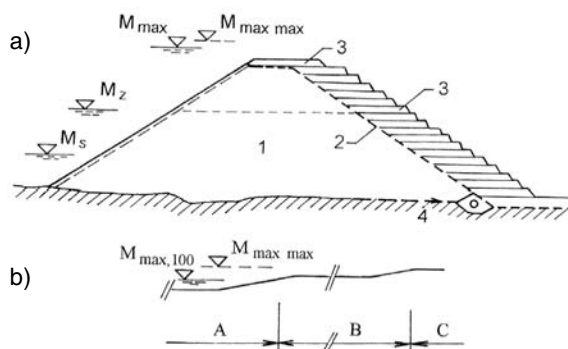
Obr. 2. Příklad neupraveného vzdušného líce hráze z válcovaného betonu (Kerrville – USA)



Obr. 3. Schéma nároků na hráz malé nádrže se zásobní a ochrannou funkcí  
1 – těsnění, 2 – opevnění, 3 – odvodnění

### ■ Varianta, která se nejvíce blíží klasickému řešení nízké sypané hráze

Pro převádění častějších povodňových průtoků, např. do maxima dvacetileté (popř. až stoleté) povodně je možné vyhradit v údolní části úsek zajišťující funkci korunového přelivu (byť s hydraulicky nevýhodným přepadem vody přes širokou korunu). V dané šířce se svod vody povede po stupňovitěm vzdušném svahu opevněném válcovaným betonem (utlumí se podstatný podíl energie vody). U vzdušné paty se vytvoří vývar zajišťující též soustředění průtoku do koryta pod hrázi (obr. 4).



Obr. 4. Schéma zemní hráze s opevněním koruny a vzdušného svahu válcovaným betonem

a) příčný řez přelivem: 1 – hutněný násyp (se stabilizační a těsnicí funkcí), 2 – syntetická textilie, 3 – válcovaný beton, 4 – systém odvodnění; b) podélný profil koruny: A – sekce přelivu, B – sekce vyhrazená pro přelítí extrémní povodně, C – nepřelévající sekce

Pro případ extrémnějších povodní, s případným omezením odhadnutou pravděpodobnou maximální povodní – např. jako padesátinásobek druhé odmocniny plochy povodí [km<sup>2</sup>], se zvolí podstatně větší úsek hráze, kde koruna i

vzdušný svah a přechod u paty svahu se opevní válcovaným betonem. Pro omezení rušivého dojmu v přírodním prostředí je možno v tomto úseku na svah přisypat zeminu a osít jej (obr. 5). Zbývající úsek hráze je nutno řešit tak, aby bylo vyloučeno přelítí (převýšením, popř. parapetní zídou na koruně). Po délce koruny hráze je možno přechod jednotlivých úrovní upravit tak, aby byl možný přejezd dopravních prostředků (za povodně je však komunikace vyloučena). V sekci s opevněným svahem, stejně jako jinde, je nutno zajistit kontrolu průsakových poměrů v hrázi (patní drén s měřením průsaků v jednotlivých sekcích atd.). Výpustní objekt nádrže se zřejmě nebude lišit od klasické koncepce.



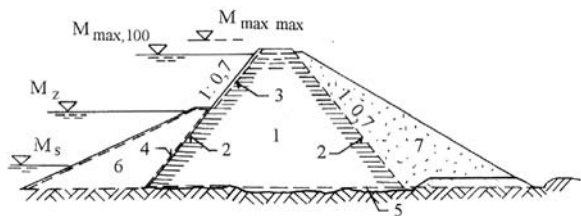
Obr. 5. Úprava vzdušného svahu hráze z válcovaného betonu přisypem a osetím (Woody Branch – USA)

Toto řešení poskytuje projektantovi možnost zbavit se problémů spojených s hrozbou zničení díla při mimořádné povodni (včetně obav z následků ucpání výpustních zařízení transportovaným splávim). Je možno snáze řešit i zmírnění rizika pro případ havárie jiných nádrží výše v povodí. Přitom přeliv pro „běžné“ povodňové průtoky může být dimenzován hospodárněji a svedení vody přepadající pod hráz (včetně tlumení energie) je hydraulicky přehledné.

Pro provozovatele je hrozba porušení při extrémní povodni prakticky vyloučena a problém, že při přelítí vyhrazené sekce dojde k narušení vegetačního „zamaskování“ objektu na vzdušním líci, není nijak závažný.

#### ■ Varianta s plným využitím technologie válcovaného betonu, popř. tvrdého násypu

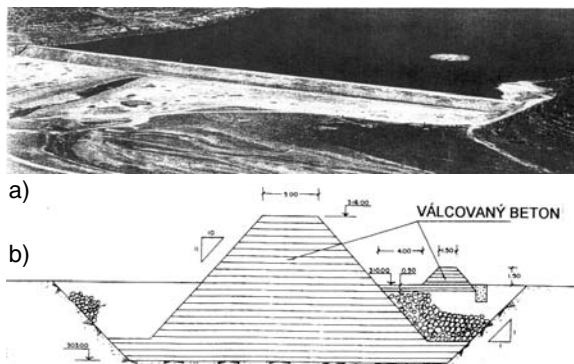
Reálnost použití technologie válcovaného betonu (obr. 6) i u nevýznamných hrází potvrzují informace ze zahraničí (USA, Španělsko – obr. 7). V tomto případě výstavba bez



Obr. 6. Schéma hráze z válcovaného betonu (s těsnicím prvem při návodní patě)

1 – válcovaný beton, 2 – nehtutný líc, 3 – hutněný líc, 4 – syntetická textilie, 5 – odvodňovací systém, 6 – zemní těsnicí prvek, 7 – přísyp s osetím

příčných dilatačních spár (v souvislých vodorovných vrstvách) může být přijatelnější než u významnějších přehrad, protože předpokládaný výskyt hydratačních trhlin zřejmě nebude na závalu. Pokud budou zvlášť velké nároky na vodotěsnost nádrže, je možno při návodní patě až po



Obr. 7 Nízká přehrada z válcovaného betonu umožňující převedení  $1\,600\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$  (Guadalemar – Španělsko)  
a – pohled na stavbu po dokončení, b – příčný řez hrázi

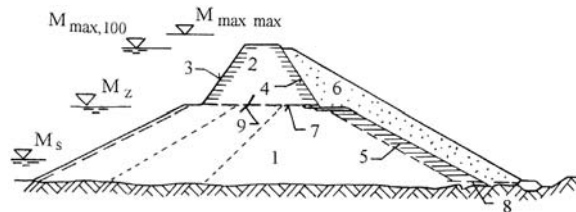
hladinu zásobního prostoru navrhnout zvláštní těsnicí prvek (se zavázáním do nepropustného podloží). Nad úrovní této hladiny bude třeba okraje vrstev na návodním svahu upravit, např. ztuhněním příložnou vibrační deskou (aspekty trvanlivosti i estetická hlediska). S výjimkou svodu od korunového přelivu je vhodné s ohledem na krajinné prostředí na vzdušném svahu provést přísyp balastní zeminou s humusem a osetím. Obdobně jako u sypaných hrází se v oblasti vzdušné paty zřídí drenážní soustava s kontrolou průsaků.

Varianta hráze z válcovaného betonu vyžaduje poněkud lepší podloží, nepoužijeme ji zřejmě při očekávaném velkém, popř. nerovnoměrném sedání, skalní podloží však není podmínkou. Výhodně se může uplatnit i u suchých nádrží, kde odpadnou obavy o stav hráze po delším období, v němž se povodně nevyskytnou. Kapacitní výpusti zřejmě bude možno bez rizika zabudovat do tělesa hráze, jejich dispozice by však neměla narušit plynulost ukládání betonu v souvislých vodorovných vrstvách.

#### ■ Varianta spojující v příčném profilu násyp ze zeminy a z hubeného betonu, popř. z cementem stabilizované zeminy

Toto řešení (obr. 8) je možno chápat více jako námět pro inspiraci. Vychází z funkčních požadavků na zásobní i ochrannou funkci nádrže a omezení rizika protržení při přelítí stejně jako již uvedené varianty, návrh podstatně tužšího korunového dílu z válcovaného betonu na ztuhněný zemní násyp však může působit rozpaky. Důsledky nerovnoměrného sedání zde není možno podceňovat, zároveň však je třeba vzít v úvahu, že v současnosti jsou již k dispozici prostředky, jak ošetřit kontakt betonové části se zemní z hlediska možnosti vzniku průsakových cest i vnitřní eroze.

S uvedenými variantami konstrukčního řešení založeného na využití technologie válcovaného betonu je možno „pracovat“ i po délce hráze, tj. napříč údolím, a vhodně kombi-



Obr. 8. Schéma kombinované hráze (díle při koruně z válcovaného betonu)

1 – hutněný zemní násyp (s těsnicí funkcí), 2 – válcovaný beton, 3 – hutněný líc, 4 – nehtutný líc, 5 – opevnění svahů válcovaným betonem, 6 – přísyp s osetím, 7 – syntetická textilie, 8 – odvodňovací systém, 9 – těsnicí prvek

novat např. variantu plně z válcovaného betonu v údolní části (s přelivem a výpustním objektem) s variantami využívanými z hutněných zemní násyp.

### Válcovaný beton, resp. tvrdý násyp

Za více než třicetileté období rozvoje technologie válcovaného betonu bylo publikováno množství informací o konkrétních realizacích i souhrnných prací, v češtině např. [1], [2]. Je možno konstatovat, že jsou již k dispozici ověřené sestavy směsí i technologické postupy, které umožňují měnit vlastnosti betonu v širokém rozmezí, v souladu s nároky na budovaný objekt. Při použití pro výstavbu nízkých hrází, navíc se zvláštním těsnicím prvkem po hladinu zásobního prostoru, je hlavním požadavkem odolnost proti erozním účinkům vody, a potom trvanlivost lícnicích zón, které přicházejí do přímého kontaktu s atmosférickými vlivy. Pokud jde o pevnost, bude zřejmě vždy splněna v rámci obecných technologických nároků (zpracovatelnosti atd.). Pro ilustraci uvádíme směs použitou při stavbě přehrady Guadalemar ve Španělsku, kde během 32 dnů v roce 1994 bylo uloženo 60 000 m<sup>3</sup> betonu z 60 kg cementu, 125 kg popílku, 100 l vody, 1 364 kg hrubého kameniva a 836 kg písku v 1 m<sup>3</sup>. Obecně je vhodné zdůraznit snahu o využití místních materiálů, i se zvýšeným obsahem jemných zrn (siltových, nikoli jílovitých).

Z ekonomického hlediska je ze zkušeností, zejména z USA, vhodné upozornit na skutečnost, že v rámci nabídkových řízení se návrhy založené na použití válcovaného betonu často prosazují v konkurenci s jinými přehradními typy. Další uplatnění, např. při rekonstrukcích, popř. zvyšování dřívě vybudovaných přehrad, ukazuje, že technologie válcovaného betonu se při výstavbě vodních děl stala jedním z nosných směrů vývoje. Její uplatnění se rozšiřuje i do rozvojových zemí, i když názor, že její přínosy jsou nejvýraznější v technologicky vyspělých státech, má své odůvodnění.

### Závěr

Pro nízké hráze malých vodních nádrží je trvalým problémem zvýšené riziko porušení při přelítí mimořádnými povodněmi. Nové možnosti v tomto směru může přinést použití technologie válcovaného betonu umožňující racionálně a bez zásadní změny stavebních postupů zřídit na koruně a vzdušném svahu plášť odolnou proti erozním účinkům přelévající se vody. V kombinaci s tradičními zemními přehradami se nabízejí různé možnosti, z nichž je možno se při konkrétních aplikacích inspirovat. Vždy je třeba mít na zřeteli, že nároky na bezpečnost prostředí v budoucnu dále porostou. Zároveň nádrže vhodně situované v krajinném prostředí, budované v souladu s širším programem péče o krajinu a neproduktivního využívání půdy, díky možnosti využití pro omezení následků extrémních hydrologických jevů v povodích budou zřejmě stále častěji používaným opatřením.

**Příspěvek byl zpracován v rámci řešitelských prací na grantovém projektu č. 103/04/0701 GA ČR.**

### Literatura

- [1] Broža, V.: Válcovaný beton – nová technologie výstavby masivních betonových konstrukcí. *Stavební obzor*, 1, 1992, č. 4, s. 4–9.

- [2] Broža, V.: Tvrdý násyp – další nadějný technologický stupeň. *Stavební obzor*, 5, 1996, č. 9, s. 270–272.

- [3] Design Manual for Small RCC Dams. Portland Cement Association USA, 2003.

- [4] Spanish RCC Dams. Comité Nacional Español de Grandes Presas, Madrid, 1996.

### Broža, V.: Untraditional Technological Procedures in the Construction of Dams on Small Water Reservoirs

A serious problem of earth dams on small water reservoirs is an increased risk of damage as a result of extreme floods. This fact was confirmed, among others, by experience gained from the flood of August 2002. Measures involving protection of the crest and the downstream slope of the dam have not been applied in the Czech Republic yet. This paper presents examples of the employment of this approach from abroad, as well as alternative solutions utilizing technologies of rolled concrete or hard fill. The topicality of the use is stressed by the need to increase the retention and accumulation capacity of the landscape.

### Broža, V.: Neuartige technologische Verfahren beim Bau von Dämmen kleiner Wasserrückhaltebecken

Ein ernsthaftes Problem von Schüttdämmen kleiner Wasserrückhaltebecken ist das erhöhte Risiko der Beschädigung durch die Einwirkung eines extremen Hochwassers, was u.a. auch durch die Erkenntnisse aus dem Hochwasser im August 2002 bestätigt wurde. Maßnahmen, die in der Befestigung der Krone und des luftseitigen Hangs des Damms bestehen, werden bislang in Tschechien nicht angewandt. Im Beitrag sind Beispiele dieses Herangehens aus dem Ausland und Lösungsvarianten mit Anwendung des Walzbetonverfahrens bzw. einer harten Anschüttung angeführt. Die Aktualität der Anwendung wird durch die Notwendigkeit der Erhöhung der Rückhalte- und Speicherkapazität der Landschaftsumgebung hervorgehoben.

## • dizertace



### Počítačová podpora přípravy a kontroly využitelných zdrojů

Ing. František Benč

Dizertace se zabývá rozhodováním stavebního managementu v úlohách nabídkového, rozpočtového a kalkulačního rozvrhu zdrojů v čase a využíváním datové základny v reálném čase. Navržený software propracovává do komerční úrovně.

### Příčiny vad a poruch silikátových omítek

Ing. Milan Myška

Práce vychází z laboratorních experimentů a následných teoretických rozborů časového průběhu deformací tenkých vrstev omítek v důsledku teplotních objemových změn, smršťování a dotvarování. Rozbory smršťování prokázaly mimořádný význam spolupůsobení omítkové vrstvy s podkladem.

## Model chování spřahovací lišty při statickém namáhání

Ing. Jan SAMEC, PhD.  
prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

Spřahovací lišta úspěšně používaná pro spojení betonové desky s ocelovým nosníkem v ocelobetonových spřažených konstrukcích a mostech byla na ČVUT podrobně odzkoušena ve dvou standardizovaných typech a jsou k dispozici vzorce pro stanovení její únosnosti při statickém zatížení. Ve stadiu experimentálního výzkumu je nyní zjišťování únosnosti lišty při opakovaném namáhání, kdy se navíc projeví únava materiálu. Je zřejmé, že experimentální cesta stanovení únosnosti spřahovací lišty je velmi výstižná, je však také zdlouhavá a nákladná. Současně s experimentováním na skutečných vzorcích se proto hledají dostatečně výstižné výpočetní modely, na nichž by se únosnost (popř. i modifikovaných tvarů lišty) zjistila efektivněji. Cesta k výstižnému modelu ovšem není snadná, jak si autoři článku potvrdili během tříletého snažení. Postupně se však podařilo dospět k velmi efektivnímu modelu, který se stručně prezentuje v tomto článku.

Soustředili jsme se na dva tvary lišty a vykonali velké množství zkoušek s normalizovanými protlačovacími vzorky i zkoušky na nosnících. Výsledky jsme publikovali doma [6], [7] i v zahraničí [8]–[12]. Lišta se v ČR skutečně používá, a to jak v pozemních stavbách (Lego Kladno, obr. 2), tak v mostech (Litol, obr. 3, Brno, Kamýk [13]). Výzkumem lišty se v okolních zemích zabývají také Ďuricová, Naď a Rovňák na TU Košice, viz např. [14], [15].

Pro pohodlí čtenářů shrňme výsledky experimentálního výzkumu na ČVUT v následujících odstavcích.

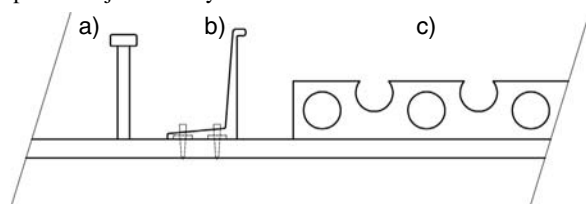


Obr. 2. Budova Lego Kladno (projekt Ing. Štolc, CSc.)

### Spřahovací prvky pro ocelobetonové konstrukce

Ocelobetonové (v ČR se historicky používá velmi často i název spřažené) konstrukce jsou populární proto, že vhodně v jedné konstrukci kombinují vysoce únosnou, avšak dražší, ocel s levnějším betonem, který dodává výsledné kompozitní konstrukci tuhost a odolnost proti nárazu, požáru atp.

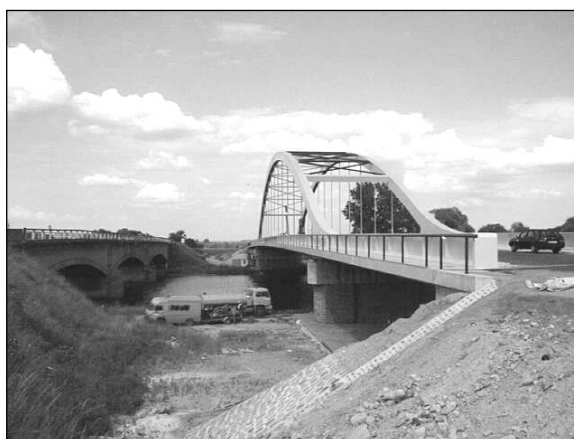
Navrhovat ocelobetonové konstrukce je dnes zcela běžné, učí se to na vysoké škole a existuje bohatá literatura, např. [1] a [2], stejně jako normy [3], [4]. Spřahovací prvky, tzn. prvky, které spojují ocelovou a betonovou část konstrukce, se neustále vyvíjejí a nejrozšířenější jsou nyní poloautomaticky přivařované spřahovací trny s hlavou (obr. 1a). Pro tyto prvky existují uznávané postupy (obsažené v normách) pro stanovení statické únosnosti i únosnosti při únavě. U ostatních prvků, jako jsou nastřelované zarážky (obr. 1b) nebo perforovaná lišta (obr. 1c), se údaje o únosnosti takto jednoduše nenajdou, zčásti proto, že nejsou obecně známé, a zčásti proto, že se některé prvky považují za ryze firemní výrobky a normy se úzkostlivě vyhýbají jakékoli preferenci produktu jedné firmy.



Obr. 1. Spřahovací prvky

a – trn s hlavou, b – nastřelovaná zarážka, c – perforovaná lišta

Na ČVUT se delší čas zabýváme výzkumem spřahovací (perforované, děrované) lišty, jejíž původ je v Německu [5].



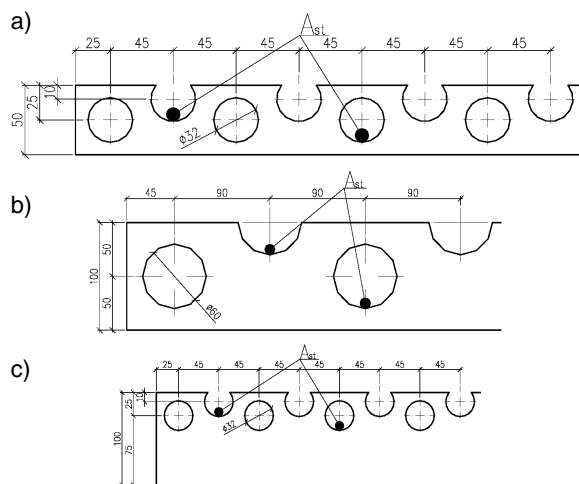
Obr. 3. Most přes Labe, příčníky spřaženy s deskou mostovky pomocí lišty (projekt Ing. Pechal, CSc.)

### Spřahovací perforovaná lišta

Spřahovací lištu tvoří ocelový 10 či 12 mm tlustý pás (standardní konstrukční ocel S235) s kruhovými otvory a poloatomy podle obr. 4, kterými se pro zvýšení únosnosti provlečou pruty betonářské výztuže. Lišta se na horní pás ocelového nosníku přivaří koutovým svarem přenášejícím podélnou sílu působící v zatíženém nosníku mezi betonovou deskou a ocelovým nosníkem. Protože spřažení lištou ve většině případů není (alespoň při standardní zkoušce na

protlačovacím vzorku) příliš tažné ve smyslu normy pro sprážené konstrukce, vypočítává se tato síla pro pružný stav namáhání, tzn. běžným způsobem, používaným i u jiných spráhovacích prvků. Ze zkoušek na nosících (viz např. [8]) sice vyplývá, že ani plastický výpočet není příliš vzdálený od skutečnosti, ale další výzkum to teprve musí lépe objasnit. Lištu je možné kombinovat s monolitickým (normálním či lehkým) betonem i s prefabrikáty (obr. 4). Není vhodné lištu používat s trapézovými plechy, neboť kvůli liště nemohou plechy být spojité a jejich dělení na krátké délky není hospodárné.

Na ČVUT bylo během posledního desetiletí vykonáno mnoho experimentů s lištou, které dále popíšeme.



Obr. 5. Spráhovací lišta ČVUT

a – nízká 50/10, b – vysoká 100/12,  
c – modifikovaná s otvory v horní části

#### ■ Nízká lišta

Největší počet zkoušek byl proveden s nízkou lištou (obr. 5a), která má otvory průměru 32 mm a hodí se do desek s tloušťkou okolo 100 mm používaných v pozemních stavbách. Celkem bylo s touto lištou vykonáno 34 standardních protlačovacích zkoušek (obr. 6) se statickým zatížením. Výsledky byly statisticky vyhodnoceny a vyplynuly z nich následující vztahy pro únosnost lišty:

a) *charakteristická únosnost*

$$P_{Rk} = -68 + 12,4 f_{ck, cyl} + 797 A_{st} \leq 1\,000 \quad [\text{N/mm}] \quad (1)$$

lišta z oceli S235,

$$P_{Rk} = -68 + 12,4 f_{ck, cyl} + 797 A_{st} \leq 1\,500 \quad [\text{N/mm}]$$

lišta z oceli S355.

Ve vzorcích značí  $f_{ck, cyl}$  válcovou pevnost betonu [MPa] a  $A_{st}$  plochu výztuže provlečené otvory [mm<sup>2</sup>/mm]. Omezení smykové únosnosti vyplývá z únosnosti samotné lišty v lomeném řezu mezi otvory. Jinak rozhoduje únosnost betonu a provlečené výztuže;

b) *návrhová únosnost*

$$P_{Rd} = -49 + 8,8 f_{ck, cyl} + 568 A_{st} \quad [\text{N/mm}]; \quad (2)$$

c) *součinitel spolehlivosti zjištěný statistickým rozбором výsledků*

$$\gamma_v = P_{Rd} / P_{Rk} = 1,4 [-]. \quad (3)$$

#### ■ Vysoká lišta

Pro tlustší betonové desky používané třeba v mostním stavitelství je vhodné lištu zvýšit. S lištou vysokou 100 mm

s otvory průměru 60 mm podle obr. 5b bylo vykonáno celkem 16 protlačovacích zkoušek, z nichž byl vyvozen vztah pro charakteristickou únosnost

$$P_{Rk, big} = 235 + 14,1 f_{ck, cyl} + 313 A_{st} \quad [\text{N/mm}]. \quad (4)$$

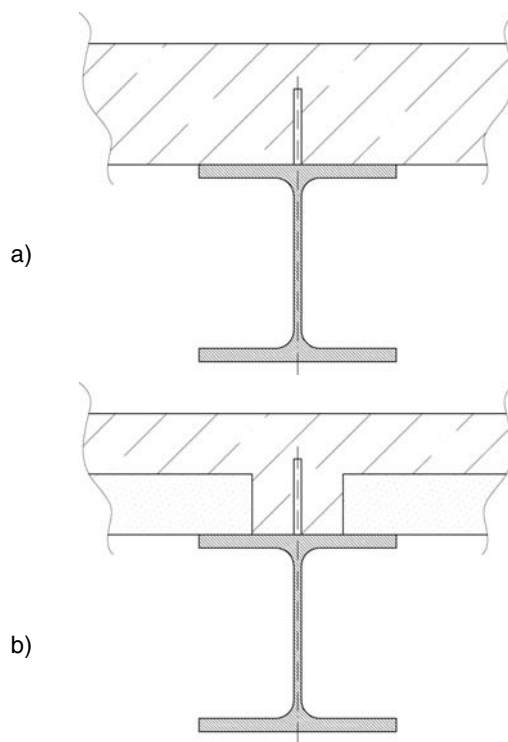
Součinitel spolehlivosti lze brát stejný jako u nízké lišty.

#### ■ Lišta v lehkém betonu

Při dalších devíti experimentech bylo na vzorcích s vysokou lištou zjišťováno, jak se projeví záměna standardního kameniva v betonu za lehké kamenivo Liapor. Výsledkem je zjištění, že únosnost sprážení je přímo závislá na objemové hmotnosti betonu. Pokud má beton menší objemovou hmotnost  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>], lze únosnost vypočítanou pro normální beton ( $\rho = 2\,400$  kg/m<sup>3</sup>) redukovat podle vztahů

$$P_{Rk, light} = \eta \cdot P_{Rk, big} \quad [\text{N/mm}], \quad (5)$$

$$\eta = 0,3 + 0,7 \left( \frac{\rho}{2\,400} \right)^2. \quad (6)$$



Obr. 4. Sprážení lištou

a – s monolitickou deskou, b – s prefabrikáty

#### ■ Vysoká lišta s otvory nahoře

Pro betonové desky zhotovené na ztraceném filigránovém bedněni je nutné, aby lišta měla otvory posunuty do horní části podle obr. 4b a obr. 5c. Ze zkoušek dvou vzorků tohoto typu vyplynulo, že únosnost této lišty se proti liště nízké mírně zvýší. Platí vztah

$$P_h = k_h \cdot P_{Rk} \quad [\text{N/mm}], \quad \text{kde } k_h = 1,1. \quad (7)$$

#### ■ Dvě lišty vedle sebe

Experimentálně byla ověřena také situace, kdy pro zvýšení únosnosti sprážení se použijí dvě lišty paralelně vedle sebe ve vzájemné osové vzdálenosti  $b$ , přičemž výztuž se protahuje otvory v obou lištách. Ze zkoušek patnácti vzorků plyne, že únosnost dvou lišt není dvojnásobná, ale poněkud menší. Přesně ji lze určit ze základního vztahu pro nízkou



lištu s použitím součinitele podle vztahu

$$P_{\text{double}} = k_d \cdot P_{Rk} \quad [\text{N/mm}], \quad (8)$$

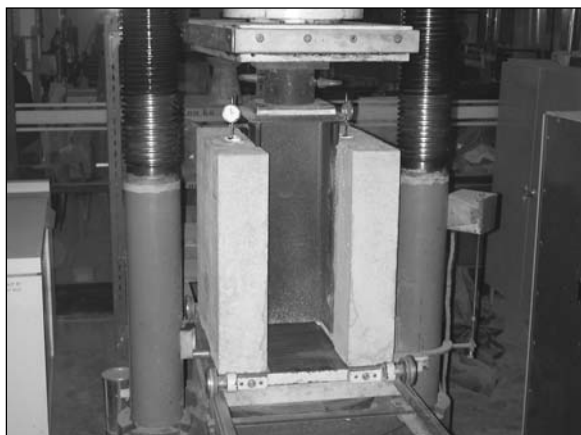
$$\text{kde} \quad k_d = 1,66 + \frac{(b-100)}{14\,000} \leq 1,85. \quad (9)$$

#### ■ Lišta při opakovaném zatížení

Pro mosty je nutné znát únosnost lišty i při opakovaném zatížení. Ze tří protlačovacích zkoušek podrobně popsanych v [7] a [12] vyplynulo, že při použití vysoké lišty v betonu C40 a poměrně slabém vyztužení (plocha výztuže procházející otvory je 0,25 mm<sup>2</sup>/mm) lze při rozkmitu podélné síly 375 kN/m lišty počítat s dosažením dvou milionů cyklů bez porušení sprážením. To je zatím vše, co lze pro opakované zatížení lišty říci. Dá se sice předpokládat, že stejně jako u statické únosnosti se i únavová únosnost bude výrazně zlepšovat s růstem vyztužení (s počtem a průměrem prutů výztuže procházejících otvory lišty), ale další výzkum je nutný.

#### Model lišty

Z výčtu v předchozím odstavci je zřejmé, že je již dostatek podkladů pro dva prozkoumané tvary lišty a že se lišta může v praxi používat. Jakmile se však tvar lišty z jakýchkoli důvodů pozmění, nejsou zmíněné podklady použitelné, resp. mají jen orientační charakter. Z těchto příčin vznikla snaha vytvořit teoretický model, jenž by se na vyzkoušených tvarech lišty ověřil a po ověření by poskytoval mocný nástroj pro stanovení únosnosti pro jakýkoli jiný tvar lišty, otvorů, vyztužení atd. Tak by se minimalizovala potřeba dalších finančně nákladných protlačovacích zkoušek (obr. 6), které by byly nutné, pokud by se postupovalo pouze cestou experimentální. Model je stěžejní částí právě předložené dizertace prvního z autorů tohoto článku [16].



Obr. 6. Fotografie protlačovací zkoušky

Nejschůdnějším řešením problému chování perforované lišty se zdálo použití metody konečných prvků programu ANSYS ve verzi 7.1. Tento software patří mezi nejpracovnější systémy, které jsou v současnosti k dispozici. K velkým kladům lze řadit to, že program je licencován pro univerzitní účely přímo na půdě ČVUT v Praze, a je tedy volně k dispozici. S tím souvisí i obecně dobrá znalost jeho obsluhy v rámci ČVUT. Program sám je schopen generovat síť konečných prvků tak, aby výpočet byl optimalizován a mohl probíhat v reálném čase.

Cílem bylo vytvoření funkčního modelu základní perforované lišty působící jako spráhovací prvek mezi betonovou

deskou a ocelovým profilem. Model je od počátku tvořen v prostoru, aby bylo možné lépe vystihnout skutečné chování prvku v reálné konstrukci. I při dnešním dostatečně vyspělém hardwarovém vybavení na školícím pracovišti je pro úsporu času vhodné využít symetrie vzorku. Modeluje se proto pouze čtvrtina protlačovacího vzorku, což zvlášť při užití trojrozměrných prvků výrazně snižuje nároky na procesorový čas počítače.

#### Typy prvků

Jako nejvhodnější prvek se pro modelování nelineárního chování železobetonové desky zkušební vzorku v programu ANSYS jeví osmiuzlový prvek **SOLID65**. Jde o trojrozměrný prvek se třemi stupni volnosti v každém uzlu (posuny ve směrech os  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ). Nejvyšší přesnosti výpočtu je dosaženo, jestliže má všech osm uzlů (hranol). Pokud model vyžaduje změnu počtu uzlů z důvodu např. složitě geometrie, na kterou nelze aplikovat strukturovanou neboli mapovanou síť konečných prvků, pak může prvek „degenerovat“ až na čtyřtět se čtyřmi uzly. **SOLID65** má navíc schopnost simulovat i plastické chování – plastickou deformaci, v našem případě vznik trhlin ve třech vzájemně kolmých směrech a drcení materiálu tlakem. U prvku je možno zadat volitelné parametry, tzv. reálné konstanty **REBARs**, díky nimž se může modelovaný betonový prvek vyztužit ve třech směrech ocelovou výztuží.

Druhý prvek použitý při modelování železobetonové desky je **LINK8**, který má stejné vlastnosti jako rozptýlená výztuž přímo implementovaná v **SOLID65**. Každý z uzlů prvku **LINK8** má tři stupně volnosti (posuny ve směrech os  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ). Prvek má stejně jako předchozí schopnost plastické deformace. **LINK8** byl v našem případě využit při modelování příčné výztuže procházející otvory perforované lišty, jejíž důležitost plynoucí z experimentů je velmi významná.

Modelovat betonový vzorek je v současnosti (při uvažování nelineárních materiálových vlastností) v kterémkoli z běžných programů FEM nelehký úkol. I přes poměrně široké spektrum přístupů různých autorů ve světě je jen málo možností, jak tyto charakteristiky určit jinak než experimentálně.

Jak ocelová stojina a pásnice profilu **HEB**, tak vlastní plech perforované lišty byly modelovány pomocí čtyřuzlového prvku **SHELL41**. Jde o dvojrozměrný prvek se třemi stupni volnosti v každém uzlu (posuny ve směrech os  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ). Z výše uvedeného plyne, že prvek nemá schopnost přenášet zatížení ohybem. Působí jako membrána přenášející síly pouze ve střednicové rovině. Z definice prvku plyne, že nejvyšší přesnosti výpočtu je dosaženo, pokud použijeme při modelování síť čtyřúhelníkových prvků. V případech, kdy jde o složitou geometrii, je možné prvek „degenerovat“ na trojúhelník.

#### Materiálové vlastnosti

Beton je, jak známo, materiál kvazikřehký a má rozdílné vlastnosti v tlaku a tahu. Pevnost v tahu betonu dosahuje zpravidla pouze 8 ÷ 15 % pevnosti v tlaku. Program ANSYS obsahuje materiálový model **CONCRETE**, který je charakterizován tím, že vychází z upravené Chenovy podmínky plasticity v oblasti tlak-tlak a Rankinovy podmínky plasticity v oblasti tah-tah.

Podmínka **CONCRETE** je vyjádřena vztahem

$$\frac{F}{f'_c} - S \geq 0, \quad (10)$$

kde  $F$  je funkce hlavních napětí  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ,

$f_c$  – pevnost betonu v tlaku při podrcení (jednoosá napjatost),

$S$  – plocha porušení vyjádřená v hlavních napětích a pěti vstupních parametrech.

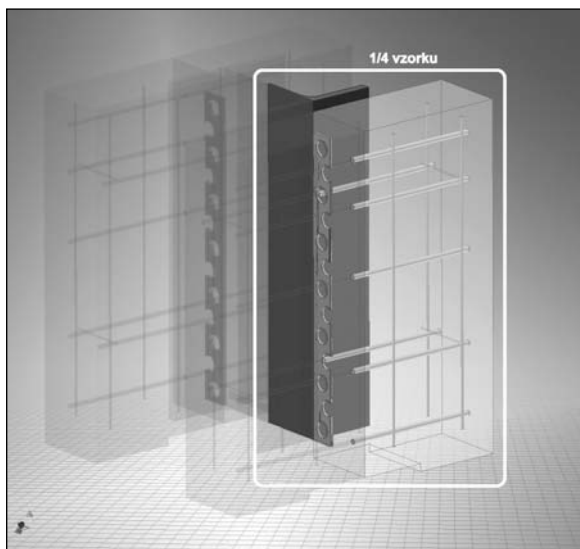
V betonovém prvku se trhliny objeví, jakmile alespoň jedno z hlavních tahových napětí leží vně plochy porušení. Po vzniku trhliny se modul pružnosti prvku ve výpočetním modelu nastaví na hodnotu 0 ve směru kolmém na směr hlavního tahového napětí.

Podrcení prvku naopak nastane, jakmile všechna hlavní tlaková napětí leží vně plochy porušení. V tomto případě se modul pružnosti nastaví na hodnotu 0 ve všech směrech a prvek se automaticky přestane podílet na přenášení sil.

Vzhledem k tomu, že modelovaný protlačovací vzorek je sprážená ocelobetonová konstrukce, je nutné klást důraz na dostatečně přesný popis materiálových charakteristik obou materiálů, tzn. nejen betonu, ale i oceli. V programu ANSYS je ocel modelována bilineárním nebo multilineárním pracovním diagramem. Ocel se v tomto modelu chová elasticky nelineárně. Na rozdíl od plasticity přitom nedochází ke ztrátě energie, neboť v pracovním diagramu se při odlehčení ocel pohybuje po stejné křivce jako při zatěžování, tj. nedochází k trvalému plastickému přetvoření materiálu. Toto zjednodušení není podstatné, pokud vzorek zatěžujeme pouze kladnými přírůstky zatížení, což odpovídá běžné praxi.

### Geometrie vzorku

Již bylo uvedeno, že pro zjednodušení výpočetního modelu a náročnosti na procesorový čas jsme využili symetrie protlačovacího vzorku podle dvou rovin a modelovali pouze čtvrtinu vzorku (obr. 7). Chyba, která tím vznikne při řešení, je proti náročnosti výpočtu celého modelu zanedbatelná.



Obr. 7. Modelovaná čtvrtina vzorku

### Zatížení

Pod pojmem zatížení se v programu ANSYS rozumí působení sil, momentů, ale také podpory, okrajové podmínky symetrie a vazbové rovnice, jak je uvedeno dále. Ačkoliv je náš model MKP vytvořen z ploch a objemů trojrozměrného modelu, síly i podpory nejsou aplikovány na tento model, ale přímo na síť konečných prvků.

Model protlačovacího vzorku je zatěžován monotónně rostoucí silou ve shodě s experimenty [16]. Je zřejmé, že při zatěžování řízeném silou není model schopen popsat chování vzorku po dosažení největší síly. Celkové zatížení působící na vzorek bylo rozděleno na diskrétní břemena působící v jednotlivých uzlech pásnice a stojiny ocelového profilu tak, aby přírůstky zatížení vyvolaly v ocelovém profilu stejnou deformaci. Vzorek byl (z důvodu využívání již zmíněné symetrie) zatěžován pouze čtvrtinou působící síly. Největší síla působící na model odpovídá dosaženému maximum při protlačovací zkoušce v laboratorii.

Uzlům betonové desky na styku s podporou je zabráněno v posunech ve směru globálních os  $x, y, z$ . Okrajové podmínky symetrie čtvrtiny vzorku jsou obdobou podepření konstrukce. Jelikož je model symetrický ve dvou navzájem kolmých rovinách (v rovině  $XY$  procházející pásnicí a perforovanou lištou a v rovině  $YZ$  procházející kolmo na stojinu v její polovině), je zabráněno posunům  $u_z$ , resp.  $u_x$ . Rotacím není bráněno, protože všechny prvky mají pouze tři stupně volnosti – posuny.

Aby bylo možné zkoumat chování samotné perforované lišty při protlačovací zkoušce bez vlivu soudržnosti mezi betonem a ocelí, byla při zkouškách pásnice před betonáží potřena olejem. Takové chování na kontaktu beton-pásnice je v modelu možné realizovat vytvořením:

- kontaktního prvku mezi uzly betonu a pásnice,
- vazbových rovnic mezi uzly betonu a pásnice.

Použití kontaktního prvku je komplikované, protože mnohdy ovlivní stabilitu numerického modelu, což vede k předčasné divergenci řešení, aniž by došlo k plnému využití jednotlivých částí modelu. Pro jednoduchost a spolehlivost jsme proto použili vazbové rovnice, které popisují vzájemný vztah dvou nebo více uzlů. V našem případě jde o posun uzlu betonové desky a uzlu pásnice. Vzhledem k tomu, že prvek SHELL41 tvoří membrána s nulovou tuhostí z roviny, musíme zajistit, aby posuny uzlů betonové desky neporušily rovinnost plošného prvku (pásnice), tj. je nutné zabránit posunu ve směru globálních os  $x$  a  $z$ , a naopak zajistit nezávislý posun ve svislém směru (ve směru globální osy  $y$ ).

Vazbové rovnice mají tvar:

- pro posun ve směru globální osy  $x$

$$u_{x,node1} - u_{x,node2} = 0, \quad (11)$$

- pro posun ve směru globální osy  $z$

$$u_{z,node1} - u_{z,node2} = 0, \quad (12)$$

kde  $u_{x,node1}, u_{z,node1}$  jsou posuny uzlu ocelového profilu ve směrech globálních os  $x$  a  $z$ ,

$u_{x,node2}, u_{z,node2}$  – posuny uzlu betonové desky ve směrech globálních os  $x$  a  $z$ ;

- posunu ve směru globální osy  $y$  není bráněno (vazbová rovnice se neuplatní).

### Výsledky a porovnání s experimentem

Pro numerický model popisující jednu zkoušku protlačovacího vzorku se základní lištou bylo dosaženo těchto výsledků:

- největší únosnost odpovídající porušení vzorku

$$F_{num} = 698 \text{ kN};$$

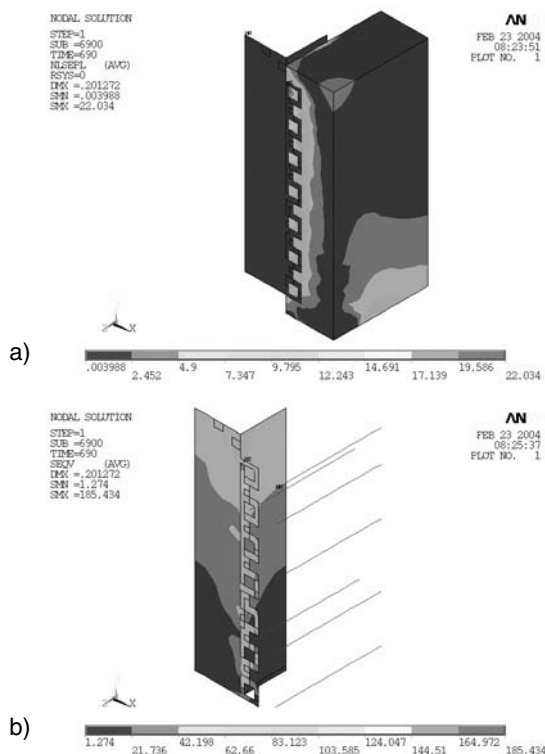
- z toho plyne porovnání výpočtu s experimentem

$$\frac{F_{\text{num}}}{F_{\text{exp}}} = \frac{698}{750} = 0,93 \Rightarrow 93 \% ;$$

- vypočítaný prokluz  $\delta_{\text{num}} = 0,13$  mm;
- z toho plyne porovnání výpočtu s experimentem

$$\frac{\delta_{\text{num}}}{\delta_{\text{exp}}} = \frac{0,13}{3,75} = 0,04 \Rightarrow 4 \% .$$

Z porovnání těchto výsledků vyplývá, že numerický model protlačovací zkoušky věrně popisuje chování vzorku z hlediska únosnosti, viz průběh napětí v prvků (obr. 8).

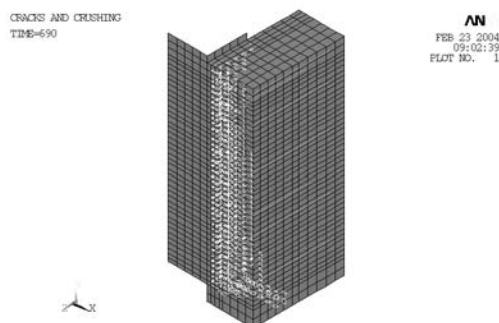


Obr. 8. Průběh srovnávacího napětí  
a – v betonové desce, b – v oceli

Také tvar a šíření trhlin v betonové desce (obr. 9) se velmi dobře shoduje s experimentem (obr. 10). První trhlina vzniká při zatížení 60 kN, a to v místě koncentrace namáhání u horního otvoru lišty. První diagonální trhlina na vnějším povrchu mezi perforovanou lištou a podporou se v experimentu objevila při 450 kN. Lze se přesvědčit, že v numerickém modelu je to při 400 kN. To jsou velmi dobré výsledky.

Na druhé straně se ukazuje, že na základě tohoto modelu zatím nelze získat odpovídající deformace vzorku. Téměř absolutní nesouhlas lze vysvětlit těmito příčinami:

- spojení výztuže s betonovým prvkem v modelu neumožňuje žádný prokluz – uzly betonové desky a perforované lišty jsou pevně spojeny a prokluz je realizován jenom v rámci betonu;
- vznik trhlin není diskretizovaný, ale je rozptýlen po celém objemu betonového prvku;
- materiálové charakteristiky oceli i betonu jsou pouze aproximací reálného chování obou materiálů;
- model nezohledňuje vznik trhlinek, ke kterému dochází od smršťování betonu.



Obr. 9. Tvar trhlin v betonové desce při porušení vzorku

Pro zjemnění uvedeného nedostatku modelu lze uvést snad jen to, že i rozptýl v prokluzu měřený u reálných vzorků byl pro nízkou lištu od 0,4 do 4,0 mm a my jsme pro porovnání vybrali právě vzorek s velkým prokluzem. Nic to však nemění na tom, že po této stránce je model nutné ještě pracovat.



Obr. 10. Tvar trhlin při experimentu

### Možnosti využití modelu

Na základě vytvořeného modelu je nyní možné numerickou analýzou prověřit monotónně zatěžované vzorky s ohledem na parametrizaci materiálových charakteristik (pevnost oceli a betonu), stupně vyztužení i tvaru lišty. Vzhledem k tomu, že na Katedře ocelových konstrukcí ČVUT souběžně probíhá výzkum zaměřený na analýzu chování perforované lišty 100/12 [mm] při cyklickém namáhání [17], bude možné využít znalostí z numerického modelu pro monotónní zatěžování a připravit pokročilejší model vystihující i cyklické zkoušky. Je však třeba zdůraznit, že model nebude moci být identický. Pro cyklicky namáhané protlačovací zkoušky bude nutné volit jinak zejména nelineární chování oceli. Místo multilineárního pracovního diagramu, který nezohledňuje skutečné plastické změny, je třeba vybrat materiálový model s věrnějším popisem plasticity (např. bilineární kinematické zpevnění zahrnující Bauschingerův efekt).

### Závěr

V článku se rekapituluje výsledky dlouholetého výzkumu spřahovací lišty vhodné pro ocelobetonové konstrukce a popisují se úskalí při tvorbě počítačového modelu chování lišty. Model je nyní odladěn, velmi dobře předvídá únosnost, a může tedy sloužit k parametrickým studiím únosnosti různých tvarů lišty, popř. k optimalizaci jejího tvaru. Je

také dobrým základem pro ještě složitější model, který by vystihl i chování lišty při opakovaném zatěžování.

**Výzkum spřahovací lišty byl na Fakultě stavební ČVUT v Praze podporován již několika projekty GA ČR, naposledy č. 103/02/0008. Prostředky pro výzkum byly získány i z interního grantu ČVUT č. CTU 0301811 a z výzkumného záměru MŠMT 210 000 001 a 003.**

#### Literatura

- [1] Studnička, J.: Ocelové a ocelobetonové konstrukce. Praha, ČKAIT 2000.
- [2] Studnička, J.: Ocelobetonové konstrukce 20. ČVUT Praha, 2002.
- [3] EN 1994-1-1 Design of Composite Steel and Concrete Structures, Part 1.1 General Rules and Rules for Buildings, Final draft. Brussels, 2004
- [4] prEN 1994-2 Design of Composite Steel and Concrete Structures, Part 2 Bridges, Final draft. Brussels, 2004.
- [5] Leonhardt, F. – Andra, W. – Andra, H. P. – Harre, W.: Neues, vorteilhaftes Verbundmittel für Stahlverbund Tragwerke mit hoher Dauerfestigkeit, Beton und Stahlbetonbau, 1987.
- [6] Studnička, J. – Macháček, J.: Spřahovací prvky pro ocelobetonové konstrukce. Stavební obzor, 9, 2001, č. 7, s. 193–199.
- [7] Studnička, J.: Experimenty s opakovaným namáháním spřahovací lišty. Stavební obzor, 12, 2003, č. 7, s. 197–200.
- [8] Macháček, J. – Studnička, J.: Stahlbetonverbundtrager mit Perfobond Leiste. Stahlbau No.1, 1999, pp. 9–14.
- [9] Studnička, J. – Macháček, J. – Krpata, A. – Svitáková, M.: Perforated Shear Connector for Composite Steel and Concrete Beams. Journal of ASCE-Composite Construction In Steel and Concrete, 2002, pp. 367–378.
- [10] Macháček, J. – Studnička, J.: Perforated Shear Connectors. Steel and Composite Structures, Vol. 2, 2002, No. 1, pp. 51–66.
- [11] Studnička, J. – Samec, J.: Perforated Connector for Composite Steel and Concrete Beams. Proceedings of SDSS 2002 Colloquium, Budapest, 2002, pp. 623–630.
- [12] Studnička, J.: Fatigue Strength of Perforated Shear Connector. [Proceedings], VSU Conference, Sofia, 2003, pp. 13–18.
- [13] Pechal, A. – Konečný, V. – Neuvald, P.: Projekty realizovaných mostů. [Sborník], 20. česko-slovenská konference „Ocelové konstrukce a mosty“, Praha, 2003, s. 23–28.
- [14] Rovňák, M.: Spolehlivost perforovaných a hřebových spřahovacích pásov. [Habilitační práce], TU Košice, 2003.
- [15] Ďuricová, A. – Rovňák, M.: Experimental Analysis of Concrete Dowels. [Proceedings], International Conference Concrete and Concrete Structures, Žilina, 1999.
- [16] Samec, J.: Chování perforované lišty v ocelobetonových konstrukcích. [Dizertace], ČVUT Praha, 2004.
- [17] Mareček, J. – Studnička, J.: Únavová pevnost spřažení perforovanou lištou. ČVUT Praha, 2003.

#### Samec, J. – Studnička, J.: A Model of Perforated Connector Performance

Different connection elements are used in composite steel and concrete beams. One of them is a perforated connector welded to an upper flange of a steel girder which is frequently used in buildings and bridges because of its high load capacity in shear. Many tests were conducted at CTU Prague with two standardized types of perforated connectors and formulas for the load bearing capacity were obtained. Fatigue load tests are still in progress. More than 50 push-out tests have clearly shown that an experimental way to the load capacity formulas is straightforward, but very expensive and time consuming. Therefore, a sophisticated and very effective computer model for estimation of the load capacity was developed. This paper briefly reports on the model.

#### Samec, J. – Studnička, J.: Verhaltensmodell einer Zahnleiste bei statischer Beanspruchung

Eine zur Verbindung einer Betonplatte mit einem Stahlträger in Stahlbeton-Verbundkonstruktionen und Brücken erfolgreich gebrauchte Zahnleiste wurde an der TU Prag in zwei standardisierten Typen ausgiebig geprüft. Es stehen die Gleichungen für die Bestimmung ihrer Tragfähigkeit bei statischer Belastung zur Verfügung. Im Stadium der Experimentalforschung befindet sich nunmehr die Feststellung der Tragfähigkeit der Leiste bei wiederholter Beanspruchung, wobei sich darüber hinaus die Materialermüdung bemerkbar macht. Es ist offensichtlich, dass der experimentelle Weg der Bestimmung der Tragfähigkeit einer Zahnleiste sehr zutreffend, jedoch auch langwierig und aufwändig ist. Gleichzeitig mit der Versuchsdurchführung an wirklichen Mustern werden deshalb ausreichend treffsichere Rechenmodelle gesucht, an denen die Tragfähigkeit (gegebenenfalls auch modifizierter Formen der Leiste) effektiver festgestellt werden würde. Der Weg zu einem treffsicheren Modell ist allerdings nicht leicht, wie sich die Autoren des Artikels im Laufe dreijährigen Bemühens überzeugten. Es ist jedoch gelungen, schrittweise zu einem sehr effektiven Modell zu gelangen, das in diesem Artikel in knapper Form vorgestellt wird.

## PŘEDPLATNÉ

časopisu Stavební obzor na rok 2004

je možné objednat vyplněním elektronického formuláře na internetu na adrese

<http://web.fsv.cvut.cz/obzor>

nebo zasláním písemné objednávky na adresu distributora uvedenou v tiráži časopisu na druhé straně obálky.

# Porovnání řešení pružné vrstvy s Boussinesqovým řešením pružného poloprostoru

doc. Ing. Pavel KUKLÍK, CSc.  
RNDr. Marie KOPÁČKOVÁ, CSc.  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

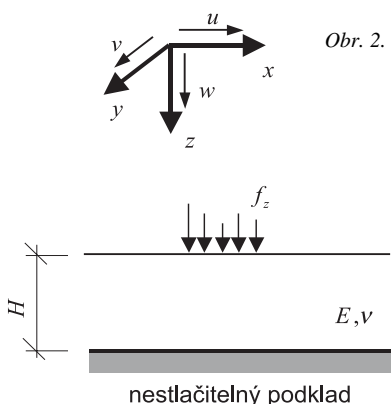
Jednou ze základních úloh geotechniky je výpočet sedání základu. Podle doporučení ČSN 73 1001 nebo Eurocodu 7 závisí vyřešení této úlohy na stanovení deformační zóny. Její hloubka je závislá na průběhu napjatosti v podloží, a právě tomu budeme v článku věnovat mimořádnou pozornost.

Standardně se při výpočtu napjatosti používají teorie pružných poloprostorů. Je-li zatížení na povrchu pružného poloprostoru, hovoříme o řešení Boussinesqově. Naopak, je-li zatížení uvnitř nekonečného prostoru, hovoříme o řešení Kelvinově. Do třetice vzpomeneme řešení Mindlinovo, při němž zatížení působí v určité konečné hloubce na pružný poloprostor. Nutno však podotknout, že všechna tato řešení jsou v určitém přímém rozporu s myšlenkou deformační zóny. Tento rozpor můžeme zmírnit, použijeme-li k výpočtu napětí teorii pružné vrstvy. I řešení pružných vrstev bychom mohli rozdělit do tří typů obdobně jako u teorií pružných poloprostorů. Jelikož však všechna tři řešení mají společný teoretický základ, budeme pozornost věnovat pouze jednomu z nich. Porovnání výsledků získaných pomocí Boussinesqova řešení pružného poloprostoru a pružné vrstvy řešené, co se zatížení týče, ve stejném duchu tj. na povrchu vrstvy, budou patřit následující řádky.

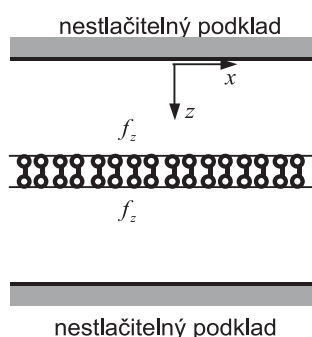
## Boussinesqovo řešení pružného poloprostoru

Vychází z předpokladu malých deformací, což znamená že vztah mezi vektorem pole posunutí a tenzorem deformace popisuje tenzor malých deformací. Při odvození se dále využívá, že poměrná objemová deformace je nulová

$$\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = \varepsilon_v = 0 \quad (1)$$



Obr. 2. Vrstva konečné tloušťky zatížená na povrchu



neboli že Poissonův součinitel příčné kontrakce  $\nu = 0,5$ .

Zavedením středního normálového napětí

$$\sigma_m = \frac{\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z}{3} \quad (2)$$

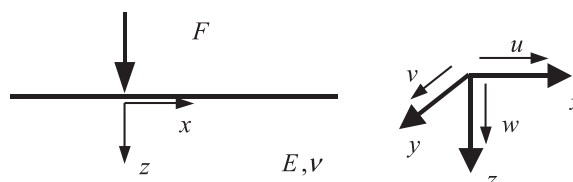
a využitím výše zmíněné skutečnosti, nulové poměrné objemové deformace, píšeme fyzikální rovnice, obecný Hookeův zákon, v podobě

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \sigma_m + 2G\varepsilon_x, & \tau_{yz} &= G\gamma_{yz}, \\ \sigma_y &= \sigma_m + 2G\varepsilon_y, & \tau_{zx} &= G\gamma_{zx}, \\ \sigma_z &= \sigma_m + 2G\varepsilon_z, & \tau_{xy} &= G\gamma_{xy}, \end{aligned} \quad (3)$$

kde  $G$  je modul pružnosti ve smyku. Postupujeme-li při řešení dané úlohy matematické teorie pružnosti v duchu deformační metody, pak řídicí rovnice rovnováhy jsou obsaženy v následující soustavě parciálních diferenciálních rovnic

$$\begin{aligned} -\frac{\partial \sigma_m}{\partial x} &= G\Delta u, \\ -\frac{\partial \sigma_m}{\partial y} &= G\Delta v, \\ -\frac{\partial \sigma_m}{\partial z} &= G\Delta w + \gamma, \end{aligned} \quad (4)$$

kde  $u, v, w$  jsou složky vektoru pole posunutí,  $\gamma$  je objemová tíha. Jestliže je poloprostor zatížen osamělou silou (obr. 1),



Obr. 1. Zatížení poloprostoru osamělou silou

pak řešením dané úlohy jsou složky vektoru pole posunutí. Podrobněji se s řešením můžeme seznámit v [3].

$$\begin{aligned} u &= \frac{F}{4\pi G} \cdot \frac{xz}{R^3}, \\ v &= \frac{F}{4\pi G} \cdot \frac{yz}{R^3}, \\ w &= \frac{F}{4\pi G} \cdot \frac{R^2 + z^2}{R^3}. \end{aligned} \quad (5)$$

## Řešení pružné vrstvy

Řešení, které zde budeme prezentovat, je provedeno v intencích Westergardaova přístupu, tj. při zanedbání vodorovných posunutí. To znamená, že hledáme pouze jednu neznámou funkci vektoru pole posunutí, a to posunutí ve směru zemské tíže, jak zachycu-

jí rovnosti

$$\begin{aligned} u(x; y; z) &= 0, \\ v(x; y; z) &= 0, \\ w(x; y; z) &= ? \end{aligned} \quad (6)$$

Úlohu přibližuje obr. 2, na kterém jsme znázornili i myšlenku vytvoření roviny antisymetrie, která má význam při hledání úplného bázevého systému funkcí. Jak jsme již naznačili v obrázku, průhybovou funkcí  $w(x; y; z)$ , která je závislá na třech nezávisle proměnných souřadnicích, budeme hledat v duchu Kantorovičovy metody.

Přínos Kantorovičovy metody spočívá v dimenzionální redukci neboli neznámou průhybovou funkcí hledáme v následujícím Fourierově rozvoji

$$\begin{aligned} w(x; y; z) &= \sum_{j=1,3,5}^{\infty} w_j(x; y) \psi_j(z), \\ \psi_j(z) &= \frac{1}{\sqrt{H}} \sin \frac{j\pi}{2H} z. \end{aligned} \quad (7)$$

Tím místo jedné neznámé funkce, která je funkcí tří nezávisle proměnných, zavedeme nekonečně mnoho neznámých funkcí, ale pouze dvou nezávisle proměnných. Složky tenzoru malých deformací dopočteme standardním postupem a platí

$$\begin{aligned} \varepsilon_{xx} &= 0, \quad \varepsilon_{yy} = 0, \quad \varepsilon_{zz} = \sum_{j=1,3,5}^{\infty} w_j \psi_{j,z}, \\ \gamma_{xy} &= 2\varepsilon_{xy} = 0, \quad \gamma_{yz} = 2\varepsilon_{yz} = \sum_{j=1,3,5}^{\infty} w_{j,y} \psi_j, \\ \gamma_{zx} &= 2\varepsilon_{zx} = \sum_{j=1,3,5}^{\infty} w_{j,x} \psi_j. \end{aligned} \quad (8)$$

Pro parciální derivace je zavedena úsporná notace

$$\frac{\partial w_j}{\partial x} = w_{j,x}.$$

Pomocí obecného Hookeova zákona určíme složky tenzoru napětí

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{Ev}{(1+\nu)(1-2\nu)} \varepsilon_z = \frac{Ev}{(1+\nu)(1-2\nu)} \sum_{j=1,3,5}^{\infty} w_j \psi_{j,z} = \\ &= \frac{\nu}{1-\nu} E_{\text{oad}} \sum_{j=1,3,5}^{\infty} w_j \psi_{j,z}, \\ \sigma_y &= \frac{Ev}{(1+\nu)(1-2\nu)} \varepsilon_z = \frac{Ev}{(1+\nu)(1-2\nu)} \sum_{j=1,3,5}^{\infty} w_j \psi_{j,z} = \\ &= \frac{\nu}{1-\nu} E_{\text{oad}} \sum_{j=1,3,5}^{\infty} w_j \psi_{j,z}, \\ \sigma_z &= \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} \varepsilon_z = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} \sum_{j=1,3,5}^{\infty} w_j \psi_{j,z} = \\ &= E_{\text{oad}} \sum_{j=1,3,5}^{\infty} w_j \psi_{j,z}, \\ \tau_{xy} &= G\gamma_{xy} = 0, \\ \tau_{yz} &= G\gamma_{yz} = G \sum_{j=1,3,5}^{\infty} w_{j,y} \psi_j, \\ \tau_{zx} &= G\gamma_{zx} = G \sum_{j=1,3,5}^{\infty} w_{j,x} \psi_j. \end{aligned} \quad (9)$$

kde  $E$ ,  $\nu$ ,  $E_{\text{oad}}$ ,  $G$  jsou Youngův modul pružnosti, Poissonův součinitel příčné kontrakce, oedometrický modul a modul pružnosti ve smyku.

Požadavek rovnováhy uplatníme v integrální formě pomocí Lagrangeova principu virtuálních prací

$$-\int_V \left\{ \delta \vec{u} \right\} \left( \left[ \vec{\sigma} \right] - \vec{X} \right) dV + \int_A \left\{ \delta \vec{u} \right\} \left( \left[ \vec{n} \right] \left\{ \vec{\sigma} \right\} - \left\{ \vec{f}_0 \right\} \right) dA = 0. \quad (10)$$

Význam jednotlivých symbolů, který je víceméně všeobecně znám, nalezneme např. v [2]. V našem konkrétním případě pro pružnou vrstvu pomocí (10) píšeme požadavek rovnováhy

$$-\int_V \delta w_j \psi_j \left( \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \rho g \right) dV + \int_A \delta w_j \psi_j (H) (0 - 2f_z) dA = 0,$$

což můžeme upravit do podoby

$$\int_A \delta w_j \left[ \int_0^{2H} \psi_j \left( \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \rho g \right) dz + \psi_j (H) 2f_z \right] dA = 0.$$

Jelikož plocha, na kterou může působit zatížení, je libovolná, musí též platit

$$\delta w_j \left[ \int_0^{2H} \psi_j \left( \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \rho g \right) dz + \psi_j (H) 2f_z \right] = 0.$$

Závěrem připomínáme, že virtuální posun  $\delta w_j$  může být též libovolná funkce, a tedy

$$\int_0^{2H} \psi_j \left( \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \rho g \right) dz + \psi_j (H) 2f_z = 0. \quad (11)$$

Dosažením skutečností (7), (9) do rovnosti (11) získáme

$$\int_0^{2H} \psi_j \left( E_{\text{oad}} \sum_{j=1,3,5}^{\infty} w_j \psi_{j,zz} + G \sum_{j=1,3,5}^{\infty} (w_{j,yy} + w_{j,xx}) \psi_j + \rho g \right) dz + \psi_j (H) 2f_z = 0. \quad (12)$$

Protože bázevé funkce  $\psi_j$  jsou na intervalu  $(0; 2H)$  ortonormální, dostaneme integraci

$$\left( -\frac{j^2 \pi^2}{4H^2} \right) E_{\text{oad}} w_j + G(w_{j,xx} + w_{j,yy}) + \int_0^{2H} \rho g \psi_j dz + \frac{2}{\sqrt{H}} (-1)^{\frac{j-1}{2}} f_z = 0. \quad (13)$$

Vynásobíme-li rovnice (13)  $\left( -\frac{\sqrt{H}}{2} \right)$  a zavedeme-li označení

$$C_1 = \frac{\sqrt{H} \pi^2}{8H^2} E_{\text{oad}}, \quad C_2 = \frac{\sqrt{H}}{2} G, \quad (14)$$

dostaneme konečnou podobu požadavku rovnováhy ve svislém směru

$$j^2 C_1 w_j - C_2 \Delta w_j = (-1)^{\frac{j-1}{2}} f_z + \int_0^{2H} \frac{\sqrt{H}}{2} \rho g \psi_j dz. \quad (15)$$

Krátká rekapitulace symbolů:

- $j = 1, 3, 5, \dots$
- $C_1, C_2$  – viz rovnosti (14);
- $E_{\text{oad}}$  – oedometrický modul;
- $G$  – modul pružnosti ve smyku;
- $\Delta$  – známý Laplaceův operátor;
- $f_z$  – svislé zatížení vrstvy;
- $H$  – tloušťka vrstvy;
- $\rho$  – objemová hmotnost materiálu vrstvy;
- $g$  – tíhové zrychlení.

Neuvažujeme-li vliv vlastní tíhy, vztah (15) se zjednoduší na tvar

$$j^2 C_1 w_j - C_2 \Delta w_j = (-1)^{\frac{j-1}{2}} f_z. \quad (16)$$

Pomocí označení

$$\alpha = \sqrt{\frac{C_1}{C_2}}, \quad \bar{f}_z = -\frac{f_z}{C_2} \quad (17)$$

přepíšeme soustavu parciálních diferenciálních rovnic do

finální podoby

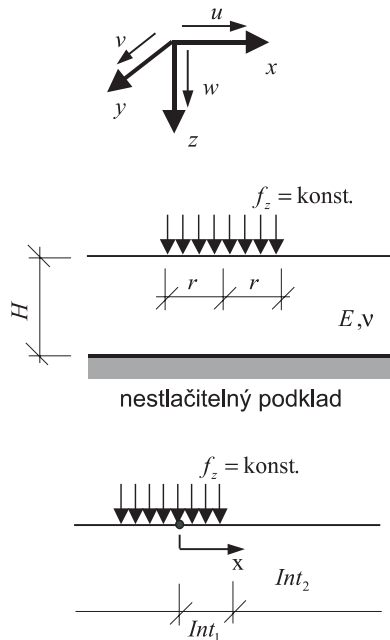
$$\Delta w_j - (j\alpha)^2 w_j = (-1)^{j-1} \bar{f}_z \quad (18)$$

**Porovnání řešení Boussinesqova s pružnou vrstvou**

Obě řešení porovnáme na příkladu, kdy svísele na podloží působí konstantní plošné zatížení v kruhu. Pro srovnání použijeme výpočet průběhu napětí na ose rotační symetrie. V případě Boussinesqova řešení pomocí rovností (3), (5) integrací získáme

$$\sigma_z = f_0 \left[ 1 - \frac{z^3}{(r^2 + z^2)^{3/2}} \right] \quad (19)$$

Správnost řešení můžeme ověřit v [3].



Obr. 3. Rovnoměrné spojitě zatížení působící v kruhu

V případě pružné vrstvy (zadání přibližuje obr. 3) řešíme diferenciální rovnice, které dostaneme z (18) transformací do polárních souřadnic. V případě polárních souřadnic je rovnováha vyžadována soustavou rovnic

$$w_{j,xx} + \frac{1}{x} w_{j,x} - (j\alpha)^2 w_j = (-1)^{j-1} \bar{f}_z \quad (20)$$

Ty jsou známy jako modifikované diferenciální rovnice Besselovy. Vlivem rotační symetrie došlo k další redukci dimenze. Znamená to, že nyní již řešíme úlohu jednodimenzionální. Té přísluší okrajové podmínky

$$w_j(\infty) = 0, \quad \left. \frac{dw_j(x)}{dx} \right|_{x=0} = 0 \quad (21)$$

V jednotlivých intervalech využijeme známé řešení

$$x \in \langle 0; r \rangle \quad w_j(x) = {}^j\bar{K}_1 I_0(j\alpha x) + \frac{w_{p1}}{j^2} (-1)^{j-1},$$

$$x \in \langle r; \infty \rangle \quad w_j(x) = {}^j\bar{K}_2 K_0(j\alpha x), \quad (22)$$

kde  $\alpha = \sqrt{\frac{C_1}{C_2}}, \quad \bar{f}_z = -\frac{f_z}{C_2}, \quad w_{p1} = \frac{f_z}{C_1},$

$$C_1 = \frac{\sqrt{H} \pi^2}{8H^2} E_{\text{oed}}, \quad C_2 = \frac{\sqrt{H}}{2} G \quad (23)$$

Dvě zbývající integrační konstanty  ${}^j\bar{K}_1, {}^j\bar{K}_2$  určíme z podmínek spojitosti průhybu a první derivace v bodě  $x = r$ . Dosazením do (22) získáme soustavu dvou lineárních algebraických rovnic

$${}^j\bar{K}_1 I_0(j\alpha r) + \frac{w_{p1}}{j^2} (-1)^{j-1} = {}^j\bar{K}_2 K_0(j\alpha r),$$

$${}^j\bar{K}_1 I_1(j\alpha r) = -{}^j\bar{K}_2 K_1(j\alpha r), \quad (24)$$

odkud pomocí Kramerova pravidla s využitím identity

$$I_0(j\alpha r) K_1(j\alpha r) + I_1(j\alpha r) K_0(j\alpha r) = \frac{1}{j\alpha r}$$

vypočteme

$${}^j\bar{K}_1 = -\frac{w_{p1}}{j} (-1)^{j-1} \alpha r K_1(j\alpha r),$$

$${}^j\bar{K}_2 = \frac{w_{p1}}{j} (-1)^{j-1} \alpha r I_1(j\alpha r). \quad (25)$$

Před zpětným dosazením výsledků (22) a (25) do (7) si připomeneme identitu

$$\sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{\sin[(2n+1)z]}{(2n+1)^2} = \frac{\pi \cdot z}{4}.$$

Zavedeme-li  $j = 2n+1, n = 0, 1, 2, \dots$ , pak v jednotlivých intervalech můžeme psát

$$x \in \langle 0; r \rangle,$$

$$w(x, z) = \frac{w_{p1}}{\sqrt{H}} \left\{ \frac{\pi^2}{8H} z - \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{\alpha r}{2n+1} K_1[(2n+1)\alpha r] \cdot I_0[(2n+1)\alpha x] \sin\left[\frac{(2n+1)\pi}{2H} z\right] \right\},$$

$$x \in \langle r; \infty \rangle, \quad (26)$$

$$w(x, z) = \frac{w_{p1}}{\sqrt{H}}.$$

$$\left\{ \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{\alpha r}{2n+1} I_1[(2n+1)\alpha r] \cdot K_0[(2n+1)\alpha x] \sin\left[\frac{(2n+1)\pi}{2H} z\right] \right\}.$$

Odtud pomocí (9) dopočteme průběh svíslého napětí  $\sigma_z$ . Opět po intervalech píšeme

$$x \in \langle 0; r \rangle,$$

$$\sigma_z(x, z) = f_z \left\{ 1 - \sqrt{\frac{E_{\text{oed}}}{G}} \frac{2r}{H} \right.$$

$$\left. \cdot \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n K_1[(2n+1)\alpha r] \cdot I_0[(2n+1)\alpha x] \cos\left[\frac{(2n+1)\pi}{2H} z\right] \right\},$$

$$x \in \langle r; \infty \rangle, \quad (27)$$

$$\sigma_z(x, z) = f_z \sqrt{\frac{E_{\text{oed}}}{G}} \frac{2r}{H}.$$

$$\left\{ \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n I_1[(2n+1)\alpha r] \cdot K_0[(2n+1)\alpha x] \cos\left[\frac{(2n+1)\pi}{2H} z\right] \right\}.$$

Jistě nás bude zajímat extrémní hodnota normálového

napětí, kterou získáme z první rovnosti (27), dosadíme-li  $x = 0$ . Prostřednictvím parametru

$$p = \sqrt{\frac{E_{oed}}{G}} \frac{r}{H} = \sqrt{\frac{2-2\nu}{1-2\nu}} \frac{r}{H}$$

po základních úpravách píšeme

$$\sigma_z(0, z) = f_z \left\{ 1 - 2p \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n K_1[(2n+1)\alpha r] \cos\left[\frac{(2n+1)\pi}{2H} z\right] \right\}. \quad 28$$

Odvozené vzorce (19) a (28) přibližuje obr. 4. Nahoře se snažíme poukázat na vliv deformační zóny, který se projeví jen tehdy, řešíme-li průběh napětí v pružné vrstvě. Na obrázku je jasně patrné, že se zmenšující se hloubkou deformační zóny tuhost podloží narůstá. Zbývá jen dodat, že poloměr kruhu, ve kterém působí rovnoměrné zatížení, je 1 m. Prostřední část obrázku představuje vliv součinitele příčné kontrakce. Na konec uvádíme porovnání průběhu svislého napětí počítaného podle Boussinesqa a podle teorie pružné vrstvy.

## Závěr

V případě řešení Boussinesqova můžeme konstatovat

$$\sigma_z = f_z \sigma_{z1}(r; z).$$

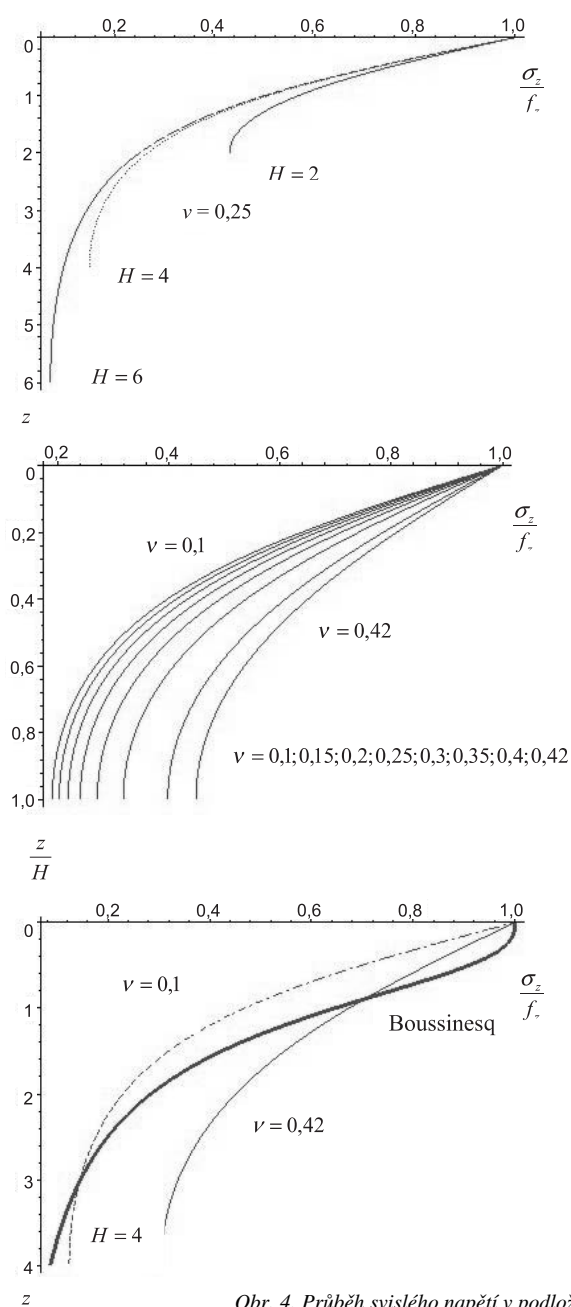
Napětí je přímo úměrné velikosti plošného zatížení a jeho průběh je ovlivněn poloměrem zatěžovacího kruhu. Pro  $r \rightarrow \infty$  bude napětí v poloprostoru konstantní a bude se rovnat aplikovanému zatížení.

Řešíme-li danou úlohu jako pružnou vrstvu v duchu Westergardově, pak

$$\sigma_z = f_z \sigma_{z1}(r/H; \nu; z)$$

neboli nadále platí přímá úměra v závislosti na velikosti zatížení, ale dále je zde závislost na dvou dalších parametrech, a to poměru  $r/H$ , kde  $H$  je tloušťka deformační zóny, a na Poissonově součiniteli příčné kontrakce  $\nu$ . S rostoucím součinitelem příčné kontrakce podloží tuhne, a celkem logicky pro  $\nu = 0,5$  je dokonale tuhé. Co se týče poměru  $r/H$ , nahlédneme, že pro  $r/H \rightarrow \infty$  bude normálové napětí konstantní a rovno aplikovanému zatížení. Na rozdíl od řešení Boussinesqova tento případ nastane i v případě, kdy hloubka deformační zóny  $H \rightarrow 0$ .

Příspěvek je určitým teoretickým východiskem pro řešení interakce mezi vrchní stavbou a podložím. Ve svých závěrech upozorňuje na skutečnost, že Boussinesquovo řešení napětí v poloprostoru jednak opomíjí vliv součinitele příčné kontrakce, jednak je ve své podstatě (poloprostor) v určitém rozporu s myšlenkou deformační zóny. Prezentované řešení naopak umožňuje v závislosti na geostatické napjatosti určit konzistentně omezení hloubky deformační zóny shora. Vzhledem k tomu, že i v tomto prezentovaném řešení průběhu pretvoření a napětí ve vrstvě byla přijata zjednodušení v duchu Westergarda, je nezbytné provést výpočty k ověření tohoto modelu. Pro numerické porovnání můžeme využít stávající softwarové produkty (např. ADINA, GEO 4 MKP). Nezbytná je i kontrola pomocí zatěžovacích zkoušek in situ (je plánována zatěžovací zkouška deskou v lokalitě Těšnov). Zajímavé bude jistě i srovnání pre-



Obr. 4. Průběh svislého napětí v podloží

zentovaného řešení se stávajícími doporučení ČSN 73 00 01. Toto bude předmětem několika následujících příspěvků.

**Článek vznikl za podpory projektů GA ČR 103/02/0688/A, 103/02/0956 a výzkumných záměrů MSM 210000001 a MSM 210000003.**

## Literatura

- [1] Hruban, K.: Ssedání základů, tlaky v půdě a výpočet základových desek. ČMT, ročník XLI, spis 174, 1936, s. 14–21.
- [2] Bittnar, Z. – Šejnoha, J.: Numerical Methods in Structural Mechanics. New York, ASCE Press, Thomas Telford 1996, 422 p.
- [3] Davis, R. O. – Selvadurai, A. P. S.: Elasticity and Geomechanics. Cambridge University Press 1996, pp. 115–123.



**Kuklík, P. – Kopáčková, M.: Comparison of the Solution of the Elastic Layer with Boussinesq Solution of Elastic Semi-Space**

The present contribution deals with the calculation of the state of stress in the elastic subsoil. The well known Boussinesq solution of elastic semi-space is compared with the solution of the elastic finite depth layer. The solution of the layer corresponds to Westergarde ideas that mean neglecting of a horizontal displacement. The differences are highlighted in calculations of normal stress appearing due to the uniform load acting upon the subsoil in a circle.

**Kuklík, P. – Kopáčková, M.: Vergleich der Lösung einer elastischen Schicht mit der Boussinesque-Lösung des elastischen Halbraums**

In diesem Beitrag wird behandelt, wie die Spannungszustände in einem elastischen Untergrund berechnet werden. Die wohlbekannte Boussinesque-Lösung des elastischen Halbraums wird mit der Lösung der elastischen Schicht im Westergarde-Sinn verglichen, die die Vernachlässigung der Horizontalverschiebung bedeutet. Die Unterschiede sind deutlicher bei der Berechnung von Normalspannungen, die infolge einer kreisförmigen Belastung der Oberfläche entstehen.

## Česká architektura 2002 – 2003

*Prostor – architektura, interiér, design, o. p. s., Praha, 2004, 192 s. (30 staveb ve 175 fotografiích a 97 kresbách)*

Cílem ročenky české architektury je pravidelně podávat zprávu o aktuální situaci a vývoji oboru nejen odborně, ale především široké veřejnosti a přinášet podněty k veřejné diskusi. Pro zájemce ze zahraničí pak ročenka slouží jako přehled soudobé české architektonické scény. Stavby do reprezentativní dvoujazyčné publikace (česko-anglické) vybírá vždy jedna osobnost z prací nabídnutých vyzvanými architekty.

Kniha se skládá ze dvou kapitol. První z nich prezentuje vybrané typologicky rozmanité objekty. Podobně jako v předchozích vydáních je značná část kapitoly věnována obytným domům. Druhá kapitola seznamuje se situací v českém stavebnictví, bytové politice a trhu nemovitostí a dále s výsledky vybraných celostátních soutěží (Grand Prix Obce architektů, Interiér roku, Stavba roku a Nejlepší z reality) a soutěží pořádaných podle soutěžního řádu ČKA. Kapitulu doplňuje seznam událostí v architektuře a designu a literatury vydané za uplynulé období.

[www.prostor.net](http://www.prostor.net)

## • dizertace



### **Aplikace elektrofyzikální metody při určování kvality přírodní složky prostředí – dřevin**

*Ing. Romana Michálková*

V práci se ověřuje fyzioelektrodiagnostická metoda pro určování vitality dřevin sloužící jako podklad pro exaktní hodnocení jejich zdravotního stavu. Vychází se přitom z opakovaných měření na typických dřevinách v krasové oblasti Karlštejn. Práci lze využít pro účelnou obnovu vegetačního krytu.

### **Přesnost určení geometrických parametrů ocelové konstrukce geodetickými metodami**

*Ing. Jitka Suchá*

V dizertaci byla podrobně zkoumána a na praktických příkladech ověřena prostorová polární metoda se samolepicími odraznými terči. Výsledky výzkumu dosažené v laboratorních podmínkách byly ověřeny v terénu a jsou kladně hodnoceny významnými realizátory ocelových konstrukcí.

### **Akumulace tepla v energetických systémech budov**

*Ing. Michal Kabrhel*

Dizertační práce specifikuje hlavní způsoby akumulace tepla ve stavebních konstrukcích až po akumulaci v zemním

prostředí. Popisuje se zemní výměník a jeho využití pro přehřev v zimě a pro chlazení v létě a rozebírá se využití vnitřní akumulací stěny. Experimenty slouží k ověření numerických modelů.

### **Mathematical Models in Biomechanics**

*Ing. Ondřej Jiroušek*

V práci je vytvořen nástroj na automatické generování reálnického matematického modelu anatomických útvarů člověka z dat získaných lékařskými zobrazovacími technikami, zejména počítačovou tomografií. Byla vyvinuta experimentální metoda pro měření materiálových charakteristik spongiózní kosti. Aplikace odvozených metod na konkrétní problémy dokládají jejich využití pro návrh implantátů lebky.

### **Charakteristika mikroklimatu na rekultivovaných lokalitách výsypek**

*Ing. Petr Vráblík*

Dizertační práce se zabývá měřením a hodnocením teploty a vlhkosti na vybraných výsypkách Severočeského hnědouhelného revíru. Změřené hodnoty se porovnávají s výsledky dálkového průzkumu Země. Na základě pozorování jsou vypracovány zásady a doporučení pro různé typy rekultivačních skládek.

# Vliv změny aktivní hloubky na průběh konsolidace podloží pod základovými deskami

doc. Ing. Petr FAJMAN, CSc.  
prof. Ing. Jiří ŠEJNOHA, DrSc.  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

Príspevek se zabývá určením aktivní zóny konsolidujícího podloží pod základovou deskou. Tato zóna je charakterizována aktivní hloubkou, v níž přitížení ovlivňuje geostatickou napjatost. Uvedená veličina se mění během výstavby, čímž ovlivňuje rozdělení napětí jak v podloží, tak ve vrchní stavbě.

## 1. Úvod

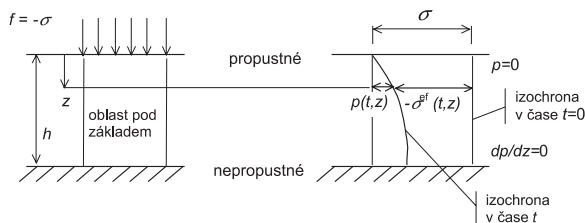
S rozvojem stavební činnosti se setkáváme se stále složitějšími podmínkami zakládání. Hledají se lokality, které jsou atraktivní především z hlediska užívání a dobré dopravní obslužnosti. Stavebně geologické podmínky pak nejsou prvořadé a představují pouze problém k řešení. Jedním z problémů je výskyt jílovitých zemín, které absorbují vodu a pod tlakovým zatížením ji transportují zpět do okolí. Tento proces se nazývá konsolidace. Jde většinou o dlouhodobý proces, který trvá řádově několik let.

## 2. Přetvoření porézního podloží

Procesy zahrnující transport vlhkosti v deformujícím se porézním podloží jsou popsány maticovým vyjádřením diskretizované rovnice kontinuity a podmínek rovnováhy. Oba typy rovnic jsou podrobně diskutovány v [1]. Tam je ukázáno, že tvoří soustavu diferenciálních rovnic prvního řádu v čase, kterou lze integrovat numericky. Zahrneme-li i v tomto případě do podmínek rovnováhy požadavek spojitosti posunů na hranici konstrukce a podloží, dostaneme při formulaci metodou konečných prvků soustavu algebraických rovnic pro neznámé vektory přírůstků uzlových posunů  $\Delta \mathbf{d}_u$  a pórových tlaků  $\Delta \mathbf{d}_p$  v podloží.

### 2.1 Zjednodušený model pro popis přetváření podloží

Nejprve shrňme nejdůležitější poznatky z modelování přetvárných procesů v plně nasycené porézní vrstvě tloušťky  $h$  (obr. 1), popsané podrobně v [5].



Obr. 1. Výhodní předpoklady pro konsolidaci

Předpokládáme, že transport vody vytlačované z vrstvy pod tíhou vrchní stavby probíhá převážně ve směru tloušťky vrstvy přes drénovanou základovou spáru (rovina  $z = 0$ ). V takovém případě jde o Terzaghiho úlohu popsanou

$$\text{rovnici} \quad \frac{\partial p}{\partial t} = c_v \frac{\partial^2 p}{\partial z^2}, \quad (1)$$

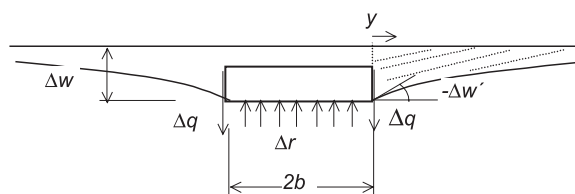
$$\text{kde} \quad c_v = \frac{k}{\gamma_w m_v} = \frac{k \cdot E_{\text{oad}}}{\gamma_w} \quad (2)$$

je součinitel konsolidace a  $k$  [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ] je součinitel filtrace, který pro málo propustné zeminy nabývá hodnot v rozmezí  $10^{-5}$  až  $10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 1$  až  $10^{-3} \text{ m} \cdot \text{den}^{-1}$ ,  $\gamma_w$  je měrná tíha vody. Konečně  $E_{\text{oad}}$  je oedometrický modul přetvářivosti, který lze určit standardními zkouškami.

Při studiu konsolidace podloží popsaného dvouparametrickým Winklerovým–Pasternakovým modelem vyjeme z těchto úvah [4]:

- zemina je homogenní v izotropním prostředí;
- lze zanedbat vodorovné posuny  $u$ ,  $v$  proti svislému posunu  $w$ ;
- svislý posun obecného bodu v hloubce  $z$  lze vyjádřit v závislosti na posunu horního povrchu ( $z = 0$ ). Rozložení posunů po výšce stlačitelné vrstvy  $\psi(z)$  považujeme za známé.

Pro určitost uvažujeme přetvoření v rovině  $y$ ,  $z$  (obr. 2).



Obr. 2. Smyková kotlina

Důsledky předpokladů lze vyjádřit vztahy

$$w(y, z) = w(y, 0) \cdot \psi(z), \quad v(y, z) = 0. \quad (3)$$

Odtud

$$\varepsilon_z(y, z) = w(y, 0) \cdot \frac{d\psi(z)}{dz}, \quad \gamma_{yz}(y, z) = \frac{dw}{dy}(y, 0) \cdot \psi(z), \quad (4)$$

kde  $\psi$  je známá funkce posunutí v tloušťce vrstvy.

Průběh konsolidace popíšeme v analogii k řešení dotvarování založeném na aplikaci Dirichletových–Pronyho řad [5]. Za tím účelem zavedeme vektor vnitřních proměnných korespondujících s deformací podle (4). Dostaneme

$$\gamma_\mu(z, t) = \left\{ {}^1\Gamma_\mu(t) \frac{\psi(z)}{dz}, {}^2\Gamma_\mu(t) \psi(z) \right\}^T. \quad (5)$$

Aplikací principu virtuálních posunutí se vektor přírůstku napětí transformuje na vektor přírůstku vnitřních sil  $\{\Delta r, \Delta q\}^T$  a vektor přírůstků deformace na vektor  $\{\Delta w, \Delta w'\}^T$ . Význam jednotlivých složek těchto vektorů je patrný z obr. 2.

Přírůstková rovnice pro podloží byla odvozena v [2] ve

tvaru

$$\begin{Bmatrix} \Delta r \\ \Delta q \end{Bmatrix} = \left[ \sum_{\mu=1,3,5,\dots}^M \frac{8}{\pi^2 \mu^2} \left( 1 - \frac{1 - e^{-\Delta y_\mu}}{\Delta y_\mu} \right) \right]^{-1} \begin{bmatrix} C_1 & 0 \\ 0 & C_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \Delta W \\ \Delta W' \end{Bmatrix} - \sum_{\mu=1,3,5,\dots}^M \begin{Bmatrix} {}^1\Gamma_\mu(t_{i-1}) \\ {}^2\Gamma_\mu(t_{i-1}) \end{Bmatrix} (1 - e^{-\Delta y_\mu}). \quad (6)$$

K ní přísluší evoluční rovnice pro vnitřní proměnné sledované v diskretních časech  $t_1, t_2, \dots, t_i$ .

$$\begin{Bmatrix} {}^1\Gamma_\mu(t_i) \\ {}^2\Gamma_\mu(t_i) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} {}^1\Gamma_\mu(t_{i-1}) \\ {}^2\Gamma_\mu(t_{i-1}) \end{Bmatrix} e^{-\Delta y_\mu} + \frac{8}{\pi^2 \mu^2 \Delta y_\mu} (1 - e^{-\Delta y_\mu}) \cdot \begin{bmatrix} C_1 & 0 \\ 0 & C_2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} \Delta r \\ \Delta q \end{Bmatrix}, \quad \mu = 1, 3, 5, \dots, \quad (7)$$

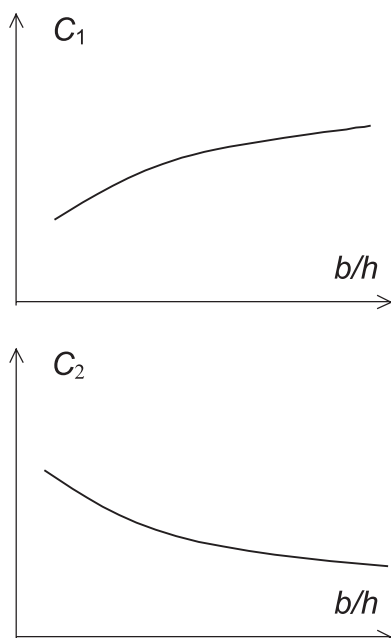
kde 
$$y_\mu = \left( \frac{\pi \mu}{2h} \right)^2 c_v \cdot t, \quad \mu = 1, 3, 5, \dots \quad (8)$$

Popsané řešení dobře vystihuje skutečnost při založení konstrukce na základové desce. V okraji se uplatní dva jevy. První představuje vytvoření smykové kotliny mimo desku (obr. 2), druhý pak dopad proudění vody do stran mimo desku, které má za důsledek zvýšení rychlosti konsolidace. Oba jevy lze postihnout v počítačovém modelu rozšířením skutečné desky o okolní „deskový pás“ s nulovou tuhostí.

Tuhost podloží je vyjádřena známými vztahy, srov. [1], [4].

$$C_1 = \int_0^h E_{\text{oed}} \left( \frac{d\psi}{dz} \right)^2 dz \quad [\text{Nm}^{-3}], \quad C_2 = \int_0^h E_{\text{oed}} \psi^2 dz \quad [\text{Nm}^{-1}]. \quad (9)$$

Ze vztahů (8) a (9) je vidět, že tuhost podloží  $C_1, C_2$  i samotný proces konsolidace závisí na velikosti aktivní hloubky  $h$ . V obrázku 3 vyjadřuje  $b$  šířku základu.



Obr. 3. Průběh  $C_1, C_2$  v závislosti na aktivní hloubce

### 2.2 Přibližné stanovení aktivní hloubky

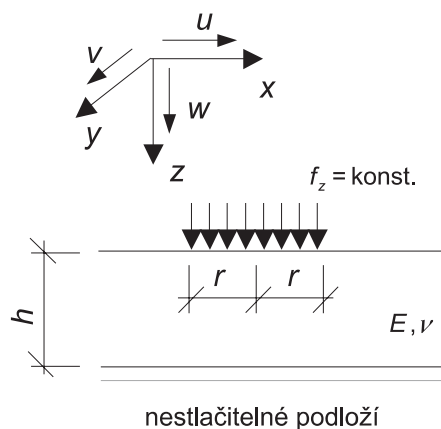
Pojem aktivní hloubka je zaveden i v Evropských normách EC. V článku [3] je ukázáno stanovení tloušťky deformační zóny statickým výpočtem. Idea je založena na tom, že se zemina vlastní tíhou zpevňuje a od určité hladiny zatížení je nepoddajná (obr. 4). Předpokládá se, že stavební jáma je

dostatečně rozměrná, aby její okraje neovlivnily výpočet svislého napětí, jež můžeme řešit jako napětí ve vrstvě konstantní tloušťky. Hloubka deformační zóny vyplývá z podminky, že součet svislého napětí od přitížení a geostatické napjatosti ovlivněné výkopem je roven původní geostatické napjatosti. Průběh svislého napětí se mění nejen po hloubce, ale i s vodorovnou vzdáleností od centra oblasti zatížení. Tloušťku deformační zóny omezíme shora, a tím budeme na straně bezpečné.

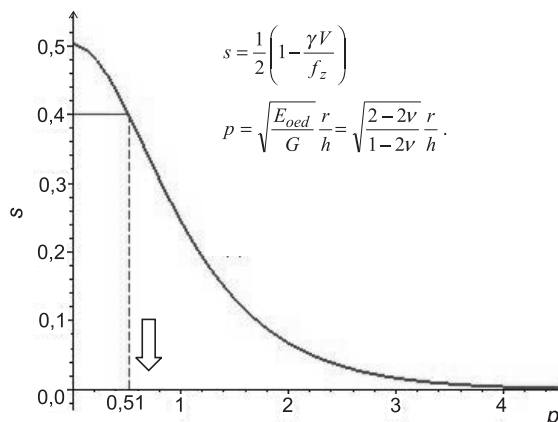


Obr. 4. Koncepce stanovení aktivní hloubky

Pro odhad aktivní hloubky budeme místo pravoúhlé desky (přibližně čtvercového tvaru) uvažovat srovnatelný základ kruhového tvaru vyvolávající stejné rovnoměrné zatížení  $f_z$  jako pravoúhlá deska (obr. 5). V tomto případě se aktivní hloubka vyjádřená parametrem  $p$  mění se zatížením vyjádřeným parametrem  $s$  (obr. 6).



Obr. 5. Vrstva s kruhovým rovnoměrným zatížením



Obr. 6. Závislost aktivní hloubky na zatížení

Při řešení konsolidace se napětí mění ve dvou úrovních jak v čase, tak po půdorysu. Postupujeme tak, že nejprve

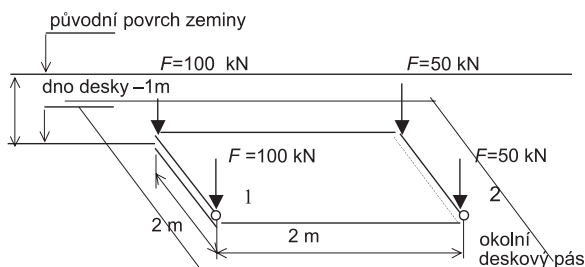
odhadneme parametry podloží a považujeme je za konstantní. Z rozložení reakcí, které v grafu na obr. 6 nahradíme zatížením  $f_z$ , upřesníme ve vybraných podoblastech aktivní hloubku vypočtenou z parametru  $p$ . Rozložení reakcí v podloží je v čase závislé jak na vnějším zatížení, tak na vlivu konsolidace na ohyb desky.

### Příklad 1

Základová deska (obr. 7) o půdorysných rozměrech  $2 \times 2$  m a tloušťce  $d = 0,4$  m je uložena 1 m pod úrovní terénu na zemině charakterizované měrnou tíhou  $g = 18$  kN/m<sup>3</sup> a Poissonovým součinitelem  $n = 0,25$ .

Minimální tloušťku stlačitelné vrstvy odhadneme podle obr. 4 jako  $h \geq [(\Sigma F)/A - \gamma \cdot h_0]/\gamma = (450/4 - 18)/18 = 5,3$  m. Podle EC 7 je  $h$  jedno až trojnásobek  $b$ , takže nezávislý normový odhad dává  $h = 1$  až  $2$ ,  $2$  až  $6$  m, kde  $b$  je charakteristická šířka  $2$  m. Dále brán průměr  $h = 4$  m.

Nejprve stanovíme odhad vstupních tuhostí z grafu uvedených v [4]. Pro konstantní aktivní hloubku  $h = 4$  m a poměr  $b/(2h) = 0,25$  jsou  $C_1 = 3\,000$  kN/m<sup>3</sup>,  $C_2 = 1\,000$  kN/m. Podobně pro  $h = 6$  m a  $b/(2h) = 0,17$  jsou  $C_1 = 2\,000$  kN/m<sup>3</sup>,  $C_2 = 1\,000$  kN/m. Pro automatický výpočet aktivní hloubky jsou tuhosti vztaheny k poměru  $b/(2h) = 1$  a k vstupním tuhostem  $C_1 = 10\,000$  kN/m<sup>3</sup>,  $C_2 = 500$  kN/m, které se v průběhu výpočtu aktualizují. Součinitel konsolidace je uvažován hodnotou  $c = 0,01$  m<sup>2</sup>/den.



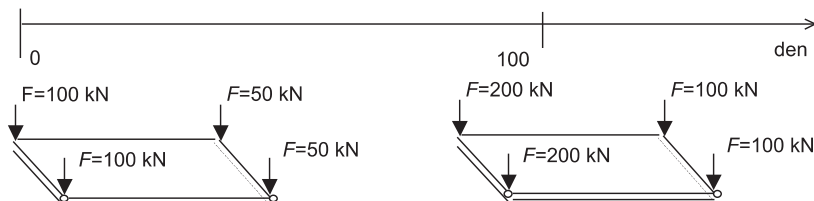
Obr. 7. Schéma desky

Pro sledování vlivu konsolidace je třeba zadat vývoj zatížení desky v čase. Harmonogram nárůstu zatížení daný postupem výstavby je patrný z obr. 8.

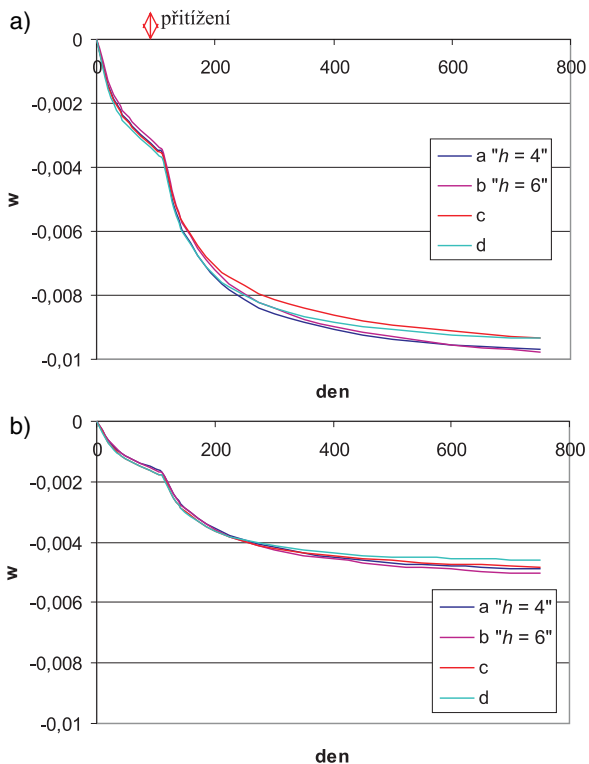
Byly uvažovány čtyři modely. V případech *a* a *b* se předpokládá konstantní aktivní hloubka v čase i prostoru. Varianta *c* uvažuje změnu aktivní hloubky v čase, a konečně *d* bere navíc v úvahu rozdílnou intenzitu zatížení levé (L) a pravé (P) části desky. Výsledky řešení jsou na obr. 9. V tomto případě je vidět, že se příliš neliší.

### Příklad 2

Základová deska větších rozměrů  $20 \times 20$  m o tloušťce  $d = 0,7$  m (obr. 10) je založena 1 m pod úrovní terénu na zemině charakterizované měrnou tíhou  $\gamma = 18$  kN/m<sup>3</sup> a Poissonovým součinitelem  $\nu = 0,25$ .



Obr. 8. Harmonogram zatěžování



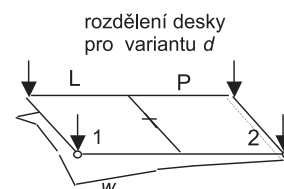
Obr. 9. Průběh posunutí v desce malých rozměrů na konsolidujícím podloží  
a – bodu 1, b – bodu 2

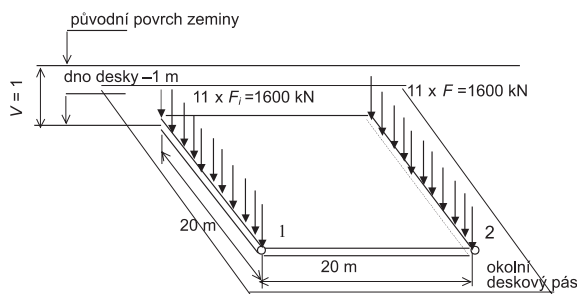
Minimální tloušťku stlačitelné vrstvy odhadneme podle obr. 4 jako  $h \geq [(\Sigma F)/A - \gamma \cdot h_0]/\gamma = (26\,400/400 - 18)/18 = 3,7$  m. Podle EC 7 je  $h$  až trojnásobek  $b$ . Pro takto rozsáhlou deskovou konstrukci musíme brát dolní hodnotu v doporučeném rozmezí, takže nezávislý normový odhad dává  $h = 1 \times 20 = 20$  m, kde  $b$  je charakteristická šířka  $20$  m.

Nejprve stanovíme odhad vstupních tuhostí z grafu uvedeného v [4]. Pro konstantní aktivní hloubku  $h = 5$  m a poměr  $b/(2h) = 2$  jsou  $C_1 = 20\,000$  kN/m<sup>3</sup>,  $C_2 = 700$  kN/m. Podobně pro  $h = 20$  m a  $b/(2h) = 0,5$  jsou  $C_1 = 5\,000$  kN/m<sup>3</sup>,  $C_2 = 1\,000$  kN/m. Pro automatický výpočet aktivní hloubky jsou tuhosti vztaheny k poměru  $b/(2h) = 1$  a k tuhostem  $C_1 = 10\,000$  kN/m<sup>3</sup>,  $C_2 = 500$  kN/m. Jejich velikost je však během výpočtu aktualizována. Součinitel konsolidace je uvažován alternativně hodnotou  $c = 0,01$ , resp.  $c = 0,05$  m<sup>2</sup>/den.

Pro sledování vlivu konsolidace je třeba zadat vývoj zatížení desky v čase. Harmonogram nárůstu zatížení daný postupem výstavby je patrný z obr. 11.

Výsledky řešení jsou na obr. 12. Byly uvažovány čtyři modely. V případech *a* a *b* je předpokládána konstantní aktivní hloubka v čase i prostoru. Varianta *c* uvažuje změnu aktivní hloubky v čase, a konečně *d* bere navíc v úvahu rozdílnou intenzitu zatížení v páscech (A) a pásu (B) části desky. Posunutí bodu 1 při málo propustné zemině  $c = 0,01$  m<sup>2</sup>/den není ještě zdaleka ukončeno (obr. 12a).



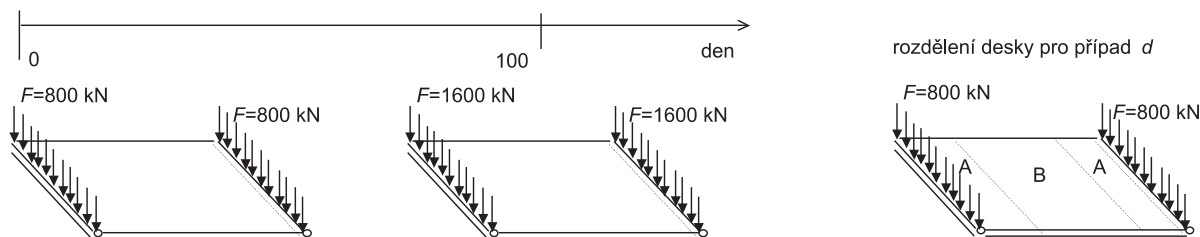


Obr. 10. Schéma desky

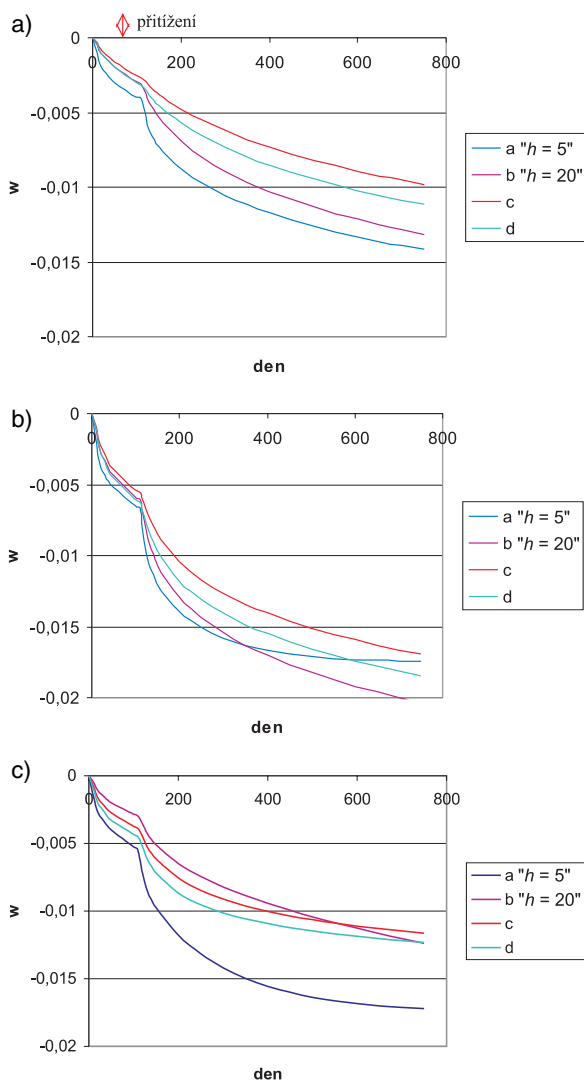
Posunutí bodu 1 při propustné zemině  $c = 0,05 \text{ m}^2/\text{den}$  je vykresleno v obr. 12b. Okolní zemina má stejné parametry pro případy a až d, tj.  $h = 1$ ,  $C_1 = 10\,000 \text{ kN/m}^3$ ,  $C_2 = 500 \text{ kN/m}$ . V obrázku 12c je posunutí bodu 1 při propustné zemině  $c = 0,05 \text{ m}^2/\text{den}$ , okolní zemina má parametry obdobné jako zemina pod deskou. Pro variantu a je  $h = 5 \text{ m}$ , pro b je  $h = 20 \text{ m}$ , pro c a d je aktivní hloubka aktualizována.

#### 4. Závěry

- Ve zjednodušeném výpočtu aktivní hloubky je důležitým údajem hloubka stavební jámy. Hlubší výkop zlepšuje chování zeminy a zmenšuje velikost aktivní hloubky pod deskou.



Obr. 11. Harmonogram zatěžování



Obr. 12. Průběh posunutí v desce velkých rozměrů na konsolidujícím podloží  
a)  $c = 0,01 \text{ m}^2/\text{den}$ , b)  $c = 0,05 \text{ m}^2/\text{den}$ , c)  $c = 0,05 \text{ m}^2/\text{den}$

- Z výsledků řešení vyplývá, že změna aktivní hloubky má vliv na sedání konstrukce, a tím i na napjatost u rozsáhlých deskových konstrukcí. Propustnost zeminy výrazně ovlivňuje průběh sedání velkých desek v čase.

- U malých desek, kde je roznášecí poloměr menší, je sedání ovlivněno výrazně spolupůsobením okolní zeminy, která přenáší značnou část zatížení. Výsledná odezva konstrukce je pak méně závislá na změně aktivní hloubky pod základem.

- Z obrázku 12 je dále vidět, že zemina s větší aktivní hloubkou pomaleji konsoliduje, a tudíž její deformace je zprvu pomalejší. V plně konsolidovaném stavu ( $t \rightarrow \infty$ ) budou samozřejmě větší deformace u zeminy s větší aktivní hloubkou.

Výsledky uvedené v příspěvku byly získány za dílčí podpory grantů č. 210000001 MSM a č. 103/03/0399 GA ČR.

#### Literatura

- [1] Bittnar, Z. – Šejnoha, J.: Numerical Methods in Structural Mechanics. New York, London, ASCE Press, Thomas Telford 1996, p. 422.
- [2] Fajman, P.: Nelineární a časově závislá analýza stěnových systémů budov. [Habilitation práce], ČVUT Praha, 2002, 80 s.
- [3] Kuklík, P. – Kopáčková, M. – Sehnoutek, L.: Příspěvek k řešení hloubky deformační zóny. [Sborník], 31. konference „Zakládání staveb“, Brno, 2003, s. 15–20.
- [4] Kuklík, P.: Příspěvek k řešení vrstevnatého podloží. Pozemní stavby, 1984, č. 7.
- [5] Šejnoha, J. – Krejčí, T. – Nový, T. – Sehnoutek, L.: Structure-Subsoil Interaction in View of Transport Processes in Porous Media. CTU Reports, 2001, Vol. 5, p. 80.

Fajman, P. – Šejnoha, J.: The Effect of the Influence Zone on the Evolution of Consolidation in the Subsoil Below Foundation Plates

The present contribution is concerned with the determination of the influence zone in the consolidating subsoil below the foundation plate. It is characterized by a depth at which the applied loads influence the geostatic state of stress. This quantity varies during the building process, thus affecting the distribution of the stresses in the subsoil, as well as in the upper-structure.

Fajman, P. – Šejnoha, J.: Einfluss einer Veränderung der aktiven Tiefe auf den Verlauf der Nachverdichtung im Unterbau von Fundamentplatten

Der Beitrag befasst sich mit der Bestimmung der Einflusszone eines nachverdichteten Unterbaus einer Fundamentplatte. Die Einflusszone wird durch die aktive Tiefe charakterisiert, in der die Zusatzbelastung den geostatischen Spannungszustand beeinflusst. Diese Größe ändert sich während des Baus, wodurch sie die Verteilung der Spannungen sowohl im Unterbau, als auch im Oberbau beeinflusst.

## STUDENT - ASISTENT

ROKU 2003

**metrostau**



V rámci prohloubení odborné spolupráce vyhlásili v lednu 2003 děkan Fakulty stavební ČVUT a generální ředitel Metrostavu, a. s., konkurz na odbornou praxi studentů v pozicích asistentů stavbyvedoucích této akciové společnosti. Ze 105 přihlášených jich po výběrovém řízení pracuje ve firmě 51. V návaznosti na komplexní hodnocení pracovních výsledků v říjnu 2003 nominovali výkonní ředitelé a ředitelé divízi do soutěže „O nejúspěšnějšího asistenta stavbyvedoucího“ 14 studentů. Práce výběrové komise však byla obtížná, protože všichni nominovaní mají dobrý vztah ke svému budoucímu povolání, odpracovali několik stovek hodin na stavbách a ke své práci přistupují odpovědně. Šesti nejlepším studentům (Havel M., Hehejlík J., Hornychová K., Kubeček J., Růna L., Stárek M.) předal v zastoupení generálního ředitele Metrostavu věcný dar personální ředitel PhDr. Josef Škorpil na slavnostním setkání nejlepších studentů a pedagogů FSv ČVUT v polovině prosince, které pořádal děkan fakulty prof. Ing. Zdeněk Bittnar, DrSc., v Lapidáriu Betlémské kaple.



## ● zprávy

### Budějovická alej

Společnost Skanska Property Czech Republic, s. r. o., investor a developer moderního kancelářského centra Bredovský dvůr v centru Prahy, zahájila počátkem listopadu výstavbu nového projektu. Administrativní budova Budějovická alej vyrostě na Praze 4 v blízkosti Budějovického náměstí na rozhraní ulic Antala Staška a Poláčkova. Po dokončení v polovině roku 2005 nabídne okolo 11 500 m<sup>2</sup> kancelářských prostor. Investiční náklady dosáhnou výše 730 mil. Kč.

Budějovická alej má tvar podobný řeckému písmenu psí. Jde vlastně o dvě budovy, které tvoří celek, ale mohou fungovat i odděleně v souladu s přáním zákazníků. Nižší budova má čtyři patra, každé z nich o rozloze až 2 300 m<sup>2</sup>. Vyšší z budov má osm pater, každé z nich o rozloze 380 m<sup>2</sup>. Poslední dvě patra nabídnou pěkný panoramatický výhled na Kavčí hory. Přízemí budovy je vhodné jak pro kanceláře, zvláště pro klientská centra, tak pro maloobchodní



prostory či provozovny drobných služeb. Investor také uvažuje o vybudování restaurace, která obohatí dosud poměrně úzkou nabídku gastronomických možností v celé lokalitě. Vyšší patra budovy jsou určena pro kancelářské prostory. Součástí komplexu jsou podzemní podlaží s garážovými stáními až pro 160 vozidel. K dispozici nájemníkům i návštěvníkům budovy bude také několik povrchových stání. Investor vysadí alej listnatých stromů nejen podél celé budovy, takže projekt nezůstane nic dlužný svému jménu.

Technická vybavenost budovy je nadprůměrná a odpovídá mezinárodním standardům. Hlavním dodavatelem stavby je sesterská společnost investora Skanska CZ, a. s. Cílem developera je vybudovat kancelářské centrum vyhovující současnému trendu ochrany životního prostředí, a zároveň rozšířit nabídku špičkových kancelářských prostor mimo centrum hlavního města.

*Tisková informace*

## Poruchy mostů po povodních

prof. Ing. Vladimír TOMICA, CSc.  
Ing. Filip STRUHÁR  
Fakulta stavební  
VŠB TU–Ostrava

**Povodně v letech 1997 a 2002 prověřily mostní objekty při extrémních průtocích. Rozbor poškození mostů bude sloužit pro zkvalitnění návrhových pravidel. Provedená analýza umožňuje do značné míry zobecnit příčiny a následky poruch způsobených hlavně proudící vodou. Kromě průtokového objemu rozbor upozorňuje na závažnost erozních účinků na spodní stavby mostů a přilehlá násypová tělesa.**

### Úvod

Jestliže kvalitu nosné konstrukce prověřují účinky provozního zatížení, pak u spodní stavby je to především účinek vody. Jde zejména o tekoucí vodu s větším průtokem a vyšší rychlostí. Je-li průtok mostním otvorem kolem průtokem  $Q_{100}$ , je možné tento stav považovat za „zatěžovací zkoušku“ zejména spodní stavby mostního objektu. Tyto situace, jak vyplývá z označení průtokem, jsou výjimečné, avšak reálné. Prověřují jak předepsané podmínky pro návrh mostu, tak jeho technické provedení týkající se konstrukčního řešení a kvality provedení. Pokud k těmto situacím dojde, měly by být zdrojem poučení a podkladem pro účinnější a kvalitnější úpravy v následujícím období. Se zkušenostmi z velkoplošných povodní a záplav z let 1997 a 2002 a jejich důsledky je proto třeba zacházet stejným způsobem.

Vylepšení mohou být krátkodobá a dlouhodobá. Obnova provozu v co nejkratším čase je oprávněným požadavkem uživatelů, podporované veřejným míněním a politickými prostředky. Po odborné stránce se prosazuje urychlená projektová příprava a dostupnost materiálů a technologie k rychlému obnovení průjezdnosti. Ne vždy jde o optimální a perspektivní zásah. O to více je třeba rozpracovávat dlouhodobější záměry vylepšených řešení nejen pro novostavby, ale i obtížnější rekonstrukce stávajících mostních objektů.

### Analýza poškození mostů při záplavách

Pro zobecnění příčin poškození mostů povodněmi a získání přehledu o jejich přímých následcích byla provedena analýza přístupných dokumentovaných škod z povodní v letech 1997 a 2002. Pro zpracování byly vybrány mosty:

- železniční na úsecích tratí severní Moravy (povodeň 1997);
- na pozemních komunikacích v Jihočeském kraji (povodeň 2002).

Příčiny a následky škod na mostních objektech byly zkoumány bez ohledu na druh komunikace. U železničních mostů byly odděleně sledovány mosty na hlavní trati a vedlejších tratích, a to co do četnosti poškození, typu nosné konstrukce, typu překážky a počtu polí v jednom mostním objektu.

Protože v teorii rizika jeho optimální přípustná hladina vychází z následků, byly u mostů pozemních komunikací pro hodnocení převzaty vyčíslené náklady potřebné pro obnovení funkčnosti mostů. Druhým závažným kritériem rizika je ochrana lidských životů. Toto kritérium nebylo uvažováno, protože poškození mostů ve sledovaném kraji nezpůsobilo přímé ohrožení lidských životů. I tak hladina přípustného rizika musí být nízká, protože jde o nedobrovolné riziko, které uživatelé komunikací podstupují. Odpovědnost přebírají úřady a odborníci odpovědní za návrh, provedení a údržbu mostních objektů.

■ Povodňová poškození v roce 1997 na železničních mostech byla podrobněji analyzována na hlavní trati a tratích vedlejších. Vybraný úsek hlavní trati Praha – Bohumín v celkové délce 126 km se nachází mezi Českou Třebovou a Suchdolem nad Odrou (bez úseku Přerov – Hranice na Moravě) [3], [4], [6]. Na sledovaném úseku je 156 mostních objektů, z toho je 50 % železobetonových, 26 % ocelových a 24 % kleneb. Průměrně je na každém 0,8 km trati jeden most (na 10 km trati připadá 12,4 mostů). Z celkové počtu mostů jich bylo vážněji poškozeno nebo úplně zničeno 7 % (na 10 km připadá 1,11 poškozených mostů). Na vedlejších tratích severní Moravy byla hodnocena celková délka trati 124 km (úseky trati Zábřeh na Moravě – Ostružná, Zábřeh na Moravě – Kouty nad Desnou a Opava – Krnov – Milotice nad Opavou). Zde bylo vážněji poškozeno nebo zničeno 11 % mostů (na 10 km trati připadá 1,13 poškozených nebo zničených mostů).

Tab. 1. Porovnání poškození železničních mostů [%]

Ukazatel	Trať		Celkem	
	hlavní	vedlejší		
typ nosné konstrukce	ocelová	29	86	57
	zabetonované nosníky I	29	14	21
	železobeton	21	0	11
	klenby	21	0	11
typ překážky	řeka	29	57	43
	inundační území, potok	71	41	57
světlost mostu	do 7 m	42	21	32
	do 30 m	29	79	54
	nad 30 m	29	0	14
počet polí	jedno	64	93	79
	více	36	7	21

Poškozené nebo zničené mosty byly vyhodnoceny podle typu nosné konstrukce, typu překážky, celkové přemostované délky a počtu polí (tab. 1). Je vidět, že typ nosné konstrukce výrazně neovlivnil odolnost mostu proti poškození. Je to patrné na hlavní trati, kde podíl poškození je vzhledem k počtu nosných konstrukcí téměř stejný. Na tratích vedlejších zkrsluje statistické údaje velký počet ocelových mostů do 30 m s dolní mostovkou.

Pozoruhodný je počet poškozených mostů mimo koryta řek. Nedostatečný průtok v místě vodního koryta byl příčinou poškození jen 7 % ze všech zaznamenaných případů. Alarmující je nejen podíl škod na hlavních tratích (71 %) u objektů mimo koryta řeky, ale i rozsah s dopadem na dlouhodobou neprůjezdnost těchto úseků. Dva nejvýraznější případy, v jednom případě spojené s vykojením vlaku, se nacházejí v záplavových územích řek Moravy a Odry, zatímco mosty nad těmito řekami odolaly mimořádným průtokům. Poškozeny byly hlavně mosty menších a středních rozpětí. Celkový podíl poškozených mostů na železnicích je 86 % mostů do rozpětí 30 m. U mostů na vedlejších tratích jsou to jen tyto mosty a téměř všechny ocelové prosté nosníky se šikmým křížením řeky s osou komunikace. Porušení mostů s více poli na hlavní trati způsobilo hlavně poškození pilířů.

■ Povodňové škody na mostech na pozemních komunikacích byly v Jihočeském kraji ke dni 31. 12. 2002 vyčísleny na 15 645 mil. Kč [7]. Považujeme-li tuto částku za 100 % všech škod způsobených povodněmi a předpokládáme-li pravděpodobnost ohodnocení škod v dílčích položkách zatíženou stejnou chybou, lze procentní podíl škod stanovit následovně:

- stavební objekty celkem (budovy, domy, komunikace) 40,15 % (6 281 mil. Kč)
- jen komunikace (včetně mostů) 22,80 % (3 566 mil. Kč)

To znamená, že ze stavebních objektů více než polovina škod (56,77 %) připadlo na komunikace. V dalším rozčlenění částky na všechny komunikace připadá:

Objekt	[mil. Kč]	[%]	bez mostů/s mosty [%]
železnice	637	17,9	13,6/ 4,3 = 3,16
pozemní komunikace	2 929	82,1	34,7/47,4 = 0,73

Lze konstatovat, že z dopravních cest byly výrazně větší škody na pozemních komunikacích než na železnicích. Vyčíslené škody na mostech pozemních komunikací převyšují škody způsobené na dopravní cestě mimo most.

Pro analýzu poškození mostů uvedenou v tomto článku posloužily proto pozemní komunikace. Porovnání spekter rozpětí všech mostů do rozpětí 30 m v celé České republice a Jihočeském kraji bylo provedeno proto, že 88,3 % všech mostů je do tohoto rozpětí. Větších mostů je výrazně méně, mají i více polí a je jim při návrhu věnována větší pozornost než mostům menším. V kraji Jihočeském je 8,3 % ze všech mostů v ČR. Celkový počet mostů v ČR je vynásoben 0,083 a porovnán v kategorii mostů na hlavních komunikacích na obr. 1 a vedlejších komunikacích (II., III.) na obr. 2. Na obrázcích jsou spektra četnosti vynesena pro intervaly rozpětí 1,0 m. Z obou porovnání je patrné, že pokud se týká porovnání podle rozpětí, je možné považovat mosty na pozemních komunikacích v Jihočeském kraji za reprezentativní vzorek pro celou ČR.

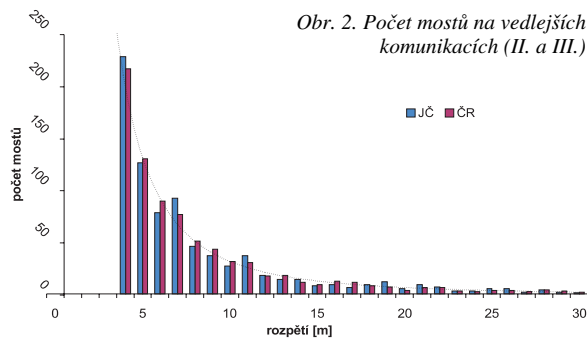
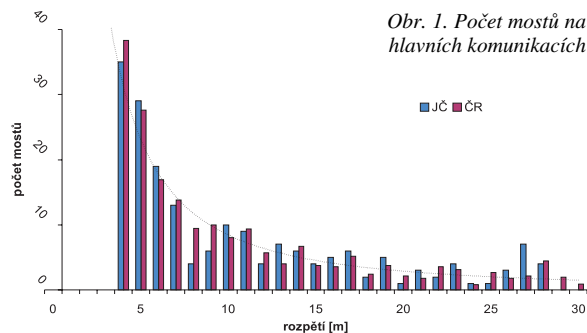
Tab. 2. Podrobnější rozdělení škod na pozemních komunikacích

Poškozené	Třída	Škoda [mil. Kč]	Celkem [%]	Počet	Na 1 most [mil. Kč]
mosty	I. a vyšší	1 117	38,1	46	24,3
	II. a III.	575	19,6	331	1,7
komunikace (bez mostů)				[km]	[mil. Kč/km]
	I. a vyšší	304	10,4	157	1,9
	II. a III.	933	31,9	2894	0,3

Podrobnější rozdělení škod na pozemních komunikacích je uvedeno v tab. 2. Porovnání podle rozpětí přináší neúplný obraz, ale i tak lze vyslovit alespoň dílčí závěry. Potvrdilo se, že mostní objekty v záplavovém území na významných pozemních komunikacích představují klíčová místa. Průměrné náklady na opravu jednoho objektu byly vyčísleny na 24,3 mil. Kč a i přes relativně nevelký počet poškozených mostů to představuje téměř 40 % nákladů na opravu všech poškozených pozemních komunikací. V kraji bylo z 274 mostů na významných komunikacích poškozeno 16,7%.

V tomtéž kraji je evidováno 1 044 mostů na silnicích II. a III. třídy. Z nich bylo poškozeno nebo zničeno 331 mostů, tj. 31,7 %. Náklady na jejich opravení činily 575 mil. Kč celkem, na jeden most to bylo průměrně 1,7 mil. Kč. Při velkém počtu oprav však i zde tvoří náklady přibližně 20 % z celkových na opravu pozemních komunikací.

Vyšší podíl poškozených mostů na komunikacích II. a III. třídy je zřejmě proto, že nejčastěji přemostovanou překážkou jsou stálé nebo občasné vodní toky. Povodí těchto toků bývá malé a stanovení stoletého průtoku je zatíženo vyšší chybou. Také užší údolí s větším podélným sklonem podhorských potoků a bystřin hrozí spíše výškovou a směrovou nestabilitou koryt než plošnými rozlivy. Specifické pro jižní Čechy je nebezpečí poškození hrází četných rybníků. Svou roli v kraji sehrál zřejmě stav starých mostů, pro které povodeň byla „pozitivním“ řešením jinak oddalovaných oprav a rekonstrukcí.



### Poruchy spodní stavby mostů způsobené záplavami

Spodní stavbu mostního objektu tvoří: základy, podpěry, závěrné zídky, mostní křídla, popř. ledolomy. Z pohledu poruch těchto částí povodněmi je vhodné sem přiřadit i přilehlé násypy navazující na opěry a křídla. Jestliže termín aktivní záplavová zóna nebyl ještě přesněji definován, ve zjištěných případech poškození vodou je možné tato místa za aktivní zónu považovat.

#### ■ Bezporuchové převedení velké vody

Bezporuchové převedení zvýšených až extrémních průtoků mostními otvory nebylo předmětem sledování. Za



pozornost však stojí vyprazdňování záplavového území, představující jeho aktivní zónu (obr. 3). Jen při správné konstrukční úpravě nehrozí porucha ani mostu, ani komunikaci (obr. 4). V několika případech právě porušení těchto mostů způsobilo významné problémy spojené s delším přerušením provozu na komunikacích.



Obr. 3. Prázdňení záplavového území



Obr. 4. Neporušený stav objektu po vyprázdňení uvedeném na obr. 3

#### ■ Poruchy vozovek, železničního svršku, jejich podkladů, zábradlí apod.

Případy, kdy přes mostní objekt včetně přilehlých násypů přetékala voda a objekt zůstal neporušený, bylo poměrně málo. Svědčí to o jejich dobrém provedení i přes to, že průtok nebyl dobře vystižen nebo šlo o případy s katastrofálními průtoky s dobou opakování více než 500 let. Vedle starých historických mostů (např. kamenný most v Písku) to byly vesměs novější mosty silniční. Porušená vozovka a její podkladní vrstvy na mostě a v přilehlých úsecích se dají snadno opravit.

#### ■ Poruchy násypů, resp. přesypávky

Tyto případy potvrzují dobré založení i příčnou tuhost mostů. Méně odolný násyp nevydržel tlak vody, která stoupla vlivem nedostatečného průtoku. Na obrázku 5 je poměrně nový silniční most založený na pilotách. Je znám i příklad s odplavením jen přesypávky. Tyto případy vyžadují přestavbu mostního objektu pro větší průtok. Je možné uvažovat o méně nákladném řešení. Když přerušení dopravy na určitou dobu nebude závažné a bude-li opakování stejné poruchy možno předvídat a přerušit včas dopravu, je možné opravit jen násypy. Nabízí se pak méně odolný násyp proti stejnému poškození.



Obr. 5. Porušení násypu bez následku na most

#### ■ Celkové zničení mostního objektu

Příčinou celkového zničení mostního objektu bývá kombinace účinků velké vody. Prvotní příčina se většinou obtížně dodatečně zjišťuje. Výsledný stav je znám po poklesu hladiny vodního toku. V tomto případě bude nutná výstavba nového mostu s využitím poznatků z povodňové události.

#### ■ Porušení v založení spodní stavby

Je to dosti častá porucha s různými následky. Příčinou je nevhodné založení a ochrana spodní stavby před účinky eroze. Méně závažné případy jsou poměrně snadno opravitelné. Podemletí podpěr upozorňuje jak na nedostatečné založení, tak na skutečnost, že v průběhu zvětšení průtoku pod mostem se proudnice vychyluje na jednu stranu. Následkem je pokles i pootočení jedné opěry, která je již při neúplné rekonstrukci mostu nepoužitelná. Z obrázku 6 je to dostatečně patrné na mostě pozemní komunikace. Pokles pilíře je zpravidla doprovázen jeho menším pootočením a důsledky jsou patrné na obr. 7. Přestavba pilíře vyžaduje demontáž nosných konstrukcí, u jednodušších případů jejich nadzvednutí.



Obr. 6. Pokles a pootočení opěry



Obr. 7. Pokles podpěry

### ■ Erozní poškození násypu, zpravidla jen za jednou opěrou

Poměrně velmi častou příčinou, jak vyplývá z analýzy příčin poškození povodněmi, je nedocnění změny proudnice při průtoku velkých vod pod mostním objektem. V lepším případě, většinou u širokých silničních násypů, dochází k částečnému poškození za jednou z opěr (obr. 8).



Obr. 8. Částečné porušení násypu

U užších násypů jednokolejných mostů dochází k úplnému proboření násypu. V lepším případě bez destrukce opěry. Rekonstrukční zásahy musí v první řadě odstranit příčinu. Pokud nelze změnit úhel křížení vodního toku a dopravní cesty (což u stávajících mostů většinou nejde), měla by být provedena stavební úprava s lepším navedením už známé proudnice do otvoru pod most a ochrana násypového tělesa.

Tab. 3. Povodňové poruchy mostních objektů

Příčina	Následky	Schéma	Výskyt [%]	
			železnice	pozemní komunikace
nedostatečný průtok	poškozená vozovka (železniční svršek)			
	proražení násypu		0	6
	celkové poškození (destrukce)		25	31
erozní účinky	porušení v založení		21	33
	jednostranné poškození násypu		54	31

### Příčiny a následky porušení mostních objektů

Pokus o zobecnění povodňových porušení mostních objektů je uveden v tab. 3. Ze zjištěných následků se dá určit pravděpodobná příčina, kromě případů celkových destrukcí, kde míru zavinění a místo počátečního impulsu je možno jen odhadnout. Procentní podíl na následcích a příčinách poruch byl vypočítán z uvedené analýzy poškození mostů při záplavách. Případy, kdy nedostatečný průtok nezpůsobil výraznější poškození mostů, nebyly statisticky podchyceny. Rovněž poškození lávek pro pěší nebylo předmětem zkoumání.

U mostů se nevyskytují případy porušení nosných konstrukcí při bezporuchových stavech spodní stavby. Nejzranitelnější byla právě spodní stavba v návaznosti na rychle proudící vodu mimo koryta vodotečí. Eroze, a to nejen pod základy, ale také násypového tělesa navazujícího na spodní stavby, byla důvodem většiny poruch na mostních objektech. Vyčíslené náklady na opravu těchto mostů na pozemních komunikacích v Jihočeském kraji dosahují přibližně 25 % všech škod způsobených na všech stavebních objektech povodněmi v roce 2002 v tomto kraji. Přípustnost míry této poruchovosti by měla být zřejmě předmětem podrobnějšího řešení.

### Interakce vodních překážek a mostních objektů

Každá vodní překážka do určité míry ovlivňuje výškové uspořádání dopravní komunikace, její trasu a nezbytný mostní objekt. Ten pak, svým tvarem a konstrukčním řešením, zpětně zasahuje do původně dlouhodobě utvářeného tvaru terénu. Ze strany vodohospodářů je potřebné

stanovit přípustné ústupky a jasně vymežit jejich závažnost. Do jaké míry se podařilo sladit extrémní podmínky kontaktu velké vody s umělé vytvořenou překážkou prověřily velkoplošné povodně v letech 1997 a 2002.

V komentování a hodnocení těchto povodní dominuje pojem stoleté vody, méně často stoletý průtok  $Q_{100}$ . Díky sdělovacím prostředkům i řadě odborníků se poněkud zjednodušil jeho skutečný význam. Exaktní stanovení velikosti průtoku, na který lze navrhnout vhodný mostní objekt tak, aby byl zcela bezpečný, ekonomicky přijatelný a zásadně nezasahoval do prostředí, ve kterém je situován, je téměř nemožné a lze se mu jen s určitou pravděpodobností přiblížit. Velikost průtoku je získána na základě hydrogeologických údajů a jako každý náhodný jev je zatížen určitou mírou nespolehlivosti. Je zcela přirozené, že větší pozornost je věnována komunikacím většího významu, kde mimo přímé náklady na obnovu poškození rostou i provozní náklady v důsledku neprůjezdnosti komunikace. Spolehlivost návrhu záplavových území se daří stanovit lépe na větších tocích, kde inundace nabývá většího plošného rozsahu. Problematictější je to u podhorských potoků a bystřin i vzhledem k jejich větší četnosti a menším povodím. I zde je to na jedné straně otázka nákladů na získání hydrogeologických údajů v konfiguraci terénu u nás a na straně druhé závislost na společensko-politické vůli řešit význam, a tedy i spolehlivost četných, méně významných komunikací i s příslušnými mosty. V každém případě je nutno počítat i s katastrofálními průtoky s dobou opakování 500 a více let (např. řeka Opava v Krnově v roce 1997), mezi něž, jak ukázaly případy ze záplav, patří průlomové vlny vznikající za povodní při náhlém uvolňování plaví nebo proražením vodních děl.

Povodně prověřily mimo jiné i metodiku stanovení velikosti průtoků uplatňovanou při novostavbách mostů a při rekonstrukcích. Ve většině případů se na mostních objektech křižujících řeky potvrdilo, že stoletý průtok  $Q_{100}$ , stanovený hydraulickým výpočtem vycházejícím z minulých teoretických i praktických poznatků, byl vhodným řešením. Další výstižnější zpracování  $n$ -letého průtoku do návrhu všech mostů i na méně vydatných tocích zřejmě vede přes přípustnou hladinu poruchovosti mostního objektu. Spolehlivost stanovení průtoku by měla být v souladu se spolehlivostí stanovení dalších účinků na most, nákladů na případné opravy a závažnosti možného přerušení dopravy.

Pro okamžité řešení se nabízí zlepšení průtokových podmínek pod mostem. Deterministicky stanovená volná výška 0,5 m nad hladinou  $Q_{100}$  po dolní hranu nosné konstrukce by se v ojedinělých a odůvodnitelných případech mohla zvětšit, např. u „štěrkonosných toků“ v karpatské soustavě, kde lze pozorovat rychlejší rozpad hornin než na území českého masívu. Při přestavbě a rekonstrukci menších mostů je nutno řešit průtok ve spolupráci se správcem vodního toku a vodohospodářského orgánu. Jde zejména o vhodnost umístění pilířů, nahrazování mostů propustky, změny výšek příjezdových násypů apod.

Méně sledovaným účinkem na mostní objekt je vliv proudících vod. Současná norma [2] nabádá k nenarušení hydraulických podmínek v korytě toku, ale v návaznosti jen na koryto, hráze a přilehlá území. V jiném místě pak ke kolmému křížení vodního toku s osou komunikace. V prvním případě byl opomenut účinek proudící vody při zvýšených průtocích na spodní stavbu mostu a přilehlé násypové těleso. Ve druhém případě je kolmé křížení v úzkých údolích neproveditelné. Následky toho jsou četné jak u železnic, tak u pozemních komunikací.

Článek upozorňuje na nezanedbatelný účinek proudící vody při prázdnění záplavových území, kde soustředěná

vodní proudnice narušuje podpěry mostů. Konstruktivní úprava proti proudící vodě bývá zanedbávána a následky na železničních patřičnosti.

Nová vyhláška [8] o záplavových územích vyžaduje určení aktivních zón. Blíže tyto zóny nejsou doposud definovány. Ve vztahu k mostům půjde zřejmě v těchto zónách o větší rychlost proudící vody, což má dopad na hloubkové zakládání spodní stavby a ochranu koryta pod mostem před erozními účinky. Může se to týkat i mostních objektů v záplavovém území, které slouží k jejich prázdnění.

V letech 2003 a 2004 se očekává rozšíření znalostí o maximální možné záplavové čáře odpovídající maximálnímu pravděpodobnostnímu průtoku záplavových území. Tato informace bude užitečná i pro posuzování mostních objektů, které jsou mimo dosah teoretické stoleté vody, ale jsou v údolních nivách vodních toků. Rovněž metodika stanovení aktivních zón zaměří pozornost na místa s výraznějším účinkem proudících vod.

## Závěr

Mimořádné velkoplošné povodně v letech 1997 a 2002 prověřily odolnost mostních objektů čelit extrémním průtokovým situacím. V zásadě potvrdily vhodnost modelování návrhových stoletých průtoků  $Q_{100}$ , zejména na říčních tocích, kde pravděpodobnost jejich stanovení vycházela z dostatečně přesných vstupních údajů. Další směr jejich zpřesňování by měl být v souladu s požadovanou spolehlivostí mostního objektu, náklady na odstranění přípustných poškození a významem komunikace s ohledem na dočasné přerušování průjezdnosti.

Jak ukázala analýza, nejvýraznější a nejčetnější poškození mostních objektů bylo způsobeno porušením jejich spodní stavby, a to buď základů, nebo přilehlého násypového tělesa. Na škodách se významně podílely nevelké mosty sloužící k prázdnění záplavových území a mosty přes drobné podhorské řeky a bystřiny. Směr řešení vede přes přísnější hydraulická kritéria vymezených aktivních záplavových zón a konkretizací nutných opatření, doposud sice správných, ale velmi obecných zásad. Týká se to technických řešení úpravy koryt, založení mostních objektů, ale výrazně i protipovodňové úpravy přilehlých násypů jak železničních, tak pozemních komunikací.

**Článek vznikl při řešení projektu č. 103/03/z010 GA ČR „Stavby ohrožené povodňovými průtoky“.**

## Literatura

- [1] ČSN 73 6201 Projektování a prostorové uspořádání mostních objektů. ČSN, 1980.
- [2] ČSN 73 6822 Křížení a souběhy vedení a komunikací s vodními toky. ČSN, 1991.
- [3] Tomica, V. – Broul, J. – Hudeček, L. – Adamec, J.: Nové prvky v konstrukci železničního tělesa v poddolovaném a záplavovém území. [Sborník], „Železniční koridory 2000“, Ostrava 2000, s. 122–125.
- [4] Tomica, V. – Broul, J. – Hudeček, L. – Řezáč, M.: Výstavba na povodňových územích. Dopravní stavby. [Důvodová zpráva], VŠB-TU FAST, Ostrava, 1999, s. 27.
- [5] Tureček, B.: Metodika stanovení hladin stavů velkých vod. [Zpráva], GA ČR č. 103/03/Z010, Ostrava, 2003, s. 9.
- [6] Čermák, M. – John, V. – Teichman, M. – Teršl, M.: Léto 1997–Mosty pod vodou. Olomouc, Sprint 1998.
- [7] Schandl, J.: Rozsah poškození staveb na Českobudějovicku a metody oprav. [Sborník], konference „Stavby a jejich odolnost proti povodním“, Písek, 2003, s. 67–72.
- [8] Vyhláška 235/2002 Sb., o způsobu a rozsahu zpracování návrhu a stanovení záplavových území. Prováděcí vyhláška zákona č. 254/2001 Sb., o vodách.

Tomica, V. – Struhár, F.: Failures of Bridges After Floods

The floods of 1997 and 2002 tested bridge structures during extreme discharges. Analysis of the damage of the bridges will contribute to the quality increase of the design principles. The analysis performed makes it possible, to a large extent, to generalize causes and effects of failures brought about particularly by flowing water. Beside the discharge volume, it also emphasizes erosive effects on the substructure of bridges and adjacent fill bodies.

Tomica, V. – Struhár, F.: Schäden an Brücken nach Hochwässern

Die Hochwässer in den Jahren 1997 und 2002 haben die Brückenbauwerke bei extremen Durchflüssen geprüft. Die Analyse der Beschädigungen der Brücken wird zur Verbesserung der Entwurfsregeln dienen. Die durchgeführte Analyse ermöglicht es, in erheblichem Maße die Ursachen und Folgen der hauptsächlich durch das strömende Wasser verursachten Schäden zu verallgemeinern. Neben dem Durchflussvolumen macht sie auf die Bedeutung der Erosionswirkungen auf den Unterbau der Brücken und die angrenzenden Anschüttkörper aufmerksam.

## Dřevostavby a inovace

16. – 18. června 2004  
Kostelec nad Černými lesy

Konference je zaměřena na vytvoření komplexního pohledu na problematiku využití dřevní hmoty ve stavebnictví České republiky. Přednášky jsou řazeny v souladu se směrem výrobního řetězce vedoucího od produkce dřevní hmoty až po konečný produkt – tesařské prvky, dřevostavby. Mezi nejdůležitější obory, které konference postihuje, patří:

- lesnictví – produkce stavebního dřeva
- dřevařství – zpracovatelský mezičlánek
- stavebnictví – spotřeba výrobků ze dřeva
- strojírenství – výroba strojů a zařízení pro lesnictví, dřevozpracující průmysl a stavební výrobu

Cílem je zhodnocení možností a alternativ zvýšení spotřeby dřevní hmoty ve stavebnictví ČR, informování o technologických možnostech pro oblast dřevozpracujícího průmyslu, konfrontace dřevozpracujícího průmyslu a stavebnictví jako obchodních partnerů, rozšíření mezioborové spolupráce pro řešení společných problémů, navržení výzkumných úkolů pro zúčastněné zástupce vědy, výzkumu a vývoje a sblížení akademické obce s praxí.

Konference je organizována pod záštitou ČZU – Fakulty lesnické a environmentální a ČVUT – Fakulty stavební v rámci společného doktorského projektu ETUS I, projektu s podporou veřejných prostředků prostřednictvím GA ČR č. 103/03/H127.

### Informace:

ČZU – Ing. Štěpán Černý, e-mail: cerny@lf.czu.cz,  
tel: 22438348, fax: 224383732, mobil: 602 847 998  
ČVUT – Ing. Martin Hezl, mobil: 608 020 464, e-mail:  
martinhezl@email.cz

## ● zprávy

### Pod jednou střechou

Končí více než dvouměsíční stěhování, jedno z největších v historii ČR, a pod jednou střechou již pracuje všech patnáct set pražských zaměstnanců T-Mobile. Nová administrativní budova v Roztylech zároveň drží prvenství – je největším administrativním komplexem v České republice, který má v užívání jedna firma.

Výstavba areálu, kterou realizovala realitní a investiční skupina Sekyra Group, byla zahájena v březnu 2002, dokončena a předána v prosinci 2003. Celý projekt i jeho vlastní realizace splňovaly náročné požadavky na výstavbu, především z hlediska kvality provádění, bezpečnosti práce a vlivu na životní prostředí.

Budovu o celkové podlahové ploše 51 000 m<sup>2</sup> ve třech



podzemních a sedmi nadzemních podlažích a o půdorysných rozměrech cca 152 x 54 m projektoval Ing. arch. Lubomír Zeman. Vnější úprava je kombinací celoskleněné fasády a pásových oken s panely obloženými parapety. Na pohledově exponované fasádě jsou umístěny velkoplošné otáčivé lamely, které jednak mírní negativní vlivy automobilové dopravy a jednak mohou být využity pro marketingové účely. Budova je celoplošně pokryta požárními detektory a hlídána vnitřním i vnějším perimetrem technické ochrany. Technologie je samostatně zabezpečena stabilním hasicím zařízením. V budově se nachází 880 km metalických a 14 km optických kabelů.

T-Mobile

Tisková informace

# Vplyv kameniva na mechanické vlastnosti betónov ovplyvnených vysokými teplotami

Ing. Tomáš VARGA, PhD.  
Stavebná fakulta  
TU – Košice

Príspevok sa zaoberá porovnaním niektorých mechanických vlastností betónov po ochladnutí z vysokých teplôt. Skúmané betóny boli vyrobené podľa rovnakej receptúry, menilo sa iba mineralogické zloženie kameniva, ktoré bolo andezitové, dolomitické alebo riečne. Vzorky betónu boli ohrievané na vysoké teploty určené s ohľadom na modelové situácie pri havárii. Porovnaním mechanických vlastností sa sledovala vhodnosť jednotlivých druhov kameniva na použitie v betónoch predovšetkým v jadrových elektrárňach.

- vysokých teplôt na zmrašťovanie–napučiavanie betónu  $\varepsilon_b(T)$ ,
- vysokých teplôt na dotvarovanie betónu  $\varepsilon_{b,\text{dot}}(T)$ ,
- vysokých teplôt na modul pružnosti betónu  $E_b(T)$ ,
- vysokých teplôt na kockovú pevnosť betónu v tlaku  $R_{bk}(T)$ .

Mechanické vlastnosti betónu boli posudzované z hľadiska mineralogického zloženia kameniva. Preto vzorky betónu boli vyrobené podľa rovnakej receptúry, menilo sa iba kamenivo, ktoré bolo andezitové (lokality Vevec), dolomitické (lokality Sedlice) a riečne (lokality Plaveč). Týmto porovnaním sa sledovala vhodnosť jednotlivých druhov kameniva na použitie v betónoch predovšetkým v jadrových elektrárňach.

## Úvod

Problematika vplyvu vysokých teplôt na vlastnosti betónu pri namáhaní tlakom sa v súčasnosti javí ako zvlášť aktuálna. Utvrďuje nás v tom neutíchajúca diskusia o bezpečnosti jadrových elektrární. Jedným z mechanizmov, ktoré majú minimalizovať ohrozenie obyvateľstva a prírody v okolí jadrových elektrární, sú betónové ochranné obálky izolujúce jadrový reaktor od okolia. Ich ochranná úloha sa prejavuje v mimoriadnych situáciách: pri výbuchoch reaktorov a následných požiaroch, pri úniku rádioaktivity a pod. Z toho dôvodu sú na ochranné obálky kladené požiadavky, ktoré prevyšujú požiadavky na iné typy betónových konštrukcií.

Inou nanajvyš aktuálnou oblasťou vplyvu vysokých teplôt na betón pri namáhaní tlakom sú v súčasnosti množiace sa havárie v tuneloch, predovšetkým cestných. Ďalšou oblasťou vplyvu vysokých teplôt na betón pri namáhaní tlakom sú všeobecne požiare objektov s nosným systémom z betónu. Dôležitý je aj možný vplyv vysokých teplôt na betón pri niektorých špeciálnych výrobných technológiách (teplárne, spaľovne odpadu a pod.).

Vo všetkých uvedených prípadoch vplývajú vysoké teploty na betón namáhaný tlakom. Tlak v betóne vyvoláva spravidla vlastná tiaž betónovej konštrukcie, alebo aj úžitkové a iné zaťaženia na betónovú konštrukciu. Už v projektovej fáze je potrebné poznať vlastnosti betónových konštrukcií, ktoré by ovplyvnil prípadný požiar. Po požiaroch, resp. po dobe vystavenia konštrukcie vplyvu vysokých teplôt, nastáva potreba zhodnotiť poškodenú konštrukciu a následne navrhnúť spôsob jej sanácie a rekonštrukcie. Neodmysliteľným vstupom pri vypracovaní projektu sanácie a rekonštrukcie musia byť mechanické charakteristiky betónu ovplyvneného účinkami vysokých teplôt.

## Ciele experimentov

Cieľom experimentov bolo nájsť závislosť mechanických vlastností betónu od kameniva a vplyvu teplôt do 800 °C. Mechanické vlastnosti boli skúmané po ochladnutí z vysokých teplôt na izbovú (20 °C), išlo teda o zostatkové mechanické vlastnosti.

Skúmaný bol vplyv:

- zloženia kameniva na zmrašťovanie betónu  $\varepsilon_{bk}(t)$  počas dozrievania,

## Experimentálny program

Zloženie zmesi z betónu triedy B 40 uvádza tab. 1. Vlastnosti čerstvej betónovej zmesi – objemová hmotnosť 2 420–2 518 kg/m<sup>3</sup>, sadnutie kužeľa 80 mm, vodný súčiniteľ  $v/c$  0,414.

Tab. 1. Zloženie zmesi z betónu triedy B 40

Zložka	Množstvo
portlandský cement tr. 47,5 (Cementáreň Turňa nad Bodvou)	425 kg/m <sup>3</sup>
kamenivo frakcia 0 – 4 mm	865 kg/m <sup>3</sup>
kamenivo frakcia 4 – 8 mm	393 kg/m <sup>3</sup>
kamenivo frakcia 8 – 16 mm	593 kg/m <sup>3</sup>
sioxid (OFZ Istebné)	32 kg/m <sup>3</sup>
superplastifikátor (Melmet 40)	5,6 l/m <sup>3</sup>
voda	176 l/m <sup>3</sup>

Na meranie mechanických vlastností betónu boli použité hranoly s rozmermi 100 x 100 x 400 mm, hranoly s rozmermi 100 x 100 x 400 mm v klietkach a kocky s rozmermi 150 x 150 x 150 mm. Vzorky z andezitového a riečného kameniva (tab. 2) boli vyrobené v dvoch sériách, vzorky z dolomitického kameniva v jednej sérii. Každá séria vzoriek predstavovala 20 až 35 hranolov a 4 až 16 kociek.

Tab. 2. Vzorky – série, počet a teplota ohrevu

Kamenivo	Séria	Počet		Ohrev na teploty [°C]
		hranolov	kociek	
andezitové	Andezit 1	30	16	60, 100, 200, 400, 600,
	Andezit 2	20	10	800, 200, 400, 600 (800 <sup>*</sup> )
dolomitické	Dolomit 1	32	14	60, 200, 400, 600, 800
riečne	Riečne 1	35	16	60, 100, 200, 400, 600, 800
	Riečne 2	29	4	60, 100, 200, 400, 600, 800

\* Od ohrievania na túto teplotu sa upustilo z dôvodu rozpadnutia vzoriek, resp. ich nemerateľnosti po ochladnutí z teploty 600 °C.

Na druhý, resp. tretí deň po betonáži boli vzorky odformované a následne prebehlo prvé meranie zmrašťovania

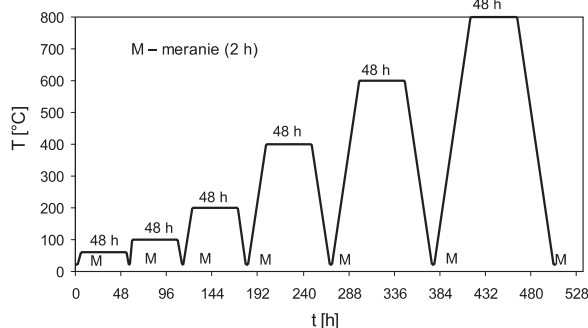
vzoriek  $\varepsilon_b(t)$  deformetrom Huggenberger. Pri vzorkách betónu z dolomitického kameniva prebehlo prvé meranie na ôsmy deň. Po odformovaní a prvom meraní boli vzorky uložené do klimatizačnej miestnosti nastavenej na teplotu 20 °C a relatívnu vlhkosť vzduchu 80 %. Zmrašťovanie vzoriek  $\varepsilon_b(t)$  počas dozrievania betónu v klimatizačnej miestnosti bolo priebežne merané v časových intervaloch 1 až 3 dní, v neskoršej fáze dozrievania vzoriek v časových intervaloch 4 až 7 dní. Po 28 dňoch mali byť vzorky vybraté z klimatizačnej miestnosti, avšak skutočná doba vybratia vzoriek bola z technických dôvodov rôzna, od 27 po 37 dní. Po vybratí prebehlo prvé kompletne meranie, t. j. okrem merania zmrašťovania–napučovania vzoriek sa na štyroch hranoloch zisťoval modul pružnosti a na dvoch až piatich kockách kocková pevnosť (obr. 1).



Obr. 1. Meranie zmrašťovania elektronickým deformetrom

Na meranie dotvarovania betónu sa 4 hranoly vložili do oceľových klietok (obr. 2), pomocou lisu zaťažili tlakovým napätím 5 MPa. Tlakové napätie bolo zvolené s ohľadom na predpokladaný pokles pevnosti betónov po ochladnutí z vysokých teplôt. Po odľahčení lisom bola tlaková sila v klietkach udržiavaná pomocou pružín. Takto nastavené klietky s vloženými hranolmi spolu s ďalšími hranolmi a kockami boli vložené do elektrických pecí na 48-hodinový ohrev s nábehom teploty 20 °C/h.

Teploty ohrevu, ktorými prešli jednotlivé série vzoriek, sú v tab. 2. Po každom 48-hodinovom ohreve poklesla teplota rýchlosťou 20 °C/h opäť na teplotu 20 °C, pri ktorej prebehlo kompletne meranie. Počet vzoriek pred každým ďalším ohrevom sa znižoval, nakoľko časť vzoriek sa zničila pri deštruktívnych skúškach. Po ochladnutí z najvyššej dosiahnutej teploty bol navyše aj na hranoloch z klietok zisťovaný modul pružnosti v tlaku (obr. 3).



Obr. 3. Časový priebeh merania vzoriek po ochladnutí

Vzorky všetkých druhov betónov boli vystavené rovnakému nárastu a poklesu teploty 20 °C/h a dobe ohrevania 48 h.

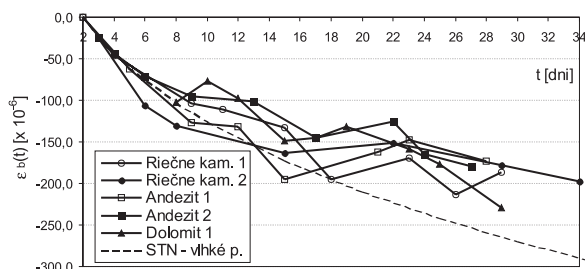


Obr. 2. Oceľová klietka s vloženým hranolom na meranie dotvarovania betónu

Mechanické vlastnosti betónov počas ohrievania neboli sledované. Z tohto dôvodu časový faktor v uvádzaných grafoch nevystupuje. Výnimkou je zmrašťovanie počas dozrievania betónu  $\varepsilon_b(t)$ , ktoré sa mení v čase  $t$ .

### Výsledky meraní a nové poznatky

Priebehy zmrašťovania vzoriek (obr. 4) jednak podľa druhu kameniva, ale aj podľa sérií, vykazujú vzájomne značné rozdiely. Rozdiely sú aj od priebehu vypočítaného podľa STN 73 1201. Tieto rozdiely možno vysvetliť rôznym kamenivom s odlišnou pórovitosťou. V STN a vo väčšine literatúry sa vplyv kameniva na relatívne pretvorenie neuvádza, pretože sa predpokladá takmer dokonalá hutnosť kameniva prírodného pôvodu.



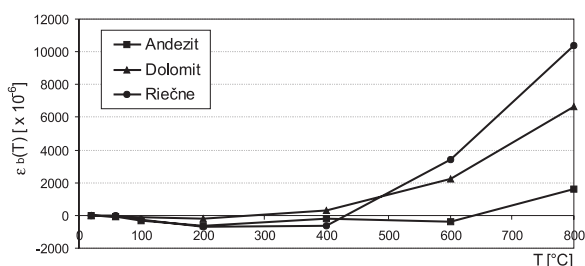
Obr. 4. Zmrašťovanie vzoriek  $\varepsilon_b(t)$

Pretvorenia vzoriek z betónových hranolov po ochladnutí z vysokých teplôt  $\varepsilon_b(t)$  boli porovnávané s referenčným meraním pri teplote pri 20 °C po 28 dňoch dozrievania

betónu. Skutočná doba referenčného merania bola pri niektorých sériách odlišná (obr. 4). Vplyv dĺžky dozrievania betónov na referenčné merania bol zanedbaný, pretože dĺžkové zmršťovania betónov po 28 dňoch dozrievania sú zanedbateľné voči zmršťovaniu–napučovaniu betónov v dôsledku ohriatia na vysoké teploty.

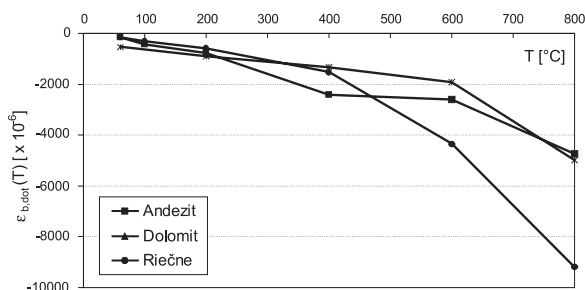
Medzi jednotlivými druhmi betónu sú značné rozdiely v zmršťovaní–napučovaní vzoriek po ochladnutí. Tie sa výrazne prejavujú najmä pri najvyšších teplotách 600 a 800 °C. Napriek tomu v priebehu zmršťovania–napučovania jednotlivých druhov betónov sú zhodné tendencie:

- pri teplotách do 400 °C prevláda zmršťovanie;
- pri teplotách nad 400 °C dochádza k narušeniu vnútornej štruktúry betónu spojenej s napučovaním, a teda aj predlžovaním vzoriek. Rozdiely vo veľkosti napučovania medzi jednotlivými druhmi betónu sa so zvyšujúcou teplotou zväčšujú. Vzorky, ktoré prešli ohrevom na 800 °C, mali zmenenú farbu na svetlosivú, zníženú hmotnosť, na povrchu trhliny. Ich materiál iba vzdialene pripomínal betón. Vzorky z riečného a dolomitického kameniva obidvoch sérií sa po niekoľkých hodinách po ochladnutí samovoľne rozpadli.



Obr. 5. Zmršťovanie–napučovanie vzoriek po ochladnutí  $\varepsilon_b(t)$

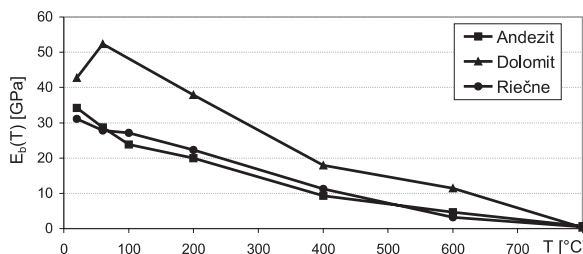
Celkové dĺžkové pretvorenie vzoriek  $\varepsilon_{b,celk}(T)$  sa meralo na vzorkách z hranolov pri tlaku 5 MPa. Tento tlak vzhľadom na technické danosti experimentov nebolo možné zachovať konštantný počas nárastu, pôsobenia a poklesu teploty. Tlak bol vnesený lisom a udržiavaný pomocou pružín. Pružiny však vplyvom teploty plastizovali a ich tlaková sila na vzorky sa so zvyšujúcou teplotou znižovala. Počas ohrevu technicky nebolo možné zistiť, aká je skutočná tlaková sila na vzorky. Po ukončení ohrevu, predovšetkým po teplotách 600 a 800 °C, sa prejavila plastická deformácia pružín a tlaková sila, ktorou pružiny pôsobili na vzorky, bola podstatne menšia ako pred ohrevom. Aj napriek tomu skúšky dotvarovania poskytujú obraz o správaní betónu pri vysokých teplotách. Podmienky pri ohreve (pokles vneseného tlaku), ktorými prechádzali skúšané druhy betónov, boli rovnaké. Dotvarovanie vzoriek pred ohrevom sa nezisťovalo.



Obr. 6. Dotvarovanie vzoriek  $\varepsilon_{b,dot}(T)$  pri tlaku 5 MPa po ochladnutí

Dotvarovanie  $\varepsilon_{b,dot}(T)$  bolo vypočítané (obr. 6) ako rozdiel celkového dĺžkového pretvorenia  $\varepsilon_{b,celk}(T)$  a zmršťovania–napučovania  $\varepsilon_b(T)$ . Popri zhodných tendenciách aj

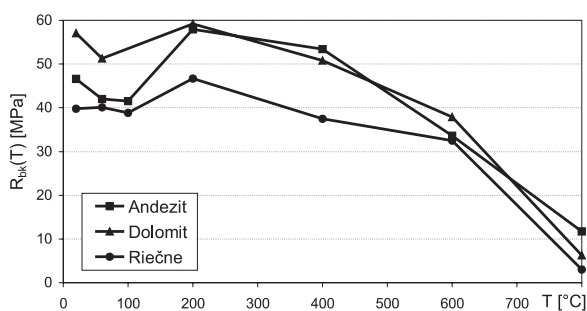
v priebehu dotvarovania vzoriek po ochladnutí sú medzi jednotlivými druhmi betónu značné rozdiely. Skracovanie vzoriek všetkých druhov betónov sa so zvyšujúcou teplotou zväčšuje, avšak zväčšujú sa aj rozdiely medzi jednotlivými druhmi betónov. Najväčšie dotvarovanie je pri vzorkách z riečného kameniva.



Obr. 7. Modul pružnosti vzoriek po ochladnutí  $E_b(T)$

Aj v module pružnosti sú medzi jednotlivými druhmi betónu značné rozdiely. Tie sa výrazne prejavujú najmä pri počiatočnom meraní pred ohrevom pri teplote 20 °C, kde vykazujú rozdiely od 28,86 GPa pri sérii Riečne 1, po 42,71 GPa pri betónoch série Dolomit 1. Základný modul pružnosti pre betón triedy B40 podľa STN 73 1201 je 36 GPa. Túto hodnotu však betóny z andezitového a riečného kameniva nedosahujú. Rozdiely v module pružnosti svedčia o výraznom vplyve kameniva na mechanické vlastnosti betónu.

Rozdiely pokračujú aj po ochladnutí z teploty 60 °C. Tu pri betóne z dolomitického kameniva (t. j. betóne, ktorý mal najvyššiu počiatočnú hodnotu modulu pružnosti) dochádza k ďalšiemu zvýšeniu hodnoty modulu pružnosti. Pri betónoch z riečného a andezitového kameniva hodnota modulu pružnosti klesá. Po teplotách ohrevu 100 °C a vyšších už modul pružnosti pri všetkých druhoch betónu klesá, pričom v priebehu poklesu jednotlivých druhov betónov sú výrazné zhodné tendencie. Pri skúmaných druhoch betónu klesol modul pružnosti na takmer nulovú hodnotu až po teplote 800 °C. Rozdiely vo veľkosti modulu pružnosti medzi jednotlivými druhmi betónu sa so zvyšujúcou teplotou znižujú.



Obr. 8. Kocková pevnosť vzoriek v tlaku po ochladnutí  $R_{bk}(T)$

Značné rozdiely medzi jednotlivými druhmi betónov sú pred ohrevom aj pri kockovej pevnosti  $R_{bk}(T)$ . Rozdiely pokračujú aj po ohreve na teplotu 60 °C. Zmena kockových pevností oproti pevnostiam pred ohrevom je zanedbateľná. Výraznejší pokles bol iba pri kockách z dolomitického kameniva, avšak s ohľadom na ďalší priebeh pevnosti je pravdepodobné, že pri meraní došlo k chybe. Maximálna kocková pevnosť pri všetkých druhoch betónov bola po ohreve z teploty 200 °C. Po ohreve na 400 °C dochádza k zníženiu u všetkých druhov betónu.

K ďalšiemu znižovaniu kockovej pevnosti dochádza po ohreve z teploty 600 °C. Výnimkou je opäť betón z dolomi-

tického kameniva, kde došlo k zanedbateľnému zvýšeniu oproti ohrevu po 400 °C. K ďalšiemu prudkému zníženiu dochádza po ohreve na teplotu 800 °C. Tie druhy betónov, ktoré mali najväčšiu, resp. najmenšiu počiatočnú kockovú pevnosť pred ohrevom, mali ju najväčšiu, resp. najmenšiu aj po ohrevech.

### Záver

Výskum jednoznačne potvrdil, že druh kameniva podstatne ovplyvňuje mechanické vlastnosti betónu po ochladnutí z vysokých teplôt. Ukázalo sa, že napriek rozdielnym kamenivám sú pri skúmaných druhoch betónov zhodné tendencie. Najvhodnejšie betóny na použitie v náročných podmienkach jadrových elektrární, tunelov a prevádzok sú tie, pri ktorých po ohreve dochádza k najmenšej zmene východiskových mechanických vlastností, a teda sú teplotne najstabilnejšie.

Pri skúmaných betónoch nie je možné jednoznačne určiť, ktorý má najlepšie mechanické vlastnosti. Východiskové mechanické vlastnosti – modul pružnosti a pevnosť v tlaku – má najlepšie betón z dolomitického kameniva, horšie betón z andezitového a najhoršie betón z riečného kameniva. Po teplotách ohrevu do 200 °C v zmršťovaní a dotvarovaní betónov sú len minimálne rozdiely. Nad touto teplotou je napučovanie a dotvarovanie najmenšie pri betóne z andezitového kameniva, väčšie pri betóne z dolomitického a výrazne najväčšie pri betóne z riečného kameniva. Práve betóny z dolomitického a riečného kameniva sa po ochladnutí z teploty 800 °C rozpadli. Modul pružnosti, pevnosť v tlaku pri betónoch zo všetkých druhov kameniva klesá a po ohreve 800 °C sú tieto mechanické vlastnosti prakticky nulové.

Na mechanické vlastnosti betónu okrem poslednej teploty ohrevu majú vplyv aj predchádzajúce, nižšie teploty ohrevu. Betóny, ktoré prešli aj nižšími teplotami ohrevu, mali horšie mechanické vlastnosti ako betóny, ktoré nižšími teplotami ohrevu neprešli. Zistené závislosti mechanických vlastností betónu od vysokých teplôt by po spresnení a doplnení mohli byť podkladom, ktorý by umožňoval už v projektovej fáze predvídať zostatkové mechanické vlastnosti betónov po prípadnom poškodení vysokými teplotami a určiť vhodné kamenivo. To by umožnilo navrhnúť optimálnejšie konštrukcie, uľahčilo a zlacnilo by sanácie a rekonštrukcie objektov poškodených vysokými teplotami.

### Literatúra

- [1] Al-Serori, M. Sh. – Jávora, T. – Naď, L. – Varga, T.: Influence of High Temperature and Gravels on Water Resistance (Leakage) of Concrete. In: EXPO-EDUC, s. r. o., Košice, 1997, pp. 25–28.
- [2] Chan, Z. N. – Luo, X. – Sun, W.: Compressive Strength and Pore Structure of High-Performance Concrete after Exposure to High Temperature up to 800 Degrees C. Cement and Concrete Research, Vol. 30, 2000, No. 2, pp. 247–251.
- [3] Felicetti, R. – Gambarova, P. G.: Effects of High Temperature on the Residual Compressive Strength of High-Strength Siliceous Concrete. ACI Materials Journal, Vol. 95, 1998, No. 4, pp. 395–406.
- [4] Jávora, T.: Diagnosis, Safety and Aging of Concrete Structures in NPPs – Conclusion Report with Main Results Obtained During the Period of 5. 4. 94 – 5. 4. 96. CEC/PECO 93 Cooperation Programme Nuclear Safety, Košice, 1996.
- [5] Janotka, I. – Nürbegerová, T.: Concrete Behavior in Reactor Envelope of a Nuclear Power Plant at Temperature up to 200 Degrees C. Arabian Journal for Science and Engineering, Vol. 24, 1999, No. 18, pp. 19–32.
- [6] Majorana, C. E. – Salomoni, U. – Schrefler, B. A.: Hydrothermal and Mechanical Model of Concrete at High Temperature. Material and Structures, Vol. 31, 1998, No. 210, pp. 378–386.
- [7] Phan, L. T. – Lawson, J. R. – Davis, F. L.: Effects of Elevated Temperature Exposure on Heating Characteristics, Spalling and Residual Properties of High Performance Concrete. Materials and Structures, Vol. 34, 2001, No. 236, pp. 83–91.
- [8] Schneider, U.: Test Methods for Mechanical Properties of Concrete at High Temperatures. Materials and Structures, Vol. 33, 2000, No. 225, pp. 6–13.
- [9] Varga, T.: Vplyv vysokých teplôt za pôsobenia tlaku. [Zborník], 3. odborný seminár doktorandského studia, Brno, 2001, s. 165–170.
- [10] Varga, T.: Dĺžkové pretvorenia betónu ovplyvneného vysokými teplotami. [Zborník], VII. vedecká konferencia, Stavebná fakulta TU Košice, 2002, s. 23–26.
- [11] Varga, T.: Vplyv vysokých teplôt na betón pri namáhaní tlakom. [Dizertačná práca], STU TU – Košice, 2002.

---

#### Varga, T.: Influence of Gravels on Mechanical Properties of Concrete at High Temperatures

**This report compares some mechanical properties of concrete after cooling off. The tested concrete was prepared with the same composition. Only the mineral composition of gravel was changed to either andesite, or dolomitic, or river gravel. Concrete specimens were heated at high temperatures determined by accident model situations in NPP. Suitability of various types of gravel was studied by comparing mechanical properties of concrete exploited above all in NPP.**

---

#### Varga, T.: Der Einfluss des Zuschlagmaterials auf die mechanischen Eigenschaften von durch hohe Temperaturen beeinflussten Betonen

**Der Beitrag beschäftigt sich mit dem Vergleich bestimmter mechanischer Eigenschaften von Betonen nach der Abkühlung von hohen Temperaturen. Die untersuchten Betone wurden nach der gleichen Rezeptur hergestellt, es wurde nur die mineralogische Zusammensetzung des Zuschlagmaterials geändert, das im einem Fall aus Andesit, in einem weiteren aus Dolomit und im dritten Fall aus Flusskies bestand. Die Betonproben wurden auf hohe Temperaturen erwärmt, die mit Hinblick auf die Modellsituationen bei Havarien in einem Kernkraftwerk festgelegt worden waren. Durch Vergleich der mechanischen Eigenschaften wurde die Eignung der einzelnen Zuschlagstoffe für die Verwendung in den Betonen vor allem in Kernkraftwerken verfolgt.**

---



## • veletrhy

### Předběžná bilance



Letošní Stavební veletrhy v Brně se staly největší přehlídkou stavebnictví a navazujících oborů ve střední a východní Evropě. Komplex byl poprvé rozšířen o veletrhy ENVI-BRNO, New SIMET a projekt ELEKTRO. Nosným tématem ročníku a jeho doprovodného programu bylo rozšíření Evropské unie. Zúčastnil se rekordní počet 1 513 vystavovatelů. Mimořádně vzrostl zájem ze zahraničí: přibylo jak vystavovatelů, kteří zastupovali rekordních 22 zemí, tak i návštěvníků, kteří přijeli ze 42 zemí.

Pět dnů trvání akcí vyplnil nabitý program konferencí, seminářů, diskusních setkání a soutěží. K nejvýznamnějším patřilo Evropské stavební fórum na téma „Vzdělání a výzkum ve stavebním inženýrství v rozšířené EU“, XI. celostátní kongres starostů a primátorů ČR na téma „Důsledky přistoupení k EU pro města a obce“, mezinárodní konference „Problematika sociálního bydlení v ČR a EU“, mezinárodní panelová diskuse „Transatlantic Drift Debate“, 9. mezinárodní sympozium „Mosty“, konference „Den ocelových konstrukcí“, kongres „Ochrana před povodněmi“, konference „Technické zařízení budov ve 21. století“ a 7. den architektury s hosty z Norska a Nizozemí. Dvě velmi kvalitně navštívené doprovodné akce proběhly v rámci premiérového veletrhu ELEKTRO, a to konference „Inteligentní budovy“ a „Alternativní a obnovitelné zdroje energie“, kterou uspořádaly firma GiTy se Společností pro

techniku prostředí, a odborný seminář „Osvětlení a nová norma v praxi“.

Výjimečné postavení měl Mezinárodní veletrh pro tvorbu a ochranu životního prostředí ENVIBRNO s nosným třídenním doprovodným programem ENVIKONGRES 2004. Kongresu konaného s podporou ministerstev životního prostředí, průmyslu a obchodu a zemědělství se zúčastnilo na 400 odborníků, kteří jednali o zkušenostech s aplikací směrnice IPPC – nového systému povolování provozů z hlediska životního prostředí. Součástí veletrhu bylo také 14. evropské fórum pro výměnu informací o nejlepších dostupných technikách, kde se sešli zástupci všech členských i kandidátských zemí EU.

Stavební veletrhy Brno 2004 byly příležitostí k vyhlášení výsledků prestižních soutěží a předání řady ocenění, mimo jiné deseti Zlatých medailí veletrhů IBF, SHK BRNO a ELEKTRO, Ceny odborných novinářů, titulů Stavební firma roku 2003, cen TOP INVEST 2003, Výročních topeňářských cen 2004, Staveb Jihomoravského kraje 2003, cen Český interiér 2004 a Mostních děl roku 2002.

Atraktivní součástí veletrhů byla nabídka celoročně přístupného Stavebního centra EDEN 3000, do jehož prostor mohou vystavovatelé na dva měsíce zdarma umístit své expozice.

*Tisková informace*

Dům techniky Plzeň, s. r. o.,  
Sdružení výrobců kompozitů ČR  
spolu s odbornými organizacemi  
pořádají

### XXIII. mezinárodní konferenci **VYZTUŽENÉ PLASTY 2005**

**24. – 26. května 2005**  
**Karlovy Vary**

Cílem konference je seznámit účastníky s nejnovějšími poznatky z oblasti výzkumu, vývoje, zpracování a aplikací.

#### Tematické zaměření:

- epoxidové systémy a kompozity
- vyztužené termoplasty – materiály, technologie, aplikace
- kompozity ve stavebnictví a infrastrukturuře – stavební dílce, polymerbeton apod.
- kompozity v transportní technice
- nové postupy dimenzování a zkoušení konstrukčních prvků
- ekologická problematika při zpracování a použití

Zvláštní sekci budou tvořit firemní prezentace. Jednacími jazyky jsou čeština, slovenština, angličtina, němčina – simultánní překlad zajištěn. Příhlášky referátů s krátkým souhrnem (max. 15 řádek) je nutno zaslat organizačnímu výboru do 31.10.2004. Potvrzení o přijetí zašle pořadatel do 31.12.2004. Úplný text přijatých referátů pro vytištění ve sborníku musí být zaslán nejpozději do 28. 2. 2005.

V rámci konference bude uspořádána technická výstava surovin (pryskyřice, vyztuže a pomocné materiály), zpracovatelských strojů, zkušebních zařízení a výrobků.

#### Informace:

Dům techniky Plzeň, s. r. o., paní Věra Budárková, sady Pětatřicátníků 6,  
303 40 Plzeň, tel.: 377 224 816, fax: 377 237 115, e-mail: dumtech@mybox.cz

## • literatura



**Bašta, J.**

**Hydraulika a řízení otopných soustav**

252 s., 209 obr., 200 Kč, ISBN 80-01-02808-9

Tato publikace je první ucelenou knihou v oblasti hydrauliky a řízení otopných soustav v ČR. Tematika zasahuje jak obor vytápění a vzduchotechnika, tak obor regulace, resp. řízení. Kniha je určena pro technickou veřejnost z oboru Techniky prostředí – vytápění a regulace, projektanty, studenty a doktorandy.

**Haasz, V. – Sedláček, M.**

**Elektrická měření – přístroje a metody**

337 stran, 324 obrázky, druhé vydání, cena 195 Kč, ISBN 80-01-02731-7

Kniha nejdříve vysvětluje základní pojmy, které souvisejí s přesností měření a chyb přístrojů. V následující části jsou probrány principy a vlastnosti analogových a číslicových měřicích přístrojů a převodníků. Značná pozornost je věnována metodám měření aktivních a pasivních elektrických veličin a měřením magnetickým. Závěr díla tvoří pojednání o měřicích systémech a o měření neelektrických veličin. Dílo je určeno studentům elektrotechnických fakult, inženýrům a technikům v praxi, kteří se chtějí seznámit se současným stavem měřicí techniky.

**V roce 2004**

**slaví**

**VYDAVATELSTVÍ**

**Českého vysokého učení technického v Praze**

**40 LET SVÉ EXISTENCE.**

**Vydavatelství ČVUT zajišťuje**

pro studenty, zaměstnance,  
ale i širokou odbornou veřejnost  
výrobu učebních textů – skript a monografií,  
audiovizuálních a multimediálních programů,  
propagačních materiálů a univerzitních časopisů.

Všechny tyto produkty nabízí  
ve své prodejně technické literatury,  
která patří k největším v České republice.

Bližší informace na

**[www.cvut.cz/cz/parts/PH.html](http://www.cvut.cz/cz/parts/PH.html)**

nebo

**na tel.: 233 051 143**

**e-mail: [smoliko@vc.cvut.cz](mailto:smoliko@vc.cvut.cz)**

# STAVEBNÍ OBZOR

## ROČNÍK 13 ČÍSLO 07/2004

### Navigace v dokumentu

#### OBSAH

Makovička, D. – Makovička, D. jr. <b>Dynamická odezva stropní konstrukce na účinky nové technologie</b>	<b>193</b>
Sklenář, V. <b>Metodika zpracování programů regenerace prefabrikovaných objektů</b>	<b>200</b>
Novotný, R. <b>Přímé kruhové válcové skořepiny se šroubovicově anizotropním strukturováním materiálu pláště za membránové působnosti</b>	<b>208</b>
Ficker, T. – Podešvová, Z. <b>Neizotermická difúze vodních par v obvodových konstrukcích III</b>	<b>214</b>
Trgala, K. <b>Možnosti využití dřevní hmoty ve stavebnictví</b>	<b>218</b>

**7 • 2004**

**ročník 13**

# STAVEBNÍ OBZOR

pozemní stavby  
dopravní stavby  
vodohospodářské stavby  
geotechnika  
konstrukce a materiály  
technologie  
životní prostředí  
geodézie a kartografie  
mechanizace  
informatika  
ekonomika  
software



Fakulta stavební  
ČVUT v Praze



Česká komora autorizovaných  
inženýrů a techniků



Český svaz  
stavebních inženýrů



Fakulta stavební  
VUT v Brně



Fakulta stavební  
VŠB TU-Ostrava

**OBSAH**

Makovička, D. – Makovička, D. jr.

**Dynamická odezva stropní konstrukce na účinky nové technologie . . . . . 193**

Sklenář, V.

**Metodika zpracování programů regenerace prefabrikovaných objektů . . . . . 200**

Novotný, R.

**Přímé kruhové válcové skořepiny se šroubovicově anizotropním strukturovaním materiálu pláště za membránové působnosti . . . . 208**

Ficker, T. – Podešvová, Z.

**Neizotermická difúze vodních par v obvodových konstrukcích III . . . . . 214**

Trgala, K.

**Možnosti využití dřevní hmoty ve stavebnictví . . . . . 218**

**CONTENTS**

Makovička, D. – Makovička, D. jr.

**A Dynamic Response of the Floor Structure to the Effects of a New Technology . . . . . 193**

Sklenář, V.

**Methodology of the Design of Regeneration Programmes of Prefab Buildings . . . . . 200**

Novotný, R.

**Direct Round Cylindrical Shells with Non-Isotropic Helix-Structured Material of the Skin in Membrane Action . . . . . 208**

Ficker, T. – Podešvová, Z.

**Non-Isothermic Water Vapour Diffusion in Peripheral Structures III . . . . . 214**

Trgala, K.

**Wood Mass Usage in Construction Industry in the Czech Republic . . . . . 218**

**INHALT**

Makovička, D. – Makovička, D. jr.

**Dynamische Antwort einer Deckenkonstruktion auf die Einwirkungen einer neuen Technologie . . . . . 193**

Sklenář, V.

**Methodik zur Erarbeitung von Programmen zur Regenerierung von Fertigbauobjekten . . . . . 200**

Novotný, R.

**Gerade Kreiszyinderschalen mit schraubenlinienförmig anisotropem strukturiertem Material der Hülle bei Membranwirkung . . . . . 208**

Ficker, T. – Podešvová, Z.

**Nichtisothermische Diffusion von Wasserdämpfen in Außenwandkonstruktionen III . . . . . 214**

Trgala, K.

**Möglichkeiten der Anwendung von Holz im Bauwesen in der Tschechische Republik . . 218**

**REDAKČNÍ RADA****Předseda:**

prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.

**Místopředseda:**

doc. Ing. Alois MATERNA, CSc.

**Členové:**

Ing. Miroslav BAJER, CSc.  
doc. Ing. Pavel HÁNEK, CSc.  
Ing. Jiří HIRŠ, CSc.  
Ing. Ivan HRDINA  
doc. Ing. Vladimír JELÍNEK, CSc.  
doc. Ing. Miroslav KAUN, CSc.  
Ing. Jana KORYTÁROVÁ, PhD.  
Ing. Karel KUBEČKA  
Ing. Petr KUNEŠ, CSc.  
doc. Ing. Ladislav LAMBOJ, CSc.

doc. Ing. Ivan MOUDRÝ, CSc.  
doc. Ing. Jaroslav NOVÁK, CSc.  
doc. Ing. Luděk NOVÁK, CSc.  
doc. Ing. Miloslav PAVLÍK, CSc.  
prof. Ing. J. PROCHÁZKA, CSc.  
doc. Ing. Vlastimil STARA, CSc.  
Ing. Karel SVOBODA  
doc. Ing. Josef VITÁSEK, CSc.  
prof. Ing. Jiří WITZANY, DrSc.  
Ing. Renata ZDAŘILOVÁ

**STAVEBNÍ OBZOR**, odborný měsíčník, vydává Fakulta stavební ČVUT Praha společně s Fakultou stavební VUT Brno, Fakultou stavební VŠB TU Ostrava, Českou komorou autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě a Českým svazem stavebních inženýrů. Řídí redakční rada, vedoucí redaktorka Marcela Klímová. Adresa redakce: Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel./fax: 224 354 596, klimova@fsv.cvut.cz, http://web.fsv.cvut.cz/obzor. Vychází každý měsíc kromě července a srpna, cena za výtisk je 40 Kč včetně DPH (+ poštovné a balné). Objednávky odběru i reklamace přijímá Ing. Milan Gattringer, MG DTP, Borovanská 3388, 143 00 Praha 4, tel./fax: 241 770 220, e-mail: mgdtp@volny.cz. Odběr je možné zrušit až po vyčerpání zaplaceného předplatného. Inzerce adresujte redakci. Technická redakce a realizace: Ing. Milan Gattringer. Podávání novinových zásilek povoleno Ředitelstvím pošt Praha, č. j. NP 144/1994, ze dne 21. 10. 1994. Do sazby 10. 8. 2004. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

## Dynamická odezva stropní konstrukce na účinky nové technologie

doc. Ing. Daniel MAKVIČKA, DrSc.

ČVUT – Kloknerův ústav  
Praha

Ing. Daniel MAKVIČKA, jr.

Statika a dynamika konstrukcí  
Kutná Hora

Příspěvek je věnován analýze dynamické odezvy konstrukce starší výrobní budovy osazené novou technologickou linkou, sestávající z řady mechanismů s posuvným a rotačním pohybem. Analýza je zaměřena na omezení vibrací podlahové konstrukce pod linkou a v jejím okolí od dynamických účinků nové technologie. Výsledky měření časových průběhů vibrací na konstrukci budovy jsou využity pro dynamický přepočet konstrukce při obecném průběhu zatížení od nové technologické linky. Cíle teoreticko-experimentální analýzy jsou zaměřeny na stanovení prognózy kmitání konstrukce a posouzení efektivnosti její případné rekonstrukce.

### Úvod

Při výměně nebo osazování nových zařízení s dynamickými účinky do starších konstrukcí je nutné řešit otázku, zda je nutné stávající stropní konstrukci ztužit, anebo ji ponechat v původním stavu bez rekonstrukce tak, aby dynamické účinky vyvozené novým zatížením byly v bezpečných mezích. Cílem analýzy je tedy zpravidla stanovení rezerv ve statické únosnosti stropní konstrukce pod novou linkou a vymezení rezerv potřebných k přenesení dynamických účinků všech mechanismů nové linky včetně hodnocení statické a dynamické odezvy nosné konstrukce výrobní budovy nutné pro bezpečný a spolehlivý provoz nové technologie.

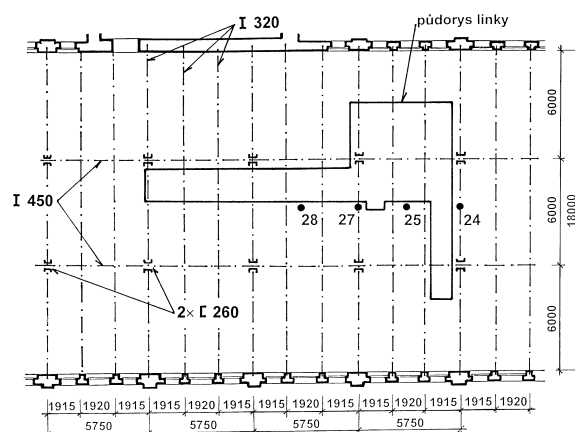
Výpočtové variantní rozvahy pro instalaci nových linek je zpravidla výhodné doplnit měřením odezvy konstrukce na účinky konkrétní linky, pokud je již ve zkušebním provozu, anebo je možné měřit účinky stejné nebo podobné linky na jiné konstrukci. Nezbytným předpokladem pro stanovení statické a dynamické odezvy konstrukce je dostupnost kvalitních podkladů o vlastní lince a také o konstrukci, kde má být instalována. Tyto podklady však nebývají úplné jak z hlediska zatěžovacích údajů o nové lince, tak o stavební konstrukci, často chybějí údaje o pevnostní třídě betonu, vyztužení konstrukce, použité oceli apod.

V případě, že jde o technologické linky sestávající z několika stejných strojů nebo mechanismů, jsou rozvahy o stanovení jejich účinků zpravidla jednodušší, neboť dynamické účinky jednoho rotačního stroje nebo textilního stavu, který se v lince opakuje, lze stanovit měřením, rozvahou o kinematickém pohybu stroje apod. Složitější případ nastává, pokud se v lince opakují mechanismy s odlišnými otáčkami

rotorů, s posuvným pohybem dopravníků a třídíčů, s rotačním (trhavým) pohybem razníků apod. Takové linky odpovídají papírenským strojům, linkám na výrobu zápalek, hračkářských provozů apod. V našem případě je tato problematika řešena na příkladu nové sirkařské linky.

### Popis konstrukce

Výrobní budova je vícepodlažní konstrukce s vnitřním ocelovým skeletem stropů a vnitřních sloupů a s nosným obvodovým cihelným zdívem. Nová linka je umístěna v patře na stropní konstrukci z ocelových nosníků uložených na vnitřních ocelových sloupech. Podlahovou konstrukci v tomto podlaží tvoří na nosnících nadbetonovaná deska tloušťky 90 mm, která je součástí nosné konstrukce stropu. Nosníková soustava podlahové/stropní konstrukce druhého podlaží je tvořena ocelovými průvlaky I 450 v podélném směru a ocelovými trámy I 320 v příčném směru s roztečemi podle obr. 1. Zespu je podepřena sloupy profilu  $2 \times U 260$ . Shora na tuto soustavu vodorovných nosníků navazují sloupy s profilem  $2 \times U 180$ . Pod nejvíce staticky zatíženou částí linky byl dodatečně vložen roznašecí ztužující rošt z profilů I 260.



Obr. 1. Přodorysné schéma podlaží s novou linkou a vyznačením vybraných stanovišť 24 až 28

Na nosníkové soustavě stropu spočívá sprážená železobetonová deska tloušťky 90 mm, do které jsou částečně zabetonovány horní pásnice příčných trámů I 320. Výkresová nebo popisná dokumentace spráhovací výtzuže mezi ocelovými trámy a železobetonovou deskou se nedochovala, stejně tak ani výtzuže této desky.

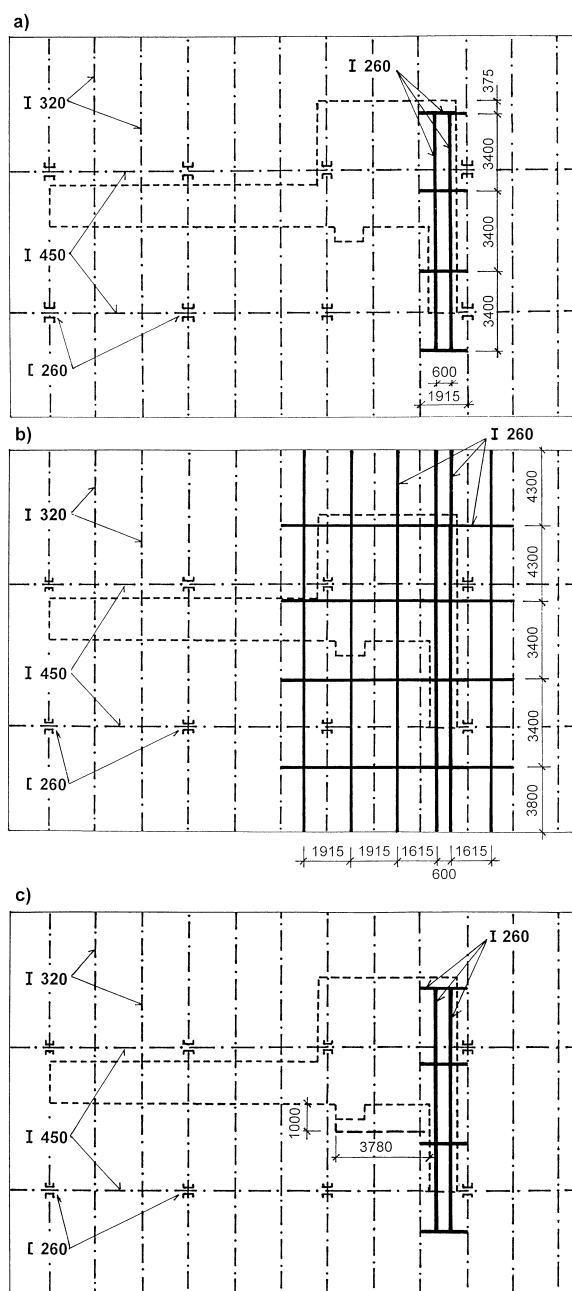
Základový rám nové linky je uložen na železobetonové desce stropu a je zalit vrstvou betonu o tloušťce 140 mm bez další výztuže. Tvorní jej ocelové lyžiny ve tvaru obráceného písmene U (dodávanými výrobcem linky), které jsou v zadní části stroje nahrazeny válcovanými profily U (položenými na plochu). Vlastní tělo stroje spočívá na lyžinách základového rámu prostřednictvím ocelových opěr – sloupků. Profily základového rámu a jejich umístění v nadbetonávce včetně statického zatížení od hmotnosti a provozní náplně linky, jimiž stroj působí do podkladové konstrukce, byly převzaty ze statického zatěžovacího schématu dodaného výrobcem linky.

Výpočetní model konstrukce stropního podlaží byl tedy navržen tak, aby respektoval dostupné znalosti o nové lince i starší konstrukci výrobní budovy. Z hlediska úrovně zatížení v jednotlivých podlažích výrobní budovy je dominantním zatížením, a to jak statickým, tak dynamickým, právě nová linka. Vzhledem k tomu, že zatížení ostatních podlaží budovy je v porovnání s novou linkou značně menší, byl výpočetní model založen pouze na geometrii druhého podlaží včetně sloupů nad tímto podlažím i pod ním. Toto zjednodušení znamená, že vnitřní síly a napětí ve sloupech nad druhým podlažím i pod ním s novou linkou zahrnují pouze příčinek sil a napětí od zatížení tohoto podlaží.

Hmotnost jednotlivých částí stroje, odpovídající statickému zatížení, byla do výpočtového modelu zahrnuta soustředěnými hmotami, zjednodušeně umístěnými na úrovni střednicové plochy nadbetonávky v místě opěr linky (tyto body jsou patrné na kmitající stropní konstrukci na obr. 6 – zvláště černé body). Tuhost jednotlivých částí mechanismů včetně skutečného prostorového rozmístění setrvačných hmot nebyla v dokumentaci linky uvedena, a nebylo ji tedy možné zahrnout do výpočtového modelu např. podle zjednodušeného kinematického schématu linky. Výrobce dále ve svých podkladech neuváděl žádné údaje o dynamických účincích, což bývá u řady technologií častý případ. Přesto však zařízení tohoto typu dynamické účinky obvykle mívají, a zvláště u starších stropních, zpravidla lehkých konstrukcí, mohou být pro jejich namáhání významné. Projektant uvažoval pouze s jejím statickým působením a rozhodl se stropní konstrukci pod částí linky ztužit dodatečným roštem z profilů I 260 (model č. 1 – obr. 2a).

Obvodové zdivo, které je v porovnání s ocelovou konstrukcí relativně robustní, bylo ve výpočtovém modelu nahrazeno příslušnými okrajovými podmínkami stropní konstrukce. Vnitřní sloupy jsou na svých koncích nad podlažím a pod ním uloženy kloubově s možností pootáčení okolo obou horizontálních os. Kontakt mezi sloupovými prvky a ocelovými nosníky stropní konstrukce byl uvažován jako tuhý. Průvlaky I 450 v podélném směru mají tuhý kontakt pouze s příčnými trámy a na svých koncích jsou kloubově uloženy v obvodovém zdivu. Příčné trámy I 320 jsou uloženy na průvlacích s horní přírubou zabetonovanou do stropní desky bránící vybočení, na koncích jsou kloubově uloženy v obvodových podélných stěnách. Vzhledem k jejich částečnému zabetonování do stropní desky nebyla uvažována možnost jejich vybočení v důsledku vzpěru nebo klopení.

Podle stáří konstrukce a projekčních zvyklostí v době výstavby výrobní budovy bylo možné usoudit, že materiál železobetonové stropní desky je z betonu B170 (přesnější údaj nebyl znám). Pro stropní desku v místech zálivky byla ve výpočetním modelu upravena hodnota měrné hmotnosti betonu tak, aby model svou tuhostí odpovídal desce o tloušťce 90 mm (zálivka nebyla vyztužena ani spřažena s betonovou stropní deskou) a hmotností dvojicí desky a zálivky, tj. 90 +



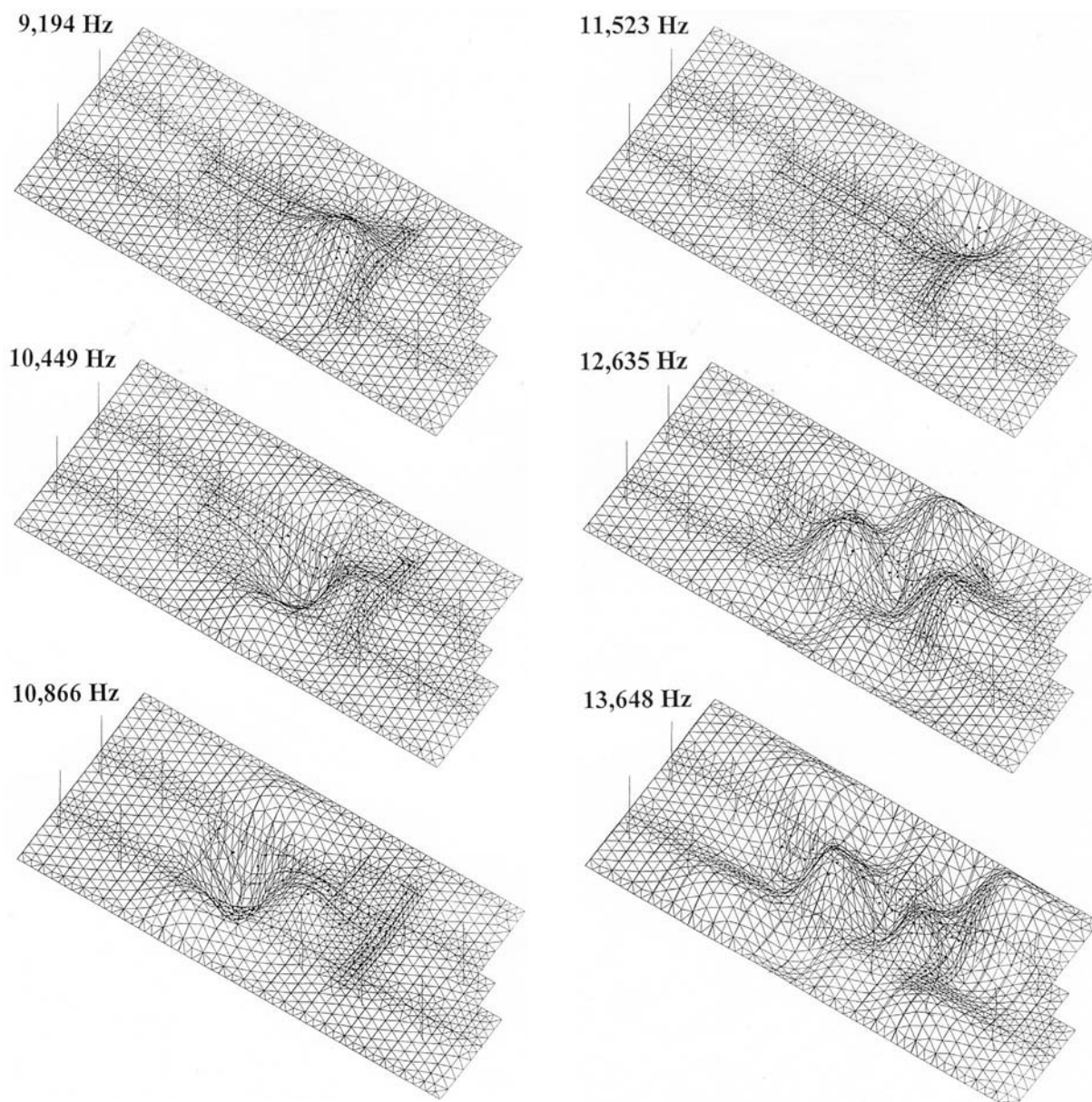
Obr. 2. Tvar stropu pro výpočetový model se zakreslením obvodu zálivky linky

a) č. 1 – ztužení mezi příčnými trámy doplněné výztužným roštem z profilů I 260 (návrh projektanta); b) č. 2 – doplněné ztužení v dalších polích z profilů I 260, ztužující profily protaženy až do obvodového zdiva; c) č. 3 – zvětšení přitížení stropu s doplněným výztužným roštem (podle modelu č. 1) dalším rozšířením zálivky

+ 140 mm. Stropní deska byla uvažována po obvodu kloubově osazená na obvodovém cihelném zdivu budovy. Lyžiny základového rámu jsou tuze spojeny se stropní deskou a jejím prostřednictvím i s příčnými trámy. V místech mimo novou linku bylo podle specifikace uživatele konstrukce na podlažích druhého podlaží předpokládáno užité zatížení 3 kN/m<sup>2</sup>.

### Dynamické zatížení od nové linky

Vzhledem k tomu, že v podkladech výrobce nebyly uvedeny dynamické budič síly a linka již byla instalována, bylo



Obr. 3. Vlastní tvary kmitání stropu v oblasti dominantních budících frekvencí (vypočteno pro model č. 1)

rozhodnuto ověřit měřením její dynamické účinky. Podle výsledků měření je buzení podkladní podlahové konstrukce výslednicí působení řady sil a momentů, které vznikají v důsledku posuvného pohybu nebo otáčení mechanických částí sirkařského stroje a jeho pohonů. Podrobná analýza jednotlivých mechanismů by byla časově velmi náročná, a proto byla zvolena možnost využití maximálního naměřeného zrychlení (časová funkce buzení na obr. 4) na podlaze v okolí linky při plném provozu ke zjednodušené simulaci skutečných budících sil od stroje. Souprava BMC (výrobce BMC Berlin) umožnila digitalizovaný zápis v programu NextView/NT s dalším možným vyhodnocením časového průběhu naměřených veličin. Maximální zrychlení bylo naměřeno ve svislém směru na stanovišti ve střední části linky (na obr. 1 označeno číslem 27), a proto pro výpočet dynamické odezvy stropu byl použit záznam vertikálního kmitání jako časová charakteristika buzení. Časový průběh zrychlení byl normalizován a jako časová funkce buzení přiřazen dynamickému zatížení 1 kN (rozděleno  $2 \times 0,5$  kN – symetricky k podélné ose linky).

Z porovnání vypočtené odezvy na toto jednotkové buzení s naměřenou charakteristikou lze přibližně odhadnout amplitudu budící síly sirkařského stroje. Přibližnost řešení spočívá v tom, že by bylo správnější přiřadit těžištím jednotlivých pohybujících se součástí stroje amplitudy budících sil, jejich vzájemné fázové posuny, a samozřejmě odlišné časové funkce. To ovšem představuje výrazné rozšíření výpočtové analýzy, pro které nebylo ani dost podkladů o lince, ani to neodpovídalo účelu analýzy, tj. posoudit způsob rekonstrukce.

### Výpočetní modely konstrukce

Pro výpočet byly použity výpočtové modely označené čísly 1 až 3 (obr. 2). Geometrické tvary modelované konstrukce, zahrnuté do výpočetních modelů celého podlaží, jsou uvedeny na obr. 2. Výpočtový model č. 1 odpovídal představě projektanta, při použití vloženého ztužujícího roštu z profilů I 260 pod příčnou částí linky. Tento model byl použit pro výpočet odezvy na statická, a následně i dyna-



mická zatížení. Model č. 2 (obr. 2b) má doplněné ztužení i do dalších částí pod linkou. Stávající ztužení (podle modelu č. 1) i nové ztužení nosníky I 260 v dalších polích konstrukce je protaženo na obou stranách až k obvodovým zděm budovy. Konečně model č. 3 (obr. 2c) se liší od modelu č. 1 pouze rozšířením nadbetonávky stropní desky s tloušťkou 140 mm o cca 1 m v místech, kde jsou vibrace největší. Cílem této variantně řešené úpravy bylo zvýšení hmotnosti stropu jako jedna z možností zklidnění vibrací – jeho smyslem je pouze další přetížení konstrukce pro hodnocení možností omezení vibrací, bez jakéhokoli dalšího ztužování stropu (s výjimkou ztužení provedeného projektantem – model č. 1). Základní představu o dělení konstrukce na konečné prvky ve výpočtových modelech ukazují obr. 3 a obr. 6.

### Odezva konstrukce na statická zatížení

Pro posouzení úrovně namáhání nosné konstrukce stropu od dynamického zatížení novou linkou, resp. stanovení rezervy v únosnosti zejména ocelových nosníků stropu, byl proveden výpočet odezvy stropu na kombinace statických zatížení od vlastní tíhy stropu, statického zatížení od nové linky a užitého zatížení podlah v podlaží s novou linkou. Dílčí výsledky statického výpočtu jsou vzhledem k zaměření článku nezajímavé. Nicméně maximálního průhybu od kombinace statických zatížení 3,7 mm je dosaženo na příčných trámech I 320, což podle normy [7] s dostatečnou rezervou splňuje požadavky. Využití ocelových stropních nosníků při kombinaci statických zatížení dosahuje:

- u průvlaků I 450 ..... 39,9 %,
- u trámů I 320 ..... 42,2 %,
- u trámů I 260 ..... 21,5 %.

Z uvedených údajů je zřejmé, že ocelová konstrukce podlaží s novou linkou s dostatečnou rezervou vyhovuje zatížení od kombinace statických zatěžovacích stavů.

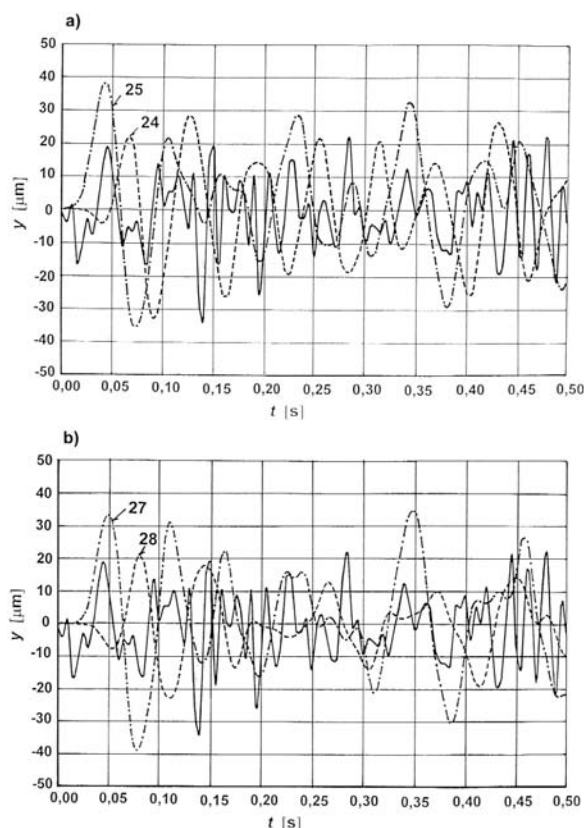
Tab. 1. Vlastní frekvence kmitání stropního podlaží pod novou linkou [Hz]

Číslo vlastního tvaru	Výpočtové modely konstrukce		
	č. 1	č. 2	č. 3
1	<b>9,194</b>	10,756	8,961
2	<b>10,449</b>	10,842	10,416
3	<b>10,866</b>	11,359	10,864
4	<b>11,523</b>	13,657	11,515
5	<b>12,635</b>	13,828	12,577
6	<b>13,648</b>	–	–
vyšší tvary (pro model 1)	<b>14,056</b>	<b>14,056</b>	<b>14,370</b>
	<b>14,958</b>	<b>15,091</b>	<b>15,208</b>
	<b>15,343</b>	<b>15,440</b>	<b>15,738</b>
	<b>14,523</b>	<b>14,787</b>	
	<b>15,265</b>	<b>15,303</b>	
	<b>15,861</b>	<b>16,441</b>	

V podkladové dokumentaci chyběla i sdělení o vyztužení betonové desky, a proto ji nebylo možné podle platných norem posoudit. Nicméně z mezních průhybů (do 4 mm odezvy podle výsledků statického výpočtu) lze usuzovat, že je dostatečně únosná. Rovněž při vizuální prohlídce nejevila známky porušení, což svědčilo o její přiměřené únosnosti.

### Odezva konstrukce na dynamické zatížení

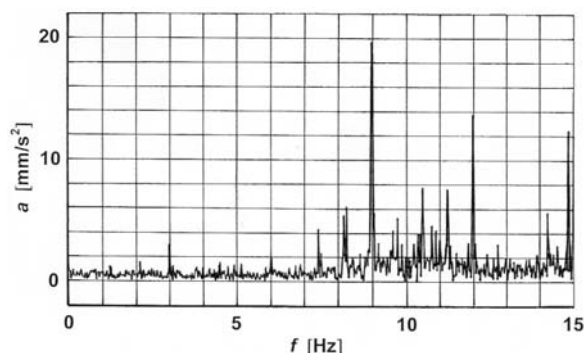
Výpočet vlastního kmitání je užitečný pro posouzení úrovně naladění konstrukce na dominantní budící účinky výrobní linky. Časový průběh buzení (obr. 4) má náhodný charakter. I přesto lze z naměřené odezvy stropní konstrukce



Obr. 4. Budící časová funkce zjištěná měřením na konstrukci (plně) a jí odpovídající vypočtený časový průběh kmitání ve vybraných bodech pro model č. 1 (přerušovaně)  
a – v bodech 24 a 25, b – v bodech 26 a 27 (podle obr. 1)

pod linkou vysledovat, že dominantní buzení od linky leží v okolí 10 až 12 Hz a odpovídá jednotlivým otáčkovým pohonům nejrůznějších mechanismů. Nejnižší vypočtené vlastní frekvence kmitání stropu jsou přehledně uvedeny v tab. 1 a na obr. 3 pro jednotlivé výpočtové modely, resp. pro možné způsoby rekonstrukce stropu.

Spektrum vlastních tvarů kmitání podlahové konstrukce je velmi husté; jednotlivé vlastní frekvence následují za sebou v odstupech desetin hertzů. Vypočtené spektrum FFT (Fast Fourier Transformation) z naměřených zrychlení na stanovišti 27 podle obr. 1 je uvedeno na obr. 5. Jestliže po-



Obr. 5. Spektrum FFT naměřených vertikálních zrychlení pohybu v bodu 27 (podle obr. 1)

rovnáme rozumné úpravy podlahové konstrukce (pro omezení vibrací), tj. ztužení v několika polích mezi příčnými trámy v nejvíce zatížené části stropu (model č. 2), nebo naopak přetížení konstrukce další nadbetonávkou (model č. 3), pak tyto relativně malé úpravy vedou k poměrně nevýznamné

změně velikosti vlastních frekvencí. Již z této skutečnosti vyplývá, že podstatné omezení vibrací podlahové konstrukce pod linkou a v jejím okolí je problematické.

Další poznatky o efektivnosti ztužení nebo přitížení konstrukce (to je možné vzhledem k dostatečné rezervě ve statické zatížitelnosti stropu) může poskytnout dynamický výpočet odezvy stropu pro obecný časový průběh budící síly (případně síl). Byl modelován jako obecný časový průběh s využitím naměřeného průběhu zrychlení ve vertikálním směru na stanovišti 27 (obr. 1). Útlum stropní konstrukce pro tento způsob výpočtu byl zaveden jako Rayleighův útlum, tedy pomocí součinitele  $\alpha$  při matici hmotnosti soustavy a součinitele  $\beta$  při matici tuhosti. Velikost těchto součinitelů lze přibližně stanovit podle nejnižší vlastní kruhové frekvence a příslušného poměrného útlumu soustavy. Pro vyšší vlastní frekvence je útlum zpravidla větší – zavedení odlišných součinitelů útlumu výpočtový program neumožňuje. U ocelových konstrukcí v kombinaci s betonovou deskou je poměrný útlum konstrukce na nejnižší vlastní frekvenci zpravidla 3 %.

$$D = 0,03,$$

$$\alpha = D \cdot \omega_{(1)} = 0,05 \cdot 2 \pi \cdot 9,194 = 1,733,$$

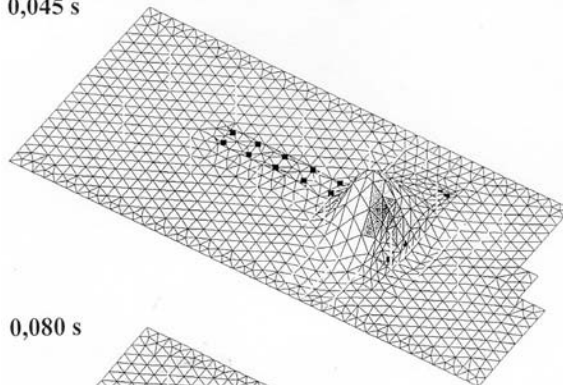
$$\beta = D / \omega_{(1)} = 0,05 / (2 \pi \cdot 9,194) = 0,00052.$$

Výpočet vynuceného kmitání byl proveden pro všechny tři výpočtové modely. Výsledky časových průběhů ve vybraných bodech pro model č. 1 jsou vyneseny na obr. 4 a pro celou stropní konstrukci i v prvních třech časových krocích na obr. 6. Postup výpočtu amplitud kmitání na obr. 4 a obr. 8 sestával ze dvou kroků. Nejprve byl vypočten časový průběh kmitání od účinků jednotkového zatížení (resp.  $2 \times 0,5$  kN) s normalizovanou budící funkcí. Na tento krok navazoval další, při kterém vypočtené výchylky časových průběhů kmitání byly lineárně vynásobeny součiniteli, odpovídající poměru naměřených a vypočtených kmitání při jednotkovém buzení. To znamená, že součinitele vyjadřují (zjednodušeně) vlastně skutečnou velikost budící síly nové linky (v našem případě pouze dominantní síly v přední části linky – podle způsobu odvození úrovně buzení), která naměřené vibrace vybudí. Velikost těchto součinitelů, a následně i velikost odezvy ve výchylkách pro jednotlivé modely případné rekonstrukce, je uvedena v tab. 2. Úroveň kmitání pro stávající uspořádání konstrukce je označena pro maximální výkmit v příslušném směru  $\pm z$  hodnotou 100 %. Vliv ztužení nebo přitížení hmotou pak vyjadřuje v procentech velikost změny ve výkmitech v porovnání s dosavadním stavem. Na obrázku 6 jsou porovnány tvary kmitání celého podlaží v okamžicích dosažení maximálních vypočtených časových průběhů výchylek na sledovaném stanovišti 25 (v čase 0,045 s), stanovišti 27 (v čase 0,080 s), a konečně stanovišti 24 (v čase 0,125 s). Z jednotlivých tvarů kmitání je zřejmá poddajnost celé podlahové konstrukce pod novou linkou.

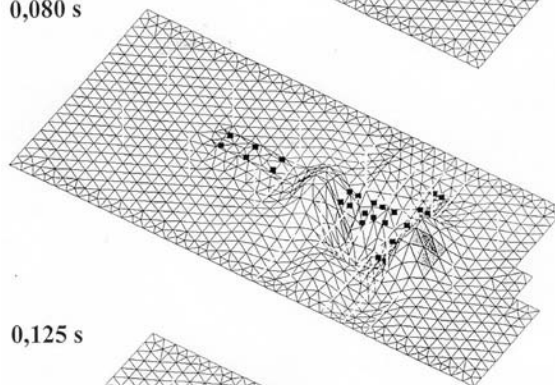
Výsledky výpočtu prognózy kmitání v tab. 2 umožňují posoudit spolehlivost stavební konstrukce podle norem pro navrhování, spolehlivost instalované linky podle dispozic výrobce nebo zkušeností uživatele, a konečně i vliv vibrací na zdraví, popř. únavu obsluhy podle hygienických předpisů. Toto konkrétní posouzení je zpravidla součástí projekčního posouzení a z hlediska tematiky článku je relativně nevýznamné. Naopak, porovnání různých variant řešení konstrukce (ztužení nebo přitížení) na výslednou prognózu kmitání konstrukce po těchto úpravách je významné pro rozhodování o instalaci linky. V běžné projekční praxi je vžitý názor, že „jestliže konstrukce nadměrně, nebo podle mínění uživatele nadměrně, kmitá, je nutné ji ztuzit“.

Z hlediska dynamiky konstrukcí však může být užitečné v některých případech konstrukci pouze přitížit jistým, na základě výpočtu vhodně zvoleným přitížením (z hlediska člověka bez jakékoli nebo pouze s malou znalostí dynamiky „zbytečným“ zatížením).

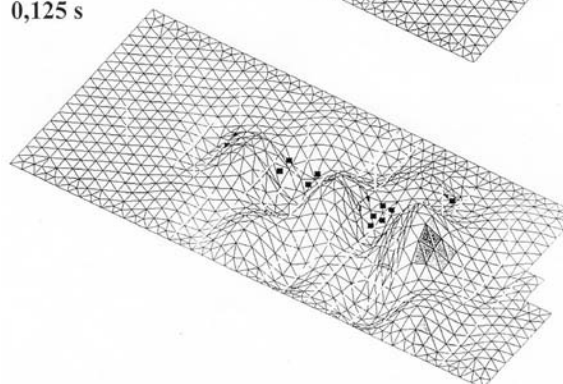
0,045 s



0,080 s



0,125 s



Obr. 6. Vypočtená odezva stropní konstrukce ve vybraných časových krocích pro model č. 1 (vypočteno pro zatěžovací křivku podle obr. 4, pro rozběh linky)

Z porovnání výsledků v tab. 2 je zřejmé, že ztužení nebo přitížení konstrukce v případě relativně poddajné konstrukce s velmi hustým spektrem vlastních frekvencí v podstatě nevede k cíli – tedy k významnému omezení vibrací kmitající konstrukce. Naopak, některé úpravy (ztužení) mohou vést dokonce ke zvýšení kmitání v důsledku přiblížení vlastních frekvencí stropu budícím frekvencím linky. Z tabulky dále vyplývá, že dokonce původní ztužení konstrukce jednoduchým roštem, navržené projektantem osazení linky, nemělo významný vliv na omezení vibrací, neboť posun vlastních frekvencí po frekvenční ose v důsledku mírného ztužení podlahy, nebo naopak jejího přitížení, je minimální. Protože spektrum buzení (obr. 3, tab. 1) je velmi husté, je v podstatě vyloučené dosáhnout toho, aby se vlastní frekvence posunuly do oblastí mimo špičky buzení, takže mírným posunem vlastních frekvencí (v důsledku ztužení nebo přitížení podlahy) dojde pouze k přeladění konstrukce a k rezonančnímu navýšení další vyšší frekvence.

Tab. 2. Vypočtená maximální dynamická výchylka stropní konstrukce ve vertikálním směru pro jednotlivé výpočtové modely, charakterizující stav případné rekonstrukce stropu

Měřené stanoviště na konstrukci (obr. 1)		24	25	27	28
naměřený výkmit [ $\mu\text{m}$ ] (přepočtený ze zrychlení vibrací)		32,8	37,5	38,7	22,9
vypočtený výkmit [ $\mu\text{m}$ ] pro model č. 1 – stávající stav –	ve směru +z	28,63	37,49 ~ 100 %	34,36	20,98
	ve směru –z	-32,81 ~ 100 %	-35,41	-38,69 ~ 100 %	-22,90 ~ 100 %
vypočtený výkmit [ $\mu\text{m}$ ] pro model č. 2 – ztužení –	ve směru +z	43,08	30,01	43	25,80 ~ 113 %
	ve směru –z	-46,01 ~ 161 %	-31,49 ~ 84 %	-43,99 ~ 114 %	-25,05
vypočtený výkmit [ $\mu\text{m}$ ] pro model č. 3 – přitížení hmotou –	ve směru +z	29,53	39,02 ~ 104 %	32,96	20,49
	ve směru –z	-31,55 ~ 96 %	-37,73	-36,83 ~ 95 %	-21,43 ~ 94 %

### Další možnosti řešení

Řešením pro snížení kmitání konstrukce od účinků nové linky pro danou konkrétní konstrukci výrobní budovy by bylo výrazné snížení vlastních frekvencí konstrukce podlaží s novou linkou do oblasti v okolí 4 až 6 Hz. Toho lze dosáhnout výrazným přitížením (zvětšením hmotnosti) konstrukce – to však není realizovatelné, neboť lehká ocelová stropní konstrukce by toto značné přitížení staticky nepřenesla. Dalším možným řešením je výrazné ztužení konstrukce tak, aby se vlastní frekvence konstrukce přesunuly cca nad 20 Hz a nebyly v rezonanci s budicími frekvencemi linky v okolí 10 až 17 Hz. Tohoto výrazného ztužení lze dosáhnout např. vybudováním masivního železobetonového stropu, ale nikoli na poddajné nosníkové konstrukci. Obě úpravy jsou investičně značně náročné a je třeba uvážit i jednodušší řešení, pokud by bylo nutné, např. přesunutí linky do nižšího podlaží a vybudování samostatného základu nebo osazení dynamických tlumičů–pohlcovačů kmitání (zavěšené hmoty na spodní straně stropu na pružinách kmitající v protifázi s buzením linky) do konstrukce pod linkou.

Vzhledem k tomu, že statický i dynamický výpočet konstrukce stropu prokázal bezpečnost i spolehlivost konstrukce pod linkou i na poddajném stropu, není jeho rekonstrukce v tomto případě nevyhnutelná.

### Závěr

Statickým a dynamickým výpočtem ocelových nosných prvků starší konstrukce výrobní budovy, ve které je osazena nová technologická linka, bylo prokázáno, že vzhledem k jejím statickým i dynamickým účinkům je bezpečná a spolehlivá, i když velikost vibrací stropu je na hranici možného vzniku únavy pro obsluhu linky. Statické namáhání konstrukce je dostatečně nízké, takže při souběhu statických i dynamických namáhání není ohrožena její bezpečnost. Na základě stanovené rezervy v namáhání nosných prvků konstrukce pro přenesení dynamických účinků (včetně únavového namáhání) je možné rozhodnout o variantách řešení.

Výsledkem staticko-dynamické analýzy konstrukce může být i konstatování, že její jednoduché úpravy (další částečné ztužení nebo změkčení – přitížení konstrukce) k významné-

mu omezení vibrací konstrukce nevedou, resp. znamenají jen přesun maximálních vibrací z jednoho stanoviště o několik metrů dále. Dokonce se ukazuje, že vhodnějším řešením by bylo pouhé přitížení konstrukce než nákladná rekonstrukce pomocí vložených roštů.

**Článek byl zpracován v rámci projektu č. 103/03/0082 GA ČR „Nelineární odezva konstrukcí při mimořádných zatíženích a zatíženích způsobených pohybem člověka“, výzkumného záměru MŠMT: J04/98/210000029 „Rizikové inženýrství a spolehlivost technických systémů“ a vycházel z praxe.**

### Literatura

- [1] ČSN 73 0032 Výpočet stavebních konstrukcí zatížených dynamickými účinky strojů. ČSNI, 1978.
- [2] ČSN ISO 14964 (01 1403) Vibrace a rázy – Vibrace stacionárních konstrukcí – Specifikace požadavků na zajištění jakosti při měření a vyhodnocení vibrací. ČSNI, 2001.
- [3] ČSN ISO 2631 – 1, 2, 3 (01 1405) Hodnocení expozice člověka celkovým vibracím, Část 1: Všeobecné požadavky, Část 2: Nepřerušované vibrace a rázy v budovách (1 až 80 Hz), Část 3: Hodnocení expozice celkovým vertikálním vibracím, osa z, v kmitočtovém rozsahu 0,1 až 0,63 Hz. ČSNI, 1993.
- [4] Makovička, D. – Bohdanecký, V. – Novák, P. – Tůma, J.: Výpočet stavebních konstrukcí zatížených dynamickými účinky strojů. ÚNM, 1980.
- [5] Makovička, D. – Šmejkal, J. – Makovička, D.: Analýza statické způsobilosti rozestavěné železobetonové budovy. Stavební obzor, 8, 2000, č. 2, s. 37–42.
- [6] Makovička, D. – Makovička, D.: Simplification of Structural Analysis Versus Real Characteristics of a R.C. Frame Structure, In: 3rd Int. Conference on Concrete and Concrete Structure, University of Žilina, 2002, pp. 335–340.
- [7] ČSN 73 1401 Navrhování ocelových konstrukcí (čl. 5.2.1.2). ČSNI, 1998.

Makovička, D. – Makovička, D. jr.: A Dynamic Response of the Floor Structure to the Effects of a New Technology

This paper analyzes the dynamic response of the structure of an older production building with a new technological production line consisting of a number of mechanisms with an advanced and rotary motion. The analysis is focused on the reduction of vibrations of the floor structure below the line and in its vicinity from the dynamic effects of the new technology. The results of measurements of time behaviour of vibrations in the structure of the building are used for the dynamic conversion of the building structure with general time behaviour of the load from the new technological line. The theoretical and experimental analysis is aimed to suggest a prognosis of the structure's vibration and assessment of the effectiveness of its potential reconstruction.

Makovička, D. – Makovička, D. jr.: Dynamische Antwort einer Deckenkonstruktion auf die Einwirkungen einer neuen Technologie

Der Beitrag behandelt die Analyse der dynamischen Antwort der Konstruktion eines älteren Produktionsgebäudes, in das eine neue technologische Linie eingebaut worden ist, die aus einer Reihe von Mechanismen mit schiebender und rotierender Bewegung besteht. Die Analyse ist auf die Begrenzung der von den dynamischen Wirkungen der neuen Technologie bewirkten Vibrationen der Fußbodenkonstruktion unter dieser Linie und in ihrer Umgebung gerichtet. Die Ergebnisse der Messung der zeitlichen Abläufe der Vibrationen an der Konstruktion des Gebäudes werden für die dynamische Umrechnung der Konstruktion des Gebäudes bei einem allgemeinen zeitlichen Verlauf der Belastung durch die neue technologische Linie verwendet. Die Ziele der theoretisch-experimentellen Analyse sind auf die Stellung einer Prognose der Schwingung der Konstruktion und die Beurteilung ihres eventuellen Umbaus gerichtet.

## • zprávy

### Značka CATERPILLAR je na českém a slovenském trhu již 35 let

V letošním roce to bude přesně 35 let, kdy společnost Phoenix Praha, a. s., dovezla do tehdejšího Československa první stavební stroje Caterpillar. Na konci šedesátých let minulého století byla u nás výstavba dálnic v počátcích a i socialistická vláda si uvědomila, že bez spolehlivých strojů se dálnice stavět nedají. Úplně první stroje této značky se k nám sice dostaly už v poválečném období v rámci programu UNRRA, ale až v roce 1969 byla podepsána smlouva o výhradním zastoupení na území Československa. Její součástí byla povinnost zajistit, kromě prodeje strojů a zařízení, také servis a pokrytí náhradními díly. V roce 1991 se společnost Phoenix Praha spojila se zástupcem firmy Caterpillar v Německu – firmou Zeppelin Metallwerke GmbH (nyní Zeppelin Baumaschinen GmbH). Nově vzniklá Phoenix-Zeppelin si vytkla za cíl pokrýt trh České a Slovenské republiky kompletní nabídkou strojů a zařízení. Finanční kapitál a využití dlouholetých zkušeností firmy Zeppelin® odstartovaly novou historii zastoupení Caterpillar v českých zemích. Kromě již známých velkých dozerů a nakladačů jsou odborné veřejnosti postupně představovány stavební a zemní stroje od těch největších, určených pro těžbu surovin, až po kategorie strojů, které jsou nezbytným vybavením každé menší stavební firmy. Divize energetických systémů nabízí jak zástavbové motory

jako pohonné jednotky, tak i energocentra a dieselagregáty všech druhů a výkonů.

Historii a současnost strojů Caterpillar měli možnost shlédnout účastníci veletrhu stavebních a důlních strojů EXPO v dole Mokrá u Brna. Vedle skutečně nejmmodernějšího nakladače 988 G firma předvedla i nakladač 988 z roku 1973, jeden z prvních, který byl na naše území dovezen. Tento veterán stále ještě slouží k plné spokojenosti svého majitele v Praze-Holešovicích. Jeho moderní kolega 988 G stoprocentně splňuje všechny tři hlavní trendy firmy, totiž snadnost obsluhy, snadnost údržby a vybavenost automatickými funkcemi. Zajímavostí je, že celý kolos, vážící přes padesát tun, se ovládá joystickem. Z dalších strojů stál za pozornost nakladač 966G s funkcí AutoDig, který umožňuje plnění lopaty bez zásahu strojníka, a rypadlo 325C s funkcí Smartboom, kdy pracovní nástroj rypadla přesně kopíruje terén. Zařízení Energocentrum NZ2 je původní řešení firmy Phoenix-Zeppelin zajišťující napájení důležitých objektů a technologií s nejvyšší spolehlivostí bez použití rozměrných a citlivých bateriových systémů. Energocentrum NZ2 je v současné době instalováno na jedenácti lokalitách, jako jsou nemocnice, telekomunikační centra, objekty Akademie věd ČR apod.



# Metodika zpracování programů regenerace prefabrikovaných objektů

*Dr. Ing. Vladimír SKLENÁŘ, CSc.  
Český svaz stavebních inženýrů  
Praha*

**Komplexní řešení regenerace prefabrikovaných objektů z hlediska technického i ekonomického tak, aby výstupem mohl být návrh reálných opatření, vedoucích k odstranění slabých článků ve vlastním procesu udržení a zlepšení provozuschopnosti těchto objektů, vyžaduje metodický přístup a postupné stanovení jednotlivých kroků vedoucích k výběru a stanovení alternativně možných funkčních úprav.**

## Úvod

Metodický postup by měl vytvořit i poměrně jednoduchý způsob stanovení rozsahu nákladů na nutné opravy a obnovu stavebních prvků a konstrukcí se zřetelem na celkové potřeby daného území spolu s alternativním zohledněním té skutečnosti, že možnosti vlastníků a uživatelů prefabrikovaných objektů nejsou shodné. Nutnost specifikace regeneračních oprav a obnovy má rovněž svou naléhavost pro potřebu stanovení finančních prostředků, stavebních kapacit a výpočtu nákladů na regeneraci při využití výpočetní techniky.

Zejména koncepční řešení otázek regenerace prefabrikovaných objektů na nestabilizovaném podloží může posílit i samosprávnou funkci krajských orgánů a stát se součástí dlouhodobějšího a plánovaného postupu regenerace v souladu se směry územního plánu a plánu stavebně technické péče a zhodnocení objektů, může vytvořit aktualizovaný informační systém v území, který bude poskytovat výstupy ve formě konkrétních požadavků na reprodukci a regeneraci včetně nároků na potřebné zdroje. Regeneraci prefabrikovaných objektů je pak třeba provádět na základě promyšlených a zdokumentovaných postupů, které poskytnou dostatek informací pro vlastníka (uživatele) objektu o rozsahu i technologiích regeneračních procesů.

Významným počinem k řešení problematiky komplexní regenerace panelových domů je soubor patnácti odborných publikací „Program regenerace panelových domů“ [16], tj. výstup programu Ministerstva průmyslu a obchodu ČR na podporu výzkumu a vývoje, který postihuje charakteristické vady a poruchy nosných konstrukcí panelových domů, zkušební postupy k diagnostice stavu konstrukcí, průzkumu a hodnocení stavebně technického stavu panelových domů a navrhuje komplexní regeneraci panelových domů konstrukčních soustav realizovaných v ČR.

Metodika programů regenerace prefabrikovaných objektů na nestabilizovaném podloží musí nad rámec metodiky popsané a použité ve výše uvedeném výstupu zohlednit i další konstrukční soustavy a modely (nejen panelové domy), které byly v ČR postaveny jak pro objekty bytové, tak pro objekty administrativní, ubytovací, zemědělské, průmyslové, objekty občanské vybavenosti, objekty školské, zdravotnické a správní, kulturní víceúčelová zařízení atd., realizované méně obvyklými a speciálními prefabrikovanými

konstrukcemi (montované skelety, ocelové prefabrikované konstrukce atp.).

Podmínkou dosažení cílů regenerace je dále požadavek, aby procesy regenerace probíhaly efektivně, tedy především:

- a) pružnost (flexibilita a adaptabilita), schopnost přizpůsobit se novým (tržním) podmínkám, možnost optimalizace technologických prvků a racionalizace procesů;
- b) kvalita vnitřního prostředí stavby, odpovídající zvyšujícím se nárokům na užívání (provozování);
- c) optimalizace podmínek soužití provozované stavby s okolním prostředím (environment), nepodléhající jeho vlivům na straně jedné (např. povodním, vichřicím) a šetrnost ve smyslu trvale udržitelného rozvoje na straně druhé;
- d) efektivnost čerpání zdrojů spolu se šetrností v čerpání neobnovitelných nebo náročně obnovitelných zdrojů;
- e) ekonomická efektivnost na úrovni soudobých výpočtů, které dosud nezahrnují všechny prvky celkové efektivnosti;
- f) snadnost facility managementu, umožňující postupnou algoritmizaci a automatizaci řízení a orientování managementu na řízení a inovaci rozvoje, popř. na řešení mimořádných situací.

## Právní rámec regenerace prefabrikovaných objektů

Regenerace staveb musí vyhovovat příslušným právním předpisům a je podřízena výkonu dohledu orgánů veřejné správy (státnímu stavebnímu dohledu, stavebnímu úřadu). Některé předpisy platí pro provozování staveb a pro příslušné procesy obecně, jiné jsou vázány pouze na určité druhy staveb nebo procesů:

- a) stavební zákon a jeho prováděcí předpisy, pokud jde o realizaci a převzetí stavby, obsahují rovněž pravidla ovlivňující užívání stavby. Jde zejména o ustanovení ke změnám v užívání staveb, k údržbě staveb a k výkonu státního stavebního dohledu v průběhu provozování stavby (evropský standard předpokládá inspekční prohlídky staveb a knihu o provozu stavby po celou dobu její životnosti atp.);
- b) zákony vztahující se k hospodaření se všemi druhy energie;
- c) zákony vztahující se k bezpečnosti práce a ochraně zdraví (zákoník práce, zákon o státním odborném dozoru nad bezpečností práce, zákon o ochraně veřejného zdraví, zákon o požární ochraně a jejich prováděcí a související předpisy);
- d) zákony a prováděcí předpisy vztahující se k obecné bezpečnosti výrobků a k technickým požadavkům na ně mají ve fázi regenerace význam zejména v souvislosti s nákupem výrobků pro regeneraci;
- e) zákony vztahující se k environmentálním vztahům (soužití lidí a přírody) a jejich prováděcí předpisy

dotýkající se zejména ochrany provozovaných staveb proti vlivům přírody a omezení vlivu staveb na okolní prostředí;

e) ustanovení platná pro některé druhy staveb.

Je třeba připomenout, že stavební organizace s efektivním manažerským řízením vytvářejí především aktivní systém ochrany veřejných zájmů předcházející represivním dopadům platných předpisů.

### Cíle a hlavní úkoly metodiky regenerace prefabrikovaných objektů

Základním cílem je na základě systémové analýzy a vyhodnocení dosavadních zkušeností a poznatků, na základě podrobného průzkumu a výsledků diagnostických a dalších měření zpracovat postup (katalog) stanovení a výpočtu nákladů a kapacit na regeneraci a obnovu stavebních prvků a konstrukcí pro použití pro celek i jednotlivé objekty a zpracovat základní kritéria postupu určování prefabrikovaných objektů na nestabilizovaném podloží k regeneraci. Dosažení tohoto cíle předpokládá splnit tyto dílčí úkoly:

- a) vymezit základní pojmy včetně stanovení zásad pro regeneraci podle stupně naléhavosti;
- b) charakterizovat význam specifikace stavebních prvků ve vztahu k určování rozsahu regenerace;
- c) stanovit zásady určování jednotlivých prefabrikovaných objektů k regeneraci, případně demolici či ponechání na dožití;
- d) zhodnotit pracovní postupy vztahující se k danému problému;
- e) zhodnotit kvalitu informační základny v oblasti regenerací;
- f) stanovit postup při určování prefabrikovaných objektů k regeneraci, a to alternativně se zřetelem na hlediska hospodárnosti;
- g) zpracovat a specifikovat postup výpočtu nákladů na regeneraci;
- h) zpracovat soubor doporučení pro vlastníky, investory i legislativní orgány k zajištění pružného postupu regenerací.

#### Metodické postupy

a) metoda logické a systémové analýzy, orientovaná na analytický přístup ke zkoumání jednotlivých jevů a vzájemných vazeb a na syntetizující zobecnění získaných dekomponovaných poznatků;

b) metoda sekundární analýzy, spočívající v analyzování šetřených problémů v informačních zdrojích;

c) metoda kritické cesty, umožňující určit dobu přípravné a prováděcí fáze regenerace;

d) modelová metoda, používaná při konstrukci modelu reprezentantů prefabrikovaných objektů různých stavebních období se zřetelem na charakteristické rysy jednotlivých objektů.

Metodika regeneračních postupů a zásahů musí v této souvislosti umět odpovědět především na tyto základní otázky:

- a) jak starý je prefabrikovaný objekt, jaká je očekávaná doba jeho dožití;
- b) je zjištěná vada či porucha, způsobená nestabilizovaným podložím, odstranitelná rozumným způsobem;

- c) ztěžuje vada či porucha podstatným způsobem užívání objektu nebo jeho částí;
- d) jak dalece neodstraněné vady a poruchy zkrátí proponovanou životnost objektu;
- e) jaký bude náklad na regeneraci objektu, jaké budou zdroje financování regenerace;
- f) může být vada či porucha odstraněna v rámci běžné údržby nebo opravy, nebo může být její odstranění synchronizováno s jiným sanačním zásahem;
- g) přinese odstranění vady či poruchy úspory budoucích udržovacích a provozních nákladů;
- h) je nutno v dané lokalitě s ohledem na perspektivy demografického vývoje snažit se udržet prostou reprodukci (tj. nehrozí v daném místě vylidňování atp.).

Na programech regenerace prefabrikovaných objektů by měly mít zájem zejména tyto subjekty:

- a) vlastníci (uživatelé, provozovatelé) prefabrikovaných objektů,
- b) uživatelé nájemních a družstevních bytů a vlastníci bytů,
- c) obec jako vlastník (uživatel, provozovatel) prefabrikovaného objektu,
- d) bytová družstva a společenství vlastníků jako vlastníci domů a bytů,
- e) obec jako reprezentant veřejného zájmu,
- f) stát jako reprezentant veřejného zájmu,
- g) podnikatelské subjekty vlastníci a užívající prefabrikované objekty.

Z přehledu zainteresovaných subjektů je zřejmé, že programy regenerace by měly být kombinací iniciativy soukromých osob, vlastníků (majitelů) prefabrikovaných objektů a obecních a státních orgánů, což znamená do financování regenerací zapojit soukromé prostředky vlastníků a uživatelů, využít účelových půjček se státní subvencí úrokové míry a poskytnout nenávratné dotace na přesně definované vady a poruchy nezaviněné nesprávným užíváním či zanedbanou údržbou, které ohrožují zdraví a bezpečnost osob.

#### Vymezení základních pojmů

*Stavebním* (prefabrikovaným) *objektem* se rozumí soubor stavebních konstrukcí a dalších stavebních prvků v rozsahu ucelené části stavby, pro kterou se obvykle zpracovává samostatná nebo ucelená část projektové a provozní dokumentace.

*Regenerací* se rozumí základní inovace zaměřená na obnovení původního stavu (obnovení původních kvalit) buď údržbou, opravami, nebo výměnou, popř. náhradou prvku za nový; v metodice pojem regenerace zahrnuje opravy, rekonstrukce i modernizaci, v konkrétní praxi však dochází k rozporu s obdobnými pojmy v daňových a účetních zákonech, což může u investorů vyvolávat nejistotu vůči postihům ze strany finančních úřadů.

Řízení procesu regenerace je orientováno na zlepšení, tj. na racionalizaci a optimalizaci (na úrovni kvantitativní či kvalitativní inovace), s cílem prodloužit životnost stavebního objektu a zlepšit jeho užitné vlastnosti.

Regenerace je tedy souborem zásahů do konstrukce, dispozice, vzhledu, technologické části budov, objektů a území za účelem dosažení a zlepšení soudobých prostorových, provozních a technických parametrů. Cílem těchto zásahů je odstranit morální a technické opotřebené staveb, způsobené trváním a změnami technických, ekonomických a sociálních

podmínek jejich funkce. Regeneraci je možné provádět v rozptýlu (nezasahuje do podmínek v území a nezahrnuje výstavbu nové technické vybavenosti) formou modernizace (včetně nového občanského a technického vybavení a změny účelu některých staveb) a formou regenerační přestavby (zachování podstaty urbanistické struktury a zlepšení provozních a technických parametrů, doprovázeno demolicemi, nástavbami, přestavbami a uvolněním ploch).

*Konstrukční prvek* je ucelený stavební prvek sestávající z jednotlivých dílců. Z konstrukčních prvků se skládá objekt. Jeho rozsah může být stanoven plochou, objemem, délkou, hmotností apod. Vedle jednoduchých konstrukčních prvků jsou i prvky sestávající z několika částí či dílců. Ve vztahu k regeneraci, údržbě a opravám je možné rozlišovat konstrukční prvky:

- nevyžadující pravidelnou opravu,
- vyžadující pravidelnou opravu, případně výměnu,
- bez nutnosti oprav, které se po uplynutí životnosti vyměňují.

### ■ Životnost stavebního objektu

Obdobně jako u celé stavby se odlišně hodnotí:

- *životnost fyzická*, tj. doba, po kterou je stavební objekt schopen plnit svou funkci, neboli doba mezi předáním a převzetím do užívání a konečným odstavením, spojeným obvykle s jeho základní změnou nebo likvidací;
- *životnost morální*, tj. doba, po kterou je stavební objekt schopen plnit svou funkci na úrovni odpovídající současným technickým, funkčním a estetickým požadavkům, neboli doba mezi předáním a převzetím k užívání a obdobím, kdy je třeba řešit využití stavebního objektu jeho modernizací nebo regenerací;
- *životnost ekonomická*, tj. časový úsek, ve kterém budou ukazatele užitečných vlastností stavby udržovány na úrovni slučitelné s plněním základních požadavků (směrnice č. 89/106 Rady EHS), jež může být chápána jako doba, po kterou je ekonomicky efektivní využívání objektu.

### ■ Fyzické opotřebení stavebního objektu

Fyzické opotřebení stavebního objektu (obdobně celé stavby) snižuje fyzickou životnost objektu (stavby) a míra fyzického opotřebení je ovlivněna zejména:

- *kvalitou stavebních konstrukcí*, popř. stavebních prvků;
- *způsobem užívání objektu*, tj. standardním (předpokládaným v dokumentaci stavby), nadstandardním, při němž se předpokládá větší opotřebení, nebo naopak způsobem s menším opotřebením;
- *prostředím* (např. klimatem), předpokládaným v dokumentaci stavby nebo změněným, popř. měnícím se nepředpokládaným způsobem.

Proti uvedeným vlivům působí regenerace spojená s racionalizací nebo optimalizací, která (pokud je prováděna efektivním způsobem) může fyzické opotřebení stavebního objektu zbrzdit a prodloužit tak fyzickou životnost objektu či stavby.

*Cyklus oprav* je časový úsek, po jehož uplynutí je třeba provést příslušný rozsah oprav pro zachování funkčních vlastností konstrukčního prvku, tj. procentní nutnost provedení oprav po proběhnutí příslušného časového cyklu.

*Údržbou* se rozumí pravidelná péče o konstrukční prvky,

kteřou se zpomaluje proces fyzického opotřebení a zajišťuje provozuschopný stav a bezpečný provoz.

*Opravami* se odstraňuje částečné fyzické opotřebení nebo poškození za účelem uvedení konstrukčního prvku do původního provozuschopného stavu, obnovují se jeho (jejich) konstrukční a technické vlastnosti, odstraňují funkční, vzhledové a bezpečnostní nedostatky, obnovuje se provozní kvalita a užitkovost. Opravy se většinou rozdělují na havarijní, běžné, střední a na obnovu.

### ■ Stupně naléhavosti údržby, oprav a obnovy konstrukčních prvků

Práce na údržbě, opravách a obnově konstrukčních prvků se většinou člení do tří stupňů naléhavosti:

- práce, které mají odstranit poruchy v provozu, ve funkci technického vybavení a závady, které ohrožují obyvatele či uživatele objektu;
- práce, které mají odstranit příčiny vyvolávající rychlejší zkázu konstrukčních prvků, než je jejich technická životnost;
- ostatní práce zlepšující vnější či vnitřní vzhled objektu.

### ■ Specifikace konstrukčních prvků ve vztahu k regeneraci

Prefabrikované objekty jsou konstruovány z poměrně značného počtu stavebních prvků. V průběhu užívání objektů jich většina vyžaduje výměnu či určité opravy. Má-li dojít k odhadům rozsahu takovýchto prací v daném období, je racionální (zejména v zájmu usnadnění průzkumů) omezit jejich počet určitým systémem skupinové specifikace (agregace). Využití této specifikace pak musí být podřízeno záměrům, pro které je vytvářena – jde tedy o nalezení optimálního stavu pro soustředění konstrukčních prvků pro účely regenerace prefabrikovaných objektů na nestabilizovaném podloží. Přitom je třeba respektovat tu skutečnost, že slučovat by se měly především konstrukční prvky se stejnými cykly oprav či údržby s možností úpravy podle konkrétních podmínek a zkušeností. Pro tuto specifikaci je rovněž důležité, aby se daly alternativně odhadnout náklady na určité práce, např. jako roční průměrné náklady. Katalog regeneračních úprav by pak měl být podkladem umožňujícím vyjádření objemu a nákladů na regeneraci prefabrikovaného objektu v určitém období a usnadňujícím potřebný průzkum.

Podstatným faktem je rovněž skutečnost, že tento proces (tzv. technické či inspekční prohlídky) musí zajišťovat způsobilé, tedy autorizované osoby, přičemž v řadě dosud zpracovaných metodických materiálů se používají např. pojmy „stavební audit“ a „kniha o provozu stavby“, charakterizující objektivně skutečný stavební stav objektů a jejich konstrukčních prvků pro potřeby regenerace.

U vlastních technických (inspekčních) prohlídek je proces členěn, jak výše uvedeno, podle stavebních konstrukcí a stavebních prvků určitého druhu, popř. ještě podle míry provozního zatížení. Ke každé položce technické prohlídky jsou stanoveny standardní operace jejího průběhu:

- *druh kontrolní operace* (např. vizuální kontrola, měření, zkouška, odborné posouzení, výpočet, revize atd.);
- *způsob zpracování výsledku prohlídky* (protokol, revizní zpráva, pasport, záznam v knize o provozu stavby nebo knize prohlídek, v revizní knize atd.), obvykle také v návaznosti na závažnost nálezů;

- *postup při zjištění příznaků havarijního stavu* s uvedením příznaků havarijního stavu podle druhů konstrukcí a prvků.

### Zásady určování prefabrikovaných objektů k regeneraci

Základními podklady, kterými je třeba se řídit při určování prefabrikovaných objektů k regeneraci, jsou záměry vyjádřené ve směrných územních plánech dané lokality, kde jsou vyznačeny plochy, které pro nejbližší, ale i vzdálenější budoucnost mají určeny své funkce. Je třeba vzít v úvahu plochy obytných zón, plochy se smíšenou zástavbou, plochy městských či historických center atd. Kromě podmínek, aby určení objektů k regeneraci nebylo v rozporu se záměry územního plánu, je třeba před rozhodnutím soustředit dokumentaci o hustotě zástavby, její výšce, členění, občanské, sídlištní a další vybavenosti, pracovních příležitostech, bezpečnosti, dopravě, sociálních vrstvách, kriminalitě, klimatických zónách, vazbě na ostatní městské či obecní celky a prověřit, zda:

- objekty nemají neodstranitelné nedostatky v nosných konstrukcích či estetického rázu;
- lze odstranit či zmírnit nedostatky vyplývající z nevhodného umístění objektů (ochranná pásma – hluk, nestabilizované podloží, ořesy, záblesky, hygienická pochybení) atd.;
- zvětšení objemu objektu je nutné a efektivní (zvýšení počtu podlaží atp.);
- regenerace objektu na standard běžný v nové výstavbě či změna jeho funkce je hospodárná.

Související informační a výkresová dokumentace musí být strukturovaná, měla by počítat s elektronickou formou a s možností využití pro facility management vlastníků (uživatelů) objektů a metodicky by měla vycházet z českých norem pro technické dokumenty, zejména pokud se týká vytváření seznamů, označování předmětů, částí, prvků a druhů dokumentace.

### Metodické pracovní postupy a možnosti jejich využití

V minulosti i v současnosti existoval a existuje poměrně značný rozsah různých metodických pracovních postupů, které se otázek regenerace dotýkají a jsou založeny na různých teoretických i technických východiscích, přičemž jejich kvalita je různá, neboť se zaměřují buď pouze na partiální problémy, či naopak velmi globální postupy. Většina z nich považuje za teoretické východisko destruktivní spirálu devastace objektů vlivem povětrnostních podmínek, stárnutí konstrukcí a konstrukčních prvků a mechanického opotřebení.

Metodický přístup dále vyžaduje vzít zásadně v úvahu směrnici Rady EHS č. 89/106/EHS ze dne 21.12.1988, o sblížení právních a správních předpisů členských států týkajících se stavebních výrobků, a její požadavky na mechanickou odolnost a stabilitu, požární bezpečnost, hygienu, ochranu zdraví a životního prostředí, bezpečnost při užívání, ochranu proti hluku a úsporu energií a ochranu tepla.

#### Metody pro výpočet znehodnocení stavby

Vycházejí ze snah vyjádřit pomocí matematických zákonitostí nejpravděpodobnější průběh znehodnocovacího procesu stavby po celou dobu jejího trvání. Jsou použitelné:

- pro oceňování staveb;
- pro propočtení předpokladu potřeb údržby tím, že diferenciace mezi zjištěným (propočteným) a původním

stavem lze do jisté míry pokládat za rozsah potřebných prací a nákladů, které uvedou stavbu do původního stavu;

- pro propočtení rozsahu následků tzv. neprovedené údržby, kdy se při propočtu předpokládáných potřeb nákladů na údržbu za zvažované období odpočtou skutečně vynaložené náklady za toto období a rozdíl tvoří předpokládaný rozsah neprovedené údržby.

### Závislost životnosti stavebního objektu na způsobu užívání

Na fyzickou životnost prefabrikovaného objektu má rozhodující vliv způsob (podmínky) užívání [14]. Zásadní rozdíl je, zda je stavební objekt užíván *standardně* (normálně), jak bylo uvažováno při jeho navrhování v příslušné dokumentaci, kdy byla stanovena také předpokládaná fyzická životnost objektu, nebo je užíván *za ztížených podmínek* proti předpokladům (např. změněné vnější nebo vnitřní prostředí, zvýšené zatížení, změna v užívání).

V horských polohách, obvykle nad 800 m n. m., se předpokládá vyšší opotřebení až o 25 %. Vliv mají také inovační cykly jednotlivých stavebních prvků a vztah mezi jejich fyzickou a morální (popř. ekonomickou) životností. Specifika pak představují významné a chráněné stavební objekty, jejichž využití se mnohdy mění. Ztížené nebo mimořádné podmínky musí být často vyvažovány zvýšenými nároky na technické (inspekční) prohlídky, na údržbu a opravy a rozdílné vlivy vykazují také zatížení, pokud jsou trvalá či přerušovaná nebo jde-li o stavební objekty s omezenou dobou provozování.

Prováděcí předpis k zákonu č. 151/1997 Sb., o oceňování majetku, zejména pro výpočty daní, tj. vyhláška č. 279/1997 Sb., stanoví životnost staveb při běžné údržbě podle druhu staveb v rozmezí 30 až 100 let. Opotřebení u inženýrských staveb, speciálních pozemních staveb, u garáží a dalších se stanoví lineárně až do výše 80 % z původních hodnot. Obdobně lze použít lineární metodu také pro ostatní stavby, ale vždy do maximální výše 80 %.

### Závislost životnosti stavebního objektu na jeho udržování

Správné hodnocení míry opotřebení je odlišné, pokud bude hodnoceno opotřebení jednotlivých *stavebních konstrukcí* či stavebních prvků nebo opotřebení *stavebního objektu* jako celku; vždy je závislé na *způsobu užívání* a na úrovni *udržování* objektu. Správným způsobem zjišťování opotřebení stavebního objektu je technický výpočet podle konstrukčních částí. Podle tohoto postupu se založí *passport* objektu (jako základ dále vedené knihy o provozu stavby) obsahující všechny stavební konstrukce, konstrukční a další stavební prvky, instalace a vybavení, jejichž udržování tvoří významný podíl na celkové údržbě objektu. Základní osnova passportu objektu pro potřeby regenerace může být zpracována jako příloha této stati.

V teoretické úrovni existuje celá řada metod, postupů a kroků, které mohou hodnotit znehodnocování staveb a objektů s různou mírou objektivitu a přesnosti. Pro přehled jsou dále uvedeny některé příklady:

- *analytická metoda* výpočtu vychází z objemových podílů jednotlivých konstrukcí a vybavení stavby. Opotřebení se pak vypočte podle stanovených vzorců, s použitím dalších koeficientů. Tato metoda se používá, pokud:
  - je stavba před významnou opravou či po takové opravě;
  - je stavba v mimořádně dobrém nebo mimořádně špatném stavu;
  - znalec usoudí, že opotřebení je podstatně větší než 80 %;



- je oceňována kulturní památka;
- je prováděna nástavba, přístavba či stavební úprava;

● *lineární metoda* předpokládá, že se stavba znehodnocuje s přibývajícím stářím přímočaře (u novostavby je nulové znehodnocení, v polovině životnosti činí znehodnocení polovinu a při dovršení životnosti dosahuje 100 % plné ceny);

● *Kusýnova–Röttingerova metoda* se liší od lineární tím, že v první desetina životnosti stavby počítáme pouze s polovičním znehodnocením, kdežto ve zbývajících devíti desetinách životnosti stoupá znehodnocení přímočaře;

● *Rossova metoda* rozděluje životnost stavby na pět stejných období, přičemž uvažuje s tím, že na konci prvního období bude znehodnocení 3/5 ceny, na konci druhého 4/5 ceny atd., až na konci pátého období 7/5 ceny;

● *Ungerova metoda* – lineárně kvadratická – vyjadřuje znehodnocení součtem dvou podílů, z nichž jeden je přímočarý a druhý je dán obloukem kvadratické paraboly;

● *kvadratická metoda* – Eytelweilova či Starkova – vyjadřuje průběh znehodnocení parabolou druhého stupně.

Každá z uvedených metod je vyjádřena matematickým vzorcem. Lze z nich použít základní ideu, tj. vztah a závislost stáří objektu na opotřebování, představu, že k dosažení původního stavu budovy jsou zapotřebí náklady ve výši jejího znehodnocení, i metodický přístup ke stanovení předpokladu neprovedené údržby.

### Rozvaha o rozsahu regenerace prefabrikovaných objektů

#### ■ Technické podklady potřebné ke zpracování rozvahy

- a) projektová dokumentace skutečného provedení stavby;
- b) projektová dokumentace změn dokončené stavby či změn účelu stavby;
- c) pasport objektu (kniha o provozu stavby) včetně záznamů o provedené údržbě a opravách;
- d) střednědobý, případně roční plán údržby a oprav;
- e) protokoly (zápisy) z technických (inspekčních) prohlídek stavby;
- f) doklady o revizích technických zařízení v objektu;
- g) průzkum uživatelských parametrů objektu (účel, funkce, velikost, podlažnost, kategorie, technická a domovní vybavenost atd.);
- h) stavebně technické hodnocení objektu (technický stav, poruchy, vady, parametry, tepelné a jiné izolace atd.);
- i) architektonický a urbanistický průzkum objektu (barevnost, členění, doprava, klidové a pěší zóny, cyklistické stezky atd.).

#### ■ Podklady programu regenerace

- a) technické odborné (inspekční) prohlídky stavebních konstrukcí, prvků a technologií,
- b) předběžný energetický průkaz,
- c) pasport objektu (kniha o provozu stavby),
- d) životnost stavebních konstrukcí a prvků,
- e) cenové informace,
- f) harmonogram regenerace.

#### ■ Metodický postup při zpracování rozvahy o rozsahu regenerace

- a) zahájení jednání o regeneraci, rozhodnutí o jejím plánovaném rozsahu;

- b) předběžné zhodnocení jednotlivých objektů určených k regeneraci včetně předběžného vyhodnocení dokladů o potenciální efektivnosti regeneračních zásahů;
- c) analyticko-syntetické vyhodnocení záměru specifikujícího budoucí funkce a využití objektů či skupiny objektů včetně sociodemografického šetření;
- d) určení projektové organizace a uzavření hospodářské smlouvy o projektové přípravě, o provedení průzkumů, technických (inspekčních) prohlídek;
- e) zpracování koncepce a dokumentace urbanistického, architektonického a stavebně technického řešení regenerace;
- f) porovnání potřeb finančních zdrojů;
- g) zpracování projektové dokumentace na základě souboru údajů:
  - zpracovaných na základě zjištění od vlastníků a uživatelů objektů,
  - zahrnujících výsledky průzkumu urbanistického celku,
  - z výsledků stavebně technického průzkumu a hodnocení objektů;
- h) stavební řízení, schválení projektové dokumentace regenerace;
- i) předběžné projednání koncepce s perspektivním zhotovitelem stavby včetně dodavatelského systému;
- j) časový harmonogram – sled a rozsah regeneračních zásahů v jednotlivých letech;
- k) zabezpečení finančních zdrojů, zejména:
  - rezerv na údržbu a opravy,
  - půjček od peněžních ústavů,
  - podpory státu ke krytí části úroků,
  - stavebního spoření,
  - dotací státu na opravy statických poruch,
  - vlastních prostředků vlastníků a uživatelů objektů.

Celý proces metodického postupu rozvahy o rozsahu regenerace je možné zachytit formou síťového grafu tak, že jsou zde formulovány časové i logické návaznosti, posloupnosti a vazby. Síťový graf s odhadovaným počtem až sto uzlů (činností, popisů práce) může současně sloužit i jako model činností v přípravném i prováděcím období regeneračních zásahů, jde však o značně náročný soubor činností s nutností kontroly a průběžné racionalizace včetně změn vyplývajících z možností minimalizace lhůt, rozdílného technického nebo sociálního zabezpečení regenerace v různých lokalitách atp.

Podmínky pro získání podpory státu ke krytí části úroků jsou vymezeny v nařízení vlády č. 299/2001 Sb. v § 3 a v Programu Panel v bodě 1. Dále vyšlo nařízení vlády č. 152/2004 Sb., kterým se mění a doplňuje nařízení č. 299/2001 Sb.

Podmínky pro poskytnutí dotace na nezbytné opravy nejzávažnějších vad způsobujících havarijní stav bytového domu jsou stanoveny každoročně Ministerstvem pro místní rozvoj ČR v „Programu poskytování finanční podpory na opravy bytového fondu“ včetně nařízení vlády o použití prostředků Státního fondu rozvoje bydlení, jehož příloha uvádí seznam oprav, modernizací a regenerací panelových domů, na které lze poskytnout podporu.

Podrobné znění legislativních ustanovení – nařízení vlády včetně příloh, postupy při zpracování podkladů k žádostem, seznam právnických osob oprávněných vydávat stanoviska k žádostem, seznam inspektorátů SEI, seznam energetických auditorů, materiály ČEA, EKIS, peněžních ústavů, certifikační společnosti a výběr firem, držitelů ISO 9001 a 9002, zabývajících se rekonstrukcemi – uvádí „Sborník informací k opravám panelových domů“ [14].

### ■ Členění průzkumných prací

Členění průzkumných prací a charakteristické vady a poruchy panelových konstrukcí pro průzkum a hodnocení stavebně technického stavu panelových domů je podrobně popsáno v programu MPO ČR na podporu výzkumu a vývoje „Regenerace panelových domů“, a pro účely metodiky regenerace prefabrikovaných objektů na nestabilizovaném podloží je možné je metodicky převzít a využít se zohledněním té skutečnosti, že byly zpracovány v rozsahu pro panelové (bytové) domy a rozsah stávajících objektů, které byly realizovány prefabrikovanými technologiemi nejen pro bytovou výstavbu, je širší a komplexnější, tedy i členění průzkumných prací bude mít širší a komplexnější rozsah, zejména o objekty postavené technologií montovaného železobetonového a ocelového skeletu, ale i dalších, méně obvyklých prefabrikovaných technologií pro výstavbu bytovou, administrativní, ubytovací, zemědělskou, průmyslovou, občanskou, školskou, zdravotnickou, správní atp.

#### I. etapa

- prověření a hodnocení stávající technické a výkresové dokumentace a ostatních technických podkladů a dokumentů včetně předpisů, popřípadě norem platných a užívaných v době výstavby objektů;
- vypracování předběžné výkresové dokumentace a průvodní zprávy.

#### II. etapa

- podrobná technická (inspekční) prohlídka objektu a jednotlivých částí konstrukcí, upřesnění a prověření rozměrů, geometrie a materiálového řešení konstrukcí;
- zjištění změn konstrukcí, popř. změn způsobu využití a dodatečných úprav proti původní dokumentaci;
- zjištění a podrobný záznam poruch a závad včetně vizuálního hodnocení fyzického stavu konstrukcí a materiálů, mechanického poškození, vlhkosti, koroze atp.;
- určení místa pro odběr vzorků a provedení sond částí konstrukce pro experimentální průzkum, tj. určení základního rozsahu průzkumných, diagnostických a experimentálních prací potřebných při vypracování zásadního stanoviska k návrhům regenerace, popř. demolice; rozsah a hloubka průzkumných prací musí odpovídat požadavkům na vypracování dokumentace pro stavební řízení.

#### III. etapa

- provedení sond a odběr vzorků materiálů a konstrukcí, odkrytí konstrukcí;
- diagnostický a experimentální průzkum na místě, použití přenosné diagnostické a přístrojové techniky a pojezdých měřicích a diagnostických laboratoří;
- zpracování výsledků průzkumných a experimentálních prací.

#### IV. etapa

- vyhodnocení fyzikálně mechanických vlastností materiálů a konstrukcí (objemová hmotnost, pevnost, vlhkost, modul pružnosti, chemické složení), vyhodnocení stupně degenerace, spolehlivosti a reziduální životnosti materiálů, zhodnocení vlivu prostředí na fyzikálně mechanické vlastnosti a jejich případnou

změnu v čase (vliv vlhkosti, teploty, chemická koroze atp.);

- předběžná statická posouzení konstrukcí objektu, stav porušení, popřípadě konsolidace, provozuschopnost konstrukce objektu z hlediska současných předpisů a norem, posouzení případného vlivu změny fyzikálně mechanických vlastností materiálů v čase na statickou bezpečnost a spolehlivost;
- souhrnné zhodnocení stavebně technického a statického stavu objektu, vypracování základního stanoviska k regeneraci či jiným zásahům (modernizace, rekonstrukce), návrh opatření včetně návrhu na případné provizorní zabezpečení objektu a konstrukcí, zpracování podkladů pro program regenerace, návrhy na doplňkové průzkumy.

### ■ Hodnocení fyzického stavu stavebních konstrukcí

- stav konstrukce jako celku (celistvost, přetvoření, fyzický stav a opotřebenost, kvalita);
- stav, vlastnosti a charakteristiky materiálů a hmot, z nichž byly konstrukce vyrobeny (objemová hmotnost, modul pružnosti, tvrdost, vlhkost, homogenita, chemické složení);
- výskyt rozsah a klasifikace poruch a závad, hniloby, plísni, rozpad struktury materiálů atp.;
- příčiny poruch a závad, historie zatížení a vlivů;
- technicko-fyzikální vlastnosti a kvalita konstrukce, popř. materiálů a hmot z hlediska požadavků současných předpisů a norem (únava, přetvoření, statická spolehlivost, tepelně izolační, zvukově izolační a světelně technické vlastnosti);
- vliv změny podmínek působení vnitřního prostředí po provedení regenerace na změnu fyzikálně mechanických vlastností materiálů a hmot a chování konstrukcí (změny vlhkosti, teploty, zatížení, uspořádání konstrukce, stárnutí);
- reziduální (zbytkovou) životnost materiálů a konstrukcí.

V závislosti na stavebně technickém stavu prefabrikovaných objektů a předpokládaném rozsahu regenerace, zejména rozsahu a závažnosti vyskytujících se poruch, lze vlastní průzkum provést jako *předběžný*, *podrobný* nebo *doplňkový* [4].

Zkušební postupy k diagnostice stavu konstrukcí a vnitřního prostředí panelových domů z hlediska tepelné techniky, energetiky, stavební akustiky a radioaktivity, popsané rovněž v materiálu [6], jsou všeobecně metodicky použitelné pro prefabrikované objekty obecně a popisují:

- zkoušení tepelného odporu a součinitele prostupu tepla stavebních konstrukcí v laboratoři a na stavbách;
- stanovení vlhkosti, sorpční vlhkosti, kondenzované vlhkosti v materiálech a dílcích, v laboratoři a na stavbách;
- stanovení hmotnosti, objemové hmotnosti a sypané hmotnosti materiálů;
- měření parametrů tepelného stavu vnitřního prostředí, tepelné ztráty a spotřeby tepla na vytápění budov;
- měření výměny vzduchu v budovách a těsnosti spár a styků obvodového pláště budov.

### ■ Charakteristické vady a poruchy prefabrikovaných objektů

Charakteristické vady a poruchy, pokud se týkají panelových konstrukcí, jsou podrobně popsány ve zmiňovaném materiálu MPO včetně vad projektové dokumentace jednotlivých konstrukčních soustav z hlediska požadavků na mechanickou odolnost a stabilitu, na požární bezpečnost, na úsporu energie a ochranu tepla a z hledisek hygienických a ochrany zdraví a životního prostředí. Lze konstatovat, že všechny projevy zjevných, skrytých a závažných poruch prefabrikovaných konstrukcí tak, jak jsou jmenovitě popsány, se vyskytují nejen v panelových domech, ale v prefabrikovaných objektech obecně. Rovněž systém klasifikace, kategorizace a členění vad a poruch je možné využít a obohatit pro potřeby zpracování programů regenerace prefabrikovaných objektů na nestabilizovaném podloží.

### Místo závěru

Uváděné náměty na zpracování metodiky programů regenerace prefabrikovaných objektů na nestabilizovaném podloží se mohou stát návrhem postupů při sestavování regionálních, lokálních, místních i objektových programů regenerace. Jde o návrhy s pracovním charakterem při využití dosud zpracovaných podkladů, studií a dalších odborných materiálů, které vyžadují další posouzení a připomínky k dopracování do konečné podoby se zaměřením na praktické použití. Z dosavadních poznatků je však třeba zdůraznit zejména:

a) rozdělení konstrukčních prvků prefabrikovaných objektů na skupiny a jejich agregace pro potřeby sestavování programů regenerace může být nedostatečné z pohledu množství, kvality a stáří realizovaných prefabrikovaných objektů. Riziko spočívá v tom, že z hlediska odborné náročnosti procesů regenerace, možností kapacitního a dodavatelského zajištění se řada vlastníků a uživatelů objektů může orientovat nikoli na nutnou komplexní regeneraci, ale pouze na údržbu a opravy v prvním nebo druhém stupni naléhavosti;

b) známý a nebezpečný stav neprovedené údržby a oprav prefabrikovaných objektů ukazuje na řetězovou reakci neprovedení drobné údržby a vyplývá ze stavu, kdy „život“ dohotovené stavby končí kolaudací objektu a v republice zatím nefunguje v Evropě zavedený stav, který formou pravidelných inspekčních prohlídek a návazně záznamů do „knihy o provozu stavby“ včetně návrhů podrobných opatření mapuje a vyhodnocuje provozování užívaných staveb prakticky do doby jejich dožití a ukončení životnosti (popř. demolice);

c) každé rozhodnutí o regeneraci je třeba zvažovat i z hledisek její vhodnosti v rámci širších souvislostí, uvedených v textu. Metodika zpracovávaná Ministerstvem pro místní rozvoj ČR k užívání staveb a jejich údržbě pro zachování vlastností staveb podle požadavků směrnice Rady 89/106/EEC, o stavebních výrobcích, může po schválení do formy zákonného předpisu pro proces regenerace prefabrikovaných objektů znamenat významný předěl, který zvýrazní zejména povinnost vlastníků a uživatelů objektů ve vztahu k údržbě, opravám, modernizaci a regeneraci. Nezanedbatelnou složkou v tomto procesu budou předpokládání autorizovaní inspektoři, kteří budou jako způsobilí odborníci pravidelně vyhodnocovat stavebně technický stav objektů při jejich provozování;

d) v přehledu pracovních postupů a metod týkajících se

tématu je uvedena celá řada metod k možnému využití. Tyto postupy a metody jsou v mnohém inspirující, ale žádná z nich není a ani nemůže být komplexní pro řešení konkrétního prefabrikovaného objektu. Nedoporučuje se proto jednoduše některou metodu převzít či ji zdvojit, ale každý případ řešit v konkrétních a individuálních podmínkách při vědomí, že je sice možné zpracovat pro různé skupiny prefabrikovaných objektů modelové reprezentanty (např. v jednotlivých stavebních obdobích), ale vždy jde o exaktní způsob zjištění předpokládaných potřeb a nákladů na regeneraci,

e) existuje řada vzorů pasportů prefabrikovaných objektů, které je možné využít pro potřeby regenerace. V dalším rozpracování metodiky je možné rozebrat podrobněji obsah pasportu použitelného jako informační základny v elektronické podobě, která udává a ověřuje základní údaje o objektu včetně polohy, rozměrů, konstrukční soustavy, výměry bytů a nebytových prostor, vlastníka, správce, katastru atd. a specifikuje konstrukční prvky, instalace, vybavení a zařízení v měřicích jednotkách, v letech pořízení nebo výměny, stavu, provedených oprav a návrhů nutných opatření;

f) na základě analýzy předpisů a konzultací s realizátory regeneračních procesů se ukazuje, že např. naznačený model činností v přípravné i realizační fázi regenerace zpracovaný formou síťového grafu je velmi složitý a navzájem provázaný, časová náročnost je značná včetně legislativní, ekonomické a dodavatelské složitosti;

g) proces regenerace má nezanedbatelný sociální aspekt, a to zejména při řešení regenerace bytového fondu, ale i dalších prefabrikovaných objektů užívaných aktivními účastníky pracovního procesu (zejména otázky přestěhování, přesídlení atp.). Je třeba minimálně udržet (lépe zvýšit) uživatelské standardy i zabezpečení dosažené životní úrovně;

h) pohled na správu, provoz a regeneraci objektů se začíná postupně měnit a více propojovat s ostatními podpůrnými činnostmi a je zařazován do oboru nazývaného facility management, tedy do metody, jak v organizacích sladit pracovní prostředí, pracovníky a pracovní činnosti s principy obchodní administrativy, architektury, humanitárních a technických věd. Odpovědní a významní vlastníci a uživatelé provozovaných objektů (jako investoři) již dnes využívají facility managementu k vytváření strategických plánů obnovy a regenerace svého vlastnictví a tento trend bude narůstat;

i) pro zásadní metodické i odborné zpracování metodiky programů regenerace bylo zpracováno velké množství studií, rozborů, postupů i konkrétních vyhodnocení a příkladů. Všechny, zejména pak Programu MPO ČR na podporu výzkumu a vývoje [17] je třeba v potřebné míře využít a doplnit je o nové poznatky a postupy, které zkvalitní a doplní metody pro využití většího souboru prefabrikovaných staveb;

j) podklady ke zmíněným metodickým východiskům řešení regenerace prefabrikovaných objektů byly získány u řady stavebních organizací a firem, které v minulých obdobích realizovaly prefabrikované stěnové, skeletové a další konstrukční systémy, ze zpracovaných podkladů bývalé VÚVA, VÚMH, STÚ, SČMBD, Drupos, Drutis, programů regenerace panelových domů MPO (15 publikací), ČVUT, metodických standardů ČKAIT, odborných materiálů a řádů ČSSI, ČKA atp.

Tento příspěvek vznikl jako součást grantového projektu č. 103/03/0399.

### Literatura

- [1] Synková, H.: Metodika zjišťování. Praha, VÚVA 1985.
- [2] Král, V.: Metodický návod ke stanovení objemu neprovedené údržby a oprav. Praha, VVÚMH 1987.
- [3] Horová, J. – Jahoda, Č.: Racionalizace systému zachovné péče. Brno, Drupos 1986.
- [4] Witzany, J. a kol.: Průzkum a hodnocení stavebně technického stavu panelových domů. Praha, IC ČKAIT 2000.
- [5] Witzany, J. a kol.: Charakteristické poruchy nosných konstrukcí panelových domů. Praha, IC ČKAIT 2000.
- [6] Kučera, P.: Zkušební postupy k diagnostice stavu konstrukcí a vnitřního prostředí. Praha, IC ČKAIT 2000.
- [7] Kolektiv: Komplexní regenerace panelových domů stavebních soustav. Praha, IC ČKAIT 2000.
- [8] Anton, P. – Goller, S.: Údržba a opravy domů z pohledu spolehlivosti jejich provozu. Praha, Vydavatelství ČVUT 2001.
- [9] Koukalová, V.: Užívání staveb a jejich údržba dle směrnice Rady 89/106/EEC. Praha, ÚRS 2002.
- [10] Kupilík, V. – Matějka, V.: Převzetí a provozování staveb. Praha, IC ČKAIT 2002.
- [11] Kolektiv: Výkonový a honorářový řád. Praha, ČSSI 2002.
- [12] Štrup, O.: Využití facility managementu pro návrh ekonomiky provozu staveb. Praha, ÚRS 2002.
- [13] Goller, S.: Analýza životního cyklu stavby a návrh její životnosti. Praha, ÚRS 2002.

[14] Kolektiv: Sborník informací k opravám panelových domů. Praha, Svaz českých a moravských bytových družstev 2003.

[15] Kolektiv: Regenerace panelových domů. Praha, MPO ČR 2000.

[16] Kolektiv: Průzkum a hodnocení stavebně technického stavu panelových domů. Praha, MPO ČR 2000.

### Sklenář, V.: Methodology of the Design of Regeneration Programmes of Prefab Buildings

A complex solution of regeneration of prefab buildings designed with regard to both technical and economic aspects requires a methodical approach and a proposal of steps leading to the selection and definition of alternative functional modifications. The output should involve realistic measures facilitating the removal of weak links within the process of maintenance and improvement of serviceability of these buildings.

### Sklenář, V.: Methodik zur Erarbeitung von Programmen zur Regenerierung von Fertigbauobjekten

Eine komplexe Lösung der Regenerierung von Fertigbauobjekten vom technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkt so, dass das Ergebnis ein Vorschlag realer Maßnahmen, die zur Beseitigung von Schwachstellen im eigentlichen Prozess der Erhaltung und Verbesserung der Nutzungsfähigkeit dieser Gebäude sein kann, erfordert ein methodisches Herangehen und eine schrittweise Festlegung einzelner Schritte, die zur Auswahl und Festlegung alternativ möglicher Funktionsänderungen führen.

## • zpráva

### Stavba Centra Chodov zahájena

Při realizaci výstavby Centra Chodov spojily své síly dvě významné mezinárodní společnosti. Investorem projektu je Rodamco Europe, jeden z největších investorů a provozovatelů nákupních center na evropském trhu komerčních nemovitostí. Portfolio společnosti tvoří 76 převážně regionálních nákupních center v deseti evropských zemích. Developerem je AM Development, přední nizozemská společnost zabývající se výstavbou vnitroměstských obchodních a administrativních center, komplexů pro bydlení a projekty polyfunkčních center v Nizozemí, Francii, Belgii, Německu, Španělsku, Portugalsku, Velké Británii i v České republice. Generálním dodavatelem stavby je Skanska CZ.

V rámci první etapy výstavby se již za osmnáct měsíců dočkají budoucí návštěvníci otevření moderního čtyřpodlažního komplexu

o celkové ploše 55 tis. m<sup>2</sup> s 2 300 parkovacími místy a s přímým napojením na stanici metra. Hypermarket o rozloze 13 tis. m<sup>2</sup> doplní specializované obchody a služby denní potřeby. Nejvyšší patro bude věnováno volnému času, sportu, relaxaci a zábavě. Nebude chybět široká paleta gastronomických zařízení od kaváren, cukráren, rozmanitého rychlého občerstvení až po velkoplošné restaurace ve stylu pizzerie či české pivnice.

Po dokončení první fáze vzniknou v dalších fázích nové prodejny i kancelářské prostory a byty o celkové ploše 80 tis. m<sup>2</sup>. Po dokončení se kapacita parkovacích míst zvýší na 3 465 míst. Vznikne i nové náměstí, obestavěné budovami Centra Chodov, a celý projekt bude propojen do celku se stávajícími stavbami.

*Tisková informace*



# Přímé kruhové válcové skořepiny se šroubovicově anizotropním strukturováním materiálu pláště za membránové působnosti

*doc. Ing. Radimír NOVOTNÝ, DrSc.  
ČZU – Fakulta lesnická a environmentální  
Praha*

Příspěvek se zabývá chováním kruhových přímých válcových skořepin vystavených vnitřnímu radiálnímu přetlaku za předpokladu, že jejich plášť je materiálově strukturován na způsob jednošroubovicové, popř. dvojšroubovicové anizotropie při jeho membránové působnosti. Některé odvozené a obecněji platné výsledky jsou pak využity při komparativní analýze napjatostí a elastických přetváření analogických skořepin, které jsou ovšem, pokud jde o materiálové strukturování jejich pláště, izotropické. Teoretické závěry článku poukazují na různé možnosti strukturování pláště, upozorňují na eventuality dodatečného zesilování stěn stávajícího poddimenzovaného potrubí a umožňují srovnávat jejich efektivnost.

## 1. Úvod

Je poměrně dobře známo, že plášť přímé kruhové válcové skořepiny (např. potrubí), která je zevnitř „natlakována“ médiem a není vystavena okrajovým poruchám, je namáhán jen tahovými prstencovými normálovými silami (nedbáme-li ovšem zcela nepatrných prstencových ohybových momentů), zatímco ke vzniku konzolových efektů (ohybové krakorcové momenty a posouvající síly) přitom vůbec nedochází. V tomto smyslu lze hovořit (ovšem za určitých předpokladů, které jsou podrobněji rozvedeny v [1] a [2]) o membránovém (anebo alespoň „kvazimembránovém“) chování stěny uvažované skořepiny. Takto popsaný stav namáhání a z něho plynoucí pružné přetvoření pláště však odpovídá izotropnímu chování materiálu skořepiny, popř. též ortotropii, kdy v axiálním (longitudinálním) směru je jiná stálá materiálová jakost pláště, než je tomu ve směru příčně tangenciálním. Přirozeně zde předpokládáme, že jakost materiálu v tečném směru je po celém obvodu pláště stálá a podobně se nemění ani kvalita materiálu v příčné radiálním směru.

Za složitěji definovaných anizotropií materiálu pláště studované skořepiny (která tedy zůstává symetrická jak v rotačně geometrickém, tak i ve statickém slova smyslu) již řešení zpravidla nelze založit na principu kompatibility deformací fiktivních kruhových prstenců a myšlených konzol, jak bývá obvyklé při ohybovém vyšetřování skořepin za izotropie či ortotropie materiálu.

Přímé fiktivní konzoly, to je (za membránového stavu nenapjaté, a tedy vlastně teoreticky „nevyužité“) povrchy pláště skořepiny vytvářejí spolu s myšlenými (a za membránových okolností plně využitými) prstenci dva nosné a navzájem ortogonální reguly pláště (viz rovněž např. [1] a [2]). Membránovým stavem budeme rozumět fakt, že každý „kolmý“ řez pláštěm skořepiny bude vystaven toliko normálovému (nikoli smykovému) napětí.

Je to tedy zejména definice anizotropie materiálu v plášti

skořepiny, která si, pokud jde o uplatnění naznačeného principu kompatibility deformací nosných pruhů, sama vyžádá (předurčí) jejich geometrický tvar i míru jejich izogonality.

Uvažujme např. o dvojici nosných navzájem obecně izogonálních osnov ve tvaru levotočivých a pravotočivých šroubovic stejného, popř. též nestejněho stoupání, na něž se zřejmě plášť uvažované skořepiny rozpadá, a předpokládejme přitom jeho membránové chování. Takovéto dva reguly (podle předpokladů pouze) tažených vláken vlastně determinují (i modelují) jakousi speciální dvojšroubovicovou plášťovou anizotropii, a reprezentují zároveň i jednu z geometricky „nerotačních“ definic přímé kruhové cylindrické skořepiny.

Skutečně, plášť této skořepiny za vnitřního přetlaku a membránové působnosti si lze dobře představit pro případ izotropie, resp. ortotropie, jako výtvar ze tkaniny „sesoukané“ z pravoúhlých stejných, resp. nestejně jakostních vláken orientovaných v longitudinálním a tangenciálním směru. Stejně tak je však možné pro případ anizotropie modelovat „dvojšroubovicový“ plášť téže skořepiny jako výtvar vzniknuvší ovinutím válcového „kopyta“ látkou sesoukanou z navzájem obecně izogonálně uspořádaných a nestejně jakostních vláken, jejichž směr je různoběžný se směrem povrch skořepiny. Konečně si lze, pokud jde o model jednošroubovicové anizotropie, představit uvažovanou skořepinu též jako produkt sestávající z nekonečně velkého množství šroubovicových vláken (trajektorií) jednotné kvality, stoupavosti i orientace.

Jakkoli jsou popisované skořepinové struktury z hlediska tvaru a způsobu zatížení relativně jednoduché i poměrně speciální z hlediska předpokládaného materiálového uspořádání pláště konstantní tloušťky, představují velmi důležité prvky stavební a strojní praxe (potrubí, válcové kotle, jejich zesilování ovíjením apod.), jejichž analýza nebyla doposud uspokojivě provedena. Ukazuje se, že za určitých předpokladů lze působnost popisovaných skořepin uplatnit i na dutá kruhová táhla či pilíře namáhané normálovou silou, ba dokonce i (volným) kroucením [3]. Autor článku má za to, že naznačená analýza je užitečná nejen z hlediska výzkumu jako takového, to je s důrazem na „teorii“, ale například i z hlediska možností praktického využití kompozitních materiálů s „řízenou“ aelotropií, vzhledem k dodatečnému zesilování stávajících skořepinových struktur z klasických hmot (více či méně izotropní povahy), např. ovíjením s předpětím.

Poznamenejme, že s proměnlivostí vnitřního radiálního přetlaku podél uvažované skořepiny by bylo vhodné volit odpovídající proměnnou stoupavost šroubovicových regulů, anebo například, že lze uvažovat nejen jeden či dva nosné reguly anizotropie, nýbrž i více osnov s navzájem různými stoupavostmi. Takovéto fyzikální modely strukturování materiálu by si ovšem vyžadovaly samostatné (a zřejmě velice komplikované, ne-li analyticky neschůdné) studie. V každém případě, ať jde o jednotlivé trajektorie anizotropie, či jejich reguly, je třeba počítat s jejich prostorovou zakřiveností, která má podstatný vliv na míru namáhání stěny skořepinové struktury.

## 2. Některé vlastnosti obyčejné kruhové šroubovicové trajektorie

Základem pro odvození namáhání a elastických přetváření pojednáváných skořepin s anizotropním uspořádáním materiálu pláště je znalost geometrických vlastností trajektorií aelotropie jakožto nosných prvků odpovídajícího plášťového regulu. Uvedme zde jen několik základních informací; k hlubšímu studiu vlastností těchto liniových prostorových prvků odkazujeme čtenáře na práci [3].

Je-li  $\{0; \vec{e}_1; \vec{e}_2; \vec{e}_3\}$  uvažovaná (a vhodně volená) ortonormální báze a  $J$  nějaká množina skalárních parametrů  $t$ , lze na ní v  $E_3$  definovat (regulární) křivku  $s$  vektorovou rovnicí  $\vec{r}(t) = x_1(t) \cdot \vec{e}_1 + x_2(t) \cdot \vec{e}_2 + x_3(t) \cdot \vec{e}_3$ , která nechť popisuje trajektorii anizotropie. Tato (nechť regulární) čára má v každém svém bodě dvě navzájem kolmé hlavní tečné roviny, totiž oskulační a rektifikační rovinu a (jednu) normálovou rovinu, která je k nim kolmá. Průnik obou hlavních tečných rovin definuje tečnu k uvažované křivce v bodě, průnik oskulační roviny s rovinou normálovou udává hlavní normálu a hlavní binormála je pak dána průnikem rektifikační roviny s normálovou rovinou, přičemž trojice vzájemně kolmých jednotkových vektorů kolineárních s tečnou, normálou a binormálou definuje průvodní trojhran v bodě křivky (též ortonormální repér závislý na parametru  $t$ ). Konečná délka (prostorového) oblouku je zřejmě dána

$$s = \int_0^t \sqrt{x_1'^2 + x_2'^2 + x_3'^2} \cdot dt$$

a lze ukázat, že první křivost (flexe), která je pro další úvahy naprosto nezbytná, je dána vtahem

$${}^1k = \frac{\sqrt{x_1''^2 + x_2''^2 + x_3''^2 - s''^2}}{s'^2}.$$

Flexe pak definuje v uvažovaném bodě křivky  $s$  oskulační kružnici, která jím prochází, má v něm s křivkou společnou tečnu i první křivost, takže poloměr této kružnice (ležící v oskulační rovině) je dán recipročním vztahem

$$R_1 = \frac{1}{{}^1k}.$$

Uplatňme tyto skutečnosti na trajektorii definovanou trojicí parametrických rovnic  $x_1 = R_o \cdot \cos t$ ,  $x_2 = R_o \cdot \sin t$ ,  $x_3 = c \cdot t$ , které určují obyčejnou kruhovou šroubovici. V poslední trojici dvouparametrických rovnic značí  $R_o$  poloměr střednice přímé kruhové válcové skořepiny, konstanta  $c$  udává stoupavost šroubovice po jejím plášti, zatímco parametr  $t$  je argumentem. (Lze snadno ukázat, že tatáž trajektorie vznikne průnikem přímé kruhové válcové plochy  $x_1^2 + x_2^2 = R_o^2$  a přímého šroubového konoidu  $x_3 = c \cdot \arctg(x_2/x_1)$ , tedy dvou sousých ploch). Po dosazení do výše uvedených vzorců a určitých úpravách vychází

$$s = \sqrt{R_o^2 + c^2} \cdot t, \quad (1)$$

$$R_1 = \frac{R_o^2 + c^2}{R_o}. \quad (2)$$

Aniž by zde bylo třeba odvozovat a analyzovat podrobnosti diferenciálně geometrické povahy [3], uvedme, že úhel  $\varphi$ , který svírají tečny ke šroubovici s rovinou řídicí kružnice kruhové válcové plochy, je stálý a platí pro něj  $\varphi = \arctg(c/R_o)$ . Podobně, normála šroubovice je komplanární s rovinou, v níž se nalézá řídicí kružnice válcové plochy, a je tak kolmá k ose šroubovice  $x_3$ . Ukazuje se, že studovaná prostorová křivka má stálou flexi i druhou křivost (torzi), přičemž k maximální druhé křivosti („měřené“ v rektifikační rovině;  ${}^2k = 1/(2 \cdot R_o) = {}^1k$ ) dochází při  $R_o = c$ , to je za situace, kdy

$\varphi = \pi/4$ . Lze se také snadno přesvědčit, že absolutně největší flexe nastane za limitní okolnosti  $c \rightarrow 0$ , tedy při rovnosti  $R_1 = R_o$ . Pythagorejský vztah (1) rovněž ukazuje, že obyčejnou kruhovou šroubovici lze rozvinout do přímky nalézající se v rektifikační rovině, která se dotýká uvažované skořepiny vždy v tvořící přímce (površce). Přejdeme nyní k vyšetřování napjatosti jediného šroubovicového nosného vlákna, které zevně „ovíjí“ (a jakoby podpírá) plášť přímé kruhové válcové skořepiny, která je „natlakována“ vnitřním přetlakem konstantní velikosti, a předpokládáme, že membránové chování tenkostěnného pláště je zcela realizováno prostřednictvím uvažovaného (taženého) vlákna. Lze ukázat, že kolmá vzdálenost vláken odpovídající výšce jednoho zdvihu  $2 \cdot \pi \cdot c$  jedné a téže šroubovice je dána

$$p = 2 \cdot \pi \cdot c \cdot \cos \varphi = 2 \cdot \pi \cdot c \cdot \frac{R_o}{\sqrt{R_o^2 + c^2}}. \quad (3)$$

Pro další výklad je důležité uvědomit si, že směr vnitřního přetlaku  $q$  [N/cm<sup>2</sup>] uvnitř ovinuté skořepiny je kolmý k jejímu plášti, takže je kolineární s normálou. Z analýzy prstencových efektů studované skořepiny [1], [2] a z faktu, že  ${}^1k = 1/R_1 = \text{konst}$ , viz též (2), lze odvodit pro velikost tahové normálové síly ve šroubovicovém vláknu vztah

$$N = R_1 \cdot p \cdot q, \quad (4)$$

kde  $R_1$  je poloměr oskulační kružnice v oskulační rovině. Rovnice (4) přechází vzhledem k (2) a (3) po úpravě na vzorec

$$N = 2 \cdot \pi \cdot q \cdot c \cdot \sqrt{R_o^2 + c^2}, \quad (5)$$

v němž přirozeně předpokládáme, že platí  $c > 0$ . Za účelem diskuze vztahu (5) nyní uvažujme, že tatáž skořepina je místo jediným šroubovicovým vláknem podporována soustavou kruhových vláken (na způsob prstenců) o poloměru  $R_o$ , jejichž pravidelná vzdálenost je rovna právě velikosti zdvihu  $2 \cdot \pi \cdot c$ . Každé takové kruhové vlákno je pak zřejmě namáháno tahovou silou

$$N_o = 2 \cdot \pi \cdot q \cdot c \cdot R_o \quad (6)$$

a je vidět, že pro  $c > 0$  je i  $N > N_o$ , přičemž pro malá  $c > 0$  platí  $N \rightarrow N_o$ , ale pro vysoká  $c$  vzrůstá vzájemná divergence předmětných sil, viz vzorce (4) a (5). Z dosavadního výkladu je evidentní, že „šikmá“ síla (5), která je mimoběžná s podélnou osou skořepiny (a odpovídá šikmému pruhy šířky  $p$  (viz (3)), indukuje kromě „prstencové“ síly (5) (odpovídající pruhy šířky  $2 \cdot \pi \cdot c$ ) ještě podélnou tahovou sílu  $P$ , takže platí  $\vec{N} = \vec{N}_o + \vec{P}$ , přičemž všechny tyto komplanární síly leží v rektifikační rovině. Uvážíme-li, že

$$\sin \varphi = \frac{c}{\sqrt{R_o^2 + c^2}}$$

a že  $P = N \cdot \sin \varphi$ , popř.  $N_o = N \cdot \cos \varphi$ , snadno ověříme platnost vztahu

$$P = 2 \cdot \pi \cdot q \cdot c^2. \quad (7)$$

Zaměříme se nyní na vyšetření deformace tahem namáhaného šroubovicového vlákna. Budeme-li se orientovat podle obr. 1, pak z definice napětí v Cauchyově smyslu, z jednorozměrně pojatého Hookeova zákona (v němž  $E$  značí Youngův modul pružnosti vlákna a  $\varepsilon_s = \Delta ds/ds$  označuje jeho poměrné prodloužení), odvodíme

$$\Delta ds = \frac{N}{E \cdot F} \cdot ds,$$

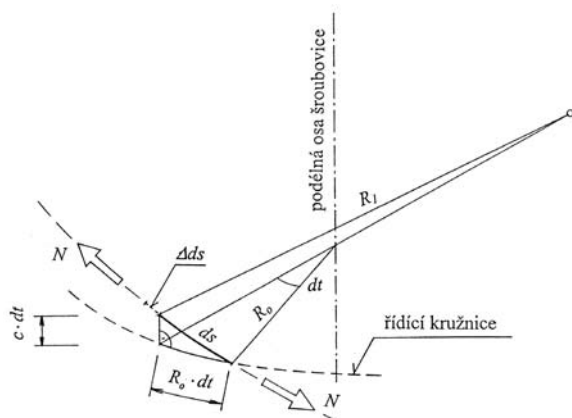
kde  $F$  je průřezová plocha uvažovaného vlákna v rovině kolmé na vlákno,  $ds = \sqrt{R_o^2 + c^2} \cdot dt$  a pro sílu  $N$  platí vztah (5).

Pro rozsah jednoho zdvihu šroubovicového vlákna lze k výpočtu jeho odpovídajícího pružného prodloužení využít např. Castiglianého přetvárné energetického principu

$$\Delta s = \frac{\partial A(N)}{\partial N},$$

kde za  $N$  je třeba brát vztah (5) a pro přetvárnou energii deformace vnitřních sil pak zřejmě uvažujeme

$$A(N) = \int_0^{2\pi \cdot \sqrt{R_o^2 + c^2}} \frac{N^2}{2 \cdot E \cdot F} \cdot ds = \int_0^{2\pi} \frac{N^2}{2 \cdot E \cdot F} \cdot \sqrt{R_o^2 + c^2} \cdot dt.$$



Obr. 1. K odvození elastické deformace taženého šroubovicového vlákna

$R_1$  – poloměr oskulační kružnice v oskulační rovině šroubovice,  
 $R_o$  – poloměr ovíjené přímé kruhové válcové skořepiny ( $R_1 > R_o$ ),  
 $ds$  – délkový prvek šroubovice

Po provedení naznačeného postupu dojdeme po jistých úpravách k výrazu

$$\Delta s = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot q \cdot c}{E \cdot F} \cdot (R_o^2 + c^2), \quad (8)$$

přičemž původní (nezdeformovaná) délka uvažovaného oblouku vlákna činí, viz (1),

$$s = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{R_o^2 + c^2}.$$

Nyní lze využít obou posledních vzorců k vyjádření délky téhož, ale elasticky roztaženého oblouku vlákna, totiž jako  $s + \Delta s$ . Avšak tutéž „novou“ délku můžeme vyjádřit jako

$$s + \Delta s = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{(R_o + \Delta R_o)^2 + (c + \Delta c)^2}, \quad (9)$$

kde  $\Delta R_o$  označuje přírůstek poloměru šroubovicovým vláknem ovíjené válcové skořepiny a  $\Delta c$  označuje přírůstek délkového parametru  $c$ . Je patrné, že výraz (9) je jednoduše neurčitý; zatímco přírůstek  $\Delta s$  je jednoznačně stanovitelný z (8), je třeba jeden ze dvou parametrů  $\Delta R_o$ , resp.  $c$  znát (popř. zvolit), a zbývající pak dopočítat z (9). Nejjednodušší případ nastane, budou-li „nosná“ šroubovicová vlákna před deformací i po ní v afinním vztahu, tj. bude-li platit

$$\frac{c}{R_o} = \frac{\Delta c}{\Delta R_o}.$$

Tedy bude zachován odklon tečen obou šroubovicových vláken, takže elastické přetváření bude volné, nerušené. Ve všech ostatních případech, tj. pro libovolný poměr veličin  $\Delta R_o$  a  $c$ , resp. pro  $\Delta R_o = 0$ , resp. při  $c = 0$ , půjde o vázané přetváření, takže stoupavost šroubovicových nosných vláken před deformací i po ní bude navzájem různá. Poznamenejme, že (technicky ztěžlý reálný) případ, kdy  $\Delta R_o = 0$ , je jen teoretického významu.

Ukazuje se, že za uvedených předpokladů a modelové situace, kdy je celý vnitřní přetlak na plášť uvažované skořepiny přenášen jediným nosným vláknem, lze vnitřní normálovou tahovou sílu v něm při platnosti podmínky

$$\frac{c}{R_o} = \frac{\Delta c}{\Delta R_o}$$

exaktně stanovit podle vztahu (5). Tehdy vzhledem k (8) vyjde

$$\Delta R_o = \frac{2 \cdot \pi \cdot q \cdot c \cdot R_o}{E \cdot F} \cdot \sqrt{R_o^2 + c^2}, \quad (10)$$

$$c = \frac{2 \cdot \pi \cdot q \cdot c^2}{E \cdot F} \cdot \sqrt{R_o^2 + c^2}. \quad (11)$$

Budou-li poměrná roztažení

$$\varepsilon_r = \frac{\Delta R_o}{R_o}, \quad \varepsilon_t, \quad \varepsilon_p = \frac{\Delta c}{c} \quad \text{a} \quad \varepsilon_s = \frac{\Delta s}{s}$$

poměrnými přetvořeními (postupně) v radiálním, příčně tangenciálním, podélném a tečně šroubovicovém směru, vychází

$$\varepsilon_r = \varepsilon_t = \varepsilon_p = \varepsilon_s = \frac{2 \cdot \pi \cdot q \cdot c}{E \cdot F} \cdot \sqrt{R_o^2 + c^2}. \quad (12)$$

Při jiných pružně přetvárných okolnostech lze s „dostatečnou“ přesností (i když nikoliv exaktně) také brát vzorce (5) a (8) (uvaž, že  $\Delta R_o \ll R_o$  a  $\Delta c \ll c$ ), ale vztah (12) je třeba uplatnit jedině vzhledem k  $\varepsilon_s$ . Pokud jde o poměrná přetvoření  $\varepsilon_r = \varepsilon_t = \varepsilon_p$ , je nutno je stanovit vzhledem k volbě jedné z veličin  $\Delta R_o$ , resp.  $c$ .

### 3. Jednošroubovicová anizotropie pláště přímé kruhové válcové skořepiny

Přidřívme-li se shora nastíněných principů a způsobu odvození vzorce (5), lze konstatovat, že na jednotku délky skořepiny v podélném směru připadá měrná plášťová tahová síla o velikosti  $v_1 = N / (2 \cdot \pi \cdot c)$  [N/cm] „měřená“ ve směru tečny k předpokládané jednošroubovicové anizotropii, neboli po dosažení z (5) plyne

$$v_1 = q \cdot \sqrt{R_o^2 + c^2}. \quad (13)$$

Ta indukuje prstencovou složku [viz. (6)] o velikosti

$$v_{o1} = v_1 \cdot \cos \varphi = \frac{N_o}{2 \cdot \pi \cdot c} = q \cdot R_o \quad (14)$$

a podélnou složku, která je dána vzhledem k (7) vzorcem

$$\lambda_1 = v_1 \cdot \sin \varphi = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot c} = q \cdot c. \quad (15)$$

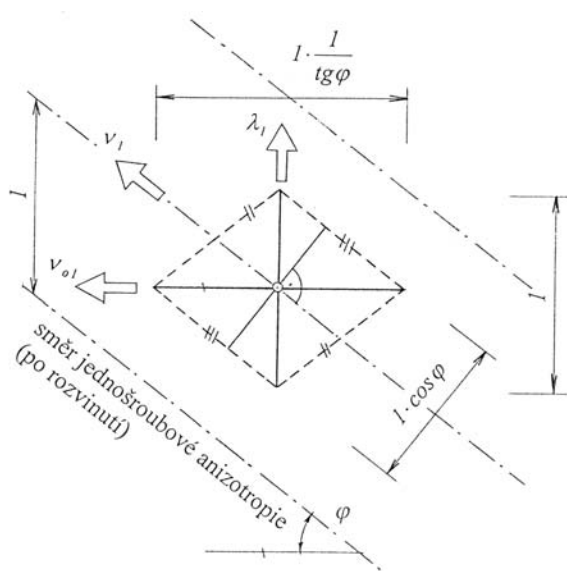
Orientace a působnost plášťových sil, pro něž platí vztah  $\vec{v}_1 = \vec{v}_{o1} + \vec{\lambda}_1$ , je patrná z obr. 2.

Bude-li nyní  $t$  označovat tloušťku stěny uvažované skořepiny (nezaměňovat s parametrem  $t$  při popisu trajektorií anizotropie), můžeme ze vzorců (13), (14) a (15) vypočítat plášťovou napjatost za membránového stavu jako

$$\sigma_1 = \frac{v_1}{1 \cdot \cos \varphi \cdot t} = \frac{q \cdot (R_o^2 + c^2)}{R_o \cdot t}, \quad (16)$$

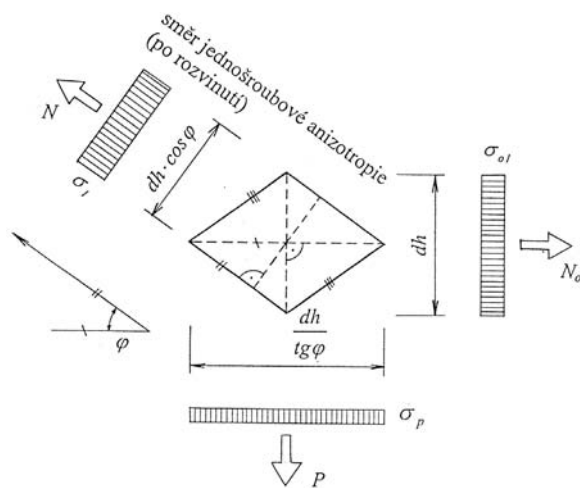
$$\sigma_{o1} = \frac{v_{o1}}{1 \cdot t} = \frac{q \cdot R_o}{t}, \quad (17)$$

$$\sigma_p = \frac{\lambda_1}{\frac{1}{\tan \varphi} \cdot t} = \frac{q \cdot c^2}{R_o \cdot t}. \quad (18)$$



Obr. 2. Skica k odvození plášťových sil odpovídajících jednotce délky skořepiny za jednošroubovicové anizotropie

Odvození šikmého plášťového normálového napětí  $\sigma_1$ , „prstencového“ normálového napětí  $\sigma_{o1}$  a podélného normálového napětí  $\sigma_p$  je též patrné z výminek silové rovnováhy na elementárním rovnoběžníku anizotropního pláště skořepiny, kde uvažované síly  $N$ ,  $N_o$  a  $P$  odpovídají podélnému úseku válcové skořepiny o velikosti  $dh$  (obr. 3). Ověření správnosti vztahů (16), (17) a (18) již ponecháváme z úsporných důvodů na čtenářích.



Obr. 3. Rovnováha na elementárním rovnoběžníku pláště přímé kruhové válcové skořepiny s tloušťkou stěny  $t$  za jednošroubovicové anizotropie

Poslední odvozené výsledky ukazují na platnost vztahu  $\sigma_{o1} + \sigma_p = \sigma_1 = \text{invariant}$ . Tento skalár (první, lineární invariant, popř. též „stopa“) náleží tenzoru napjatosti  $\vec{T}$  druhého řádu (vlastně diagonální matici typu „2\*2“ – podle předpokladu jde o membránovou napjatost), přičemž

$$\vec{T} = \begin{pmatrix} \sigma_{o1} & 0 \\ 0 & \sigma_p \end{pmatrix}$$

Analýzou uvedeného tenzoru napjatosti „na ploše“ skořepiny a detailním výkladem jeho transformačních vlastností se zde již nebudeme zabývat [3]. Poznamenejme jen, že tenzor

$\vec{T}$  lze transformovat do tvaru

$$\vec{T}^* = \begin{pmatrix} \sigma_1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

a uveďme, že diagonální komponenty v obou alternativních tensorech jsou podle předpokladů kladné (tahy), takže zobrazením plášťové napjatosti je elipsa, popř. úsečka.

Vyjádříme ještě pro tento typ anizotropie odpovídající poměrná prodloužení za předpokladu, že plášť uvažované skořepiny se může „nevázaně“ elasticky přetvářet (viz druhý oddíl příspěvku). Lze se snadno přesvědčit, že vyjde

$$\varepsilon_r = \varepsilon_t = \varepsilon_p = \varepsilon_s = \frac{q \cdot (R_o^2 + c^2)}{E \cdot t \cdot R_o}, \quad (19)$$

a uvažíme-li, že lze napsat  $\sigma_{o1} = E \cdot \varepsilon_s$ ,  $\sigma_1 = E_t \cdot \varepsilon_t$  a  $\sigma_p = E_p \cdot \varepsilon_p$ , kde  $E$  označuje Youngův modul pružnosti odpovídající směru jednošroubovicové anizotropie, zatímco  $E_t$  a  $E_p$  představují moduly pružnosti pláště skořepiny v příčně tangenciálním a v axiálně longitudinálním směru, lze z (19) vzhledem ke vztahům (16), (17) a (18) dospět k důležitým vzorcům, totiž

$$E_t = \frac{R_o^2}{R_o^2 + c^2} \cdot E < E, \quad (20)$$

$$E_p = \frac{c^2}{R_o^2 + c^2} \cdot E < E. \quad (21)$$

Z nich je okamžitě patrné, že platí i

$$E = E_t + E_p, \quad (22)$$

popř.

$$\frac{E_p}{E_t} = \frac{c^2}{R_o^2} = \text{tg}^2 \varphi. \quad (23)$$

Na základě řady provedených numerických verifikací poznamenejme, že poslední čtyři exaktně stanovené vztahy platí „přibližně“ i pro „rozumně“ volené proporce

$$\frac{\Delta c}{\Delta R_o} \neq \frac{c}{R_o}.$$

#### 4. Dvojšroubovicová anizotropie pláště přímé kruhové válcové skořepiny

Uvažujme o obecné dvojšroubovicové anizotropii pláště skořepiny za membránové působnosti a vnitřního stálého přetlaku  $q$  s tím, že oba reguly jsou navzájem opačných orientací (obr. 4). Oba směry alotropie se tak vyznačují „svou“ geometrií ( $c_1$ , resp.  $\varphi_1$ , a  $c_2$ , resp.  $\varphi_2$ ) i „svými“ moduly pružnosti ( $E_1$  a  $E_2$ ).

Přepíšeme-li vztah (9) na ekvivalentní rovnici

$$2 \cdot \pi \cdot \sqrt{R_o^2 + c^2} \cdot (1 + \varepsilon_s) = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{(R_o + \Delta R_o)^2 + c^2} \cdot (1 + \varepsilon_p)^2,$$

v níž zanedbáme (jen) „velmi“ malý člen  $\varepsilon_s^2 \approx 0$ , dostaneme (ze vzniknuvší kvadratické rovnice) reálné řešení ve tvaru

$$\Delta R_o = \left[ \sqrt{1 + 2 \cdot \varepsilon_s + 2 \cdot \frac{c^2}{R_o^2} \cdot (\varepsilon_s - \varepsilon_p) - 1} \right] \cdot R_o; \quad (24)$$

o přírůstku  $\Delta R_o$  samozřejmě předpokládáme, že je kladný, a aby

tomu tak skutečně bylo, musí evidentně platit  $\frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_p} \geq 1 + \frac{R_o^2}{c^2}$ .

Podle vztahu (24) lze nyní vyjádřit absolutní zvětšení poloměru skořepiny dvěma způsoby – společný příčně radiální posuv  $\Delta R_o$  zapíšeme pomocí parametrů jednoho i druhého regulu – přičemž „podílové“ radiální tlaky  $q_1$  a  $q_2$  jsou přenášeny odpovídajícími osnovami anizotropie, takže



platí

$$q = q_1 + q_2. \quad (25)$$

Vyjádříme-li navíc podle (19)

$$\varepsilon_{s_i} = \frac{q_i \cdot (R_o^2 + c_i^2)}{E_i \cdot t \cdot R_o}; \quad i=1, 2, \quad (26)$$

Ize z (24), (25) a (26) pro parciální tlaky po úpravách odvodit

$$q_1 = \frac{q + \frac{(c_1^2 - c_2^2) \cdot R_o \cdot t \cdot E_2}{(R_o^2 + c_2^2)^2} \cdot \varepsilon_p}{\left[ \frac{E_2}{E_1} \cdot \left( \frac{R_o^2 + c_1^2}{R_o^2 + c_2^2} \right)^2 + 1 \right]}, \quad (27)$$

$$q_2 = \frac{\frac{E_2}{E_1} \cdot \left( \frac{R_o^2 + c_1^2}{R_o^2 + c_2^2} \right)^2 \cdot q - \frac{(c_1^2 - c_2^2) \cdot R_o \cdot t \cdot E_2}{(R_o^2 + c_2^2)^2} \cdot \varepsilon_p}{\left[ \frac{E_2}{E_1} \cdot \left( \frac{R_o^2 + c_1^2}{R_o^2 + c_2^2} \right)^2 + 1 \right]}. \quad (28)$$

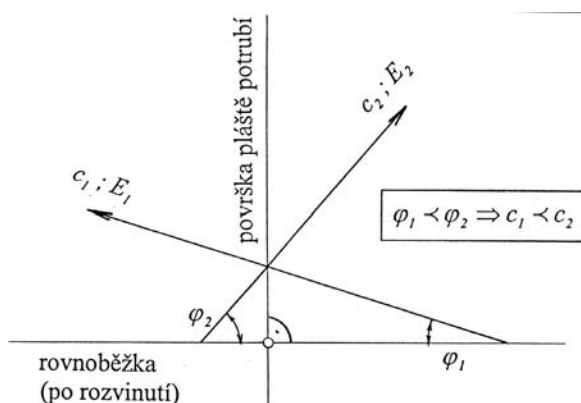
Vztahy (27) a (28) byly odvozeny na principu kompatibility deformací obou nosných regulů; pro oba jsou společné posuvy  $\Delta R_o$  a  $\varepsilon_p$ , přičemž předpokládáme  $\Delta R_o > 0$ , zatímco „neurčitý“ parametr musí být (realisticky) zvolen ( $\varepsilon_p = \Delta l / l \geq 0$ , kde  $l$  značí délku skořepiny v podélném směru a  $\Delta l$  je pak absolutní prodloužení v tomto směru). Význam vzorců (27) a (28) je tedy průzračný. Je možno ověřit, že skutečně platí výchozí předpoklad  $q = q_1 + q_2$  a např. pro  $c_1 = c_2$  přechází rovnice (27) na dobře představitelný vztah

$$q_1 = \frac{E_1}{E_1 + E_2} \cdot q,$$

zatímco rovnice (28) přejde v

$$q_2 = \frac{E_2}{E_1 + E_2} \cdot q.$$

Bude-li navíc platit i  $E_1 = E_2$ , vyjde  $q_1 = q_2 = q / 2$ .



Obr. 4. Obecná různě orientovaná dvojšroubovicová anizotropie pláště přímé kruhové válcové skořepiny za membránového stavu

Po distribuci vnitřního přetlaku na oba parciální tlaky lze již, pokud jde o stanovení tenzorů napjatosti odpovídajících příslušným osnám anizotropie, postupovat standardním způsobem podle vzorců (16), (17) a (18), které je ovšem třeba „opatřit“ příslušnými indexy. Úplný obraz o napjatosti v plášti s „dvojsměrnou“ anizotropií za membránového stavu získáme sečtením obou tenzorů napjatosti

$${}^1\vec{T} + {}^2\vec{T} = \begin{vmatrix} {}^1\sigma_{o1} & 0 \\ 0 & {}^1\sigma_p \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} {}^2\sigma_{o1} & 0 \\ 0 & {}^2\sigma_p \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} {}^1\sigma_{o1} + {}^2\sigma_{o1} & 0 \\ 0 & {}^1\sigma_p + {}^2\sigma_p \end{vmatrix} = {}^v\vec{T}.$$

Vzniknuvší tenzor  ${}^v\vec{T}$  definoval autor příspěvku jako **tenzor výsledného napětí**.

Na základě vztahu (24) můžeme ověřit, že skutečně vyjde  $\Delta R_{o1} = \Delta R_{o2}$  (vzorec (24) je však třeba opatřit příslušnými indexy), přičemž vyjde, že obecně  $\varepsilon_{s1} \neq \varepsilon_{s2}$ , viz vztah (26).

## 5. Závěr

V předloženém příspěvku byly analyzovány a „diskutovány“ výsledky týkající se namáhání a elastických přetváření přímých kruhových válcových skořepin, jejichž plášť je, pokud jde o materiálové uspořádání pláště, definován jednošroubovicovou, popř. dvojšroubovicovou anizotropií, a pokud jde o jeho působnost, charakterizován membránovým stavem. Specifičnost naznačených okolností je zvýrazněna speciálností způsobu zatížení, totiž stálostí vnitřního přetlaku. Některé z uvažovaných předpokladů jsou velmi realistické (předpoklad o „geometrii“ tvaru pláště a jeho metrice, hlavně tenkostěnnost pláště, a dále představa o jednošroubovicově či dvojšroubovicově „protismyslenné“ aelotropní strukturování materiálu v hmotě pláště). Jiné premisy jsou spíše výrazem zidealizování (zjednodušení) skutečné působnosti pláště (membránové chování pláště skořepiny za konstantního radiálního přetlaku je „přijatelné“ jen za vyloučení okrajových poruch). Velmi zidealizovaným se také jeví předpoklad o zanedbání smykových napětí při interakci obou navzájem různě se elasticky prodlužujících anizotropních regulů (na jejich kontaktu), takže obě osnovy aelotropie mohou po sobě jakoby prokluzovat bez vzájemného tření.

Zdá se, že výsledky předmětné studie mohou být dobře uplatnitelné pro přímá kruhová potrubí s předpokládanou anizotropií svého pláště, popř. i pro jejich zesilování dodatečným ovíjením (za předepnutí či bez něj) – a řada numerických případů, které autor příspěvku verifikoval, to jen potvrzuje. Ukazuje se například, že při dvojitě symetrické anizotropii s opačnou orientací a s „mírným“ stoupáním ( $c_1 = c_2$ ;  $E_1 = E_2$ ;  $c_1 = c_2 \leq R_o$ ) vychází plášťová napjatost příznivěji, než je tomu v případě ortotropie  $E_t = E_1 = E_2$ ;  $E_t \gg E_p$  ( $\rightarrow 0$ ); index  $p$  značí podélný směr a index  $t$  označuje příčné tangenciální směr). Je rovněž patrné, že za přijatých předpokladů není izotropně uspořádaný materiál pláště právě nejvýhodnější (pro svou „nevyužitost“ v podélném směru). Naproti tomu anizotropní uspořádání materiálu pláště ze způsobu jednošroubovice, kdy  $E = E_t$ ;  $c > 0$ , dává nejméně příznivou napjatost v plášti potrubí (a to jak co do velikosti, větší napjatost než v případě ortotropie či izotropie), tak i co do jeho rozložení (což souvisí s tvarem i transformací tenzoru výsledného napětí [3]).

Autor této studie, která svým zaměřením odpovídá spíše mechanice kontinua než klasické inženýrské mechanice, pokládá za cenné teoretické zjištění (potvrzení očekávané fyzikální představy), že totiž stále vnitřní normálové síly v plášti skořepiny v tečných směrech k její předpokládané anizotropii šroubovicového typu jsou snadno odvoditelné z flexe k trajektoriím uvažované aelotropie za předpokládaného stálého vnitřního přetlaku. Práce při analýze napjatosti a elastických přetváření pláště studované skořepiny metodicky využívala principů tenzorového počtu ve spojitosti s aplikacemi diferenciální geometrie. Článek obsahuje jen některé analytické a praktické závěry; k hlubšímu i zevrubnějšímu studiu odkazujeme čtenáře zejména na práci [3]. Výsledky lze využít nejen v oblasti železobetonového stavitelství (orientace nepředpjaté nebo i předpjaté výztuže jakoby „předjímá“ uvažovanou anizotropií), ale i v oblasti

kompozitních materiálů a materiálů na bázi dřeva (vhodně navinuté plastové či přírodní vláknité tkanivo na válcovou formu, které je posléze „natuženo“ syntetickou pryskyřicí, vlastně determinuje zde analyzovanou anizotropii).

#### Literatura

- [1] Novotný, R.: Příspěvek k řešení kruhových válcových skořepin. [Kandidátská dizertační práce], FSv ČVUT, Praha, 1986.
- [2] Novotný, R.: Kruhové válcové skořepinové konstrukce za některých speciálních okolností. [Doktorská dizertační práce], FSv ČVUT, Praha, 2001.
- [3] Novotný, R.: Některé specifické případy konstrukčně geometrického a fyzikálně strukturálního uspořádání materiálů na bázi dřeva. [Habilitační práce], FLE ČZU, Praha, 2003.
- [4] Kovařík, V.: Válcové skořepiny vrstevnaté struktury. Praha, Academia 1985.
- [5] Brdička, M. – Samek, L. – Sopko, R.: Mechanika kontinua. Praha, Academia 2000.
- [6] Raševskij, P. K.: Rimanova geometrija i tenzornj analiz. Moskva, Nauka 1967.
- [7] Budinský, B. – Kepr, B.: Základy diferenciální geometrie s technickými aplikacemi. Praha, SNTL 1970.

#### Novotný, R.: Direct Round Cylindrical Shells with Non-Isotropic Helix-Structured Material of the Skin in Membrane Action

This article examines behaviour of direct round cylindrical shells exposed to the internal radial overpressure provided their skin is materially structured in the form of a single-helix or dual-helix anisotropy in its membrane action. Some of the derived and generally useful results are exploited in the comparative analysis of the state of stress and elastic strains of analogical shells. These are, given the material structuring of their skin, isotropic. The theoretical conclusions of the article point at various possibilities of structuring of the skin, highlight alternative additional strengthening of walls of the current underdimensioned piping and facilitate comparison of their efficiency.

#### Novotný, R.: Gerade Kreiszyinderschalen mit schraubenlinienförmig anisotropem strukturierten Material der Hülle bei Membranwirkung

Der Beitrag befasst sich mit dem Verhalten gerader Kreiszyinderschalen, die einem radialen inneren Überdruck unter der Voraussetzung ausgesetzt sind, dass ihre Hülle materialmäßig in einer einfach schraubenlinienförmigen bzw. zweifach schraubenlinienförmigen Anisotropie bei ihrer Membranwirkung strukturiert ist. Einige abgeleitete und allgemeingültigere Ergebnisse werden sodann bei der komparativen Analyse des Spannungszustands und der elastischen Verformungen analoger Schalen angewandt, die allerdings, was die Materialstrukturierung ihrer Hülle betrifft, isotropisch sind. Die theoretischen Schlussfolgerungen des Artikels verweisen auf verschiedene Möglichkeiten der Strukturierung der Hülle, machen auf Eventualitäten einer zusätzlichen Verstärkung der Wände eines unterdimensionierten Rohrs hin und ermöglichen, ihre Effektivität zu vergleichen.

## ● konference

### Evropská federace stavebního průmyslu



Evropská federace stavebního průmyslu (European Construction Industry Federation), jejíž kongres se konal v polovině června v Praze, byla založena v roce 1905 jako francouzská právnická osoba, která zastupuje na různých úrovních evropské stavebnictví. Její sídlo je v Bruselu. Členy je v současné době 32 národních svazů a federací, které reprezentují stavební podniky od malých živností bez zaměstnanců po největší mezinárodní společnosti provádějící všechny druhy stavebních prací včetně speciálních, ať již jako generální dodavatelé, nebo subdodavatelé, a implementující všechny technologie a pracovní metody. Sdružuje tak stavební podniky z 25 zemí. Kromě původních členských zemí EU to jsou Bulharsko, Česká republika, Kypr, Maďarsko, Polsko, Rumunsko, Slovensko a Turecko. Českou republiku, která se stala členem jako jedna z prvních zemí mimo EU, zastupuje Svaz podnikatelů ve stavebnictví.

V zastoupení svých členů reprezentuje federace odvětví, které například v roce 2000 jen v zemích EU provedlo stavební práce v hodnotě 852 mld. EUR, což odpovídalo 10 % hrubého domácího produktu a 48,5 % hrubého fixního kapitálu vytvořeného v těchto zemích. Reprezentuje téměř 2 mil. podniků, z nichž 97 % jsou malé a střední podniky s méně než dvaceti zaměstnanci, resp. 93 % podniků s méně než deseti zaměstnanci. V těchto podnicích působí 11 mil. pracovníků, což představuje 7 % celkové zaměstnanosti v Evropě, resp. 28,1 % ze zaměstnanosti v průmyslových odvětvích. V důsledku multiplikačního efektu je v Evropě na stavebnictví přímo nebo nepřímo závislých 26 mil. pracovníků a jedno pracovní místo ve stavebnictví vytváří další dvě místa v navazujících odvětvích.

Vrcholným orgánem federace je valné shromáždění, z jehož členů je volena rada federace a výkonný výbor. Funkce předsedy (prezidenta) je obsazována na základě rotace. Jeho volební období je dvouleté a opakované může být též osoba zvolena jen na základě zvláštního souhlasu kvalifikované většiny členů rady. Bez ohledu na národnost prezidenta jsou ostatní mandáty ve výkonném výboru rozdělovány podle skupin zemí EU, resp. EFTA. Česká republika je ve skupině společně s Rakouskem, Švýcarskem, Maďarskem a Slovenskem. Volební období členů výkonného výboru je rovněž dvouleté a opakované zvolení je možné.

Struktura a pracovní náplň subkomisí se může podle potřeby měnit (v roce 2000 měla ekonomická a právní komise šest subkomisí zaměřených např. na veřejné zakázky a smluvní právo, zdanění a slučování společností, infrastrukturu, globalizaci nebo na etiku vztahů mezi členy federace). Značná pozornost je věnována otázkám spojeným s trvale udržitelným rozvojem a stavebnictvím. Pro nás je významná práce skupiny pro Střední a Východní Evropu. Po kongresu v roce 1999, který se konal v Bratislavě, se FIEC snažila pomáhat členským svazům k lepšímu porozumění dokumentům EU. Zvýšenou pozornost věnuje využití finančních nástrojů a sociálním otázkám spojeným s rozšířením unie, jako je volný pohyb pracovních sil a volné poskytování služeb.

Tisková informace

# Neizotermická difúze vodních par v obvodových konstrukcích III

## Neizotermické modely v rámci Glaserova kondenzačního schématu

doc. RNDr. Tomáš FICKER, DrSc.  
Ing. Zdenka PODEŠVOVÁ  
VUT – Fakulta stavební  
Brno

V příspěvku je studováno chování nově odvozených neizotermických modelů v rámci celoroční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry. Výsledky jsou porovnány se standardním postupem uvedeným v ČSN 73 0540.

(korekce součinitelem typu budovy  $e_1$ ) neprovádíme. Využíváme vztahů obvyklých ve stavební tepelné technice a vztahů z modelů DIAL a DRAL odvozených a ověřených v předešlých příspěvcích [4], [5].

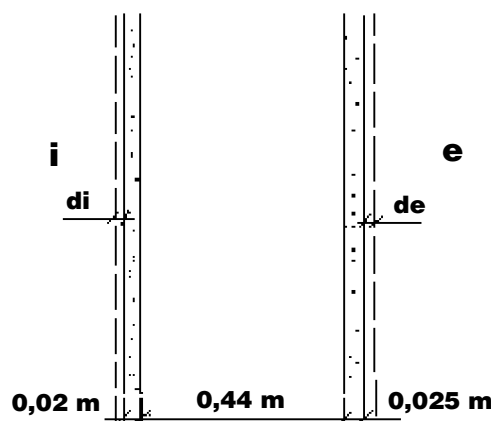
### Úvod

Výpočet kondenzátu vodní páry v konstrukci se ve stavební tepelné technice běžně provádí Glaserovým kondenzačním modelem. Tento model [1]–[2] je kombinovanou graficko-numerickou metodou. Výpočtovou nadstavbou nad Glaserovým schématem je jednorocní bilance zkondenzované a vypařené páry ve stavební konstrukci během roku. Pokud v konstrukci dojde ke kondenzaci páry, nesmí toto množství překročit specifické limity [3], a navíc, vypařené množství musí převyšovat zkondenzované množství, aby mohla být konstrukce považována za vyhovující. Tato stávající metoda však vykazuje jisté nedostatky, jak jsme již uvedli v předešlých příspěvcích [4], [5]. Značným nedostatkem kondenzačních výpočtů je použití izotermických transportních rovnic pro konstrukci, která se nachází v neizotermických podmínkách [3].

Zabývali jsme se problémem, jak zdokonalit Glaserovo schéma, aby zahrnuje i korektní neizotermické transportní rovnice. Pro tento účel jsme odvodili [4] dva neizotermické modely DIAL a DRAL. Cílem tohoto příspěvku bude ověřit jejich funkčnost a porovnat jejich výsledky se standardním normovým postupem (ČSN) v rámci celoroční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry.

### Prototyp stěny a její okrajové podmínky

Ke studiu numerické kompatibility výše zmíněných modelů používáme omítnutou cihelnou obvodovou stěnu (obr. 1) s parametry uvedenými v tab. 1. Stěna odděluje obytnou místnost s pokojovou teplotou  $t_i = 20$  °C a relativní vlhkostí  $\varphi_i = 60$  % od venkovního prostředí se sezónními teplotami a vlhkostí danou normou [3]. Teplotní profil uvnitř stěny předpokládáme lineární. Výpočty zahajujeme postupem určeným normou [3]. Dále provádíme tentýž výpočet pomocí modelů DIAL a DRAL. Opravu vnitřní teploty



Obr. 1. Prototyp stěny

### Výpočet roční bilance vodní páry

Vzhledem k návaznosti na článek [4], který prezentuje podrobně odvození všech používaných modelů, v následujících odstavcích shrnujeme pouze základní vztahy potřebné pro výpočet.

#### ■ Model DIAL

Zobecněný difúzní odpor  $R_{\text{eff}}^*$  a efektivní difúzní konstantu  $D_{\text{eff}}^*$  zavádí takto:

$$R_{\text{eff}}^* = \frac{d}{D_{\text{eff}}^*} \quad [\text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}], \quad (1)$$

$$D_{\text{eff}}^* = \frac{kp_a(2-n)(T_1-T_2)}{\mu R_a(T_1^{2-n}-T_2^{2-n})} = \frac{5,629 \cdot 10^{-8}}{\mu} \cdot \frac{T_1-T_2}{T_1^{0,19}-T_2^{0,19}} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}],$$

$$n = 1,81, \quad k = 8,9718 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K}^{-1,81},$$

$$p_a = 98\,066,5 \text{ Pa}, \quad R_a = 297 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}. \quad (2)$$

Hodnoty efektivních difúzních odporů na vnitřní  $R_{\text{eff}}^*(i)$  a vnější  $R_{\text{eff}}^*(e)$  straně stěny v běžných případech proti efektivnímu difúznímu odporu celé stěny  $R_{\text{eff}}^*$  malé, a proto je v dalším výpočtu zanedbáváme.

Podle modelu DIAL se průběh koncentračních zlomků

Tab. 1. Parametry vrstev stěny

Vrstva	Materiál	$d$ [m]	$\lambda$ [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]	$\rho$ [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]	$\delta_a$ [ $10^{-9} \cdot \text{s}$ ]	$\mu$ [-]
1	omítka VC	0,02	0,99	2 000	0,013	19
2	zdivo CP	0,44	0,80	1 700	0,027	8,5
3	omítka VC	0,025	0,99	2 000	0,013	19

Tab. 2. Jednoroční bilance zkondenzovaných a vypařených vodních par podle ČSN [3]

Veličina	Jednotka	Výpočtová venkovní teplota [°C]								
		-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25
$p''_{de}$	Pa	165	260	401	611	872	1 228	1 704	2 337	3 165
$\varphi_e$	%	84	83	82	81	79	76	73	68	59
$p_{de}$	Pa	139	216	329	495	689	933	1 244	1 402	1 867
$t_{ap}$	°C	20								
$p''_{di}$	Pa	2 337								
$\varphi_i$	%	60								
$p_{di}$	Pa	1 402,2								
$p''_{dA}$	Pa	660	685	686	891	1 148	1 459	1 853	2 337	2 928
$p_{di} - p''_{dA}$	Pa	742,2	717,2	716,2	511,2	254,2	-56,8	-450,8	-934,8	-1 525,8
$R_{dA} 10^9$	$m \cdot s^{-1}$	9,0	11,0	13,8	13,8	13,8	13,8	13,8	13,8	13,8
$g_{dA} 10^9$	$kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$	82,47	65,20	51,90	37,04	18,42	-4,12	-32,67	-67,74	-110,57
$p''_{dB}$	Pa	210	420	686	891	1 148	1 459	1 853	2 337	1 928
$p''_{dB} - p_{de}$	Pa	71	204	357	396	459	526	609	935	61
$R_{dB} 10^9$	$m \cdot s^{-1}$	1,9	4,3	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
$g_{dB} 10^9$	$kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$	37,37	47,44	59,50	66,00	76,50	87,67	101,50	155,83	10,17
$\Delta g_d 10^9$	$kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$	45,10	17,76	-7,60	-28,96	-58,08	-91,78	-134,17	-223,57	-120,73
$\tau_c 10^{-3}$	$s \cdot rok^{-1}$	604,8	993,6	2 592,0	5 572,8	5 788,8	5 616,0	5 832,0	4 104,0	432,0
$G_d$	$kg \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$	0,027	0,018	-0,020	-0,161	-0,336	-0,515	-0,782	-0,918	-0,052
$G_k$	$kg \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$	0,045								
$G_v$	$kg \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$	2,785								

Tab. 3. Jednoroční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry podle modelu DIAL

Veličina	Jednotka	Výpočtová venkovní teplota [°C]								
		-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25
$y''_e 10^4$	-	10,8	17,0	26,2	39,9	56,8	80,0	110,5	150,9	203,3
$\varphi_e$	%	84	83	82	81	79	76	73	68	59
$y_e 10^4$	-	9,1	14,1	21,5	32,3	44,9	60,8	80,9	91,1	103,1
$t_{ap}$	°C	20								
$y''_i 10^4$	-	150,9								
$\varphi_i$	%	60								
$y_i 10^4$	-	91,1								
$y''_A 10^4$	-	38,3	45,0	40,0	54,0	71,0	91,0	116,5	150,0	192,5
$(y_i - y''_A) 10^4$	-	52,8	46,1	51,1	37,1	20,1	0,1	-25,4	-58,9	-101,4
$R^*_{effA} 10^{-4}$	$kg^{-1} \cdot m^2 \cdot s$	7,9	9,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0
$g_{dA} 10^9$	$kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$	66,84	51,22	46,45	33,73	18,27	0,09	-23,09	-53,55	-92,18
$y''_B 10^4$	-	16,0	26,5	40,0	54,0	71,0	91,0	116,5	150,0	192,5
$(y''_B - y_e) 10^4$	-	69	124	185	217	261	302	356	589	894
$R^*_{effB} 10^{-4}$	$kg^{-1} \cdot m^2 \cdot s$	2,5	3,3	5,2	5,1	4,9	4,8	4,7	4,6	4,4
$g_{dB} 10^9$	$kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$	27,60	37,58	35,58	42,55	53,27	62,92	75,74	128,04	203,18
$g_d 10^9$	$kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$	39,24	13,65	10,88	-8,82	-34,99	-62,83	-98,84	-181,59	-295,36
$\tau_c 10^3$	$s \cdot rok^{-1}$	604,8	993,6	2 592,0	5 572,8	5 788,8	5 616,0	5 832,0	4 104,0	432,0
$G_d$	$kg \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$	0,024	0,014	0,028	-0,049	-0,203	-0,353	-0,576	-0,745	-0,128
$G_k$	$kg \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$	0,066								
$G_v$	$kg \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$	2,054								

nasycených ( $y''$ ) a nenasycených ( $y$ ) vodních par a difúzní tok těchto par  $q_w^*$  stanovuje následovně:

$$p_a = 98\,066,5 \text{ Pa}, \quad R_w = 462 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}, \quad R_a = 297 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}, \quad (3)$$

$$q_w^* \approx \frac{y_{1w} - y_{2w}}{R_{\text{eff}}^*}, \quad (4)$$

$$y''(x) = \frac{p''(x)}{p''(x) + p_a \left( \frac{R_w}{R_a} \right)} = \frac{p''(x)}{p''(x) + 152\,547,9}, \quad (5)$$

$$y(x) = 1 - (1 - y_{1w}) \cdot \left( \frac{1 - y_{2w}}{1 - y_{1w}} \right)^{\frac{T_1^{2-n} - (T_1 - \frac{T_1 - T_2}{d} x)^{2-n}}{T_1^{2-n} - T_2^{2-n}}}, \quad n = 1,81, \quad (6)$$

$$y(x) = y_{1w} - \frac{1}{R_{\text{eff}}^*} (y_{1w} - y_{2w}) R_{\text{eff}}^*(x). \quad (7)$$

Okrajové podmínky

$$y(0) = y_{1w}, \quad y(d) = y_{2w}. \quad (8)$$

#### ■ Model DRAL

Efektivní difúzní odpor  $R_{\text{eff}}$  a efektivní difúzní konstantu  $D_{\text{eff}}$  zavádí následovně:

$$R_{\text{eff}} = \frac{d}{D_{\text{eff}}} [\text{m}^{-1}\text{s}], \quad (9)$$

$$D_{\text{eff}} = \frac{k(n-1)(T_1 - T_2)}{\mu(T_2^{1-n} - T_1^{1-n})} = \frac{7,267 \cdot 10^{-10} (T_1 - T_2)}{\mu(T_2^{-0,81} - T_1^{-0,81})} [\text{m}^2\text{s}^{-1}],$$

$$n = 1,81, \quad k = 8,9718 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2\text{s}^{-1}\text{K}^{-1,81}. \quad (10)$$

$$d_i = R_i \cdot \lambda_{\text{vzduch}} = 0,13 \cdot 0,023 = 2,99 \cdot 10^{-3} \text{ m} \approx 2,99 \text{ mm}, \quad (11)$$

$$d_e = R_e \cdot \lambda_{\text{vzduch}} = 0,04 \cdot 0,023 = 9,2 \cdot 10^{-4} \text{ m} \approx 0,92 \text{ mm}, \quad (12)$$

$$D_{\text{eff}}(i) = 2,872 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2\text{s}^{-1};$$

$$R_{\text{eff}}(i) = \frac{2,99 \cdot 10^{-3}}{2,872 \cdot 10^{-6}} = 1\,041,09 \approx 0,1041 \cdot 10^4 \text{ m}^{-1}\text{s}, \quad (13)$$

$$D_{\text{eff}}(e) = 2,440 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2\text{s}^{-1};$$

$$R_{\text{eff}}(e) = \frac{9,2 \cdot 10^{-4}}{2,440 \cdot 10^{-6}} = 377,05 \approx 0,0377 \cdot 10^4 \text{ m}^{-1}\text{s}. \quad (14)$$

Hodnoty efektivních difúzních odporů jsou na vnitřní  $R_{\text{eff}}(i)$  a vnější  $R_{\text{eff}}(e)$  straně stěny v běžných případech proti efektivnímu difúznímu odporu celé stěny  $R_{\text{eff}}$  malé, a proto je v dalším výpočtu zanedbáváme.

Stanovení průběhu koncentrace nasycených ( $c''$ ) a nenasycených ( $c$ ) vodních par a jejich difúzního toku  $q_w$ :

$$c(x) = \frac{p(x)}{RT(x)}, \quad c''(x) = \frac{p''(x)}{RT(x)} [\text{kgm}^{-3}],$$

$$R = 462 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}, \quad (15)$$

$$q_w = \frac{c_{1w} - c_{2w}}{R_{\text{eff}}}, \quad (16)$$

$$c_w(x) = c_{1w} - (c_{1w} - c_{2w}) \frac{T_1^{1-n} - (T_1 - \frac{T_1 - T_2}{d} x)^{1-n}}{T_1^{1-n} - T_2^{1-n}} [\text{kgm}^{-3}],$$

$$n = 1,81, \quad (17)$$

$$c_w(x) = c_{1w} - \frac{1}{R_{\text{eff}}^*} (c_{1w} - c_{2w}) R_{\text{eff}}^*(x) [\text{kgm}^{-3}]. \quad (18)$$

Tab. 4. Jednorocní bilance zkondenzované a vypařené vodní páry podle modelu DRAL

Veličina	Jednotka	Výpočtová venkovní teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ]								
		-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25
$c''_e \cdot 10^4$	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	13,8	21,4	32,4	48,4	97,9	93,9	128	172,6	237,7
$\varphi_e$	%	84	83	82	81	79	76	73	68	59
$c_e \cdot 10^4$	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	11,6	17,8	26,5	39,2	53,6	71,3	93,4	103,5	119,4
$t_{\text{ap}}$	$^{\circ}\text{C}$	20								
$c''_i \cdot 10^4$	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	172,6								
$\varphi_i$	%	60								
$c_i \cdot 10^4$	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	103,5								
$c''_A \cdot 10^4$	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	50,0	46,0	54,0	72,5	86,5	108,0	136,5	172,6	216,5
$(c_i - c''_A) \cdot 10^4$	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	53,5	57,5	49,5	31,0	17,0	-4,5	-33,0	-69,1	-113,0
$R_{\text{effA}} \cdot 10^{-4}$	$\text{m}^{-1}\cdot\text{s}$	8,7	12,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0
$g_{\text{dA}} \cdot 10^9$	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	61,494	47,917	38,077	23,846	13,077	-3,462	-25,385	-53,154	-86,923
$c''_B \cdot 10^4$	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	23,0	33,5	54,0	70,5	86,5	108,0	136,5	172,6	216,5
$(c''_B - c_e) \cdot 10^4$	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	11,4	15,7	27,5	31,3	32,9	36,7	43,1	69,1	97,1
$R_{\text{effB}} \cdot 10^{-4}$	$\text{m}^{-1}\cdot\text{s}$	4,5	6,2	5,9	5,5	5,2	4,9	4,6	4,2	4,732
$g_{\text{dB}} \cdot 10^9$	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	25,333	25,323	46,610	56,909	63,269	74,898	93,696	164,524	205,199
$g_d \cdot 10^9$	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	36,161	22,594	-8,533	-33,063	-50,192	-78,359	-119,080	-217,678	-292,122
$\tau_c \cdot 10^{-3}$	$\text{s}\cdot\text{rok}^{-1}$	604,8	993,6	2\,592,0	5\,572,8	5\,788,8	5\,616,0	5\,832,0	4\,104,0	432,0
$G_d$	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$	0,022	0,022	-0,022	-0,184	-0,291	-0,44	-0,694	-0,893	-0,126
$G_k$	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$	0,044								
$G_v$	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$	2,651								

Okrajové podmínky

$$c(0) = c_{1w} = \frac{p_{dx}(0)}{R_w T_1}, \quad c(d) = c_{2w} = \frac{p_{dx}(d)}{R_w T_1}. \quad (19)$$

### Výsledky a diskuze

Jednoroční bilance zkondenzované vodní páry zvolené stěny (tab. 1) se prováděla standardním způsobem [3] na základě rozdělení kalendářního roku na devět období s průměrnými teplotami  $-15\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $-10\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $-5\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $0\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $5\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $10\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $15\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $20\text{ }^\circ\text{C}$  a  $25\text{ }^\circ\text{C}$  (první teplotní oblast ČR). Pro každou teplotu byla stanovena kondenzační oblast AB s příslušnými difúzními toky ( $g_{dA}$ ,  $g_{dB}$ ), ze kterých byla počítána bilance ( $\Delta g = g_{dA} - g_{dB}$ ) vztážená k jednotce času, a pak bilance  $G_d = \Delta g \cdot \tau_c$  za dané období  $\tau_c$ . Jednotlivé příspěvky  $G_d$  v daných obdobích měly charakter buď kondenzovaného množství  $G_d > 0$ , nebo vypařeného množství  $G_d < 0$  vodní páry. Součtem těchto množství dostaneme celoroční kondenzát  $G_k = \sum G_d^{(+)}$  a výpary  $G_v = \sum G_d^{(-)}$ . Těchto devět bilančních výpočtů včetně grafického zpracování bylo provedeno pomocí všech tří modelů, tj. ČSN (tab. 2), DIAL (tab. 3) a DRAL (tab. 4), s cílem provést numerické porovnání jejich výsledků.

Výpočty jsou shrnuty v tab. 5. Jsou tu uvedeny jednak absolutní hodnoty  $G_k$  a  $G_v$  i procentní rozdíly mezi výsledky získanými standardní cestou podle ČSN [3] a modely DIAL a DRAL. Z této tabulky je patrný velmi malý rozdíl mezi výsledky podle ČSN a modelem DIAL, zatímco u modelu DRAL zjišťujeme značné rozdíly ve vypařených podílech. To je však v souladu se závěry předešlé práce [5], ve které bylo vysvětleno, proč model DRAL jeví tyto odlišnosti a proč není vhodný pro běžné stavební materiály s otevřenou pórovitou strukturou. Na druhé straně, model DIAL se v minulé práci [5] projevil jako vhodný výpočetní nástroj pro většinu pórovitých stavebních materiálů a potvrzují to i výsledky jednoroční kondenzační bilance prezentované v tomto příspěvku.

Hlavním důvodem, proč se neprojevují výraznější rozdíly v jednoroční bilanci zkondenzované vodní páry mezi izotermickým modelem ČSN [3] a nově zavádaným neizotermickým modelem DIAL [4], [5], je skutečnost, že jednoroční bilance je součtem příspěvků získaných při velmi malých teplotních rozdílech ( $\Delta T < 35\text{ K}$ ), což neumožňuje vyniknout rozdílům mezi izotermickými a silně neizotermickými případy ( $\Delta T \gg 40\text{ K}$ ). Výraznější rozdíly by nastaly ani při výpočtech ve 2. teplotní oblasti ČR, neboť by k původ-

ním devíti teplotám přistoupila pouze jediná nižší teplota  $-18\text{ }^\circ\text{C}$ , což by v celoroční bilanci deseti teplot nemohlo podstatněji ovlivnit zjištěné malé rozdíly mezi modelem ČSN a DIAL (bylo ověřeno). Můžeme tedy konstatovat, že zahrnutím další nižší teploty  $-18\text{ }^\circ\text{C}$  se celoroční bilance v našich klimatických podmínkách příliš nevychýlí na „neizotermickou stranu“. Citelné rozdíly by se objevily teprve po zahrnutí delších období s nižšími teplotami, což však neodpovídá stredo-evropským podmínkám.

Uvedené výsledky jsou v plném souladu s výsledky předešlých příspěvků [4], [5], které nové modely zaváděly a současně ověřovaly na sérii různých teplot.

### Závěr

Tato práce uzavírá sérii tří příspěvků, z nichž první [4] prezentoval podrobné odvození nových modelů, druhý [5] modely ověřoval na výpočtech kondenzátu pro vybrané teploty a tento třetí a závěrečný příspěvek studoval chování modelů při výpočtech jednoroční kondenzační bilance. Poznatky z celé této série příspěvků můžeme shrnout. Neizotermický model DIAL je obecnější a přesnější v porovnání se standardním ČSN [3] a dává spolehlivé výsledky jak pro izotermické ( $\Delta T < 40\text{ K}$ ), tak pro silně neizotermické ( $\Delta T \gg 40\text{ K}$ ) podmínky. Je vhodný zejména pro stavební materiály se silikátní strukturou otevřených vzdušných pórů. Umožňuje snadné použití ve standardním Glaserově graficko-početním kondenzačním schématu (tečný model kondenzační oblasti) bez nutnosti zavádět zvláštní výpočetní procedury. Jeho použití je možné i vhodné v obou teplotních oblastech ČR.

### Literatura

- [1] Glaser, H.: Einfluss der Temperatur auf den Dampfdurchgang durch trockene Isolierwände, Kältetechnik 9 (6) (1957), pp. 158–159.
- [2] Glaser, H.: Graphisches Verfahren zur Untersuchung von Diffusionsvorgängen, Kältetechnik 11 (10) (1959), pp. 345–349.
- [3] ČSN 73 0540-4 Tepelná ochrana budov. Část 4: Výpočtové metody pro navrhování a ověřování. ČSN, 1999.
- [4] Ficker, T. – Podešvová, Z.: Neizotermická difúze vodních par v obvodových konstrukcích I – Odvození neizotermických modelů. Stavební obzor, 13, 2004, č. 1, s. 19–22.
- [5] Ficker, T. – Podešvová, Z.: Neizotermická difúze vodních par v obvodových konstrukcích II – Ověření funkčnosti neizotermických difúzních modelů. Stavební obzor, 13, 2004, č. 5, s. 146–149.

Tab. 5. Porovnání výsledků jednotlivých modelů

Model		$G_k$	$G_v$	[%]		$\Delta\%$	
		[kg·m <sup>-2</sup> ·rok <sup>-1</sup> ]		$G_k$	$G_v$	$G_k$	$G_v$
izotermický	ČSN	0,045	2,785	100,0	100,0	0,00	0,00
	DIAL	0,044	2,651	97,8	95,2	-2,22	-4,81
neizotermický	DRAL	0,044	4,487	97,8	161,1	-2,22	61,10

Ficker, T. – Podešvová, Z.: Non-Isothermic Water Vapour Diffusion in Peripheral Structures III – Non-Isothermic Models in Glaser's Condensation Scheme

This paper studies performance of newly derived non-isothermic models as part of an annual balance of condensed and evaporated water vapour. The results obtained are compared with the standard procedure shown in ČSN 73 0540.

Ficker, T. – Podešvová, Z.: Nichtisothermische Diffusion von Wasserdämpfen in Außenwandkonstruktionen III - Nichtisothermische Modelle im Rahmen des Glaser-schen Kondensationsschemas

Im Beitrag wird das Verhalten neu abgeleiteter nichtisothermischer Modelle im Rahmen der ganzjährigen Bilanz des kondensierten Wasserdampf und verdampften Wassers behandelt. Die Ergebnisse werden mit dem in der ČSN 73 0540 angeführten Standardverfahren verglichen.

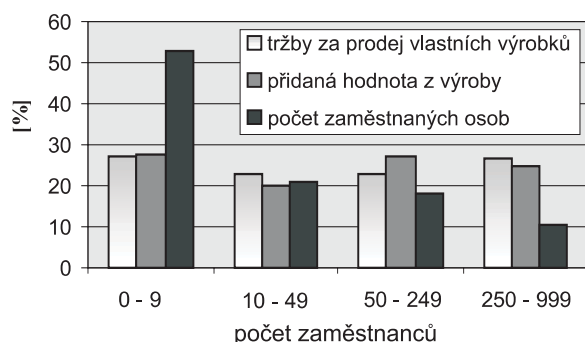
## Možnosti využití dřevní hmoty ve stavebnictví

Ing. Kamil TRGALA  
 ČVUT – Fakulta stavební  
 Praha

Současná hospodářská situace České republiky vybízí k zamyšlení nad podstatou způsobu hospodaření a hledání inovačních změn. Požadavky na substituování technologií stavění úzce souvisejí se změnou materiálových základů. Významnou alternativou pro současné stavebnictví je dřevní hmota. Hospodaření s ní a její následné zpracování vykazuje dlouhodobě neuspokojivé výsledky. Vysoký podíl vývozu s minimální přidanou zpracovatelskou hodnotou není v současné hospodářské situaci přijatelný.

### Úvod

Česká republika se vzhledem ke své rozloze i počtu obyvatel řadí v produkci dřevní hmoty mezi světovou špičku. Ročně se na našem území vytěží 12 až 14 mil. m<sup>3</sup>, tj. 80 až 85 % průměrného ročního přírůstu [2]. Racionálně je možné konstatovat, že těžba dřeva není ekologickou zátěží a je ve smyslu udržitelného rozvoje pro budoucí generace akceptovatelná. Odborné a šetrné těžební zásahy přispívají k přirozenému a zdravému vývoji i obnově lesních porostů. Předpokladem racionálního hospodaření v lesnictví je především stabilní odbytová sféra surového dřeva ve zpracovatelském průmyslu. Stavebnictví by mělo být nejvýznamnějším odběratelem produkované dřevní hmoty (cca 60 %).



Obr. 1. Produkční charakteristiky dřevozpracujících podniků podle velikostních skupin [3]

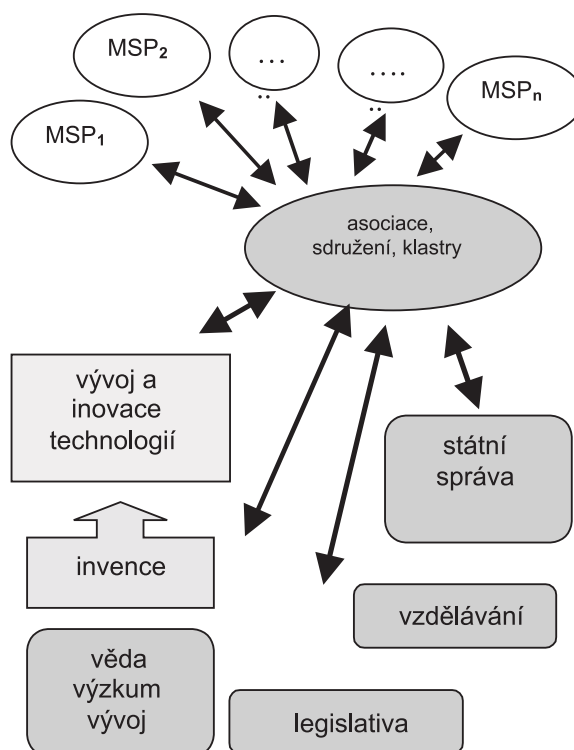
### Dřevozpracující průmysl

Situace domácího dřevozpracujícího odvětví (OKEČ 20), které zaměstnává na 70 tis. pracovníků, není příliš uspokojivá [3]. Jeho restrukturalizace proběhla mnohde přímo destruktivně a s odstupem času můžeme snáze definovat objektivní příčiny. V rámci rozvoje výstavby ze silikátových materiálů se rostlé dřevo příliš neuplatňovalo. Nebylo sofistikovaným stavebním materiálem a spotřeba dřevěných výrobků postupně klesala. Aglomerované materiály, zejména deskové, vykazovaly řadu nedostatků (uvolňování formaldehydu, bobtnání, lámavost a malou trvanlivost), které vedly k postupnému snižování důvěry a poptávky po nich.

Na úpadku části dřevozpracujícího odvětví se podílelo i technologické zázemí pro zpracovávání surové dřevní hmo-

ty. Zejména malé a střední pilařské provozy nejsou schopny ani dnes nabídnout vysušené nebo hoblované řezivo. Při poptávce po této surovině se lze setkat s názorem, že tesařské konstrukce lépe drží, když jsou nařezány ze syrového letního dřeva, ještě za mokra tesány a složeny. O sušení nebo hoblování nemluvě. Důsledkem je nutnost vývozu surového dřeva i řeziva do Rakouska a německých spolkových zemí, kde české dřevo samozřejmě sofistikovanější podobu dostane (téměř 5 mil. m<sup>3</sup> [1], [2]).

Z obrázku 1 je patrná neuspokojivá situace zejména v malých a středních provozech [3]. Nízká produktivita práce (malý podíl přidané hodnoty z výroby na jednoho zaměstnance) je způsobena nedostatečným technologickým vybavením malých a středních podniků a jejich orientací na výrobky s nízkou přidanou hodnotou. Tento stav není zaviněn jen malou podporou ze strany státu či obtížnou dostupností investičních prostředků pro inovaci výrobních technologií. Jedním z hlavních předpokladů budování konkurenceschopného sektoru je komunikace a kooperace mezi zpracovatelskými subjekty. V současné situaci musí menší podniky s regionální působností konkurovat nadnárodním koncernům, které uplatňují svou produkci na trhu ČR, ale i v zahraničí, kde je to pro ně v danou chvíli nejvýhodnější. Stát, a zejména malé a střední podniky, musí disponovat alespoň stejným know-how i technologickým vybavením, jakým disponují nadnárodní koncerny. Rozvoj malých a středních podniků v oblasti produkce dřevostaveb je do značné míry podmíněn posílením asocičních uskupení a profesních svazů v ČR i v EU, které budou aktivně hájit zájmy svých členů. Jde především o vývoj výkonných tech-



Obr. 2. Schéma funkce subjektů zajišťujících transfer vědy, výzkumu a vývoje do praxe (MSP – malé a střední podniky)

nologií, tvorbu společných marketingových strategií a možnost společného kapitálového krytí.

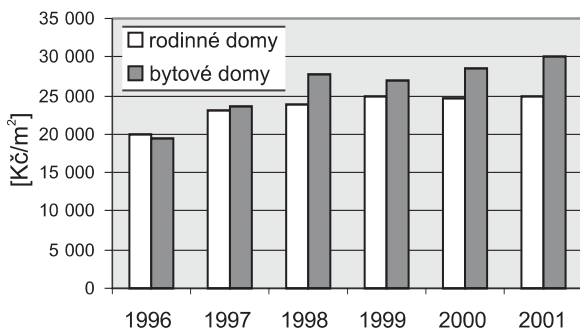
### Inovační potenciál a možnosti jeho využití

Česká republika se potýká s potížemi při transferu poznatků vědy a výzkumu do praxe (obr. 2). Aplikovaná věda a výzkum mnohdy pracuje bez objednávky ze strany tržního prostředí, kterou by měl zadávat subjekt zastupující významnou část příslušného odvětví [4]. U nás je tímto subjektem zpravidla velký podnik nebo návrhatele výzkumné práce. Technologické vybavení, způsob zásobování, zajišťování obytné sféry i možnosti financování malých podniků jsou však kritéria zcela odlišná od velkých koncernů. Pro jejich stabilitu a rozvoj v dřevozpracujícím průmyslu je nutná vzájemná spolupráce, výměna informací, návrhů na inovace technologií apod. Účinným prostředkem pro získání spolupráce jsou asociační spolky, oborové svazy, sdružení nebo klustry. Jedním z hlavních úloh takových uskupení by mělo být zajištění transferu poznatků vědy a výzkumu do praxe na straně jedné a zpětného toku informací a zkušeností z tržního prostředí na straně druhé. Neméně významná úloha asociačních sdružení spočívá v možnostech zvýšení politického vlivu. Tvorba strategie rozvoje včetně inovačních plánů, sledování materiálové základny, dimenzování kapacity lidských zdrojů a kvalifikačních požadavků jsou neméně důležité oddíly skutečné podpory malých a středních podniků.

### Dřevostavby

Přínos využití dřevostavby je významný nejen z hlediska zvýšení výkonu ekonomiky stavební výroby. Rozvoj dřevozpracujícího průmyslu lze vzhledem k možnosti tvorby ekonomického růstu uplatnit zejména v oblastech s nízkou intenzitou výroby (vysokou nezaměstnaností). Jde zejména o zajištění udržitelného života na českém venkově.

Dřevo je obnovitelný materiál a na našem území se kontinuálně doplňuje v takové míře, že se může podílet na 80 až 90 % potenciální stavební produkce budov. Tento, ve vyspělých zemích (USA, Japonsko, Finsko apod.) reálně dosažitelný podíl dřevostavby, je dnes v ČR perspektivou racionální budoucnosti. Výrobky ze dřeva zaujímaly v posledních letech na našem stavebním trhu téměř zanedbatelné postavení 1,5 % objemu výroby. Navýšení spotřeby dřevní hmoty ve stavebnictví dnešní situace paradoxně nahrává.

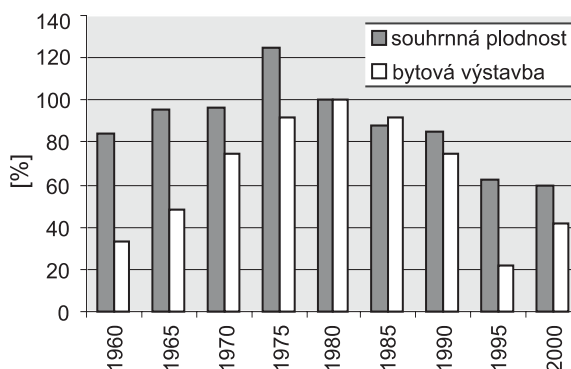


Obr. 3. Graf vývoje cen za 1 m<sup>2</sup> obytné plochy dokončených bytů v bytových domech a individuální výstavbě [7]

Materiálová „zaslepenost“ nás přivádí na pokraj sociálního propadu (obr. 3). Vzhledem k průměrné výši příjmů ekonomicky aktivních obyvatel není české stavebnictví v současné době schopné zajistit cenově odpovídající nabídku bytové výstavby pro nižší a střední vrstvy obyvatelstva

(mladá manželství, osaměle žijící osoby, senioři). Pro zachování velikosti bytového fondu by jeho životní cyklus musel trvat 170 až 190 let. Při konzervativním přístupu k jeho obnově by stávající panelová výstavba musela plnit svou funkci do období let 2140 až 2160.

Při studiu sociálně ekonomických aspektů dnešního stavebnictví je také nutné brát v úvahu skutečnost, že prodejní ceny novostaveb mají zásadní vliv na výši reálných tržních cen stávajících nemovitostí. Ceny 25 až 30 tis. ročně dokončovaných bytových jednotek podstatně ovlivňují tržní cenu téměř 4 mil. již existujících bytů. Alarmujícím údajem pro české stavebnictví, ale i pro celou společnost, by měla být dlouhodobě nízká natalita. Populační křivka národa dostává strmý spád (obr. 4).



Obr. 4. Porovnání úrovně bytové výstavby a souhrnné plodnosti – hodnoty vztaheny k relativní srovnávací základně (rok 1980 = 100 %)

Vysoká cena bydlení vyvolává negativní hospodářské reakce (recesi v hospodářském cyklu). Pokles spotřeby domácností působí druhotně na růst nezaměstnanosti a snižování životní úrovně obyvatel. Nedostatek nových bytů pro mladé rodiny vede ke snižování porodnosti (obr. 4). Zlevnění a zvýšení produkce bytové výstavby by mohlo vyvolat zásadní obrát v oživení poptávky, a tím i růst životní úrovně. Zlepšení sociální situace je samostatným efektem. Navýšení spotřeby a zhodnocování domácí produkované dřevní hmoty ve stavebnictví by v tomto směru mělo sehrát rozhodující podíl. Dřevo je ekologický a místní zdroj materiálu, jehož zpracováním lze mimo jiné vytvářet pracovní místa v oblastech s nedostatečnou nabídkou pracovních příležitostí. Znamenalo by to i odlehčení přelidněných městských aglomerací, dopravního zatížení i životního prostředí. S odlehčením životního prostředí souvisí i ekonomické dopady. Při objektivním posuzování efektivity stavebního díla je nutné brát v úvahu celý jeho životní cyklus – fáze realizace, užívání, obnovy a likvidace. Ekonomicky efektivní jsou vesměs varianty s minimálními materiálovými toky (poměr vstupů, výstupů), dopravními a energetickými nároky stejně jako minimální potřebou lidských zdrojů a strojního vybavení po celou dobu životnosti díla včetně likvidace a případné rekultivace zastavěného pozemku. Dále nelze opomenout možnost zlepšit stávající úroveň užitných funkcí stavebního díla.

### Porovnání dřevostavby s variantou na keramicko-silikátové bázi

Pro zjištění celkové efektivity stavebního díla porovnáme vstupní parametry dvou materiálových variant. Předpokladem je shodná užitkovost pro obě varianty. Pro dokreslení situace předpokládáme, že jde o třípodlažní bytový



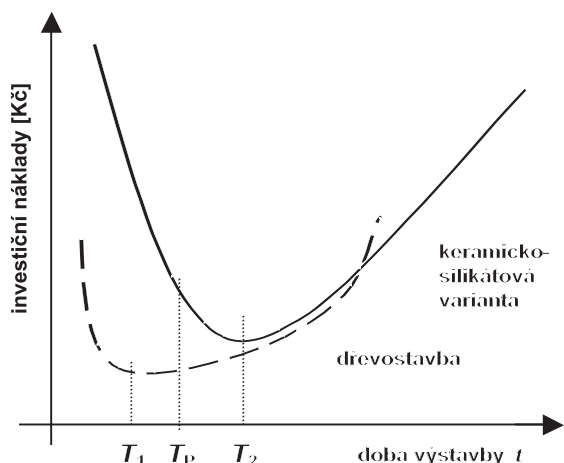
dům s jedním podzemním podlažím a celkovou zastavěnou plochou 400 m<sup>2</sup>.

#### ■ Realizační fáze

Obrázky 5 a 6 zachycují a porovnávají realizační fázi dřevostavby s variantou stavby z keramicko-silikátových materiálů. Důležitým faktorem je čas  $T_s$  (obr. 5), který představuje dobu realizace stavebního díla, pro niž je provedena schematická srovnávací analýza. Krátká lhůta výstavby je v současnosti jedním z hlavních kritérií při hodnocení materiálových variant.

#### ■ Funkční fáze včetně údržby a obnovy

Východiskem objektivní kvantifikace rozdílů jednotlivých



Obr. 5. Porovnání realizační fáze dřevostavby a keramicko-silikátové varianty v čase a investičních nárocích

$T_1$  – optimální doba výstavby dřevostavby,  $T_2$  – optimální doba výstavby keramicko-silikátové varianty,  $T_p$  – nejčastěji požadovaná doba výstavby

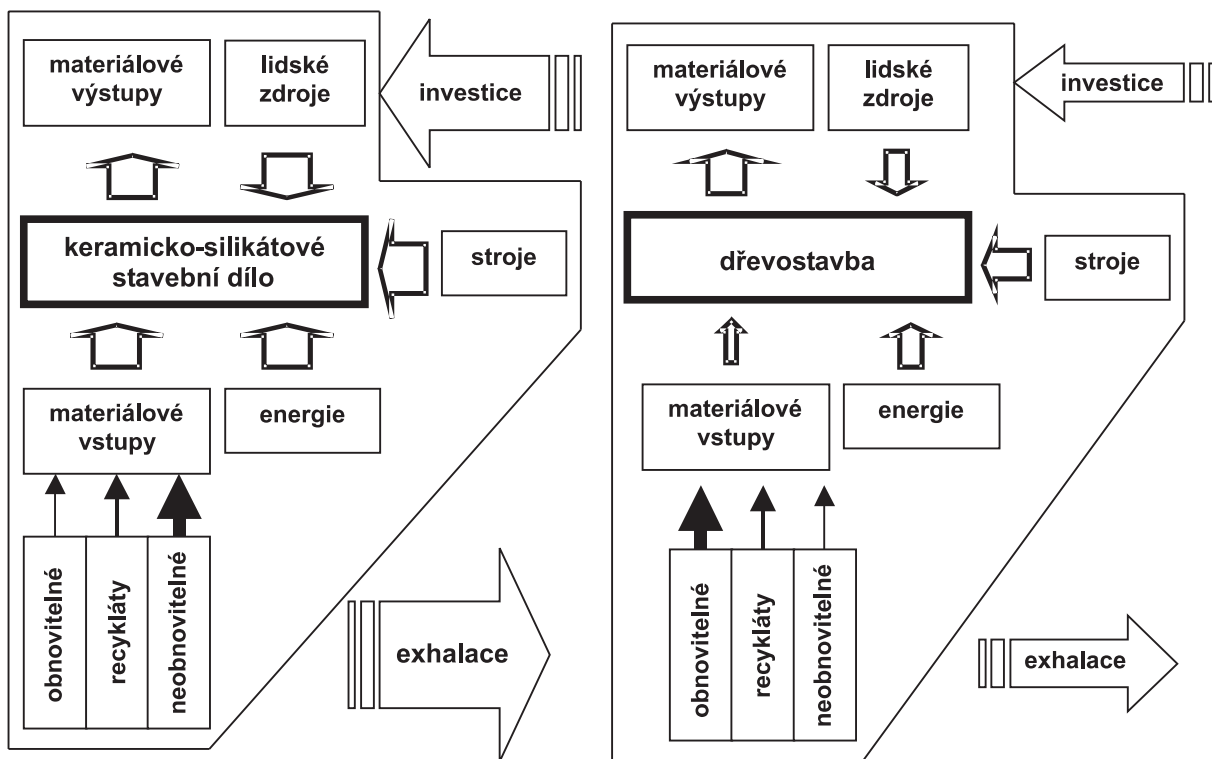
parametrů srovnávaných variant je znalost technologie výstavby. Keramicko-silikátovou variantu popíšeme jako železobetonový monolit v kombinaci s keramickým zdívkem. Obvodový plášť je zateplen vnějším kontaktním tepelně izolačním pláštěm z polystyrenu se sěrkovou omítkou. Dřevostavba by měla maximálně využívat výrobky (prvky) z rostlého dřeva. Obvodový plášť a vnitřní příčky uvažujeme jako sendvičové s využitím dřevovláknité tepelné izolace s vnějším i vnitřním opláštěním (dřevěným obkladem pero–drážka). Nosnou konstrukci bude tvořit skelet z masivního dřeva.

#### ■ Výsledek

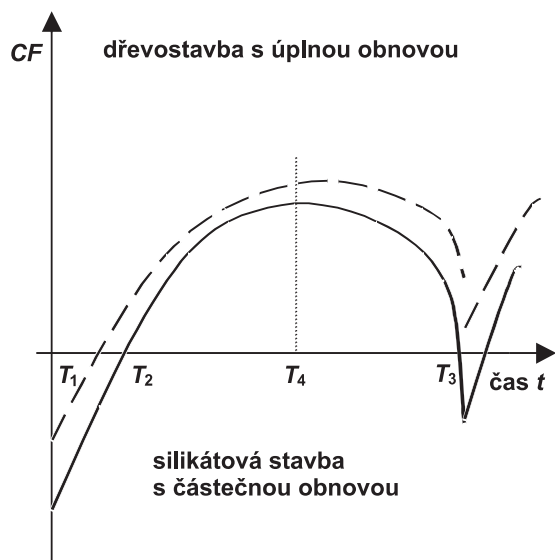
Při pragmatickém pohledu na předběžnou analýzu je dřevostavba v ekonomických kritériích výhodnější. Z hlediska dopadu na životní prostředí je výrazně výhodnější. Pro vypovídací hodnotu porovnávací analýzy je zásadní popis zvolené technologie objektů a jejich materiálové báze (obr. 7, obr. 8). Technologie i použité materiály podstatně ovlivní ekonomiku i dopad stavby na životní prostředí po dobu její životnosti a neméně důležitou úlohu sehrají při její likvidaci. Obecně lze prohlásit, že ekonomicky i ekologicky efektivní bude ta stavba, která v maximální míře využije obnovitelné zdroje (materiálu) s minimálními technologickými požadavky v celém výrobním řetězci, tj. stavba ze dřevní hmoty vytěžené a zpracované v optimální vzdálenosti od lokality výstavby.

#### Shrnutí

Česká republika disponuje značným surovinovým bohatstvím ve formě trvale produkčních lesů. V produkci jehličnaté kulatiny na 1 km<sup>2</sup> celkové plochy zaujímá dokonce světové prvenství [2]. Obrácená strana této mince odkrývá méně lichotivé údaje. Více než 40 % produkce užitkového dřeva (v exportní kvalitě) nedokážeme na našem území



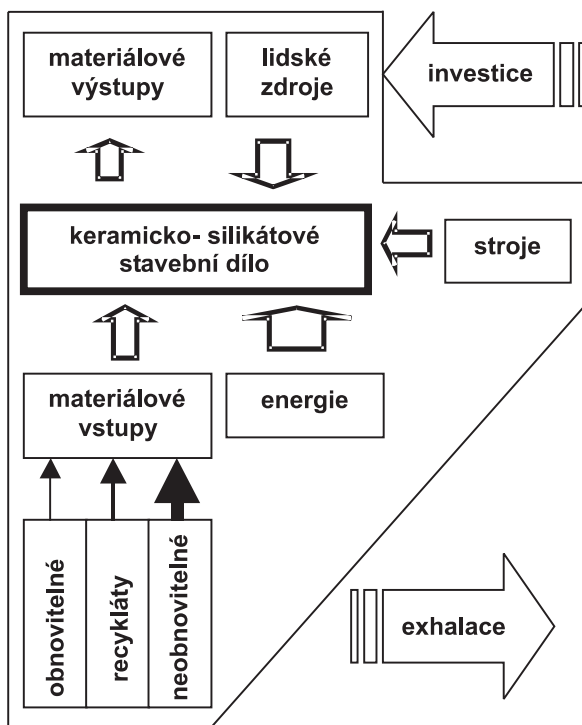
Obr. 6. Porovnávací schéma dřevostavby a keramicko-silikátové varianty v realizační fázi (plošná velikost šipek slouží jako komparativní kvantifikátor)



Obr. 7. Porovnání funkční fáze dřevostavby a keramicko-silikátové varianty v čase a kumulaci peněžních toků

CF – kumulované cash flow z investičního záměru,  $CF = \Sigma(\text{výnosy} - \text{náklady})$ ;  $T_1, T_2$  – ekonomická návratnost (10 až 15 let),  $T_3$  – morální životnost (75 let),  $T_4$  – ekonomická životnost (40 let)

zpracovat ani spotřebovat a vyvážíme je ve formě surové kulatiny a řeziva. Tímto způsobem vlastně vyvážíme pracovní místa do odběratelských zemí. Domácím zpracováním dřevní hmoty do sofistikovaných stavebních produktů by bylo možné vytvořit 80 až 100 tis. pracovních míst [6]. V současné době produkujeme mnoho stavebních děl z neobnovitelných keramicko-silikátových materiálů. Druhotným dopadem takového stavění je znečištění životního prostředí s důsledky v ekonomicko-sociální sféře. Impulsem k překonání tohoto dlouhodobého problému je vytvoření



Obr. 8. Porovnávací schéma funkční fáze dřevostavby a keramicko-silikátové varianty včetně úplné obnovy dřevostavby a částečné obnovy keramicko-silikátové varianty po 75 letech

národní hospodářské koncepce, která zohlední potenciál ČR ve využití obnovitelných surovin i zdrojů energií. Důležitý rozdíl mezi dřevní hmotou a keramikou či silikáty je v kontinuální produkci dřevní hmoty. Vápenec, železná ruda ani cihlářský střepek v přírodě v porovnání se dřevem neodegradují.

Sousední země EU účinné koncepce národního hospodaření mají. Významným iniciátorem při prosazování racionálního hospodaření je bankovní sektor. Česká republika je jedinou z nových zemí EU, která dosud nemá vypracovanou národní inovační politiku (inovační koncepci). Využití vědeckovýzkumného a inovačního potenciálu v oblasti zajištění trvale udržitelného rozvoje je z hlediska dlouhodobé konkurenceschopnosti celospolečenským úkolem. Podpora vědy a výzkumu, vedoucí ke krátkodobému finančnímu zhodnocení vyčerpatelných zásob přírodního bohatství, nemůže být cílem racionálně se chovající společnosti. Neméně důležité pro rozvoj přírodních blízkých technologií je zajištění efektivního transferu produktů vědy a výzkumu do praxe. Úlohou moderního ekonomy je vyhledávání „zelených“ technologií a hledání možností jejich rozvoje a efektivního tržního uplatnění.

Důvodem neuspokojivé situace v uplatňování dřevní hmoty je zvýšená cena dřevostavby vlivem zahraničních trhů. Individuální dřevostavbu či její prvky lze vyvázet jako průmyslové zboží (vzhledem k nízké hmotnosti a snadné manipulaci). Zahraniční trhy jsou v současné době poměrně nasyceny a ani přes nižší cenu nevykazují k české produkci zvýšenou důvěru. Přesto je to právě český vývoz dřevařských produktů, který plní na domácím trhu významnou funkci cenového regulátoru. Nízké objemy české zpracovatelské výroby jsou důvodem nevyužití výrobních kapacit, s tím spojené neefektivnosti a vyšší výrobní ceny.

Zajímavou inspirací pro (ve smyslu materiálové základny) konzervativní a nepřilíhající pružnou sféru českého stavebnictví může být příklad z oblasti výroby přetáčivého hardwaru. Situace, kdy je velký výrobce ze světových trhů vytěsněn menšími konkurenty, přicházejícími s levnějšími a

funkčně propracovanějšími produkty, jsou v tomto sektoru běžné [4]. Východiskem pro odstranění zmíněných nedostatků je vzájemná vůle a spolupráce všech článků stavebně produkčního řetězce. Dřevo je z hlediska udržitelného hospodaření stavebním materiálem budoucnosti. Hodnota národního surovinového bohatství je vytvářena kontinuální přidanou hodnotou. Přidanou hodnotu nevytvoříme dohady, ale pouze cílevědomou prací.

#### Literatura

- [1] Food and Agriculture Organization of United Nations: FAO Yearbook – Forest Products 1996–2000. FAO, 2002.
- [2] Statistická ročenka České republiky 2002. Praha, Český statistický úřad 2003.
- [3] Panorama českého průmyslu. Praha, Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR 2002.
- [4] Švejda, P.: Základy inovačního podnikání. Praha, Asociace inovačního podnikání ČR 2002.
- [5] Beran, V.: Modelování v řízení 10. Praha, Vydavatelství ČVUT 1998.
- [6] Trgala, K.: Využití dřevní hmoty ve stavebnictví ČR. [Diplomová práce], ČVUT Praha, 2002/2003.

#### Trgala, K.: Wood Mass Usage in Construction Industry in the Czech Republic

The aim of this paper is to analyze the present situation in the timber industry in the Czech Republic. The consumption and appraisal rates of wood mass have been very low in the Czech Republic in the long-term. To improve the current state, it is necessary to develop effective interdisciplinary cooperation and communication. The innovative progress of the Czech construction business should be effectively used in virtue of the development of a nature-friendly technology.

#### Trgala, K.: Möglichkeiten der Anwendung von Holz im Bauwesen in der Tschechische Republik

Das Ziel dieses Artikels ist die Analyse der gegenwärtigen Situation der tschechischen Holzwirtschaft. In der Tschechische Republik ist die Holzverwertung und Holzanwendung im Bauwesen langfristig gering. Zur Verbesserung dieser Situation ist die Entwicklung interdisziplinären Kooperation vonnöten. Der Innovationsprozess der tschechischen Bauwirtschaft braucht eine nationale Konzeption für die Entwicklung umweltfreundlicher Technologien.

### Katedra geotechniky Katedra stavební mechaniky FSv ČVUT v Praze



pořádají

**speciální kurz**

## NUMERICKÉ MODELOVÁNÍ V GEOTECHNICE

22. – 24. září 2004

Fakulta stavební ČVUT, Thákurova 7, Praha 6

	<b>22. 9. 2004</b>
8:00 – 12:00	Úvod do MKP
	Úvod do nelineární mechaniky
13:00 – 16:00	Základní principy modelování MKP
	Praktické užití MKP
	<b>23. 9. 2004</b>
8:00 – 12:00	Nelineární modely
	– modifikovaný elastický
	– Drucker Prager
	– Mohr-Coulomb
	– modifikovaný Mohr-Coulomb
	– modifikovaný Cam-Clay
13:00 – 16:00	Principy modelování tunelů
	Praktické užití MKP
	<b>24. 9. 2004</b>
8:00 – 12:00	Výuka programu GEO MKP
13:00 – 16:00	Konzultace

Přednášky budou probíhat ve skupině max. o 25 posluchačích po dvouhodinových blocích (90 minut). Účastníci kurzu obdrží osvědčení o absolvování studia.

Informace: pí. Picková, tel. 224 354 557,  
fax: 233 334 206, doc. Dr. Ing. J. Pruška,  
tel.: 224 354 547, e-mail: pruska@fsv.cvut.cz

### V rámci oslav 105. výročí založení České vysoké školy technické v Brně



pořádá

Fakulta stavební  
Ústav kovových a dřevěných konstrukcí



česko-slovenskou konferenci

**Experiment – významný zdroj poznání  
a verifikace metod navrhování  
nosných stavebních konstrukcí**

Brno, 14. – 15. října 2004

## ● zprávy

### **Nová dominanta Holešovic**

Pražské čtvrti v dolní části v ohybu Vltavy po dlouhá desetiletí dominovaly především tovární budovy. V současné době se tento stav mění. Jednou z prvních společností, která u Libeňského mostu vybudovala výraznou dominantu – vstupní bránu do Holešovic – je společnost Lighthouse Vltava Waterfront Towers. Budova je navržena ve význam-



ně poloze se zajímavými a složitými urbanistickými vazbami. Pozemek tvoří špičku pobřežního pásu, který zahrnuje budovu Tokovo a plochu holešovického přístavu severně od

Libeňského mostu. Jižní část této oblasti je odříznuta Libeňským mostem.

Autorem architektonického návrhu je architekt Moshe Tsur z Tel Avivu. Výstavbu realizovala společnost Lighthouse Vltava Waterfront Towers, s. r. o., jejímiž akcionáři jsou Deutsche Bank AG – Real Estate Private Equity Group London (DB), GTC International Development Company (GTC), Five Mounts Properties (FMP) a minoritní akcionář Alliance holdings & developments, s. r. o. Výběrové řízení na správu tohoto administrativního centra vyhrál SG FM, a. s., člen Sekyra Group, zabývající se komplexní správou nemovitostí.

V prostorách nové budovy je celkem 21 tis. m<sup>2</sup> kancelářských ploch. Pracovat by zde mělo na 1 700 lidí. V suterénu jsou parkovací místa pro 313 automobilů. V přízemí nižší budovy budou umístěny restaurační a kavárenské prostory. Technický standard budovy odpovídá současným trendům – monolitická betonová konstrukce, klimatizované vnitřní prostředí, zdvojené podlahy pro počítačové rozvody a osobní výtahy. Budova má moderní prosklené závěšové fasády, které bohatě využívají soudobé materiály, jako je sklo, hliník nebo kámen. Celková plocha fasád je více než 7 500 m<sup>2</sup>. Plány se neomezily pouze na výstavbu kancelářské budovy, ale i na zkultivování prostor holešovického přístavu, kde by měly vzniknout bytové domy, jachetní přístav a parková zeleň, která bude sloužit obyvatelům Prahy.

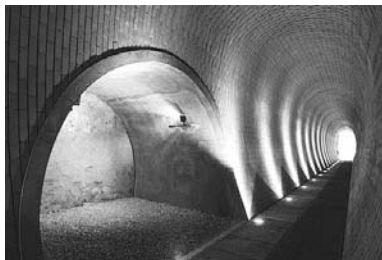
*Tisková informace*

## ● soutěž

### **Brick Award 2004**

Společnost Wienerberger, celosvětově největší výrobce cihel, ocenila na konci května nejzajímavější projekty v rámci prvního ročníku Brick Award. Soutěž, která je dotována částkou 21 tis. EUR a bude vyhlašována každé dva roky, má za cíl vyznamenat nejlepší projekty v oblasti evropské cihlové architektury. Záměrem je mimo jiné ukázat, že cihla není jen tradičním materiálem, ale patří jí budoucnost a její ekologické a fyzikální vlastnosti a přirozený vzhled vyhovují náročným požadavkům moderní architektury.

Soutěže se zúčastnilo přes 120 děl jak z bytové, tak nebytové sféry. Z nominovaných staveb vybrala porota tři vítězné projekty a udělila dvě zvláštní ceny. Hlavní cenu Brick Award 2004 získal architekt Josef Pleskot. Jeho průchod pro pěší v Jelením příkopu na Pražském hradě propojuje původ-



ně rozdělené části. Autor vytvořil stavbu, která daleko přesahuje pouhou účelovost. Více než 80 m dlouhý průchod sleduje tok potoka Brusnice, který příkopem protéká. Chodník v tunelu je z různých materiálů, např. betonu či ocelové mříže. Úzkou stranou položené cihly stěn vytvářejí dojem, že jde o extravagantní košíkářské dílo. Světelné zdroje zapuštěné do cesty pro pěší jejich plastičnost ještě zdůrazňují. Druhé místo udělila porota německému architektovi Benedictu Tononovi za dílo „Humboldtova univerzita – úložiště nebezpečných látek“. Třetí místo patří Cino Zucchimu za projekt obytného domu na benátském ostrově Giudecca. Zvláštní ceny byly uděleny Massimu Carmassimu za sanaci historických částí města Pisy a švýcarské dvojici Peterovi a Christianu Freieovým za jednogenerační rodinný dům v Aargau.

*Tisková informace*

## ● zprávy

### **Fata Morgana otevřena pro veřejnost**



V Botanické zahradě v pražské Troji byl počátkem června dokončen originální skleník s chlazenou expozicí. Ve tvaru ležatého protáhlého písmene S je zapuštěn do prudkého, jižně orientovaného svahu nad Vltavou. Délkou 130 m kopíruje vrstevnici, šířka 17 m se po celé délce nemění. Zastavěná plocha je 2 190 m<sup>2</sup>. Hloubka terénu, zaříznutého do stráně, kudy se mohou pohybovat návštěvníci, kolísá mezi 4,5 až 11 m od nejvyššího bodu. Zastřešení je ze čtyřvrstvého polykarbonátu. Vnitřní terén tvoří převážně přírodní skála.

Expoziční prostor je rozdělen stěnami na části s odlišnou teplotou a vlhkostí – první je polopouštní, druhá, a zároveň největší, představuje rostlinstvo nížinného tropického deštného lesa, a poslední, nejmenší, ale speciálně chlazená, ukáže život vysokých tropických hor. Veškerá výsadba je členěna i geograficky, podle kontinentů.

Skleník není jen nahodilou sbírkou tropických rostlin. Původní vizí bylo realistické napodobení skutečných přírodních společenstev vybraných oblastí. Proto v expozicích nechybějí dřeviny, liány, zástupci nejtypičtějších čeledí, epifyty, cibuloviny, ale i trávy nebo parazitické rostliny.

Prohlídka začíná v části xerické – suché. Část plochy je věnována Austrálii, expozice má charakter suchého buše východní části světadílu. Na terasách ve svahu návštěvník spatří keře z obtížně pěstovatelné čeledi Proteaceae, eukalypty, akácie a další zajímavé rostliny. Druhá expozice je zaměřena na oblast jižního Mexika, malá část zahrnuje polopouštní oblasti Guatemaly a dalších států střední Ameriky. Veřejnost zde najde nejen kaktusy, ale i přírodní společenstva s rozptýleným dřevinným patrem, podrostem zemních bromélií, sukulentů, trvalek, cibulovin a trav. Nejvíce prostoru je věnováno rostlinám z několika států jižní Afriky. Cílem je představit průřez typickou vegetací konkrétního území. Návštěvníci tedy neuvidí jen pryšce, aloe a živé kameny, ale i drobné dřeviny a pereny, cibuloviny a letničky.

Z horké a suché procházky polopouštní vegetací vede cesta do nitra skály. Průchod podzemní štolou s hrubou

výdřevou plynule přechází do skleněného tunelu dělicího tropické jezera na dvě poloviny. Po pravé ruce lze pozorovat vodní život Starého světa, levá polovina je věnována biotopům světa Nového. Odtud návštěvník vystoupá opět do skleníku a přejde přes lávku stejnou trasou, kterou před tím absolvoval pod hladinou. Cesta dále vede tropickým deštným lesem čtyř kontinentů. Největší část – téměř celý skalní masív severní stěny – je věnován Střední a Jižní Americe. Ve svahu nad jezerem je možné obdivovat skalní flóru Ekvádoru, Kolumbie, Venezuely a Brazílie. Druhou polovinu skalní stěny obsadí rostliny z Guatemaly a Nikaraguy. Dominantu expozice tvoří sedmimetrový vodopád, vytékající několika prameny z umělé části skály včleněné do

přírodního terénu. Partie věnovaná Austrálii a Tichomoří je zaměřena především na rostliny ostrovů Nová Kaledonie a Nová Guinea. Největšími cennostmi zde jsou vzácné jehličnany s listy širokými až několik centimetrů. Další část tvoří kamenitá expozice zahrnující vegetaci Afriky a Madagaskaru s několika vyššími dřevinami a keřovým patrem. Květena je rozdělena podle flóry na oblasti jižní a jihovýchodní Asie. Skutečně unikátní je sbírka vietnamských

orchidejí, která v Evropě nemá obdoby.

Nejmenším, ale zároveň nejzajímavějším prostorem skleníku, je chlazená část tropických hor s vegetací horského mlžného lesa v tropickém a subtropickém klimatickém pásmu s teplotami mezi 12 až 18 °C. Svě místo zde mají společenstva z andských horských hřbetů, vysokohorské Afriky i Asie. K nejcennějším patří kolekce dřevin z Mount Kinabalu – nejvyšší hory Bornea nebo vysokohorské druhy masožravých láčkovek.

Botanická zahrada hlavního města Prahy byla založena v roce 1969 a pro veřejnost otevřena v roce 1992. Návštěvníci si zde mohou prohlédnout parkově upravené plochy s výstavnou kolekcí okrasných rostlin, japonskou zahradu, expozice Turecka a Středomoří a sbírku vřesovištních rostlin. Vyhlídka na vinici sv. Kláry nabízí jeden z nejkrásnějších výhledů na historickou část Prahy.

*Tisková informace*



## PŘEDPLATNÉ

časopisu *Stavební obzor*

je možné objednat vyplněním elektronického formuláře na internetu na adrese

**<http://web.fsv.cvut.cz/obzor>**

nebo zasláním písemné objednávky na adresu distributora uvedenou v tiráži časopisu na druhé straně obálky.

# STAVEBNÍ OBZOR

## ROČNÍK 13 ČÍSLO 08/2004

### Navigace v dokumentu

#### OBSAH

Holický, M. <b>Pravděpodobnostní základy metody dílčích součinitelů v Eurokódech</b>	<b>225</b>
Gazdo, M. – Tesárek, P. – Pavlík, Z. – Černý, R. <b>Porovnání fyzikálních a tepelných vlastností různých typů tepelně izolačních materiálů</b>	<b>231</b>
Kuda, F. – Mihola, M. <b>Ohrožení železničních staveb povodňovými průtoky</b>	<b>235</b>
Tesárek, P. – Černý, R. – Rovnaníková, P. – Kolísko, J. <b>Mechanické, tepelné a vlhkostní vlastnosti nemodifikované energosádry – 2. část</b>	<b>242</b>
Línková, L. – Suchá, J. <b>Sledování svislých posunů na objektech čerpacích stanic</b>	<b>246</b>
Pospíšil, J. – Štroner, M. <b>Příspěvek k posuzování přesnosti technické nivelace</b>	<b>248</b>
Makýš, P. <b>Automatizácia časového plánovania výstavby</b>	<b>251</b>

**8 • 2004**

**ročník 13**

# STAVEBNÍ OBZOR

pozemní stavby  
dopravní stavby  
vodohospodářské stavby  
geotechnika  
konstrukce a materiály  
technologie  
životní prostředí  
geodézie a kartografie  
mechanizace  
informatika  
ekonomika  
software



Fakulta stavební  
ČVUT v Praze



Česká komora autorizovaných  
inženýrů a techniků



Český svaz  
stavebních inženýrů



Fakulta stavební  
VUT v Brně



Fakulta stavební  
VŠB TU-Ostrava

## OBSAH

Holický, M.

**Pravděpodobnostní základy metody dílčích součinitelů v Eurokódech . . . . . 225**

Gazdo, M. – Tesárek, P. – Pavlík, Z. – Černý, R.

**Porovnání fyzikálních a tepelných vlastností různých typů tepelně izolačních materiálů . . . . . 231**

Kuda, F. – Mihola, M.

**Ohrožení železničních staveb povodňovými průtoky . . . . . 235**

Tesárek, P. – Černý, R. – Rovnaníková, P. – Kolísko, J.

**Mechanické, tepelné a vlhkostní vlastnosti nemodifikované energosádry – 2. část . . . . . 242**

Línková, L. – Suchá, J.

**Sledování svislých posunů na objektech čerpacích stanic . . . . . 246**

Pospíšil, J. – Štroner, M.

**Příspěvek k posuzování přesnosti technické nivelace . . . . . 248**

Makýš, P.

**Automatizácia časového plánovania výstavby . . . 251**

## CONTENTS

Holický, M.

**Probabilistic Principles of the Partial Factor Method in Eurocodes . . . . . 225**

Gazdo, M. – Tesárek, P. – Pavlík, Z. – Černý, R.

**Comparison of Basic Physical Properties and Thermal Properties of Different Types of Thermal Insulation Materials . . . . 231**

Kuda, F. – Mihola, M.

**Railway Structures Put at Risk by Flood Discharges . . . . . 235**

Tesárek, P. – Černý, R. – Rovnaníková, P. – Kolísko, J.

**Mechanical, Thermal and Hygric Properties of Hardened Flue Gas Desulphurization Gypsum – Part II . . . . . 242**

Línková, L. – Suchá, J.

**Monitoring of Vertical Displacements in Petrol Stations . . . . . 246**

Pospíšil, J. – Štroner, M.

**A Contribution to the Accuracy Assessment of Technical Levelling . . . . . 248**

Makýš, P.

**Automation of Construction Scheduling . . . . . 251**

## INHALT

Holický, M.

**Wahrscheinlichkeitsgrundlagen der Teilkoeffizientenmethode in den Eurocodes . 225**

Gazdo, M. – Tesárek, P. – Pavlík, Z. – Černý, R.

**Vergleich der grundlegenden Eigenschaften verschiedener Typen von Wärmedämmmaterialien . 231**

Kuda, F. – Mihola, M.

**Gefährdung von baulichen Anlagen der Eisenbahn durch Hochwasserdurchflüsse . . . . . 235**

Tesárek, P. – Černý, R. – Rovnaníková, P. – Kolísko, J.

**Mechanische, wärme- und feuchtigkeitstechnische Eigenschaften unmodifizierten REA-Gipses – Teil II . . . . . 242**

Línková, L. – Suchá, J.

**Beobachtung der vertikalen Verschiebungen an Objekten von Tankstellen . . . . . 246**

Pospíšil, J. – Štroner, M.

**Beitrag zur Beurteilung der Genauigkeit eines technischen Nivellements . . . . . 248**

Makýš, P.

**Automatisierung der Bauablaufplanung . . . . . 251**

## REDAKČNÍ RADA

### Předseda:

prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.

### Místopředseda:

doc. Ing. Alois MATERNA, CSc.

### Členové:

Ing. Miroslav BAJER, CSc.

doc. Ing. Pavel HÁNEK, CSc.

Ing. Jiří HIRŠ, CSc.

Ing. Ivan HRDINA

doc. Ing. Vladimír JELÍNEK, CSc.

doc. Ing. Miroslav KAUN, CSc.

Ing. Jana KORYTÁROVÁ, PhD.

Ing. Karel KUBEČKA

Ing. Petr KUNEŠ, CSc.

doc. Ing. Ladislav LAMBOJ, CSc.

doc. Ing. Ivan MOUDRÝ, CSc.

doc. Ing. Jaroslav NOVÁK, CSc.

doc. Ing. Luděk NOVÁK, CSc.

doc. Ing. Miloslav PAVLÍK, CSc.

prof. Ing. J. PROCHÁZKA, CSc.

doc. Ing. Vlastimil STARA, CSc.

Ing. Karel SVOBODA

doc. Ing. Josef VITÁSEK, CSc.

prof. Ing. Jiří WITZANY, DrSc.

Ing. Renata ZDAŘILOVÁ

**STAVEBNÍ OBZOR**, odborný měsíčník, vydává Fakulta stavební ČVUT Praha společně s Fakultou stavební VUT Brno, Fakultou stavební VŠB TU Ostrava, Českou komorou autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě a Českým svazem stavebních inženýrů. Řídí redakční rada, vedoucí redaktorka Marcela Klímová. Adresa redakce: Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel./fax: 224 354 596, klimova@fsv.cvut.cz, http://web.fsv.cvut.cz/obzor. Vychází každý měsíc kromě července a srpna, cena za výtisk je 40 Kč včetně DPH (+ poštovné a balné). Objednávky odběru i reklamace přijímá Ing. Milan Gattringer, MG DTP, Borovanská 3388, 143 00 Praha 4, tel./fax: 241 770 220, e-mail: mgdtp@volny.cz. Odběr je možné zrušit až po vyčerpání zaplaceného předplatného. Inzerce adresujte redakci. Technická redakce a realizace: Ing. Milan Gattringer. Podávání novinových zásilek povoleno Ředitelstvím pošt Praha, č. j. NP 144/1994, ze dne 21. 10. 1994. Do sazby 10. 9. 2004. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027



## Pravděpodobnostní základy metody dílčích součinitelů v Eurokódech

prof. Ing. Milan HOLICKÝ, DrSc.  
ČVUT – Kloknerův ústav  
Praha

Nové evropské předpisy pro navrhování stavebních konstrukcí se systematicky opírají o základní poznatky pravděpodobnostní teorie spolehlivosti. Ukazuje se, že koncepce součinitelů citlivosti a návrhových hodnot metody FORM lze účinně aplikovat při stanovení dílčích součinitelů a redukčních součinitelů pro kombinace zatížení. Přímé aplikace se však střetávají s některými nesnáze, které jsou zčásti důsledkem historického vývoje předpisů pro navrhování konstrukcí, zčásti důsledkem nedostatečných poznatků o teoretických modelech základních veličin. Pravděpodobnostní metody teorie spolehlivosti však umožňují další vyladování současných předpisů a jejich zobecnování pro nové materiály a konstrukce.

### Úvod

Zanedlouho by měla celá Evropa navrhovat stavební konstrukce podle jednotných metodických postupů stanovených v harmonizovaných normativních předpisech pro navrhování konstrukcí, označovaných pracovním názvem „Eurokódy“ [1], [2]. Nové evropské předpisy se opírají o koncepci mezních stavů ve spojení s metodou dílčích součinitelů v EN 1990 [1], která systematicky vychází z poznatků pravděpodobnostní teorie spolehlivosti, zejména metody FORM (First Order Reliability Method). Tato norma umožňuje také přímé použití pravděpodobnostních metod pro ověření spolehlivosti konstrukcí jako alternativní postup k metodě dílčích součinitelů. Rovněž platné mezinárodní předpisy ISO [3], [4], [5] i české normy [6], [7] přímé použití pravděpodobnostních metod při ověřování spolehlivosti konstrukcí již řadu let umožňují podobně jako dokument EN 1990 [1].

Pravděpodobnostní základy nových možností dávají předpoklady k postupné harmonizaci (sjednocování) výpočtů v jednotlivých členských zemích CEN (Evropská komise pro normalizaci). Odlišnosti se mají omezit pouze na číselné hodnoty některých ukazatelů spolehlivosti, jako jsou charakteristické hodnoty klimatických zatížení a různé dílčí součinitele, které jsou závislé na regionálních podmínkách. Podobné snahy o sjednocení předpisů pro navrhování konstrukcí se uplatňují nejen v rámci mezinárodní organizace pro standardizaci ISO [3], [4], [5], ale i v normotvorné činnosti různých územních seskupení na celém světě.

Tento pozoruhodný vývoj mezinárodních předpisů pro navrhování stavebních konstrukcí by nebyl možný bez mimořádného rozvoje pravděpodobnostních metod teorie

spolehlivosti v posledních letech [9], [10] a bez postupného pronikání základních poznatků k širší technické veřejnosti. Dnes jsou již komerčně dostupné také softwarové produkty [12], [13], [14], které usnadňují efektivní zavedení těchto postupů do praxe. Přesto se však praktické aplikace střetávají s mnohými nesnáze [15], [16].

Předložený příspěvek úzce navazuje na evropskou normu pro navrhování konstrukcí [1], která je základním dokumentem pro celou soustavu eurokódů. Je národně dostupná od dubna 2002, její české vydání je k dispozici od roku 2004. Kromě úvodu obsahuje šest oddílů a čtyři přílohy, které poskytují zásady navrhování a ověřování konstrukcí z hlediska bezpečnosti, použitelnosti a trvanlivosti. Používá se společně s eurokódy EN 1991 až 1999 pro navrhování pozemních a inženýrských staveb včetně geotechnických konstrukcí, zabývá se zásadami navrhování z hlediska bezpečnosti proti účinkům požáru a seizmických vlivů. I když je norma [1] určena pro navrhování nových konstrukcí, lze obecná pravidla použít pro hodnocení stávajících konstrukcí, pro jejich opravy a přestavby. Jde o normu materiálově nezávislou, a proto se její zásady a aplikační pravidla uplatňují při navrhování konstrukcí z různých materiálů.

V následujících letech se budou v ČR postupně zavádět další části všech eurokódů 1991 až 1999, které na [1] navazují. Příklad několika nových dokumentů se již zpracovává a připravují se jejich národní přílohy. Předložená studie má usnadnit správný výklad důležitých pojmů nových předpisů a ukázat jejich návaznost na základní poznatky pravděpodobnostní teorie spolehlivosti. Jde zejména o index spolehlivosti, součinitele citlivosti, návrhové hodnoty metody FORM a dílčí součinitele jako hlavní pojmy metodiky nových předpisů. Jejich hlubší porozumění by mělo usnadnit tvorbu národních příloh nově zaváděných dokumentů i jejich správné využití v praxi.

### Význam dvou základních veličin s normálním rozdělením

Principy metody dílčích součinitelů čerpají z rozboru spolehlivosti případu dvou vzájemně nezávislých veličin popisujících účinek zatížení  $E$  a odolnost konstrukce  $R$ , které lze aproximovat normálním rozdělením. Předpokládá se, že konstrukce je spolehlivá, jestliže je účinek zatížení  $E$  menší než odolnost konstrukce  $R$ , a platí jednoduchá nerovnost  $E < R$ . V teorii spolehlivosti je důležitá rovnost obou veličin vyjádřená implicitní funkcí

$$Z = g(X) = R - E = 0, \quad (1)$$

kteří je základní formou funkce mezního stavu (meze porušení). V teorii spolehlivosti se funkce mezního stavu

obecně označuje  $g(X)$ , kde  $X$  označuje vektor základních veličin.

Obě základní veličiny  $E$  a  $R$  jsou náhodné, a nerovnost  $E < R$  nelze proto splnit absolutně (s pravděpodobností 1). Zpravidla je nezbytné připustit malou pravděpodobnost  $p_f$ , že bude platit  $E > R$  a že tedy dojde k poruše konstrukce. Formálně se pravděpodobnost  $p_f$  v tomto jednoduchém případě definuje pravděpodobnostním vztahem

$$p_f = P(E > R). \quad (2)$$

Pravděpodobnost poruchy  $p_f$  lze obecně stanovit různými postupy. Jednoduchou možností je odvodit rozdělení rozdílu

$$Z = R - E, \quad (3)$$

který se nazývá rezerva spolehlivosti. Průměr  $\mu_Z$  a rozptyl  $\sigma_Z^2$  rezervy spolehlivosti  $Z$  pro vzájemně nezávislé veličiny  $R$  a  $E$  (bez ohledu na typ jejich rozdělení) se stanoví ze vztahů

$$\mu_Z = \mu_R - \mu_E, \quad \sigma_Z^2 = \sigma_R^2 + \sigma_E^2. \quad (4)$$

Jestliže obě veličiny  $E$  a  $R$  lze popsat (alespoň přibližně) normálním rozdělením, má také jejich rozdíl  $Z$  normální rozdělení a pravděpodobnost poruchy  $p_f$  lze stanovit na základě distribuční funkce rezervy  $Z$  ze vztahu

$$p_f = P(E > R) = P(Z < 0) = \Phi_Z(0). \quad (5)$$

Distribuční funkce  $\Phi_Z(z)$  veličiny  $Z$  pro  $(z = 0)$  udává pravděpodobnost výskytu záporných hodnot rezervy  $Z$ , tj. pravděpodobnost poruchy. Ta se snadno stanoví přechodem na normovanou náhodnou veličinu  $U$ , která je definována transformačním vztahem

$$U = (Z - \mu_Z) / \sigma_Z. \quad (6)$$

Podle tohoto vztahu hodnotě  $z = 0$  původní náhodné veličiny  $Z$  odpovídá transformovaná hodnota  $u_0$  normované veličiny  $U$ , tj.

$$u_0 = (0 - \mu_Z) / \sigma_Z = -\mu_Z / \sigma_Z. \quad (7)$$

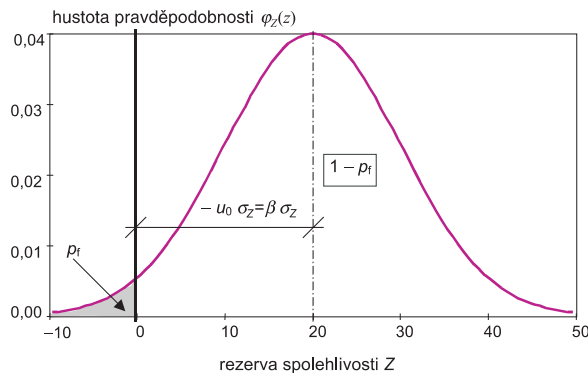
Pravděpodobnost poruchy  $p_f$  se pak stanoví z distribuční funkce  $\Phi_U(u_0)$  normované veličiny s normálním  $U$ . Tedy

$$p_f = \Phi_Z(0) = \Phi_U(u_0). \quad (8)$$

Distribuční funkce  $\Phi_U(u_0)$  je dostupná v běžných matematických tabulkách i softwarových produktech. Jestliže  $Z$  má normální rozdělení, hodnota  $-u_0$  se nazývá index spolehlivosti a označuje se symbolem  $\beta$ . Z rovnic (4) a (7) pak pro index spolehlivosti vyplývá vztah

$$\beta = \mu_Z / \sigma_Z = \frac{\mu_R - \mu_E}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}}. \quad (9)$$

Hustota pravděpodobnosti  $\varphi_Z(z)$  rezervy spolehlivosti  $Z$  je zachycena na obr. 1, šedá plocha pod křivkou  $\varphi_Z(z)$



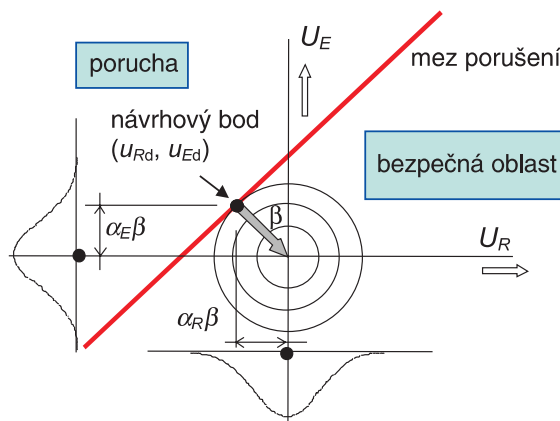
Obr. 1. Rozdělení rezervy spolehlivosti  $Z$

odpovídá pravděpodobnosti  $p_f$ . Takto definovaný index spolehlivosti  $\beta$  lze jednoduše popsat geometricky jako vzdálenost průměru  $\mu_Z$  rezervy spolehlivosti  $Z$  od počátku, stanovenou v jednotkách směrodatné odchylky  $\sigma_Z$ .

Význam dvou veličin s normálním rozdělením lze popsat v dvourozměrném grafu, který je východiskem pro potřebné zobecnění úlohy pro více základních veličin s libovolným typem rozdělení. Jestliže se původní veličiny  $R$  a  $E$  transformují na základě vztahu (6) (ve kterém se postupně zamění  $Z$  za  $R$  a  $E$ ) na normované veličiny  $U_R$  a  $U_E$ , lze funkci mezního stavu (1) vyjádřit prostřednictvím normovaných veličin v transformovaném tvaru

$$U_R \sigma_R - U_E \sigma_E + \mu_R - \mu_E = 0. \quad (10)$$

Jde o „přímku mezního stavu“ zapsanou v obecném tvaru, která je graficky zachycena na obr. 2.



Obr. 2. Návrhový bod stanovený metodou FORM pro veličiny  $U_E$  a  $U_R$  s normálním rozdělením

Z analytické geometrie v rovině plyne, že vzdálenost přímky (10) od počátku je dána vztahem

$$\beta = \frac{\mu_R - \mu_E}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}}, \quad (11)$$

který je shodný se vztahem (9) pro index spolehlivosti (proto je použit symbol  $\beta$ ). Je tedy zřejmé, že ve dvourozměrném znázornění základní úlohy teorie spolehlivosti lze index spolehlivosti  $\beta$  definovat jako vzdálenost přímky mezního stavu od počátku v souřadném systému normovaných veličin s normálním rozdělením. Tento poznatek je základem obecné metody FORM pro rozbor obecného případu více základních veličin s libovolným typem rozdělení.

Z analytické geometrie dále plyne, že normálový vektor  $n(\sigma_R, \sigma_E)$  kolmý na přímce mezního stavu a směřující do bezpečné oblasti má souřadnice  $\sigma_R$  a  $\sigma_E$ . Směrové kosiny normálového vektoru se v teorii spolehlivosti nazývají součinitele citlivosti a označují se symboly  $\alpha_R$  a  $\alpha_E$ . Poskytují totiž relativní míru vlivu jednotlivých základních veličin na  $\sigma_Z$ , a tedy i na index spolehlivosti  $\beta$ . Přesněji řečeno, druhá mocnina součinitelů citlivosti  $\alpha_R^2$  udává podíl rozptylu  $\sigma_Z^2$ , který je vyvolán veličinou  $R$ . Součinitele citlivosti mají velký praktický význam: základní veličiny, jejichž součinitele citlivosti jsou blízké nule, lze pokládat za deterministické, a zredukovat tak počet náhodných veličin. Součinitele citlivosti také udávají souřadnice návrhového bodu  $(u_{Rd}, u_{Ed})$ , tj. bodu na mezi porušení, který je nejbližší k počátku a který jednoznačně určuje pravděpodobnost poruchy.

V souladu se znaménkovou konvencí dokumentu EN 1990 (a některých softwarových produktů [12]) se součinitelé citlivosti (směrové kosiny normálového vektoru) stanoví ze vztahů

$$\alpha_R = \sigma_R / (\sigma_R^2 + \sigma_E^2)^{0,5}, \quad \alpha_E = -\sigma_E / (\sigma_R^2 + \sigma_E^2)^{0,5}. \quad (12)$$

Souřadnice návrhového bodu v souřadném systému normovaných veličin s normálním rozdělením jsou tedy  $u_{Rd} = -\alpha_R \beta$  a  $u_{Ed} = -\alpha_E \beta$  (obr. 2).

Návrhový bod původních veličin  $R$  a  $E$  s normálním rozdělením se stanoví zpětnou transformací (úpravou vztahu (6)) normovaných veličin

$$\begin{aligned} r_d &= \mu_R - u_{Rd} \sigma_R = \mu_R - \alpha_R \beta \sigma_R, \\ e_d &= \mu_E - u_{Ed} \sigma_E = \mu_E - \alpha_E \beta \sigma_E. \end{aligned} \quad (13)$$

Všimněme si zde znamének „minus“, která odpovídají zmíněné znaménkové konvenci v EN 1990 [1]. Poznamenáme, že některé softwarové produkty [13] přijímají pro součinitele citlivosti opačnou znaménkovou konvenci.

Ze vztahů (13) a transformačního vztahu (6) plyne, že návrhovým bodům  $r_d$  a  $e_d$  odpovídají normované hodnoty  $-\alpha_R \beta$  a  $-\alpha_E \beta$ . Z rovnosti distribučních funkcí původních veličin  $R$  a  $E$  a normovaných veličin pak vyplývá

$$\Phi_R(r_d) = \Phi_U(-\alpha_R \beta), \quad \Phi_E(e_d) = \Phi_U(-\alpha_E \beta). \quad (14)$$

Tyto vztahy nejsou pro rozbor základní úlohy pro veličiny  $R$  a  $E$  s normálním rozdělením nezbytné, jejich zobecnění pro případ více základních veličin s libovolným typem rozdělení je však velmi důležité.

### Obecný případ několika základních veličin s libovolným rozdělením

Výpočet pravděpodobnosti poruchy v obecném případě více náhodných veličin s libovolným rozdělením se zde omezuje na rozšířenou metodu FORM, která je teoretickým základem metody dílčích součinitelů v Eurokódech. Zobecnňuje postup výpočtu indexu spolehlivosti v případě dvou základních veličin na obecný případ více základních veličin  $X$ . Postup stanovení indexu spolehlivosti se opírá o geometrickou analogii se základní úlohou teorie spolehlivosti pro dvě veličiny zachycené na obr. 2. Výhodiskem metody jsou tři základní myšlenky:

- transformace základních veličin  $X$  na normované náhodné veličiny  $U$  s normálním rozdělením a odpovídající transformace meze porušení  $g(X) = 0$  na  $g(U) = 0$ ;
- mez porušení  $g(U) = 0$  se aproximuje lineární funkcí (tečnou nadrovinou) v návrhovém bodě, což je bod na mezi porušení  $g(U) = 0$  nejbližší počátku;
- index spolehlivosti  $\beta$  se stanoví jako vzdálenost návrhového bodu  $u_d$  od počátku a na základě indexu spolehlivosti  $\beta$  se stanoví pravděpodobnost poruchy  $p_f = \Phi_U(-\beta)$ .

V současnosti jsou již propracované a jsou využity v řadě alternativních výpočetních postupů [9], [10], pro něž jsou k dispozici komerčně dostupné softwarové produkty [12], [13], [14].

Následující stručný popis metody FORM se omezuje pouze na důležité kroky celého postupu pro nezávislé základní veličiny. Klíčovým krokem je transformace libovolného typu rozdělení na ekvivalentní normální rozdělení, které splňuje v zadaném bodě  $x^*$ ,  $g(x^*) = 0$  (jenž se iteracním postupem přibližuje k návrhovému bodu) dvě důležité podmínky, a to že přírůstek (diferenciál) hustoty pravděpodobnosti a hodnota distribuční funkce ekvivalent-

ního normálního rozdělení jsou v bodě  $x^*$  stejné jako u původní veličiny. Označme původní distribuční funkci a hustotu pravděpodobnosti  $X$  symboly  $\Phi_X(x)$  a  $\varphi_X(x)$ . Distribuční funkce a hustota pravděpodobnosti ekvivalentního normálního rozdělení (označené symboly  $\Phi_U(u)$  a  $\varphi_U(u)$ ) mají tedy splňovat podmínky

$$\Phi_X(x^*) = \Phi_U\left(\frac{x^* - \mu_X^e}{\sigma_X^e}\right), \quad (15)$$

$$\varphi_X(x^*) = \frac{1}{\sigma_X^e} \varphi_U\left(\frac{x^* - \mu_X^e}{\sigma_X^e}\right), \quad (16)$$

kde symboly  $\mu_X^e$  a  $\sigma_X^e$  označují průměr a směrodatnou odchylku ekvivalentního normálního rozdělení.

Jestliže postupnými iteracemi bod  $x^*$  přejde u veličiny  $X_i$  do návrhového bodu  $x_{id}$ , platí pro součinitel citlivosti a návrhové body analogické vztahy k rovnicím (12) a (14). Pro součinitele citlivosti  $\alpha_{Xi}$  platí obecný vztah

$$\alpha_{Xi} = \frac{\frac{\partial g(\mathbf{U})}{\partial U_i}}{\sqrt{\sum_j \left(\frac{\partial g(\mathbf{U})}{\partial U_j}\right)^2}} = \frac{\sigma_{Xi}^e}{\sqrt{\sum_j (\sigma_{Xj}^e)^2}}, \quad (17)$$

kde ilustrativní výraz v hranatých závorkách platí pro lineární funkci  $g(\mathbf{U})$  s jednotkovými součiniteli podobné rovnici (10). Součet druhých mocnin součinitelů citlivosti všech veličin je roven 1. Všimněme si, že v rovnici vystupují směrodatné odchylky  $\sigma_{Xi}^e$  ekvivalentního normálního rozdělení, a nikoli původního rozdělení veličiny  $X_i$ . Pro návrhové body  $x_{id}$  pak z rovnice (15) plyne analogický vztah k rovnici (14) ve tvaru

$$\Phi_{Xi}(x_{id}) = \Phi_U(-\alpha_i \beta). \quad (18)$$

Tento důležitý vztah platí pro libovolné rozdělení  $\Phi_{Xi}(x_{id})$ . Jestliže jsou pro jednotlivé základní veličiny  $X_i$  známy součinitele citlivosti  $\alpha_i$  a požadovaný index spolehlivosti  $\beta$ , je možno na základě vztahu (18) stanovit návrhové hodnoty základních veličin. Nesnáž je v tom, že součinitele citlivosti nejsou známy předem, pokud se neprovede analýza metodou FORM. V Eurokódu [1] jsou však uvedeny přibližné hodnoty součinitelů citlivosti  $\alpha_i$ , které se doporučují pro tvorbu norem podle tab. 1. Pro  $\alpha_i > 0$  (odolnosti) návrhové body odpovídají dolním kvantilům, pro  $\alpha_i < 0$  (zatížení) horním kvantilům. Je zřejmé, že hodnoty doporučené v tab. 1 jsou na bezpečné straně (součet druhých mocnin součinitelů citlivosti všech veličin by měl být roven jedné), a vedou tedy ke konzervativním odhadům návrhových hodnot základních veličin.

Tab. 1. Doporučené hodnoty součinitelů citlivosti  $\alpha_i$

Základní veličina $X_i$	Doporučený součinitel citlivosti $\alpha_i$
odolnosti, hlavní (dominantní)	0,8
odolnosti, vedlejší (nedominantní)	$0,4 \times 0,8 = 0,32$
zatížení, hlavní (dominantní)	-0,7
zatížení, vedlejší (nedominantní)	$-0,4 \times 0,7 = -0,28$

Metoda návrhových hodnot vychází z podmínky

$$g(\mathbf{x}_d) = g(x_{1d}, x_{2d}, \dots, x_{nd}) > 0, \quad (19)$$

kde návrhové body  $x_{id}$  jednotlivých základních veličin  $X_i$  jsou závislé na typu rozdělení a parametrech veličiny, na součinitelích citlivosti  $\alpha_i$ , které vyplývají z výpočtu metodou FORM, a na indexu spolehlivosti  $\beta$ .

V souladu se zásadami Eurokódu se dílčí součinitele spolehlivosti  $\gamma_i$  základních veličin  $x_i$  u veličin s nepříznivým vlivem na pravděpodobnost poruchy  $p_F$ , pro které  $\alpha_i < 0$  (veličiny zatížení), stanoví ze vztahu

$$\gamma_i = x_{ik} / x_{id} , \quad (20)$$

u veličin s příznivým vlivem na  $p_F$ , pro které  $\alpha_i > 0$  (veličiny odolnosti), ze vztahu

$$\gamma_i = x_{ik} / x_{id} . \quad (21)$$

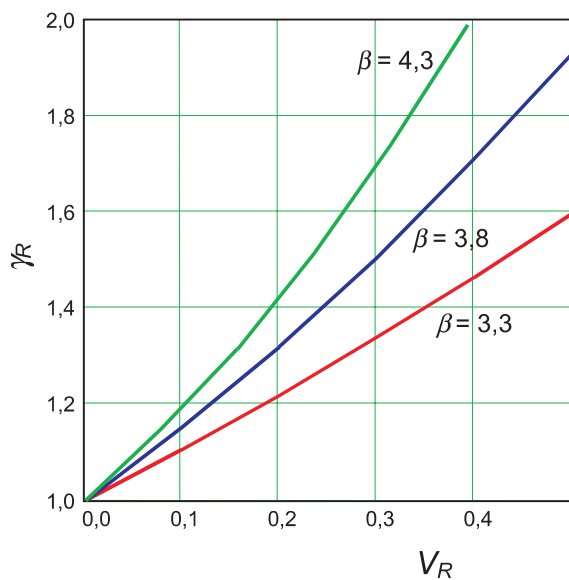
Takto definované dílčí součinitele spolehlivosti  $\gamma_i$  jsou zpravidla větší než 1. Podrobný postup uplatnění dílčích součinitelů spolehlivosti při ověřování spolehlivosti stavebních konstrukcí je uveden přímo v dokumentech [1], [2] a v příručce [11].

### Dílčí součinitele odolnosti

Odolnost  $R$  nosných prvků se zpravidla popisuje dvouparametrickým lognormálním rozdělením s počátkem v nule [1], [9], [10]. Charakteristická hodnota odolnosti je v Eurokódech definována jako dolní kvantil odpovídající pravděpodobnosti 5 %. Pro dílčí součinitel odolnosti  $\gamma_R$  pak ze vztahu (20) vyplývá [1]

$$\gamma_R = \exp(-1,645 V_R) / \exp(-\alpha_R \beta V_R) , \quad (21)$$

kde  $V_R$  je variační koeficient odolnosti  $R$  a  $\beta$  požadovaný index spolehlivosti, součinitel  $-1,645$  je hodnota kvantilu normované náhodné veličiny s normálním rozdělením a s pravděpodobností 5 %, součinitel citlivosti  $\alpha_R = 0,8$  vyplývá z tab. 1.



Obr. 3. Dílčí součinitele odolnosti  $\gamma_R$  v závislosti na variačním koeficientu  $V_R$  pro vybrané  $\beta$

Obrázek 3 ukazuje závislost součinitele odolnosti  $\gamma_R$  na variačním koeficientu  $V_R$  pro vybrané hodnoty indexu spolehlivosti  $\beta = 3,3, 3,8$  a  $4,3$  [1]. Jde o součinitel pro hlavní veličinu odolnosti, pro kterou se součinitel citlivosti uvažuje hodnotou  $\alpha_R = 0,8$ . U odolnosti se však většinou nerozlišují hlavní a vedlejší veličiny a zpravidla se všechny základní veličiny ovlivňující odolnost považují za hlavní. To je zřejmě další zjednodušující předpoklad vedoucí ke konzervativním odhadům návrhových hodnot veličin odolnosti. Z obrázku je patrné, že pro variační koeficient 0,10

(beton, ocelové konstrukce) by dílčí součinitel odolnosti měl být asi  $\gamma_R = 1,15$ . Jde však o ryze teoretické výsledky, které jsou závislé na předpokládaném modelu (dvouparametrické lognormální rozdělení) odolnosti. Další okolnost, která znesnadňuje přímou aplikaci výsledků zachycených na obr. 3, je skutečnost, že charakteristická hodnota pevnosti (meze kluzu) konstrukčních materiálů (betonu, oceli, ale i jiných materiálů) odpovídá ve skutečnosti pravděpodobnosti menší než 5 % [1] a uvažuje se také v předloženém rozboru. Tento jev vyvolává všeobecná snaha o zvýšení jakosti výroby materiálů, která vede zejména ke zvýšení průměru pevnosti skutečné produkce.

### Dílčí součinitele zatížení

Stálé zatížení  $G$  se zpravidla popisuje normálním rozdělením (symbol  $G$  se používá v Eurokódech). Charakteristická hodnota stálého zatížení je rovna průměru,  $G_k = \mu_G$ . Dílčí součinitel  $\gamma_G$  pak plyne ze vztahu (19) ve tvaru

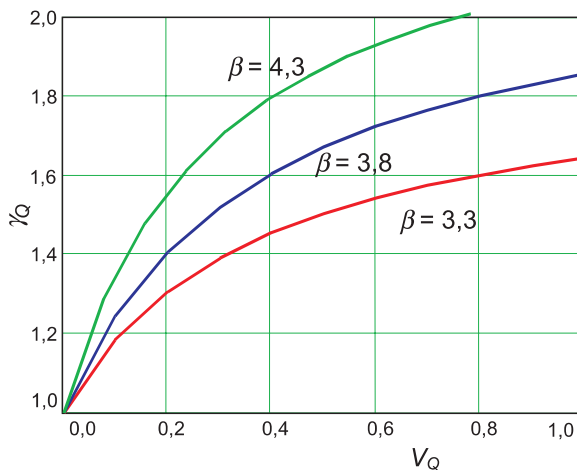
$$\gamma_G = (1 + 0,7 \beta V_G) , \quad (22)$$

kde  $V_G$  je variační koeficient stálého zatížení, který se zpravidla pohybuje v okolí hodnoty 0,1. Pro  $\beta = 3,8$  pak vychází  $\gamma_G \cong 1,27$ , s ohledem na modelové nejistoty se v Eurokódech doporučuje  $\gamma_G = 1,35$ .

Zatížení proměnné  $Q$  se často popisuje Gumbelovým rozdělením [1], [9], [10], [11]. Charakteristická hodnota odolnosti je v Eurokódech definována jako horní kvantil rozdělení pro základní časovou jednotku (1 rok, 5 let) odpovídající pravděpodobnosti 2 %. Za těchto předpokladů pro dílčí součinitel proměnného zatížení  $\gamma_Q$  vyplývá ze vztahu (19) ve tvaru

$$\gamma_Q = \frac{1 - V_Q(0,45 - 0,78 \ln(N) + 0,78 \ln(-\ln(-\alpha_Q \beta)))}{1 - V_Q(0,45 + 0,78 \ln(-\ln(0,98)))} , \quad (23)$$

kde  $V_Q$  označuje variační koeficient Gumbelova rozdělení pro základní časový interval (1 rok nebo 5 let) a  $N$  počet očekávaných změn intenzity zatížení (např. 50 nebo 10) během předpokládané životnosti konstrukce (např. 50 let).

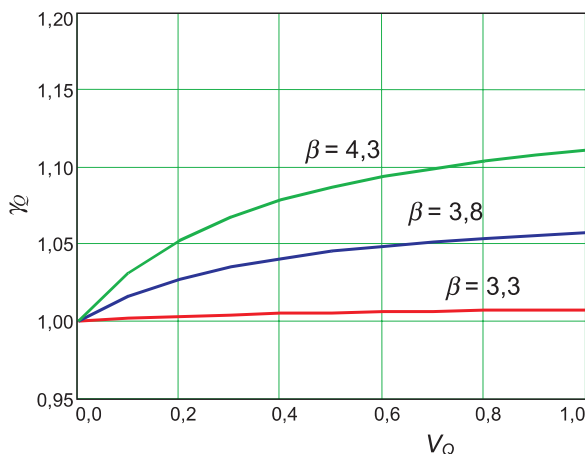


Obr. 4. Dílčí součinitel hlavního proměnného zatížení pro  $\alpha_Q = -0,7$  a  $N = 10$

Obrázek 4 zachycuje teoretické hodnoty dílčího součinitele hlavního zatížení (součinitel citlivosti  $\alpha_Q = -0,7$ ) pro počet změn intenzity zatížení během celé životnosti  $N = 10$ . Jde například o dlouhodobou složku užitného zatížení kancelářských prostor, pro kterou se zpravidla předpokládá změna každých 5 let, pro celou životnost 50 let je tedy  $N = 10$ .

Pro  $\beta = 3,8$  a variační koeficient  $V_Q \approx 1$  vyplývá z *obr. 4* dílčí součinitel  $\gamma_Q \approx 1,8$ , a potvrzuje se tak skutečnost, že doporučené hodnoty součinitelů citlivosti v *tab. 1* jsou na bezpečné straně. Jde však pouze o teoretické výsledky za předpokladu Gumbelova rozdělení, které nemusí být vždy pro užitná zatížení vystižným modelem. Navíc charakteristická hodnota udaná v předpisech, např. v EN 1991-1-1 [2], je vyšší než kvantil s pravděpodobností 0,98. Například u kancelářských prostor se zde uvádí tradiční rozmezí charakteristických hodnot od 2,5 do 3,0 kN/m<sup>2</sup>, zatímco teoretický kvantil s pravděpodobností 0,98 je nižší, přibližně od 2,1 až 2,3 kN/m<sup>2</sup> (závisí na konstrukčním uspořádání). Tato okolnost vyvolaná historickými zvyklostmi pak vede ke snížení teoretických hodnot dílčího součinitele užitných zatížení na hodnotu  $\gamma_Q = 1,5$ .

Poněkud složitější situace nastává, když proměnné zatížení  $Q$  vystupuje v kombinaci zatížení jako vedlejší zatížení. Pak podle *tab. 1* je součinitel citlivosti  $\alpha_Q = -0,28$  a teoretické hodnoty odvozené za předpokladu Gumbelova rozdělení se dramaticky změní. Ukazuje to *obr. 5*, který platí pro stejné předpoklady jako *obr. 4* kromě hodnoty součinitele citlivosti, pro který se uvažuje hodnota  $\alpha_Q = -0,28$ .



Obr. 5. Dílčí součinitel vedlejšího proměnného zatížení pro  $\alpha_Q = -0,28$  a  $N = 10$

Dílčí součinitel vedlejšího proměnného zatížení vychází tedy podstatně nižší než u hlavního proměnného zatížení. Ke snížení návrhové hodnoty vedlejšího proměnného zatížení však v [1] přihlíží součinitel kombinací hodnoty  $\psi_0$  (pro kancelářské prostory  $\psi_0 = 0,7$ ), kterým se vlastně redukuje výsledný součinitel proměnného zatížení z hodnoty  $\gamma_Q = 1,5$  na hodnotu  $\gamma_Q = 1,05$ . Pro index spolehlivosti  $\beta = 3,8$  tato redukce odpovídá velmi dobře výsledkům zachyceným na *obr. 5*.

## Závěr

Významný rozvoj pravděpodobnostních metod teorie spolehlivosti v posledních desetiletích umožnil pozoruhodný vývoj mezinárodních dokumentů pro navrhování stavebních konstrukcí. Také základní evropská norma EN 1990 „Zásady navrhování konstrukcí“ se systematicky opírá o poznatky teorie a zpracované metody rozboru spolehlivosti. Koncepce součinitelů citlivosti, metoda návrhových hodnot a metodika stanovení dílčích součinitelů zde uvedené úzce navazují na rozšířenou pravděpodobnostní metodu FORM. Doporučené hodnoty dílčích součinitelů a redukčních součinitelů pro kombinace zatížení jsou zčásti odvozeny z obecných postupů uvedené metody. Tento přístup také

umožňuje další prohlubování metodiky navrhování a její zobecňování pro nové materiály a konstrukce.

Ukazuje se však, že systematické využití obecných postupů pravděpodobnostní teorie spolehlivosti pro stanovení operativních prvků spolehlivosti se střetává s některými nesnázemi. Ve snaze zjednodušit obecná pravidla se přijímají různé zjednodušující předpoklady, které často souvisejí s nedostatky teoretických modelů běžně používaných pro popis náhodného chování základních veličin. Hodnoty různých prvků spolehlivosti doporučené v nových předpisech jsou proto stále výsledkem kompromisu mezi teoretickými poznatky a kalibračními postupy navazujícími na předchozí zkušenosti. Očekává se však, že další prohloubení teoretických metod umožní postupné dolaďování současných mezinárodních předpisů a jejich zobecňování pro nové materiály a konstrukce.

## Příspěvek vznikl při řešení výzkumného záměru CEZ 21000029 „Spolehlivost a rizikové inženýrství technických systémů“.

## Literatura

- [1] EN 1990 Basis of Structural Design. European Committee for Standardisation, 04/2002. Zavedena v ČR jako ČSN EN 1990 73 0002 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí, ČSN, 2004.
- [2] EN 1991-1-1 Eurocode1: Actions on Structures – Part 1-1: General Actions – Densities, Self-Weight, Imposed Loads for Building. European Committee for Standardisation, 04/2002. Zavedena v ČR jako ČSN EN 1991-1-1, 73 0035 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. ČSN, 2004.
- [3] ISO 2394 General Principles on Reliability for Structures. ISO, 1998.
- [4] ISO 3898 Basis for Design of Structures – Notations – General Symbols. ISO, 1997.
- [5] ISO 13822 Basis for Design of Structures – Assessment of Existing Structures, ISO, 2001.
- [6] ČSN 730031 Spolehlivost stavebních konstrukcí a základových půd. Základní ustanovení pro výpočet. ČSN, 1977; změna a) 1983.
- [7] ČSN 731401 Navrhování ocelových konstrukcí. ČSN, 1998.
- [8] JCSS: Probabilistic Model Code. JCSS Working Materials. <http://www.jcss.ethz.ch/>
- [9] Melchers, R. E.: Structural Reliability Analysis and Prediction. Chichester, John Wiley & Sons 1999, 437 p.
- [10] Nowak, A. S. – Collins, K. R.: Reliability of Structures. London, McGraw Hill 2000.
- [11] Gulvanessian, H. – Calgaro, J.-A. – Holický, M.: Designer's Guide to EN 1990, Eurocode: Basis of Structural Design. London, Thomas Telford 2002, 192 p.
- [12] STRUREL, Reliability Consulting Programs. RCP Munich, 1999.
- [13] VaP, Variable Processor, version 1.6. ETH Zurich, 1997.
- [14] Marek, P. – Guštar, M. – Anagos, T.: Simulation Based Reliability Assessment for Structural Engineers. Inc., Boca Raton, Florida, CRC Press 1995.
- [15] Holický, M. – Marková, J.: Reliability of Concrete Elements Designed for Alternative Load Combinations Provided in Eurocodes. Acta Polytechnica, 2003/1.
- [16] Holický, M.: Prospects for Advanced Engineering Design Based on Risk Assessment; Acta Polytechnica, Vol. 41, No. 4–5/2001, pp. 8–12.

### Holický, M.: Probabilistic Principles of the Partial Factor Method in Eurocodes

New European standards for design of structures are systematically based on fundamental concepts of probabilistic theory of structural reliability. Concepts of sensitivity factors and design values of the FORM method (First Order Reliability Method) may be effectively used in specification of partial factors and reduction factors for load combinations. Applications of reliability methods nevertheless interfere with some difficulties partly due to historical developments of design provisions, partly due to insufficiencies of available theoretical models for basic variables. Probabilistic methods of structural reliability, however, enable further improvement of present design methods and their generalization to new materials and structures.

### Holický, M.: Wahrscheinlichkeitsgrundlagen der Teilkoeffizientenmethode in den Eurocodes

Die neuen europäischen Vorschriften für den Entwurf von Baukonstruktionen stützen sich systematisch auf grundlegende Erkenntnisse der Wahrscheinlichkeitstheorie der Zuverlässigkeit. Es zeigt sich, dass die Konzeption der Empfindlichkeitskoeffizienten und der Entwurfswerte der Methode FORM (First Order Reliability Method) bei der Bestimmung der Teilkoeffizienten und der Abminderungskoeffizienten für Belastungskombinationen wirksam angewandt werden kann. Direkte Anwendungen kollidieren jedoch mit einigen Schwierigkeiten, die zum Teil die Folge der historischen Entwicklung der Vorschriften für das Entwerfen von Konstruktionen und zum Teil die Folge unzureichender Erkenntnisse über die theoretischen Modelle der Grundgrößen sind. Die Wahrscheinlichkeitsmethoden der Zuverlässigkeitstheorie ermöglichen jedoch eine weitere Abstimmung der gegenwärtigen Vorschriften und ihre Verallgemeinerung für neue Materialien und Konstruktionen.

## • dizertace



### Geodynamické vlivy ve výsledcích gravimetrických měření

Ing. Martin Lederer

Dizertace se zabývá modelováním celého spektra geodynamických vlivů, které ovlivňují výsledky měření nejpřesnějšími gravimetry. Jde o zemské a mořské slapy, pohyb pólu, proměnlivý barometrický tlak, hydrologické vlivy a vlivy hmotných objektů v blízkosti místa měření.

### Šroubované spoje s oválnými otvory

Ing. Vratislav Mazura

Práce analyzuje specifické šroubované spoje s nepředepnutými šrouby a oválnými otvory z hlediska jejich skutečného působení a modelování jejich chování metodou komponent. Dosažené výsledky, ověřené na domácích i zahraničních experimentech, vytvářejí předpoklady pro zvýšení spolehlivosti a hospodárnosti tohoto typu spoje.

### Diferenční a kinematické aplikace globálních polohových systémů

Ing. David Landsperský

Autor řeší problematiku určování polohy bodů s vysokou přesností v reálném čase. K dosažení výsledků se používají diferencovaná pozorování globálních polohových systémů získávaná ze sítě aktivních referenčních stanic s nepatrnou časovou prodlevou. Navrhl strukturu a metodiku provozu sítě referenčních stanic s uvážením specifických podmínek v České republice. Při vývoji klientských aplikací se zaměřil na platformu kapesních počítačů a mobilních telefonů.

## • zprávy

### Na Míčánkách vyroste moderní justiční areál

V areálu bývalých kasáren Jana Roháče z Dubé v pražských Vršovicích se staví moderní justiční areál, který soustředí do jednoho místa sídla několika pražských soudů. Komplex, jehož součástí budou rekonstruované historické objekty i moderní budova, postaví sdružení firem Skanska a Metrostav. Sdružení, ve kterém je Skanska vedoucím členem, získalo zakázku na tuto stavbu v obchodní veřejné soutěži vypsané Ministerstvem spravedlnosti ČR na základě nejnižší nabídnuté ceny.



Projekt počítá s dokončením stavby do konce října 2006. Historické neorenesanční budovy kasáren zůstanou zachovány a budou tvořit zhruba pětinu kapacity budoucího areálu. Uvnitř komplexu pak vyroste moderní budova o rozměrech přibližně 80 x 90 m se dvěma podzemními a sedmi nadzemními podlažími. Budovy i soudní síň bude chránit moderní bezpečnostní technika, k dispozici budou i cely pro vazebně stíhané. Studovna soudních spisů s kapacitou 80 míst bude součástí odborné knihovny.

Tisková informace

# Porovnání fyzikálních a tepelných vlastností různých typů tepelně izolačních materiálů

Ing. Michal GAZDO  
Ing. Pavel TESÁREK  
Ing. Zbyšek PAVLÍK, PhD.  
prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

V článku je prezentováno porovnání základních tepelných vlastností a fyzikálních materiálových parametrů tepelně izolačních materiálů na bázi pěnového polystyrenu, kalcium silikátu a hydrofilní minerální vlny. U ověřovaných materiálů jsou provedena měření objemové hmotnosti, hustoty matrice, maximální nasákavosti, pórovitosti, součinitele tepelné vodivosti a měrné tepelné kapacity. Znalost těchto parametrů je nezbytná k posouzení jejich tepelné technické funkce.

## Úvod

Současná doba je charakteristická stále se zvyšujícími požadavky na tepelné technickou funkci stavebních konstrukcí, určovanými především růstem nákladů na vytápění a ubývajícím zásobami fosilních paliv. Tyto požadavky jsou do jisté míry zahrnuty již v revidovaném vydání tepelné technické ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov [1]. Z porovnání původní normy, vydané v roce 1994, a stávající verze z roku 2002 je zřejmý nárůst požadavků na tepelné technickou funkci budov, a současně na materiály aplikované ve stavebních konstrukcích. To je provázáno stoupajícím významem tepelných izolací, protože jednovrstvé, dosud běžně používané konstrukce většinou těmto požadavkům nevyhoví. Dvouvrstvé nebo vícevrstvé, tzv. sendvičové, konstrukce, které se v současnosti používají častěji, mohou tvořit vnější či vnitřní tepelně izolační systémy kontaktní nebo s provětrávanou vzduchovou mezerou.

Pro aplikaci tepelně izolačních systémů se využívá mnoho materiálů, např. na bázi skelné vlny, polystyrenu a minerální vlny, která je pro zachování tepelně izolační funkce většinou upravena přidáním hydrofobních přísad. Nově vyvíjené materiály by měly nalézt uplatnění v kontaktních vnitřních tepelně izolačních systémech bez parotěsné vrstvy, kde stávající izolační materiály vlivem nevhodných vlhkostních transportních parametrů selhávají. Do skupiny těchto materiálů patří také materiály popisované v této práci, jeden na bázi kalcium silikátu a druhý na bázi hydrofilní minerální vlny.

V článku uvádíme postup stanovení základních fyzikálních a tepelných vlastností čtyř typů tepelných izolací na bázi pěnového polystyrenu, hydrofilní minerální vlny a kalcium silikátu, neboť jejich znalost je pro aplikaci ve stavebních konstrukcích nezbytná a výrobci poskytují pouze základní přehled materiálových parametrů, bez uvedení způsobu, a zejména podmínek jejich stanovení, což může být příčinou závažných poruch tepelné technické funkce realizovaných stavebních konstrukcí.

## Materiály a vzorky

Pro porovnání možností aplikace materiálů v technické praxi byly ze široké škály tepelně izolačních výrobků vybrány čtyři typy na třech různých bázích. Jako zástupce současné nabídky trhu byl vybrán materiál na bázi pěnového polystyrenu, který se již delší dobu v technické praxi využívá. Další tři, materiál na bázi kalcium silikátu a dva materiály na bázi hydrofilní minerální vlny, patří do skupiny nově navrhovaných tepelně izolačních materiálů pro aplikaci ve vnitřních kontaktních tepelně izolačních systémech.

### ■ Pěnový polystyren

Zkouškám byl podroben rozměrově stálý samozhášivý pěnový polystyren s obchodním označením PSB-S-20 STABIL (výrobce MUREXIN-AUSTROTHERM, Slovensko). Základní surovinou pro jeho výrobu je zpěňovatelný polystyren, který se průmyslově připravuje polymerací suspenze styrenu ve formě perel s obsahem 6 až 7 % nadouvadla. Jako nadouvadlo je využit pentan (frakce lehkého benzínu). Výrobek je určen pro použití za zpřísněných požadavků pro zateplovací systémy, lepené a natahované ploché střechy a další speciální použití. Dodává se na trh ve formě desek o rozměrech 1 000 × 1 000 mm a 1 000 × 500 mm, s tloušťkou 10 až 50 mm.

### ■ Minerální vlna

Pro zkoušky jsme zvolili dva nově vyvinuté materiály na bázi hydrofilní minerální vlny s obchodním označením MU a INROCK (Rockwool, ČR). Výrobek se dodává na trh v deskách o rozměrech 1 000 × 600 × 80 mm. Oba materiály byly vyvinuty ve spolupráci s laboratoří FSv ČVUT v rámci řešení grantu 5. rámcového programu Evropské unie pro využití ve vnitřním kontaktním tepelně izolačním systému bez použití parozábrany. Měly by najít uplatnění při dodatečném zateplování zejména historických objektů a budov s členitým průčelím, kde aplikace vnějších systémů není možná [2], [3]. V současné době ověřujeme možnosti využití těchto materiálů pro vysoušení a odsolování budov.

Oba materiály byly vyrobeny tavením základních surovin (čedičové úlomky, vápenec, koks) v peci při teplotě 1 300 až 1 500 °C a následně odstředivým litím, při kterém vznikají vlákna. K nim se přidávají pojiva a speciální aditiva (hydrofilní chemikálie, lubrikační oleje atd.). V poslední části výroby jsou vlákna tvarována do požadované formy, v našem případě do desek.

MU je navržen jako typický hydrofilní izolační materiál. INROCK je naproti tomu dvouvrstvý, jehož jedna vrstva o vyšší objemové hmotnosti, označovaná jako INROCK hard, plní funkci nejen tepelně izolační, ale i funkci mechanické ochrany systému, zatímco zbývající vrstva, označovaná jako INROCK soft, plní pouze funkci tepelné izolace. V experimentu jsme sledovali pouze parametry vrstvy hard, neboť vlastnosti vrstvy soft do jisté míry korespondují s vlastnostmi materiálu MU.

### ■ Kalcium silikát

Kalcium silikát je nový kapilárně aktivní materiál (výrobce Calsitherm, SRN) s označením Silcal, který se využívá pro tepelně izolační vlastnosti, ale i jako protipožární izolace do 1 100 °C. Je kapilárně aktivní, a proto může být využit také jako vnitřní tepelná izolace bez parozábrany [4]. Pro experimenty byly použity vzorky dodávané na trh pod označením Silcal 1 100 ve formě desek. Materiál je vyroben ze 75 až 90 % hydrátu křemičitanu vápenatého, 0 až 20 % minerálního plniva a 3 až 6 % buničiny.

### ■ Vzorky

Pro stanovení součinitele tepelné vodivosti, měrné objemové tepelné kapacity a součinitele teplotní vodivosti bylo od každého materiálu použito deset vzorků 70 × 70 × 70 mm. Pro měření základních fyzikálních parametrů bylo použito vždy deset vzorků od každého materiálu o rozměru 50 × 50 × 25 mm.

### Metody a výsledky

Ze základních fyzikálních vlastností se ověřovala objemová hmotnost, saturovaný obsah vlhkosti, pórovitost a hustota matrice (včetně maximální nasákavosti). Jednotlivé vzorky byly v sušárně umístěny tak dlouho, dokud nebylo dosaženo jejich nulové hmotnosti. Výrobky firmy Rockwool byly vystaveny teplotě 110 °C, pěnový polystyren a materiál na bázi kalcium silikátu pouze 80 °C, aby se předešlo změně struktury materiálu. V exsikátoru s převařenou destilovanou vodou byly vakuovány minimálně po dobu 24 hodin. Měření probíhalo za laboratorních podmínek při teplotě 25 ± 2 °C a relativní vlhkosti vzduchu 30 ± 5 %.

Archimédova hmotnost byla stanovena vážením vakuově nasyceného vzorku pod vodou. Nejprve bylo nutno stanovit objem vzorku z naměřené hmotnosti při maximální saturaci, hmotnosti vzorku určené Archimédovými vahami a hustoty vody. Poté bylo možno určit nasycený obsah vlhkosti, objemovou hmotnost, hustotu matrice daného materiálu a otevřenou pórovitost materiálů [5].

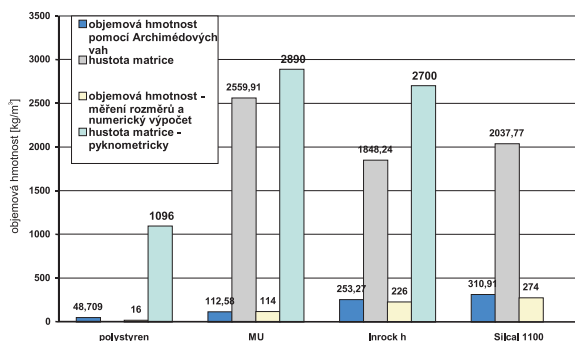
Pro kontrolu byla objemová hmotnost stanovena měřením lineárních rozměrů vzorků, vážením a následně numerickým výpočtem. Výsledky získané experimenty jsou uvedeny v obr. 1 až obr. 3.

Z tepelných vlastností jsme stanovili součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$ , součinitel teplotní vodivosti  $a$ , měrnou objemovou tepelnou kapacitu  $c_p$ . Přístroj ISOMET 2104 (Applied Precision, Ltd.), který to umožnil, je vybaven vyměnitelnými sondami, jehlovou pro sypké materiály a plošnou pro pevné materiály.

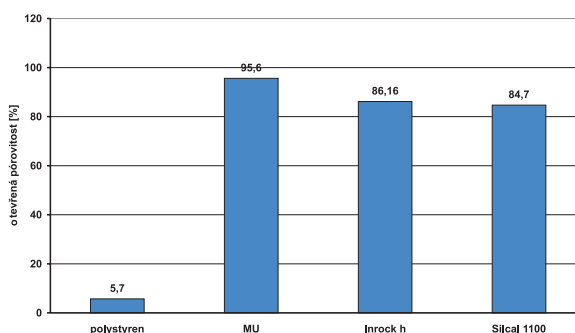
Vlastní měření se provádělo plošnou sondou s rozsahem  $\lambda = 0,03 - 0,30 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , chyba udávaná výrobcem se pohybuje v rozmezí 5 % zjištěné hodnoty. Vzorky byly ponechány v laboratorním prostředí s teplotou 25 ± 2 °C a relativní vlhkostí vzduchu 30 ± 5 %. Hmotnostní vlhkost vzorků se pohybovala okolo 1 %. Sonda byla umístěna na vzorek a společně pro omezení vlivu změn okolního prostředí na přesnost a reprodukovatelnost měření umístěny pod „black box“. Získané výsledky jsou shrnuty na obr. 4 až obr. 7.

### Diskuze

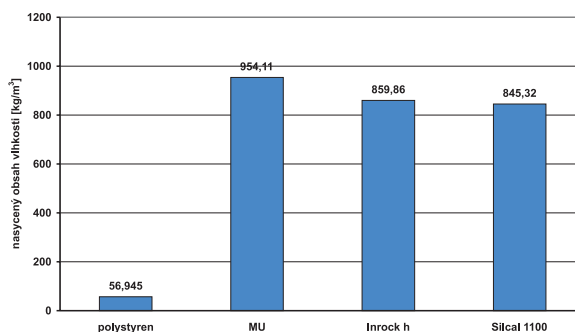
Standardní metody stanovení základních fyzikálních parametrů poréznych stavebních materiálů se u sledovaných tepelně izolačních materiálů neukázaly jako příliš vhodné. Při sycení vodou za podtlaku byla u většiny z nich porušena vnitřní struktura materiálu. Tento problém byl nejvíce patrný na vzorku pěnového polystyrenu zdeformovaného



Obr. 1. Porovnání objemové hmotnosti a hustoty matrice



Obr. 2. Porovnání pórovitosti



Obr. 3. Porovnání nasyceného obsahu vlhkosti

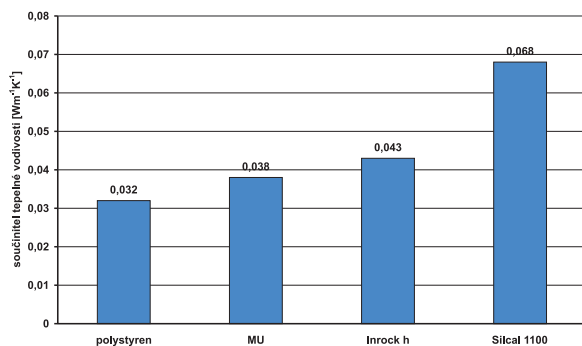
podtlakem při vakuování, které způsobilo odsátí části vzduchu z uzavřených pórů (obr. 8). Objemová hmotnost polystyrenu, naměřená pomocí Archimédových vah, proto vychází značně odlišná v porovnání s výsledky získanými přímým měřením lineárních rozměrů a numerickým výpočtem. V důsledku deformace vzorků nebylo možné stanovit hustotu matrice.

U vzorků minerální vlny je také pravděpodobné, že došlo rovněž ke zdeformování vlastní matrice vzorku. Proto je třeba brát získané výsledky pouze jako orientační.

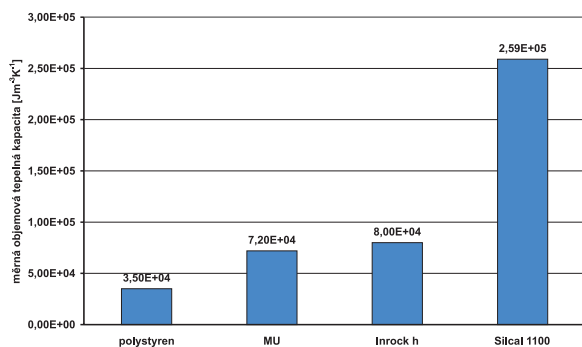
Pro měření fyzikálních parametrů materiálů na bázi pěnového polystyrenu a minerální vlny bude tedy vhodné použít jiné metody než pro klasické, málo stlačitelné stavební materiály. Jak ukázaly přídatné zkoušky, objemovou hmotnost a nasycený obsah vlhkosti bude vhodné zjistit z lineárních rozměrů a vážením kapilárně nasáklých vzorků bez využití vakuování, čímž se experimenty výrazně prodlouží, ale nezmění se vnitřní struktura materiálu. Hustotu matrice je možno stanovit pyknetricky (obr. 1).

Při měření materiálu na bázi kalcium silikátu došlo při styku s vodou k částečnému porušení povrchu vzorků, pravděpodobně v důsledku přítomnosti volného CaO. Získané výsledky jsou však zatíženy v porovnání s ostatními materiály zanedbatelnou chybou.

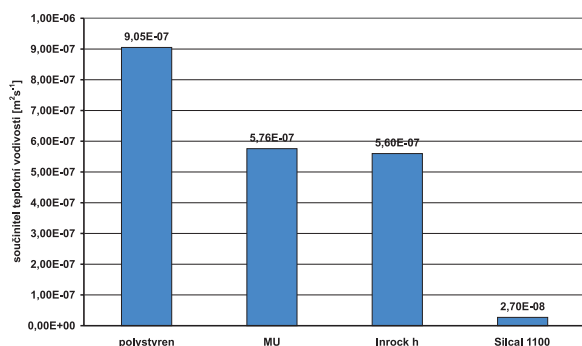




Obr. 4. Porovnání součinitele tepelné vodivosti



Obr. 5. Porovnání měrné objemové tepelné kapacity

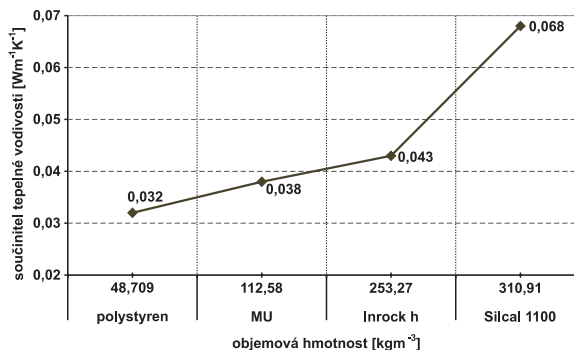


Obr. 6. Porovnání součinitelů teplotní vodivosti

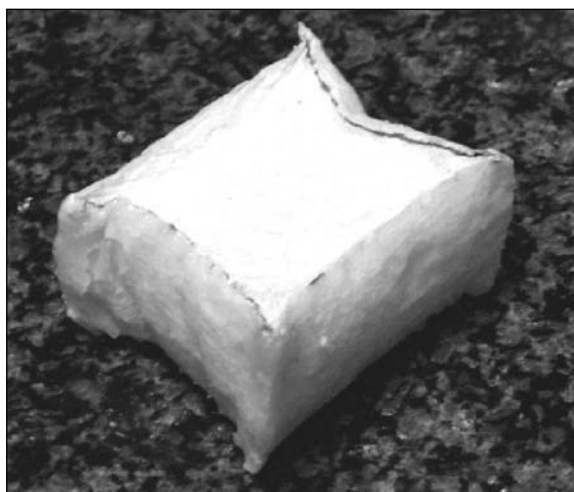
Při měření tepelných parametrů bylo možno postupovat jako při měření klasických pevných porézních stavebních materiálů. U materiálů na bázi hydrofilní minerální vlny bylo možno použít také jehlové sondy přístroje ISOMET. Ověřovací zkoušky ukázaly, že výsledky získané při aplikaci plošné i jehlové sondy jsou identické.

## Závěr

Získané výsledky prokázaly velmi dobré tepelně izolační vlastnosti všech materiálů. Nejlépe se jeví polystyren a materiály na bázi minerální vlny, zatímco materiál na bázi kalcium silikátu dosáhl hodnoty součinitele tepelné vodivosti podstatně vyšší. Syčení vodou pod tlakem pomohlo stanovit odolnost izolačních materiálů proti pronikání kapalné vlhkosti. Jako nejvíce odolný se ukázal pěnový polystyren. Proto by měl nalézt uplatnění zejména ve vnějších izolačních systémech vystavených působení nepříznivých klimatických podmínek, zatímco materiály na bázi hydrofilní minerální vlny a kalcium silikátu najdou uplatnění ve vnitřních kontaktních tepelně izolačních systémech z důvodu možnosti transportu vlhkosti jejich vnitřní strukturou, a to buď po vláknech s hydrofilními přísadami u minerálních vln, nebo přímo pórovou strukturou kalcium silikátu.



Obr. 7. Závislost součinitele tepelné vodivosti na objemové hmotnosti



Obr. 8. Deformovaný vzorek polystyrénu

Je nutné si uvědomit, že získané výsledky jsou pouze orientační a v příští práci je bude třeba doplnit o kompletní stanovení vlhkostních materiálových parametrů a zahrnout vliv teploty, vlhkosti a relativní vlhkosti materiálu. Teprve pomocí těchto charakteristik budeme schopni správně určit jejich tepelnou a vlhkostní funkci, např. počítačovou simulací s využitím programů řešících kombinovaný transport tepla a vlhkosti v porézních stavebních materiálech či v jejich vícevrstvých systémech.

Experimenty také poukázaly na nedostatečnou univerzálnost současných laboratorních metod, což je jistě dobrým podnětem pro jejich další rozvoj a vývoj.

Článek vznikl na základě podpory projektu č. 106/04/0138 GA ČR.

## Literatura

- [1] ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – část 2: Požadavky. ČSNi, 2002.
- [2] Jiříčková, M. – Černý, R.: Hygrothermal Properties of Various Types of Mineral Wool Based Thermal Insulation Materials. CTU Reports Vol. 5, No. 2–3, Contributions to Experimental Investigation of Engineering Materials and Structures, ČVUT Praha, 2001, pp. 1–11.
- [3] Pavlík, Z. – Pavlík, J. – Černý, R.: Experimental Analysis of an Interior Thermal Insulation System on the Mineral Wool Basis. 11. Bauklimatisches Symposium, Vol. 2, Dresden, 2002, pp. 634–642.

[4] Haupt, P. – Jurk, K. – Petzold H.: Inside Thermal Insulation for Historical Facades. [Proceedings], 2nd International Conference on Building Physics, Leuven, A. A. Balkema Publishers 2003, pp. 463–470.

[5] Jiříčková, M.: Application of TDR Microprobes, Minitemperature and Mini-hygrometry to the Determination of Moisture Transport and Moisture Storage Parameters of Building Materials. [Dizertace], ČVUT Praha, 2003.

**Gazdo, M. – Tesárek, P. – Pavlík, Z. – Černý, R.: Comparison of Basic Physical Properties and Thermal Properties of Different Types of Thermal Insulation Materials**

This work presents a comparison of basic thermal properties and physical parameters of thermal insulation materials on the basis of expanded polystyrene, calcium silicate and hydrophilic mineral wool. For the tested materials, the measurements of bulk density, matrix density, vacuum saturation moisture content, total open porosity, thermal conductivity, thermal diffusivity and specific heat capacity are carried out. The knowledge of these material parameters is necessary for the assessment of their thermal function.

**Gazdo, M. – Tesárek, P. – Pavlík, Z. – Černý, R.: Vergleich der grundlegenden Eigenschaften verschiedener Typen von Wärmedämmmaterialien**

Im Artikel wird ein Vergleich der grundlegenden Eigenschaften und physikalischen Materialkennwerte von Wärmedämmmaterialien auf der Basis von Schaumpolystyrol, Kalziumsilikat und hydrophiler Mineralwolle vorgestellt. Es sind Messungen des Raumgewichts, der Matritzendichte, der maximalen Wasseraufnahme, der Porosität, der Wärmeleitfähigkeit und der spezifischen Wärmekapazität durchgeführt worden. Die Kenntnis dieser Materialparameter ist für die Beurteilung ihrer wärmetechnischen Funktion unverzichtbar.

## • ČVUT



### **Sportovní centrum Juliska**

V polovině letošního dubna bylo v blízkosti bývalého hotelu Internacionál, nyní Crowne Plaza, otevřeno Sportovní centrum ČVUT Juliska. Poskytuje možnosti všestranného sportovního využití jak studentům všech fakult ČVUT,



tak i zaměstnancům školy a široké veřejnosti. V objektu se nacházejí dvě tělocvičny s povrchem Mondo, určené převážně pro tenis, volejbal, basketbal, malou kopanou, a velká hala pro volejbal, basketbal, florbal a házenou.

Fitcentrum je vybaveno množstvím nejrůznějších posilovacích strojů a činek. Před otevřením je regenerační a relaxační centrum se saunou, vířivými masážními vanami a masáží. Zázemí tvoří dostatečný počet moderních šaten a



hygienická zařízení na vysoké úrovni. Horolezecká stěna je svými parametry a výškou jednou z nejlepších v Praze.

*Tisková informace*

# Ohrožení železničních staveb povodňovými průtoky

Ing. František KUDA, CSc.  
Ing. Marek MIHOLA  
Fakulta stavební  
VŠB TU–Ostrava

**Príspevek se zabývá problematikou členění a analýzy poruch železničních staveb poškozených povodňovými průtoky a analýzou oblastí, v nichž k poruchám došlo. Jako zájmová oblast byl zvolen Jihočeský kraj. Pojednává i o možnostech prevence z hlediska územního plánování a dalšího využití souborů dat pro pravděpodobnostní, statistické a ekonomické analýzy.**

## Úvod

Jihočeský kraj představuje geograficky relativně uzavřený celek, jehož jádro tvoří jihočeská kotlina. Rozloha kraje činí 10 056 km<sup>2</sup>, což je 12,8 % rozlohy České republiky. Z tohoto území zaujímají třetinu lesy, 4 % pokrývají vodní plochy. Převážná část území leží v nadmořské výšce 400 až 600 m. Kraj patří do povodí horní a střední Vltavy s přítoky Otavou, Lužnicí, Malší, Blanici a mnoha dalšími. V minulosti zde bylo vybudováno více než sedm tisíc rybníků. Největší z nich jsou Rožmberk (490 ha), Bezdrev (450 ha) a Horusický rybník (415 ha). Kromě toho byla na území vybudována velká vodní díla Lipno (4 870 ha), Orlík s rozsáhlými rekreačními oblastmi, Římov, který je zásobárnou pitné vody pro značnou část kraje, a v souvislosti s výstavbou jaderné elektrárny Temelín také vodní nádrž Hněvkovice.

Z hlediska dopravy zaujímá Jihočeský kraj strategickou polohu na ose sever–jih. Prochází jím důležité mezinárodní silnice, severojižní železniční koridor, evropská cyklistická a turistická stezka. Kraj leží v blízkosti dunajského koridoru. Nachází se zde civilní letiště s mezinárodním statutem. Problémem je napojení kraje na evropskou síť.

## Železniční infrastruktura a doprava

Železniční síť vykazuje relativně vysokou hustotu, nesplňuje však parametry pro mezinárodní provoz. Na některých tratích musel být provoz pro technickou nezpůsobilost zastaven, regionální železniční trať navíc ztrácí na hospodářském významu. V současnosti se uvažuje o vytvoření železničního koridoru, který by kraj spojil s Prahou i Rakouskem, a navázal tak na evropskou síť.

Celková délka železničních tratí v Jihočeském kraji činí 862 km, z čehož je 320 km elektrifikováno. Jako celostátních je klasifikováno 495 km tratí. Nejvýznamnější železniční trasou ve směru sever–jih je IV. železniční koridor, resp. trať 220 a 196 (Praha, Č. Budějovice, H. Dvořiště), kterou doplňuje trať 226 (Veselí n. L., Č. Velenice) a 199 (Č. Budějovice, Č. Velenice). Ve směru západ–východ pak dálkový tah, resp. tratě 190 a 225 (Plzeň, Č. Budějovice, Č. Velenice, Jihlava).

Vzhledem ke kvalitě, termínům a dostupnosti automobilové dopravy stále klesá podíl železniční dopravy. Využívání osobní železniční dopravy je stabilní především v mezikrajové, dálkové a mezinárodní dopravě. Na jih Čech

zatím nebyly zavedeny vlaky třídy Intercity a Eurocity. Stav železniční sítě i obslužnost úzce souvisí s transformací Českých drah. Dopravní obslužnost v turisticky atraktivních územích není dostatečně zajištěna. Železniční doprava však zůstává i přes rozvoj automobilismu důležitým odvětvím s vysokými přepravními výkony a stálým růstem přepravy.

## Povodeň na železnici

Území Jihočeského kraje bylo postiženo katastrofálními povodněmi roku 2002 ve třech vlnách, které následovaly po sobě ve dnech 7.8., 12.8. a 1.9. První z nich projevila svou ničivou sílu zejména na řekách Malší a Blanici a na některých menších tocích. Následovala nejsilnější vlna, způsobená silnými dešti po celém území kraje (celé ČR), s největší intenzitou ve vyšších nadmořských výškách. Ta způsobila vzednutí hladin všech řek, zejména těch největších – Vltavy, Otavy a dalších, a zároveň také enormní zatížení rybníčních soustav, především na Blatensku v okrese Strakonice a na Třeboňsku v okrese Jindřichův Hradec. Povodňová vlna dosahující úrovně více než stoleté vody postupovala do níže položených částí Jihočeského kraje s rostoucí intenzitou a ničivou silou tak, že v některých územích dosáhla až úrovně vody tisícileté (Písek a další). Přírodní katastrofa zasáhla všech sedm okresů kraje rozdílnou měrou a také s rozdílnými následky, přičemž na daném území bylo postiženo 333 obcí.

## Poškození železničních tratí

Povodní bylo v Jihočeském kraji způsobeno na 16 tratích celkem 292 poruch, v cca 200 lokalitách. Předpokládané náklady na obnovu železničních mostů a drah byly vyčísleny na 627 mil. Kč [4]. Poruchy se dají rozdělit do několika

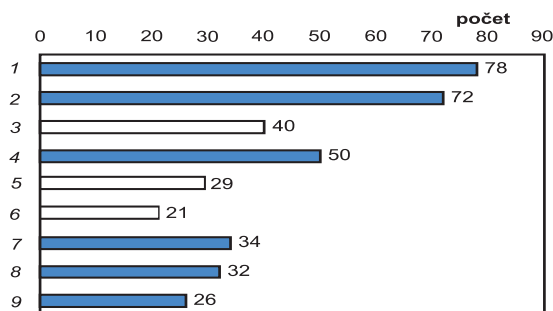
Evidenční list poškození žel. spodku a svršku číslo 6	
SDC	Č. Budějovice
TÚ	199
	Č. Velenice – Č. Budějovice
DÚ	08
	Jihovice-Borovany
Kolej č.	1
délka úseku	..... m
kolej vyloučena	od ..... do ..... bez vlivu na dopravu
Výhybky č.	.....
vyloučeny	od ..... do .....
Popis poškození žel. svršku:	
.....	
Popis poškození žel. spodku:	
km 200,500 až 201,050 sestav svahu zářezu, nefunkční odvodnění	
Rozsah prací nutných pro uvedení do provozu:	
popis a rozsah prací:	.....
finanční náklady:	..... Kč
Rozsah prací nutných pro definitivní odstranění škody:	
popis prací:	čistění šetrkového lože, úprava odvodnění + úprava svahů
finanční náklady:	opravné práce ..... Kč
	investice ..... Kč
Vypracoval:	.....
	Podpis: .....
Dne:	.....

Obr. 1. Evidenční list Českých drah

skupin (obr. 2):

- železničního svršku a spodku,
- mostů,
- propustků,
- zabezpečovacích zařízení,
- elektrických zařízení a objektů.

Nejvíce poškození bylo zaznamenáno u železničního svršku a spodku, kde téměř v polovině případů se oba jevy vyskytovaly současně. Významnou skupinu tvoří i poškození mostů a propustků. Poměrně stejným dílem jsou zastoupeny poruchy zabezpečovacích zařízení, objektů a elektrických zařízení (tab. 1). Poruchy, jež tvoří méně než 5 % z počtu ve své skupině, jsou zahrnuty do položky „jiné...“, vyjma poruch svršku a spodku. Taktéž je tomu u poruch zabezpečovacích zařízení, které nebyly blíže specifikovány.



Obr. 2. Poruchy na všech traťových úsecích v Jihočeském kraji  
1 – spodek, 2 – svršek, 3 – svršek i spodek, 4 – mosty a propustky, 5 – mosty, 6 – propustky, 7 – zabezpečovací zařízení, 8 – objekty, 9 – elektrická zařízení

Mosty a propustky se dají zařadit do jedné skupiny, jelikož jejich poškození má řadu společných znaků. Získané dělení je výsledkem analýzy evidenčních listů poškození tratí ČD v Jihočeském kraji (obr. 1), jež bylo nutno zpracovat do přehledné databáze.

Obdobně lze analyzovat i práce nutné k uvedení železničních tratí zpět do provozu nebo do původního stavu. Analýza v prostředí databáze nebo tabulkového kalkulátoru je vhodná jak pro jednotlivé traťové úseky, tak pro jakoukoli vytyčenou oblast.

#### Poškození podle úseků

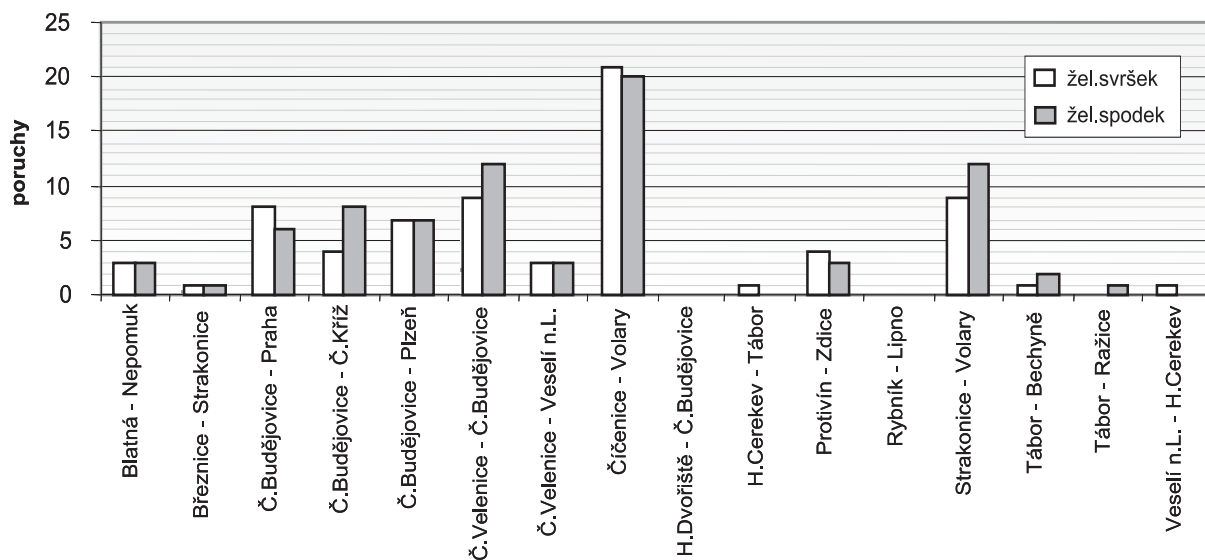
Poruchy lze statisticky dělit podle jejich příslušnosti k traťovým úsekům. Z grafů na obr. 3 až obr. 5, rozdělených do sedmi kategorií, pak vyplývá, že nejvíce postiženy byly úseky Čičenice – Volary, Č. Budějovice – Plzeň a Č. Velenice – Č. Budějovice. Z hlediska traťových úseků byla po povodni roku 2002 nejhorší situace na trati Čičenice – Volary – Nové Údolí, kde bylo zaznamenáno celkem 57 poruch, z čehož bylo 41 poruch železničního svršku nebo spodku. Další poškozenou byla trať Č. Budějovice – Plzeň s 50 poruchami, z nichž 19 byly poruchy elektrických zařízení, a trať Strakonice – Volary s 31 poruchami. Následovaly úseky Č. Budějovice – Praha a Č. Velenice – Č. Budějovice, oba úseky s 27 poruchami.

Nejvíce byl poničen svršek a spodek na tratích Čičenice – Volary, Strakonice – Volary a Č. Velenice – Č. Budějovice. V úseku Čičenice – Volary byly rovněž poškozeny konstrukce mostů a propustků. Poruchy zabezpečovacích a elektrických zařízení a poškození objektů byla nejhorší v úseku Č. Budějovice – Plzeň a v samotných Č. Budějovicích.

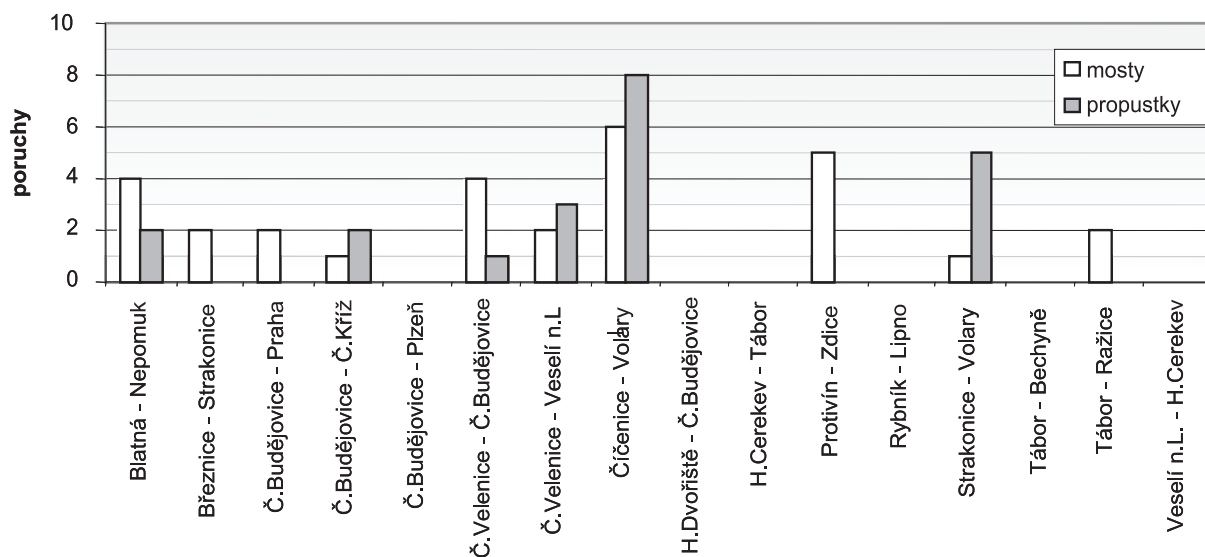
Jako další hledisko poškození tratí lze použít počet poruch trati na 1 km její délky (obr. 6). Zde dosáhly nejvyšších hodnot tratě Blatná – Nepomuk, Čičenice –

Tab. 1. Poškození železničních tratí

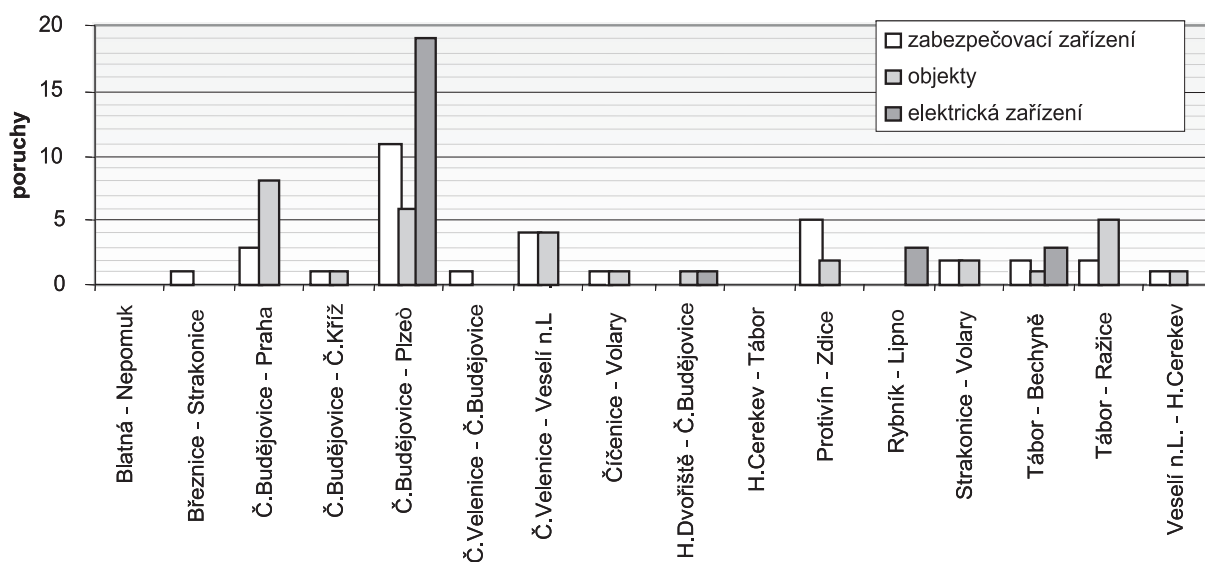
Železniční svršek a spodek		Počet případů
poškozen	svršek	72
	spodek	78
	svršek i spodek	40
u svršku	odplavené, sesuté šterkové lože	26
	znečištěné šterkové lože	24
	konstrukce přejezdu	14
	poškození koleje	10
	podemleté šterkové lože	7
	špatná geometrie koleje	3
	poškození peronu	1
u spodku	poškození odvodnění	26
	sesuv svahu (zářezu)	24
	sesuv náspu	13
	odplavený násep nebo podloží	10
	znečištěné šterkové lože	5
	podemletý svah	4
	podemletý násep	3
nestabilní spodek	2	
Elektrická zařízení		
druh zařízení	trakční vedení	6
	trakční měnična	5
	náhradní zdroj	3
	dálková řídicí technika, DOÚO	3
	rozvod silnoprůdého zařízení	2
	rozvodny 22/0,4 kV	2
	jiné ...	5
poškození	zatopení	9
	zkrat	5
	pád stromu na trakční vedení	4
	navlhnutí či promočení přístrojů	3
	poškození základu trakčního vedení	2
	jiné ...	5
Mosty a propustky		
konstrukce	mosty	29
	propustky	21
materiál	kámen	21
	ocel	15
	cihly	4
	beton	7
poškození	podemletí opěry	28
	dno nebo koryto	15
	opěry	13
	zborcení	12
	zdiva	7
	kuželů opěr	5
jiné ...	11	
Zabezpečovací zařízení		
zařízení	staniční	18
	přejezdové světelné	11
	jiné ...	6
poškození	nízké izolační stavy	15
	přestavníky	15
	kabely	15
	kolejové obvody	10
	reléový domek	9
	návěstidla	7
	jiné ...	17
Poškození objektů celkem		
druh	zaplavení a vytopení	19
	poškození izolace	11
	promočení místností	8
	nefunkčnost kanalizace	6
	poškození peronu	3
	jiné ...	1



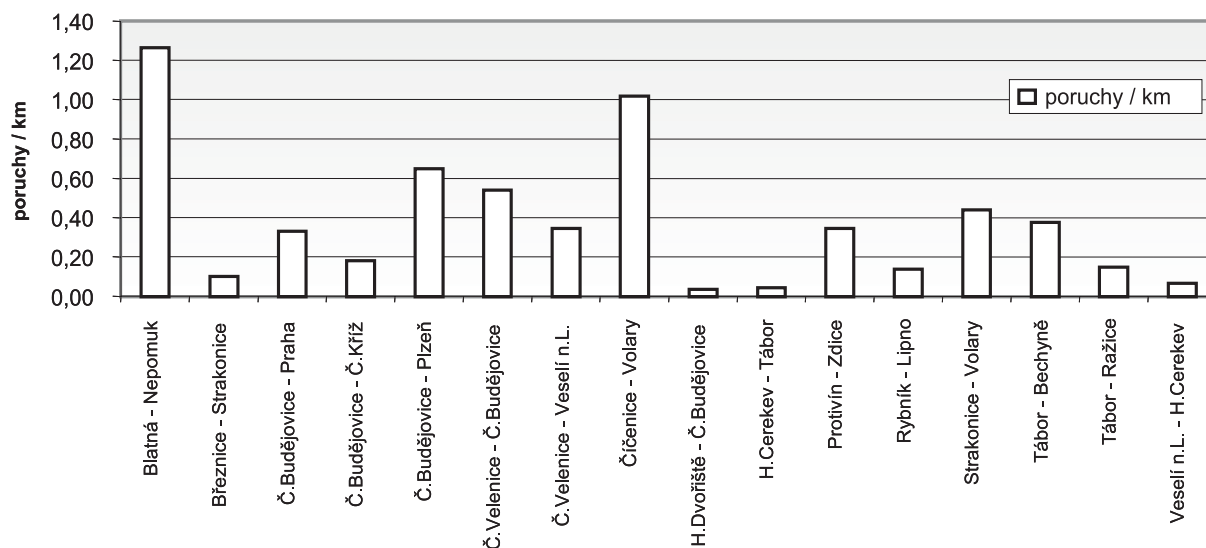
Obr. 3. Poškození železničního svršku a spodku na traťových úsecích



Obr. 4. Poškození mostů a propustků na traťových úsecích



Obr. 5. Poškození zabezpečovacích a elektrických zařízení a objektů na traťových úsecích



Obr. 6. Počet všech poruch na 1 km délky tratě

Volary, Č. Budějovice – Plzeň, Č. Velenice – Č. Budějovice. V případě trati Blatná – Nepomuk však neznáme poškození trati v Plzeňském kraji, proto nejvyšší hodnota neplatí pro celou délku, ale jen pro úsek v Jihočeském kraji (cca 10 km).

#### Datový model

Geografická data jsou zpracována na platformě ESRI v datových formátech shapefile. Jako referenční mapový podklad je použit ArcČR500 (měřítko 1 : 500 000) v souřadném systému S-JTSK. Do geodatabáze ArcČR pak byly začleněny poruchy podle skupin z vytvořené databáze. Byly umístěny podle staničení na příslušné traťové úseky se základními údaji, tj. délkou poškozeného úseku, detaily poškození a práce na jejich odstranění. Tato struktura umožňuje analýzu v prostředí geografických informačních systémů (GIS), např. prostorovou, týkající se zjištění vzdáleností poruch od vodních toků, hustoty poruch a mnoho dalších.

Výsledky prostorových operací mají jasnou vypovídací hodnotu pouze v mapě přiměřeného měřítka. Vzhledem k měřítku referenčního mapového podkladu 1 : 500 000 je výsledná mapa s měřítkem větším než 1 : 200 000 málo podrobná a bylo by vhodnější použít mapový podklad ve stejném měřítku, v jakém je zamýšleno výsledné mapové dílo. V měřítku 1 : 250 000 a menších jsou detaily místa poškození špatně čitelné, jelikož se nakupí do nepřehledných shluků. Proto bylo pro mapy poruch železničních staveb stanoveno právě měřítko 1 : 200 000 (obr. 7).

#### Rizikové oblasti

Z vytvořené mapy můžeme například vyčíst, že největší koncentrace poškození na tratích byla zaznamenána v západní části Jihočeského kraje, konkrétně mezi Prachaticemi a Čičenicemi, a dále mezi Čičenicemi, Protivínem a Ražicemi.

Analýza dat umožní zjistit hustotu poruch na traťových úsecích. Vysoká hustota poruch byla zjištěna mezi Vimperkem a Volyní, Blatnou a Nepomukem a v okolí Č. Budějovic, Veselí nad Lužnicí, Tábora a Chlumu u Třeboně. V těchto lokalitách byly zjištěny i více než dvě poruchy na 1 km tratě (obr. 8).

Průměrná vzdálenost poruch od vodních toků zachyce-

ných v mapě ArcČR500 činí cca 500 m. Celých 40 % poruch se vyskytuje ve vzdálenosti do 250 m a dalších přibližně 30 % je ve vzdálenosti mezi 250 a 500 m (tab. 2). Největší poškození byla zaznamenána podél Blanice (24 % všech poruch), Lužnice (11 %), Volyňky (10 %), Vltavy (9 %) a Otavy (7 %). Celkem jsou u těchto toků kumulovány dvě třetiny poruch.

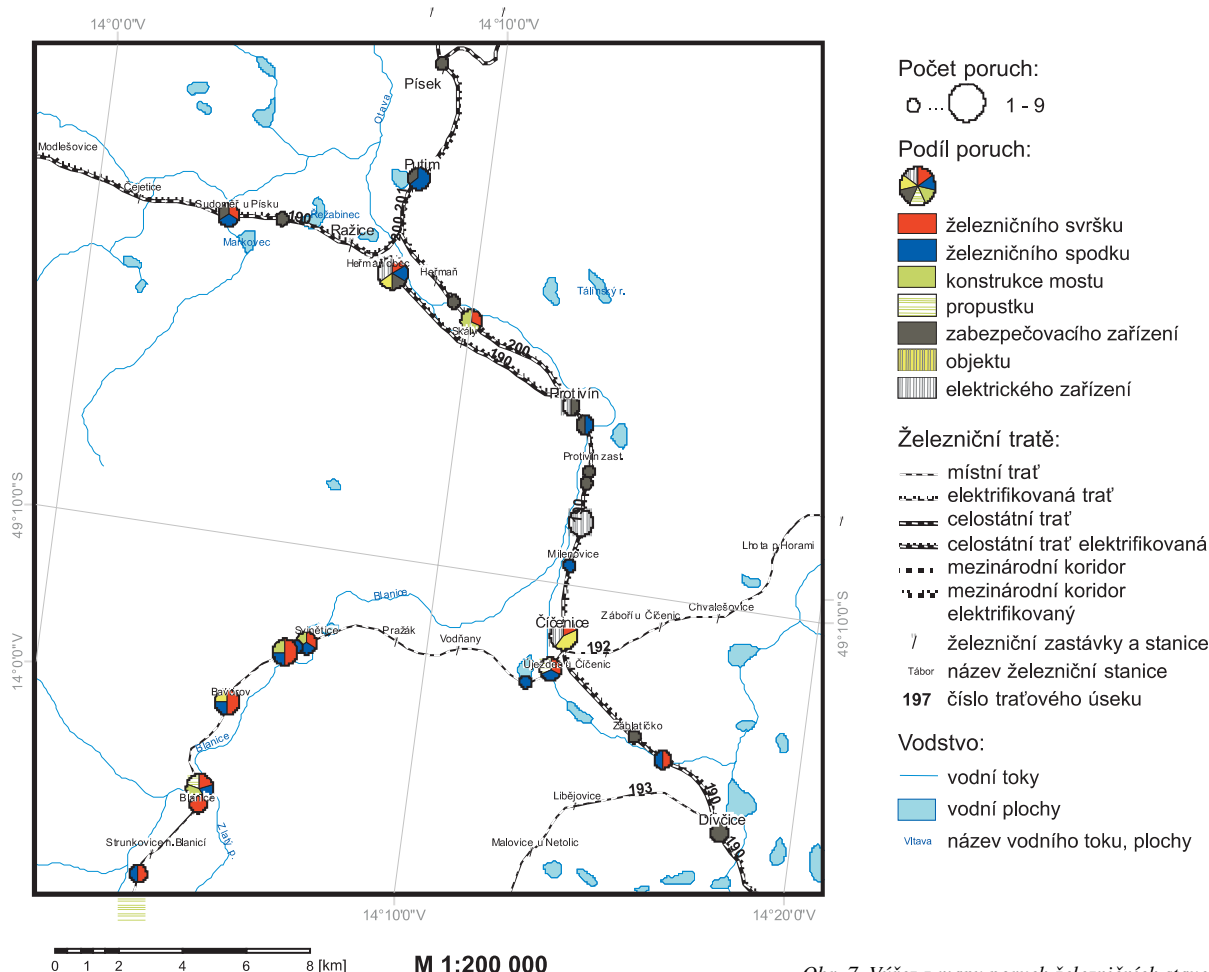
Tab. 2. Vzdálenost od vodních toků

Vzdálenost [m]	Počet	[%]
> 100	73	25
100–250	44	15
250–500	83	29
500–1 000	46	16
< 1 000	42	15

Během povodně došlo na těchto tocích k extrémním průtokům. Pro porovnání – kulminační průtok byl proti průměrnému průtoku na řece Blanici 100x (Heřman) až 212x větší (Blanický Mlýn), na Lužnici 32x (Klenovice), na Volyňce 68x (Neměřice), v Č. Budějovicích na Vltavě 48x a na Otavě 33x (Sušice). Průtoky během povodně [3] byly naměřeny 12.–16. srpna, tj. během druhé vlny, při níž vznikla i většina škod na železnici. S počtem poruch v okolí vodního toku je úzce spojen průtok během povodně. Výjimkou v tomto případě tvoří Lužnice, jež je s počtem poruch na druhém místě, ale pokud ji hodnotíme z hlediska kulminačních a povodňových průtoků, patří až na místo páté. Je to způsobeno specifickými podmínkami a velmi mírným sklonem terénu v okolí řeky. Většina poruch zde vznikla v místech křížení železnice a vodního toku.

#### Spolehlivost liniových staveb

Spolehlivost liniových staveb v inundačních územích v souvislosti s možností využití obecného modelu pro její určování [2] byla řešena na Katedře dopravního stavitelství Fakulty stavební VŠB TU–Ostrava jako interní grant v roce 2002 pro inundační oblasti povodí Moravy a Odry. Tímto modelem lze optimalizovat náklady na výstavbu a rekonstrukci dopravních liniových staveb v územích ohrožených povodněmi a aplikovat ho i v jiných povodích.



Obr. 7. Výřez z mapy poruch železničních staveb

## Závěr

Zřejmě si nikdo nepřeje, aby se podobné situace, jaké vznikaly při povodních v letech 1997 a 2002, opakovaly. Člověk však přírodě neporučí. Jednou z věcí, kterou udělat může, je co nejšetnější zásah do krajiny a vytváření protipovodňové ochrany.

V roce 2002 došlo k povodňovým událostem s katastrofickými důsledky. Vzhledem ke globálním klimatickým změnám, pokračujícím antropogenním vlivům na prostředí a stavební činnosti v nevhodných místech lze opakování povodní očekávat s velkou pravděpodobností. Záleží proto tím více na stavební legislativě, zejména formulacích nového stavebního zákona a příslušných prováděcích vyhlášek.

Při zajišťování protipovodňové ochrany pak musíme využívat ustanovení stavebního a vodního zákona a příslušné prováděcí vyhlášky. Pro omezení negativních dopadů povodní je nutno kvalitně regulovat funkční využití území podél vodních toků, zejména v extrémně ohrožených oblastech. Ohrožení staveb povodňovými průtoky je nutno posuzovat v širším kontextu jako interaktivní dynamické propojení procesů vodohospodářského plánování, hodnocení vlivu na životní prostředí a vztahu k územnímu plánování. Prevence v jednotlivých oblastech je charakterizována:

- **plánování v oblasti vod** (vodohospodářské plánování)
  - nový systém plánování v oblasti vod zřízený zákonem č. 254/2001 Sb., o vodách (vodní zákon) ve znění pozdějších předpisů;

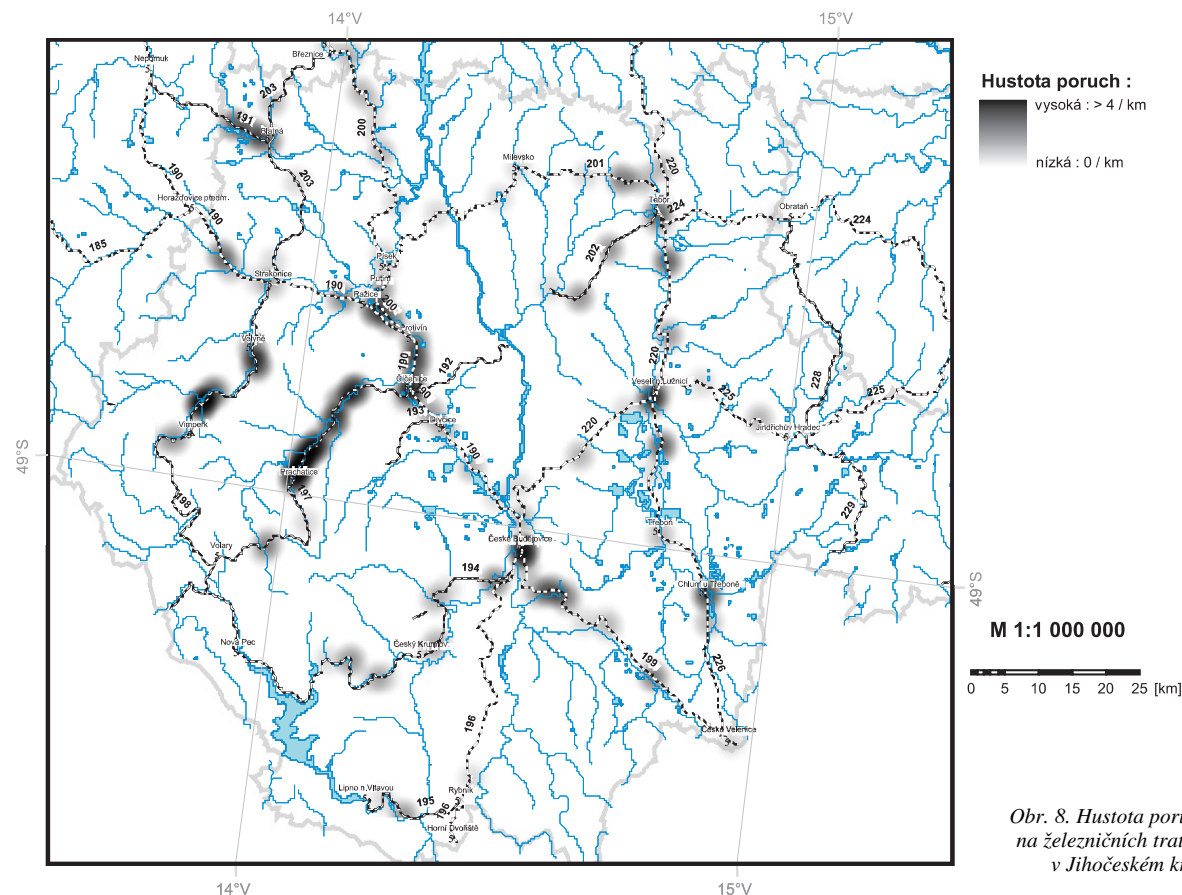
- vyhláška č. 140/2003 Sb., o plánování v oblasti vod s účinností od 1.7.2003, stanovující obsah, postup zpracování a projednání plánů oblastí povodí,
- rámcové směrnice vodní politiky EU;

### ● územním plánováním

- územní plány jsou důležitým podkladem pro analýzu charakteristik povodí,
- výsledky plánů povodí (návrhy opatření) je nutné začlenit do územních plánů,
- omezení vyplývající z přírodních podmínek je účelné akceptovat přednostně,
- opatření navržená plánem povodí musí projít porovnáním s dalšími veřejnými zájmy.

Projektant musí do územního plánu obce nebo regulačního plánu zahrnout protipovodňová opatření navržená v oborových dokumentech a jiných podkladech poskytnutých orgány státní správy a promítnout je do regulativů protipovodňových opatření v rozsahu, který odpovídá obsahu územního plánu obce a regulačního plánu podle stavebního zákona a prováděcí vyhlášky.

Parametry stanovené v regulativech liniových staveb musí zaručit převedení povodňových průtoků tak, aby se předešlo akumulaci v zaplavovaných územích, zvýšení hladiny vody a zajištění odtokových poměrů, které by neměly ohrozit zejména níže ležící povodí. Umístění liniových staveb do inundačních prostorů je třeba navrhovat tak, aby stavebně technické uspořádání umožňovalo vytvořit současně ochranný prvek proti dalším rozlívům nebo co nejvolnější pohyb vody v zaplavovaném prostoru, zejména pak



Obr. 8. Hustota poruch na železničních tratích v Jihočeském kraji

podélné proudění v souběhu s vodním tokem, aniž by byla narušena jejich funkce. Situační a výškové uspořádání musí rovněž zajistit i následné vyprázdnění inundace. Těleso komunikace lze v některých případech navrhnout jako hráz suchého poldru.

V regulativních navrhovaných mostních staveb je nutno dodržet podmínku zachování volné výšky v mostním otvoru nejméně 0,5 m na hladinou průtoku Q100 (způsobuje-li most vzduť, pak nad vzduťou hladinou), měřeno od nejnižšího místa nosné mostní konstrukce [5].

Ochranu liniových staveb proti povodním lze zajistit kromě uvedených doporučení dodržáním těchto opatření:

- zdržovat vodní srážky na co nejrozsáhlejší území;
- zachovat dosud existující inundační území na Vltavě a na jejích přítocích a právně je zakotvit;
- značně posilovat uvědomění obcí a veřejnosti o tom, že existuje nebezpečí povodní;
- prodloužit období předpovědi povodně z dosavadních 24 na 48 hodin.

Je třeba si trvale uvědomovat, že územní rozvoj a tvorba územních plánů zahrnující i technickou infrastrukturu musí být ovlivňována nejen četnými antropogenními faktory a společenskými vztahy, ale i přírodními faktory, které mají stále prvořadou roli;

#### ● rozvojovou koncepcí krajů

- jako informací pro analýzu vlivů a dopadů;
- výstupy z plánů oblastí povodí a územních plánů mohou rozvojové koncepce zpětně ovlivnit (zákon o podpoře regionálního rozvoje č. 248/2000 Sb.);

- omezení vyplývající z přírodních podmínek se vyplatí respektovat v každé rozvojové koncepci kraje.

#### Výsledky analýzy a posouzení

Získané soubory dat lze dále využít pro pravděpodobnostní analýzu spolehlivosti liniových staveb zátopových území toků ve správě Povodí Vltavy, s. p. Statisticky podchycené poruchy železničních tratí lze dále sledovat v souvislosti s rizikovými inundačními oblastmi. Je možné posoudit ekonomické náklady a dobrovolná a nedobrovolná rizika s možností periodicity 30 až 50 let (obnova × provizorium). Rizikovými místy jsou železniční tratě v blízkosti menších vodních toků. V blízkosti významných vodních toků jsou kumulovány dvě třetiny poruch železničních tratí.

Jako podklady ke zpracování databáze poruch na železničních tratích vzniklých po povodních v Jihočeském kraji v roce 2002 byly použity evidenční listy vypracované Českými drahami v srpnu 2002. Databáze byla upravena v rámci eliminace drobných nedostatků a nepřesností v evidenčních listech.

Článek vznikl při řešení projektu č. 103/03/Z010 GA ČR „Stavby ohrožené povodňovými průtoky“.

#### Literatura

- [1] Kolektiv: Protipovodňová ochrana v územních plánech obcí. Brno, Grafex 2003.
- [2] Hudeček, L. – Řezáč, M.: Spolehlivost liniových staveb v inundačních územích – využití obecného modelu pro její určování. [Zpráva], IG FAST VŠB TU–Ostrava, 2002.



[3] Kolektiv: Sborník příspěvků z konference „Stavby a jejich odolnost proti povodním“. Praha, Sekuron 2003.

[4] Kolektiv: Akční plán obnovy a rozvoje Jihočeského kraje pro rok 2003. KÚ Jihočeského kraje, 2003.

[5] ČSN 73 6201 Projektování mostních objektů. ČSNl, 1995.

#### Kuda, F. – Mihola, M.: Railway Structures Put at Risk by Flood Discharges

This contribution presents classification and analysis of defects of railway constructions caused by floods and the analysis of areas where such defects have occurred. The region of South Bohemia has been chosen as the area of concern. The possibilities of prevention with a view to site planning, as well as further utilization of data files for probability, statistical and economic analyses are discussed.

#### Kuda, F. – Mihola, M.: Gefährdung von baulichen Anlagen der Eisenbahn durch Hochwasserdurchflüsse

Der Beitrag beschäftigt sich mit der Problematik der Gliederung und Analyse der Störungen von Eisenbahnbauwerken, die durch Hochwasserdurchflüsse beschädigt wurden, sowie mit der Analyse der Gebiete, in denen es zu den die Störungen gekommen ist. Als Interessengebiet wurde die Region von Südböhmen gewählt. Der Beitrag behandelt auch die Möglichkeiten der Vorbeugung aus der Sicht der Raumplanung und der weiteren Nutzung von Datenkomplexen für Wahrscheinlichkeits-, Statistik- und Wirtschaftsanalysen.

# • ČVUT



## Odhalení památníku R. Thákura



Památník bengálského básníka, dramatika, esejisty, hudebního skladatele, malíře, reformátora a filozofa, autora publicistických a teoretických prací slavnostně odhalila v areálu ČVUT v dubnu Městská část Prahy 6 a Sdružení přátel Indie. Tento významný představitel indického kulturního dědictví, vydávání jehož děl má v českém jazyce dlouhou tradici, získal za nábožensko-filozofickou reflexivní poezii v roce 1913 Nobelovu cenu. Kromě ulice s jeho jménem, na níž sídlí i Fakulta stavební, nyní i památník vzdává hold této významné osobnosti a hlasateli sblížení Východu a Západu.

*Tisková informace*



Fakulta stavební VUT v Brně  
Ústav kovových a dřevěných konstrukcí  
pořádá  
česko – slovenskou konferenci

## **Experiment – významný zdroj poznání a verifikace metod navrhování nosných stavebních konstrukcí**

**14. – 15. října 2004, Brno**

Nosné stavební konstrukce jsou všeobecně poměrně komplikovaným systémem ovlivňovaným řadou různorodých parametrů a faktorů závislejších na konkrétním řešení konstrukčních detailů i uspořádání konstrukce, jež nejsou dostatečně analyzovány a popsány tak, aby mohly být jednoznačně zavedeny do teoretického řešení idealizovaného modelu. V této souvislosti lze zdůraznit zásadní význam experimentálního výzkumu jako důležitého objektivního přístupu umožňujícího poznání skutečného působení reálné nosné konstrukce a dále též verifikaci teoretických výpočtových modelů i metod navrhování nosných prvků, dílců a konstrukčních systémů.

Konference je zaměřena na široké materiálové spektrum nosných stavebních konstrukcí, např. konstrukce z materiálů na bázi betonu, oceli, zdiva, dřeva, konstrukčního skla, vyztužených kompozitů a kombinovaných systémů využívajících definované materiálové báze. Cílem je přispět k prezentaci poznatků a výměně zkušeností v oblasti experimentálního výzkumu nosných stavebních konstrukcí občanských, průmyslových a dopravních staveb a technologických konstrukcí.

Vymezené téma konference navazuje na problematiku řešenou na Fakultě stavební VUT v Brně v rámci úloh výzkumného záměru MŠMT reg. č. MSM 261100007 s názvem „Teorie, spolehlivost a mechanismus porušování staticky a dynamicky namáhaných stavebních konstrukcí“. V rámci celoživotního vzdělávání ČKAIT je účast na akci hodnocena 2 body.

[www.fce.vutbr.cz/kdk/experiment04/](http://www.fce.vutbr.cz/kdk/experiment04/)

## Mechanické, tepelné a vlhkostní vlastnosti nemoifikované energosádry – 2. část

Ing. Pavel TESÁREK  
prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.  
ČVUT – Fakulta stavební, Praha

doc. RNDr. Pavla ROVNANÍKOVÁ, CSc.  
VUT – Fakulta stavební, Brno

Ing. Jiří KOLÍSKO, PhD.  
ČVUT – Kloknerův ústav, Praha

V článku je prezentována klasifikace energosádry podle ČSN 72 2301. Nejprve jsou uvedeny základy metod pro určení jemnosti mletí, počátku a doby tuhnutí a pevnosti v tlaku, poté výsledky vlastních měření pro energosádry z elektrárny Počerady a její klasifikace. Na závěr jsou uvedeny náměty pro zdokonalení normových metod.

- omítkové práce, spárování a speciální účely (G-2 až G-25), normálně a pomalu tuhnoucí, středně a jemně mleté;
- výroba forem a modelů v porcelánovém/fajánsovém průmyslu a v jiných oblastech průmyslu, rovněž v lékařství (G-5 až G-25), jemně mleté, normálně tuhnoucí;
- pro lékařské účely (G-2 až G-7), rychle tuhnoucí i normálně tuhnoucí, středně a jemně mleté.

### Úvod

Sádra jako stavební materiál se používá především při omítkových pracích, spárování, výrobě příčkových a dekorativních prvků. V posledních letech se rozšířilo využívání sádrokartonových desek. Uplatňuje se rovněž v keramickém a strojírenském průmyslu, v neposlední řadě i v lékařství. Vzhledem k tomu, že všechny výrobky a materiály dodávané na trh musí být v souladu s platnými normami, snažili jsme se nalézt veškeré požadavky na sádro a našli jsme ČSN 72 2301 Sádrová Pojiva, Klasifikace, Všeobecné technické požadavky, Zkušební metody z roku 1979 [1]. Tato norma, vydaná před čtvrt stoletím, nebyla dosud novelizována a je stále platná.

### Klasifikace a oblasti použití

Sádra je podle uvedené normy klasifikována a tříděna do několika skupin. Základní třídění je podle pevnosti v tlaku [MPa] po dvou hodinách (do skupin G-2 až G-25). Nejmenší hodnota musí odpovídat požadavkům pro jednotlivé třídy, tedy minimální pevnosti. Dalším kritériem je doba tuhnutí. Rozlišují se druhy pojiva rychle, normálně a pomalu tuhnoucí (značení A až C), přičemž rozhodující je počátek a doba tuhnutí v minutách. Podle posledního kritéria se pojivo dělí na hrubě, středně a jemně mleté (značení I až III). Posuzuje se zbytek na síť s otvory  $\varnothing$  0,2 mm. Toto dělení by mělo poskytnout ucelenou informaci o sádrovém pojivu.

Norma povoluje přidávat k sádře pouze přísady regulující tuhnutí, a to nejvýše 1 % její hmotnosti. Podle [1] se rozlišuje pět „možných oblastí použití“, s doporučením třídy a druhu sádrového pojiva:

- výroba sádrových stavebních výrobků všech druhů (G-2 až G-7), všechny doby tuhnutí a jemnosti mletí;
- výroba tenkostěnných stavebních výrobků a dekorativních prvků (G-2 až G-7), jemně a středně mleté, rychle a normálně tuhnoucí;

### Metody měření parametrů

#### ■ Jemnost mletí

Jde v podstatě o síťový rozbor – zkouška spočívá ve stanovení hmotnosti sádrového pojiva, které zůstane na normovém síti s otvory  $\varnothing$  0,2 mm. Ze vzorku hmotnosti 150 g, který byl umístěn v sušárně při teplotě 50 °C po dobu 1 hodiny, se odeberou dva vzorky o hmotnosti 50 g a nasypou se na síť. Prosévání se ukončí, jestliže oky po dobu 1 minuty neprojde více než 0,05 g sádry.

Jemnost mletí  $j$  se stanoví jako poměr zbytku vzorku na síti a jeho původní hmotnosti podle vzorce

$$j = \frac{m_{0,2}}{m_c}, \quad (1)$$

kde  $m_c$  je hmotnost celého vzorku,  $m_{0,2}$  hmotnost zbytku na síti 0,2 mm.

#### ■ Počátek a doba tuhnutí sádrové kaše

##### Určení normální konzistence

Množství vody ve směsi [%] neboli vodní součinitel, tj. poměr hmotnosti vody a sádry [ $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ], je základním kritériem pro stanovení vlastností pojiva. Norma předepisuje použít sádrovou kaši normální konzistence, která je charakterizována průměrem rozlití sádrové kaše po zvednutí válce z nerezavějícího kovu. Válec s hladkým vnitřním povrchem má vnitřní průměr 50 mm, jeho výška je 100 mm.

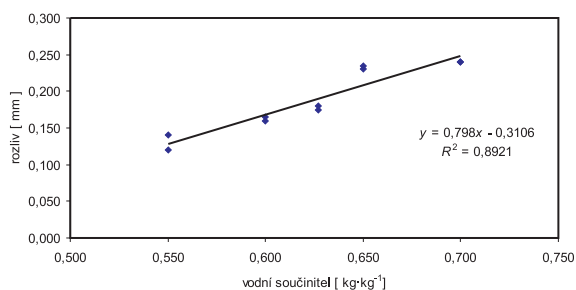
Do plastové misky s vodou (v množství závislejícím na vodním součiniteli) se během 5 s vsype 300 až 350 g sádrového pojiva. Hmotnost se po dobu 30 s zpracovává ručním míchadlem se čtyřmi smyčkami (v našem případě byla použita metla na šlehání s pěti smyčkami) a po skončení se nalije do kovového válce, umístěného uprostřed skla  $\varnothing$  240 mm. Přebytek se seřízne. Po uplynutí 45 s od počátku vsypávání sádrového pojiva do vody se válec vertikálně zdvihne do výšky 200 mm a průměr roztečení se změří pravítkem ve dvou na sebe kolmých směrech. Ze získaných hodnot se vypočte aritmetický průměr. Jestliže průměr roztečení kaše neodpovídá  $180 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ , zkouška se opakuje s jiným vodním součinitelem.

### Stanovení počátku a doby tuhnutí

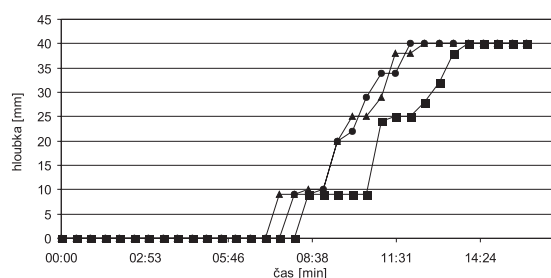
Podstata metody spočívá ve stanovení intervalu od počátku styku sádrového pojiva s vodou do počátku a ukončení tuhnutí sádrové kaše. Ke zkoušce se využívá Vicatův přístroj s hmotností pohyblivé části 300 g, kuželovitý prstenec z plastu a skleněná destička 100 × 100 mm. Práce je obdobná jako podle ČSN EN 196-3 Metody zkoušení cementu, Stanovení dob tuhnutí a stálost [2], standardní postup je přizpůsoben zkoušení sádrové kaše. Před započítáním zkoušky je třeba prověřit, zda je na pohyblivé části přístroje nastavena nulová hodnota. Kuželový prstenec, umístěný na skleněné destičce, se naplní sádrovou kaší normální konzistence, která se provzdušní nadzvednutím a spuštěním jedné strany destičky přibližně o 10 mm. Přebytky kaše se oříznou a vzorek se umístí na základnu přístroje.

Tab. 1. Jemnost mletí

Vzorek	Hmotnost navážky [g]	Zbytek na síť	
		[g]	[%]
1	50	0,87	1,74
2	50	0,92	1,84
průměr	–	–	<b>1,79</b>



Obr. 1. Závislost normového rozlivu na vodním součiniteli



Obr. 2. Stanovení počátku a doby tuhnutí sádrové kaše

Tab. 2. Rozliv sádrové kaše v závislosti na vodním součiniteli

Vzorek	Vodní součinitel [-]	Rozliv	Průměr
		[mm]	
1	0,550	120	130,0
2	0,550	140	
3	0,600	165	162,5
4	0,600	160	
5	0,627	180	<b>177,5</b>
6	0,627	175	
7	0,650	230	232,5
8	0,650	235	
9	0,700	240	240,0
10	0,700	240	

Jehla pohyblivé části přístroje je nastavena tak, aby se dotýkala povrchu sádrové kaše. Volně se ponořuje jednou za 30 s počínaje celou minutou. Po každém ponoření se pečlivě očistí a destička s prstencem se pootočí tak, aby při opakovaném spuštění vnikla do jiného místa. Počátek doby tuhnutí je stanoven počtem minut od okamžiku přidání sádrového pojiva do vody do okamžiku, kdy volně spuštěná jehla po ponoření do kaše poprvé nedosáhla povrchu destičky. Doba tuhnutí je určena časem od okamžiku přidání sádrového pojiva do vody do okamžiku, kdy volně spuštěná jehla se ponoří do hloubky nejvýše 1 mm. Počátek a doba tuhnutí se vyjadřuje v minutách.

### Pevnost v tlaku

Cílem této zkoušky je stanovit nejmenší zatížení, při němž dojde k porušení vzorku, tedy k překročení pevnosti v tlaku. Vzorky jsou připraveny ze sádrové kaše normální konzistence pro příslušný vodní součinitel. Zkouška probíhá dvě hodiny po smíchání pojiva s vodou. Pro zhotovení zkušebních trámek o rozměrech 40 × 40 × 160 mm se používá nerezová forma rozdělená do tří oddílů, natřená minerálním olejem. Sádrové pojivo o hmotnosti 1 kg se v průběhu 20 s vsype do misky s vodou. Ještě 60 s po dosypání celkového množství sádry se směs intenzivně promíchává ručním míchadlem. Stejnorodá kaše se vleává do formy tak, aby se všechny oddíly plnily současně. Odvzdušní se setřením (forma se zvedne čelní stranou do výše 10 mm a spustí). Jakmile začne kaše tuhnut, přebytek se seřízne kolmo k povrchu trámek. Po ztuhnutí se vzorky zbaví formy, označí a uloží.

Pevnost v tlaku se běžně ověřuje na šesti polovinách vzorků získaných po zkoušce pevnosti v ohybu [3]. Vzorky jsou umístěny mezi dvěma destičkami tak, aby boční hrany, které při zhotovení přiléhaly k podélným stěnám formy, byly na rovinách destiček. Tím je omezen vliv nepřesností geometrie na seříznuté ploše trámku.

Zkouška probíhala standardním postupem. Z přístroje byla odečtena hodnota síly  $F$  [kN], která odpovídá zatěžovací ploše lisu 40 × 40 mm, pevnost v tlaku byla vypočítána podle známých vztahů. Výsledná pevnost v tlaku jedné sady (3 × dvě poloviny vzorku) byla vypočtena jako aritmetický průměr výsledků šesti zkoušek po vyloučení největší a nejmenší hodnoty.

### Materiály a vzorky

Pro toto měření byla použita  $\beta$ -sádra s čistotou vyšší než 98 % sádrovce z elektrárny Počerady. Vodní součinitel voda/sádra byl 0,627. Vzorky byly odebrány podle normy [1] z volně loženého pojiva a uskladněny ve dvojitých plastových pytlích. Pro zkoušku pevnosti v tlaku byly ručně [1] vyrobeny tři sady po třech vzorcích 40 × 40 × 160 mm [3], [4].

### Experimentální výsledky

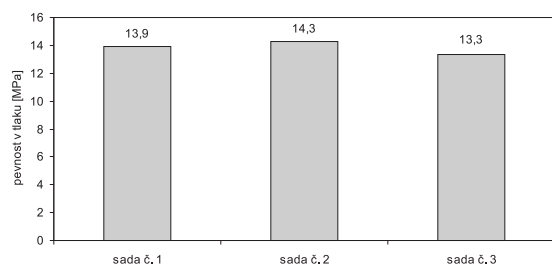
Zkouška jemnosti mletí byla provedena dvakrát (tab. 1), téměř s identickým výsledkem. Podle klasifikace [1] jde o pojivo jemně mleté s označením III. Závislost mezi vodním součinitelem a rozlivem je zřejmá z tab. 2 a obr. 1. Při experimentu jsme použili vodní součinitel 0,55 až 0,70. Podle měření by se dala tato závislost nejlépe vyjádřit rovnicí přímky  $y = 0,798x - 0,3106$ . Normovým požadavkům nejlépe odpovídal vodní součinitel 0,627. Tato hodnota byla zvolena a použita při výrobě vzorků pro referenční měření energosádry nemodifikované [3], [4].

Výsledky zkoušky z Vicatova přístroje jsou znázorněny na obr. 2 a v tab. 3. U třech vzorků byl stanoven počátek a doba tuhnutí sádrové kaše normální konzistence – z grafu je zřejmá shoda mezi jednotlivými měřeními. Nula na svislé ose odpovídá stavu, kdy jehla pronikla až na dno prstence naplněného sádrovou kaší a dotkla se skla. Vyšší hodnoty ukazují, kde se jehla při pronikání sádrovou kaší zastavila. Podle výsledku této zkoušky jde o normálně tuhnoucí pojivo, kterému odpovídá označení doby tuhnutí B.

Tab. 3. Počátek a doba tuhnutí sádrové kaše

Měření	Počátek tuhnutí [min]	Doba tuhnutí [min]
1	9	14
2	9	12
3	9	13
průměr	9	13

Průměrná pevnost v tlaku pro jednotlivé sady je znázorněna na obr. 3. Je vyšší než minimální hodnota 13 MPa, odpovídající zařazení do skupiny s pevností v tlaku G-13. V tabulce 4 jsou shrnuty výsledky všech normových zkoušek a jim odpovídající zařazení podle [1]. Podle klasifikace bylo zkoumané pojivo označeno G-13 B III, přesněji, jde o sádro třídy G-13 středně tuhnoucí, jemně mletou. Podle doporučení normy je pro tuto třídu a druh nejvhodnější uplatnění při omítkových a spárovacích pracích a pro speciální účely.



Obr. 3. Pevnost v tlaku

Tab. 4. Klasifikace energosádry podle ČSN 72 2301

Hodnoty	Pevnost v tlaku [MPa]	Tuhnutí [min]		Zbytek [%]
		počátek	konec	
měřené	13,3	9	13	1,79
mezní [1]	minimálně 13	počátek nejdříve 6	doba nejpozději 30	maximálně 2
zařazení [1]	G-13	B		III

## Diskuze

Norma [1] je již téměř historickým dokumentem, který za posledních 25 let nedoznal žádných změn. Pokusme se proto o kritickou analýzu metod zde uvedených. Zkouška zbytku na síť s oky  $\varnothing 0,2$  mm v podstatě informaci o vlastnostech sádrového pojiva nedá, spíše o způsobu zpracování, tedy o samotném mletí a použité technologii při výrobě pojiva. Je velice jednoduchá a při měření ukázala dobrou reprodukovatelnost výsledků. Pokud je k dispozici normové síto a sušárna, není problém tuto zkoušku provést. Podobným řešením by bylo provést síťový rozbor v klasické podobě. I v případě kaše normální konzistence jde o relativně jedno-

duchou zkoušku, ke které se pomůcky dají snadno opatřit. Vzhledem k vlastnostem sádrové kaše však má jen nepříliš významnou vypovídací schopnost. V podstatě slouží jen jako specifikace jejího stavu, resp. vodního součinitele, pro stanovení počátku a doby tuhnutí a pevnosti v tlaku.

Metoda stanovení počátku a doby tuhnutí, jak již bylo zmíněno, v podstatě vychází z normy [2] a je jen částečně upravena pro zkoušení sádry. Pomineme-li problémy se sháněním Vicatova přístroje, jde opět o poměrně jednoduchou zkoušku. Práce s přístrojem je snadná, komplikaci činí vlastně jen čištění jehly. Intervaly v délce 30 s se také dají stihnout. Otázkou zůstává, zda je možné v tak krátké době zachytit podstatné změny v chování sádrové kaše.

Zkouška pevnosti v tlaku je rozhodujícím kritériem při celé klasifikaci. Měla by vypovědět co nejvíce o mechanických vlastnostech sádry. Otázkou zůstává, proč byla stanovena právě dvouhodinová pevnost v tlaku od okamžiku smíchání sádrového pojiva s vodou jako rozhodující hodnota pevnosti. Při našich výzkumech, kdy byla pevnost v tlaku zkoušena v delších časových úsecích, jsme zjistili, že pevnost se v čase výrazně mění i po dvou hodinách. Ukázalo se, že stále ještě klesá, ale později, po několika dnech, již dosahuje výrazně vyšších hodnot [3].

Možnosti zdokonalení systému stávajícího hodnocení a náhledu na sádrová pojiva vyplývají z práce Šatavy [5] a jeho poznatků z šedesátých let minulého století. Je otázkou, proč k nim nebylo přihlédnuto již při tvorbě ČSN 72 2301, která vznikla o více než deset let později. Šatava získal při svých experimentech mimo jiné poznatky, že vlastnost hmoty po zatvrdnutí (především pevnost, ale i jiné vlastnosti) závisí na struktuře výchozí suspenze polohydrátu. Prostory vyplněné ve výchozí suspenzi pevnou fází, polohydrátem  $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ , jsou po hydrataci vyplněny novou pevnou fází, dihydrátem  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Místa zaplněná vodou, resp. roztokem, se po hydrataci a vysušení stávají póry. Z těchto závěrů jednoznačně vyplývá, že struktura pevné kostry materiálu a také struktura pórovitého prostoru je v úzkém vztahu se strukturou výchozí suspenze. Tato struktura je dána náhodným uspořádáním krystalů polohydrátu a záleží nejen na vodním součiniteli, ale také na tvaru a velikosti krystalů polohydrátu, popř. též na mechanické historii suspenze. Jinými faktory, které mohou ovlivnit tuto vnitřní vazbu, může být i teplota, při které dochází k tuhnutí suspenze, způsob zpracování suspenze, popř. vliv zhutnění.

Na základě experimentálních poznatků pak Šatava [5] navrhl pro vyjádření dokonalejšího obrazu závislosti pevnosti  $\sigma$  na porozitě  $p$  Schillerův vztah, jehož využití by nepochybně přispělo ke zdokonalení kritérií pro klasifikaci sádry [MPa]

$$\sigma = q \log \frac{p_{kr}}{p}, \quad (2)$$

kde konstanty  $q$  a  $p_{kr}$  nezávisí na vodním součiniteli. Kritická porozita  $p_{kr}$  závisí na anizotropii částic výchozího polohydrátu. Konstanta  $q$  zahrnuje jednak pevnost kontaktů mezi krystaly dihydrátu ve ztvrdlé hmotě, jednak charakter pórovité struktury ztvrdlé hmoty, závisí na teplotě tuhnutí, která při dané porozitě ovlivňuje střední velikost krystalů dihydrátu a také pórů ve ztvrdlé hmotě.

## Závěr

Hlavním cílem druhé části prací na zkoumání vlastností energosádry, popsanych v tomto článku, bylo její zatřídění podle ČSN 72 2301. Energosádra z elektrárny Počerady byla zatříděna podle klasifikace v souladu s touto normou.

Jak ovšem vyplývá z diskuze, je otázkou, do jaké míry je tato norma pro klasifikaci současných sádrových pojiv vhodná a aktuální. Její část vychází a částečně s úpravami přebírá zkušební metody používané pro jiné stavební materiály. Otázka posuzování pevnosti v tlaku se nezdá být příliš vhodnou a výstižnou pro chování materiálu. Z hlediska současných potřeb je pak zřejmě největší její slabinou, že v podstatě neumožňuje posuzovat vlastnosti sádry modifikované čímkoli jiným než pomocí zpomalovačů tuhnutí. Modernizace této normy se tedy zdá být aktuální.

Článek byl vytvořen na základě podpory grantu č. 103/03/0006 GAČR.

#### Literatura

- [1] ČSN 72 2301 Sádrová pojiva. ÚNM, 1979.
- [2] ČSN EN 196-3 Metody zkoušení cementu. Stanovení dob tuhnutí a objemové stálosti. ČSN, 1993.
- [3] Tesárek, P. – Černý, R. – Drchalová, J. – Rovnaníková, P. – Kolísko, J.: Mechanické, tepelné a vlhkostní vlastnosti nemodifikované energosádry – 1. část. Stavební obzor, 12, 2004, č. 5, s. 138–142.
- [4] Tesárek, P. – Černý, R.: Základní vlastnosti sádry. [Sborník + CD], konference „Juniorstav“. Brno, VUT, 2004.
- [5] Šatava, V.: Studie procesu tvrdnutí suspenzí sádry. [Dizertace], Praha, VŠCHT, 1968.

**Tesárek, P. – Černý, R. – Rovnaníková, P. – Kolísko, J.: Mechanical, Thermal and Hygric Properties of Hardened Flue Gas Desulphurization Gypsum – Part II**

This paper presents classification of hardened flue gas desulphurization gypsum using ČSN 72 2301. First, the fundamentals of the methods for determination of grinding fineness, initial and final setting times and compressive strength are given. Then, the measurements for the hardened flue gas desulphurization gypsum from the electric power station Počeradý are performed and its classification is made. In conclusion, an analysis of the standard methods is performed and suggestions for their improvement are given.

**Tesárek, P. – Černý, R. – Rovnaníková, P. – Kolísko, J.: Mechanische, wärme- und feuchtigkeitstechnische Eigenschaften unmodifizierten REA-Gipses – Teil II**

In diesem Artikel wird eine Klassifikation von REA-Gips nach ČSN 72 2301 vorgestellt. Zuerst werden die Grundlagen der Methoden zur Bestimmung der Mahlfeinheit, des Beginns und der Dauer der Erstarrung sowie der Druckfestigkeit genannt. Danach werden eigene Messungen für REA-Gipse aus dem Kraftwerk Počeradý und ihre Klassifizierung durchgeführt. Zum Schluss wird eine Analyse der Normierungsmethoden vorgenommen, und es werden Entwürfe für deren Vervollkommnung angeführt.

## • zprávy



### Fórum českého stavebnictví 2004

Stavební trh patří v současnosti k nejdynamičtěji se rozvíjejícím odvětvím české ekonomiky. Vysoké tempo růstu, rychlé změny trhu a v neposlední řadě i nové rámcové podmínky dané vstupem ČR do Evropské unie jsou zásadní výzvou pro majitele a vrcholný management stavebních firem. Nastal čas pro systematickou analýzu trhu a přípravu nových strategií. Marketingově poradenská firma INCOMA Consult se proto ve spolupráci s organizátory veletrhu IBF rozhodla založit tradici odborných konferencí pod značkou Fórum českého stavebnictví. Půjde o výroční setkání předních zástupců stavebního trhu, zejména pak velkých a středních stavebních firem, investorů, projektantů a dodavatelů stavebních hmot a technologií. Konference bude vždy uspořádána v areálu významné novostavby a odborný program bude doplněn její prohlídkou.

Cílem prvního ročníku Fóra českého stavebnictví je sumarizovat informace o současném stavebním trhu a přinést inspiraci pro další úspěšný rozvoj firem působících v tomto dynamicky se měnícím prostředí. V úvodním bloku budou diskutovány trendy stavebního trhu v období po vstupu ČR do EU a prezentována aktuální situace na vyspělých trzích „staré“ Evropy. Ve druhé části konference budou představena úspěšná řešení jak z kategorie veřejných, tak soukromých a smíšených investic. V závěrečné části programu bude formou prohlídky představen letošní hostitelský objekt – SAZKA Arena.

*Tisková informace*

Soutěž

### TECHNICKÉ DÍLO ROKU 2004

z oborů

- inženýrská geodézie
- katastr nemovitostí
- informační systémy
- kartografie

[www.kgk.cz](http://www.kgk.cz)

## SILNIČNÍ KONFERENCE 2004

19. – 20. října, Hradec Králové

[www.silnicnikonference.cz](http://www.silnicnikonference.cz)

# Sledování svislých posunů na objektech čerpacích stanic

Ing. Lenka LÍNKOVÁ, PhD.

Ing. Jitka SUCHÁ, PhD.

ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

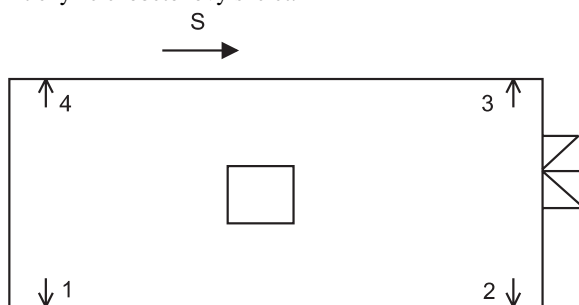
**Příspěvek pojednává o geodetickém měření svislých posunů pro posouzení stability objektů dvou čerpacích stanic v Ústí nad Labem.**

## Úvod

Od roku 2001 zajišťuje Katedra speciální geodézie Fakulty stavební ČVUT v Praze měření svislých posunů v objektech čerpacích stanic teplárny v Ústí nad Labem (jeden objekt na levém břehu – Trmice, druhý na pravém břehu – Střekov). Tato měření a jejich výsledky slouží jako podklad pro stanovení příčin poruch čerpacích jímek, jeřábové dráhy a budovy na pravém břehu (Střekov) a vyhodnocení sedání objektu (Trmice), které provádí teplická firma CON TES, s. r. o. Geodetické měření je prováděno podle [1].

## Čerpací stanice Trmice

Objekt čerpací stanice se nachází v Tovární ulici na levém břehu řeky Labe. Budova je u hlavní silnice vedoucí z Lovosic do Ústí nad Labem, asi 50 m od řeky. Čerpací stanice je založena na železobetonovém kesonu, do úrovně  $\pm 0,00$  m je monolitická železobetonová jímka, nad touto úrovní monolitický železobetonový skelet.



Obr. 1. Schéma rozmístění bodů v čerpací stanici Trmice

Pro posouzení chování objektu bylo s objednavatelem dohodnuto sledování svislých posunů čtyř bodů, které byly osazeny na nosných obvodových stěnách uvnitř objektu (obr. 1). Body byly stabilizovány čepovými značkami. V blízkosti objektu byly stabilizovány další tři výškové body, které jsou používány jako body vztažné, což vyhovuje normě [1], a které jsou připojeny na Českou státní nivelační síť (ČSNS). Pro měření svislých posunů je používána metoda přesné nivelace. Měření je prováděno libelovým nivelačním přístrojem Kern NK3, protože technologické zařízení čerpací stanice je stále v provozu a je tak zdrojem vibrací, které by při použití kompenzátorového přístroje znesnadňovaly čtení na invarové nivelační lati. Funkce nivelačního přístroje spolu s latí je pravidelně ověřována.

Měření základní (nulté) etapy proběhlo v srpnu 2001, první etapa byla zaměřena po třech měsících (listopad 2001), následující etapy již byly měřeny v půlročních intervalech. Do současné doby bylo vyhodnoceno pět etap. Vypočtený svislý posun je uveden v tab. 1. Je definován jako rozdíl nadmořské výšky bodu v  $i$ -té a základní etapě. Z tabulky je patrné, že největší pokles byl zaznamenán u všech čtyř bodů v první etapě, a to přibližně  $-2$  mm. Od první etapy všechny body postupně stoupají. Po posledním měření (5. etapa) byl zjištěn zdvih jižní strany (body 1, 4) vzhledem k základní etapě.

Tab. 1. Svislý posun bodů v objektu čerpací stanice Trmice

Bod	Svislý posun* [mm] mezi				
	1. a základní etapou	2. a základní etapou	3. a základní etapou	4. a základní etapou	5. a základní etapou
1	-2,0	-1,4	-0,5	0,0	1,3
2	-1,9	-1,7	-0,8	-0,4	-0,3
3	-1,8	-1,5	-0,9	-0,6	-0,4
4	-2,1	0,2	0,4	1,5	1,3

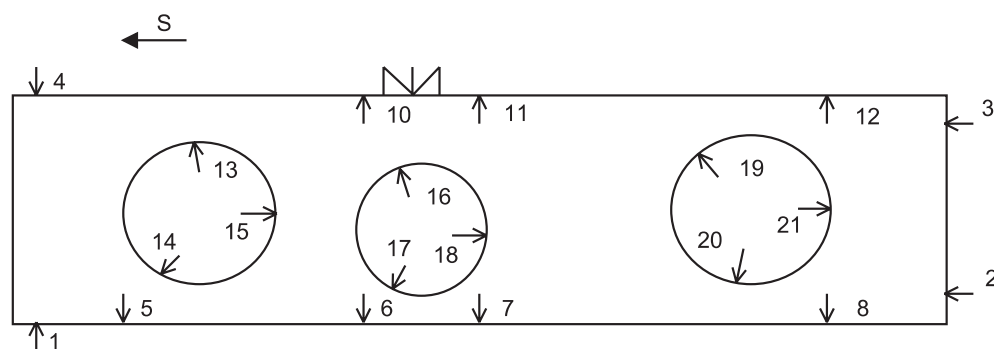
\* Znaménko minus znamená pokles bodu.

## Čerpací stanice Střekov

Objekt čerpací stanice se nachází v Raisově ulici na pravém břehu řeky Labe. Vzdálenost budovy od řeky je asi 50 m. Čerpací stanice je tvořena montovanou konstrukcí střechy s dřevěnými střešními vazníky. Obvodové zdivo je z plynosilikátových tvárnic se ztužujícím věncem v úrovni nosníků jeřábové dráhy, která je z ocelové konstrukce a je do věnce přikotvena. Tři studny čerpací stanice jsou založeny na kesonu. Násoskový a propojovací kanál, čerpací jímky a studny jsou monolitické železobetonové.

Pro posouzení chování objektu bylo s objednavatelem dohodnuto sledování svislých posunů čtyř bodů na nosných obvodových stěnách vně objektu (body 1 až 4), sedmi bodů na sloupech jeřábové dráhy (body 5 až 12) a tří bodů v každé studni (body 13 až 21). Celkem je měřeno dvacet bodů (obr. 2), které byly stabilizovány čepovými značkami nebo stupnicemi s milimetrovým dělením (body na sloupech jeřábové dráhy). V blízkosti objektu se nachází bod ČSNS, který je spolu s dalšími dvěma stabilizovanými body používán jako vztažný bod. Měření svislých posunů je prováděno metodou přesné nivelace s libelovým nivelačním přístrojem Kern NK3 (měření uvnitř čerpací stanice) a kompenzátorovým nivelačním přístrojem Zeiss Ni 007 (měření venku). Opravy z komparace a teploty jsou v případě obou čerpacích stanic zanedbatelné a není třeba je zavádět.

Měření základní (nulté) etapy proběhlo v srpnu 2001, první etapa byla zaměřena po třech měsících (listopad 2001), následující etapy již byly měřeny v půlročních intervalech. Do současné doby bylo změřeno a vyhodnoceno pět etap. Naměřený svislý posun je uveden v tab. 2. Z dosavadních měření lze vysledovat největší pohyb ve střední části



Obr. 2. Schéma rozmístění bodů v čerpací stanici Střekov

čerpací stanice, kde došlo v páté etapě k zatím největším poklesům na nosících jeřábové dráhy u bodů 6 (–3,0 mm), 7 (–3,3 mm), 10 (–2,3 mm). Rovněž u bodů stabilizovaných ve střední části objektu (body 16, 17, 18) byl v této etapě zaznamenán pokles kolem –2 mm.

Tab. 2. Svislý posun bodů na objektu čerpací stanice Střekov

Bod	Svislý posun* [mm] mezi				
	1. a základní etapou	2. a základní etapou	3. a základní etapou	4. a základní etapou	5. a základní etapou
1	–0,7	–0,3	–0,8	–2,2	–1,2
2	0,4	0,6	0,7	–0,2	0,5
3	–0,1	0,2	0,5	–0,2	0,5
4	–1,0	–0,3	–1,0	–1,7	–2
5	0,7	0,8	0,8	0,2	0,0
6	–1,7	–0,8	–0,7	–2,0	–3,0
7	–1,7	–1,2	–1,0	–2,4	–3,3
8	0,1	0,2	0,8	0,2	–0,1
10	–1,6	–0,3	–0,3	–1,3	–2,3
11	0,1	0,5	1,4	0,7	0,3
12	–0,2	0,6	1,1	0,7	0,4
13	–0,6	0,5	1,0	0,8	–0,4
14	–0,8	0,3	1,1	0,4	–0,2
15	–2,1	–0,4	0,1	–0,3	–1,6
16	–1,8	–0,7	–0,5	–1,5	–2,3
17	–1,5	–0,3	0,0	–1,3	–2,4
18	–1,8	–1,0	–0,5	–1,3	–1,9
19	–1,5	–0,4	–0,1	–0,1	–0,9
20	–0,5	0,4	0,8	0,3	–0,2
21	0,0	0,7	1,2	1,1	0,8

\* Znaménko minus znamená pokles bodu.

### Hodnocení

Relativní přesnost určení svislých posunů (pozorovaných bodů vůči sobě) u obou sledovaných objektů lze charakterizovat směrodatnou odchylkou 0,1 až 0,2 mm s ohledem na počet nivelačních sestav mezi pozorovanými body. Přesnost vůči vztažným bodům lze odhadnout směrodatnou odchylkou 0,3 až 0,4 mm s ohledem na konfiguraci vztažných bodů. Hranice prokázaného svislého posunu je tedy přibližně 1,2 mm.

Mezi druhou a třetí etapou, v srpnu 2002, zasáhla oba sledované objekty povodeň, při které byla čerpací stanice

Střekov zatopena přibližně do dvoumetrové výšky, čerpací stanice Trmice do výšky necelého metru. Povodeň mohla způsobit vzestup hladiny spodních vod, a tím i zdvih objektů. Naměřené svislé posuny, uvedené v tab. 1 a tab. 2, však tuto domněnku nepotvrzují a lze konstatovat, že tato událost neměla na pohyb sledovaných bodů výrazný vliv a ve výsledném posunu se neprojevila.

V letošním roce bude provedeno geodetické měření a vyhodnocení svislého posunu sledovaných bodů obou čerpacích stanic v dalších dvou etapách tak, aby zůstal zachován půlroční interval mezi měřeními.

**Příspěvek vznikl s podporou výzkumného záměru MSM 21000001.**

### Literatura

[1] ČSN 73 0405 Měření posunů stavebních objektů. ČSNI, 1997.

**Línková, L. – Suchá, J.: Monitoring of Vertical Displacements in Petrol Stations**

This article outlines geodetic surveys of vertical displacements for the assessment of stability of structures of two petrol stations in Ústí Upon the Elbe.

**Línková, L. – Suchá, J.: Beobachtung der vertikalen Verschiebungen an Objekten von Tankstellen**

Der Beitrag behandelt die geodätische Messung der vertikalen Verschiebungen zur Beurteilung der Stabilität der Objekte von zwei Tankstellen in Ústí nad Labem.

## Technický slovník naučný

### P – Q

Encyklopedický dům, Praha, 2004, 430 s., 450 ilustrací, barevná příloha, 410 Kč

V létě vyšel šestý svazek shora uvedeného díla. Celý slovník naučný zahrne 43 tis. hesel v osmi svazcích s frekvencí vydávání dvou svazků ročně. Zachycuje současnou techniku včetně souvisejících teoretických oborů a technologií. Obrací se k zájemcům o rychlou, kvalitní a aktuální informaci, zdůrazňuje novinky, ale neopomíjí ani historii jednotlivých oborů a technických objevů. Je původní autorskou prací, na jeho vzniku se podílí kolektiv více než 200 externích autorů a konzultantů z řad vysokoškolských pedagogů i odborníků z praxe. Vychází za podpory některých vysokých škol technického směru a od čtvrtého svazku je částečně financován Grantovou agenturou ČR.

[www.encyklopedie.cz](http://www.encyklopedie.cz)

# Příspěvek k posuzování přesnosti technické nivelace

doc. Ing. Jiří POSPÍŠIL, CSc.

Ing. Martin ŠTRONER, PhD.

ČVUT – Fakulta stavební

Praha

Článek se zabývá odvozením kritérií pro posouzení přesnosti určení převýšení metodou technické nivelace. Autoři rovněž uvádějí požadavky na nivelační přístroje a další pomůcky. Dále je popsána metodika testování měření v několika v praxi nejvyužívanějších případech nivelace.

## Úvod

Mezi důležité činnosti na stavbách patří určování výšek, nejčastěji se pro tento účel používá geometrické nivelace ze středu. Rozdílným požadavkům na přesnost měřených výškových rozdílů, vyplývajícím z širokého uplatnění nivelace v geodetické praxi, odpovídají různé druhy nivelace. Podle nároků na přesnost bývá rozlišována technická nivelace, přesná nivelace, velmi přesná nivelace a zvlášť přesná nivelace. Nejčastějším případem ve stavební praxi je technická nivelace.

Pro zajištění jakosti a spolehlivosti stavebních prací je třeba správně aplikovat metody a postupy měření a jejich vyhodnocení.

Ve stavební praxi nebývá vždy správně posuzována přesnost nivelace a používána kritéria pro tuto přesnost. V článku uvedeme upřesnění postupů pro posouzení přesnosti technické nivelace.

## Obecné odvození kritérií přesnosti

Jako kritérium pro posouzení, zda přesnost měření vyhovuje, a tedy není zatíženo hrubými chybami, se takřka výhradně využívá mezního rozdílu  $\Delta_M$ , který lze za předpokladu normálního rozdělení skutečných chyb podle [1] definovat

$$\Delta_M = u \cdot \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}, \quad (1)$$

kde  $u$  je hodnota normované normální náhodné veličiny (volí se podle závažnosti obvykle 2 až 3, což odpovídá pravděpodobnosti 95 až 99 %),

$\sigma_1$  – směrodatná odchylka první porovnávané hodnoty  $l_1$ ,

$\sigma_2$  – směrodatná odchylka druhé porovnávané hodnoty  $l_2$ .

Pokud rozdíl  $\Delta = |l_2 - l_1|$  překročí hodnotu  $\Delta_M$ , lze s pravděpodobností odpovídající hodnotě zvoleného  $u$  prohlásit, že přesnost měření nevyhovuje.

U geometrické nivelace ze středu lze takovýmto způsobem hodnotit dvojí měření (tam a zpět), případně i měření mezi dvěma body o známých výškách, či uzavřený nivelační pořad. Podle [1] je známo, že směrodatná odchylka převýšení  $\sigma_h$  roste s odmocninou délky nivelačního pořadu  $L$ .

Lze tedy psát

$$\sigma_h = \sigma_{km} \cdot \sqrt{L}, \quad (2)$$

kde  $\sigma_h$  je směrodatná odchylka převýšení,

$\sigma_{km}$  – směrodatná odchylka kilometrová,

$L$  – délka nivelačního pořadu [km].

K použitému přístroji a pomůckám ve specifikacích uvádí výrobce směrodatnou kilometrovou odchylku  $\sigma_{km}$ , která popisuje přesnost průměrného převýšení určeného z obousměrné nivelace na vzdálenost 1 km. Za znalosti tohoto údaje lze pomocí zákona hromadění směrodatných odchylek jednoduchým výpočtem zjistit směrodatnou odchylku kilometrovou jednosměrně určeného převýšení  ${}^1\sigma_{km}$

$${}^1\sigma_{km} = \sigma_{km} \cdot \sqrt{2}. \quad (3)$$

Lze tedy odvodit, že směrodatná odchylka jednosměrného určení převýšení  ${}^1\sigma_h$  nivelačním pořadem o délce  $L$  se vypočítá

$${}^1\sigma_h = \sigma_{km} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{L} = \sigma_{km} \cdot \sqrt{2 \cdot L}. \quad (4)$$

Z toho vyplývá vztah pro mezní rozdíl měření tam a zpět  ${}^{TZ}\Delta$  za předpokladu, že obě měření považujeme za stejně přesná

$${}^{TZ}\Delta_M = u \cdot \sqrt{2} \cdot {}^1\sigma_h, \quad (5)$$

a tedy

$${}^{TZ}\Delta_M = u \cdot \sqrt{2} \cdot \sigma_{km} \cdot \sqrt{2 \cdot L}. \quad (6)$$

Vztah lze zjednodušit

$${}^{TZ}\Delta_M = 2 \cdot u \cdot \sigma_{km} \cdot \sqrt{L}. \quad (7)$$

Pro konkrétní soupravu tvořenou nivelačním přístrojem a dalšími pomůckami lze takto vypočítat hodnotu mezního rozdílu mezi měřeními tam a zpět. Pokud měření probíhá mezi dvěma body o známých výškách, které byly určeny řádově přesněji, lze ve vzorci (1) považovat směrodatnou odchylku jednoho ze dvou porovnávaných měření za rovnou nule, a tedy pro mezní rozdíl známého a určovaného převýšení  ${}^T\Delta$  platí

$${}^T\Delta_M = u \cdot {}^1\sigma_h = u \cdot \sigma_{km} \cdot \sqrt{2 \cdot L} = \sqrt{2} \cdot u \cdot \sigma_{km} \cdot \sqrt{L}. \quad (8)$$

Pro danou měřicí soupravu lze ve vzorcích (7) a (8) provést nahrazení

$$K = 2 \cdot u \cdot \sigma_{km}, \quad (9)$$

a pak je vhodné ve shodě se zvyklostmi zvolit vyjádření

$${}^{TZ}\Delta_M = K \cdot \sqrt{L} \quad (10)$$

a

$${}^T\Delta_M = K \cdot \sqrt{\frac{L}{2}}. \quad (11)$$

Vzorec (11) platí také pro mezní hodnotu uzávěru uzavřeného nivelačního pořadu, jak lze snadno odvodit.

Příkladem stanovení koeficientu  $K$  pro určení kritéria přesnosti může být požadavek na přesnost přístroje pro technickou nivelaci vyjádřený velikostí směrodatné kilometrové odchylky 5,0 mm (např. přístroj Zeiss Ni 050), koeficient  $K$  má pak hodnotu 20 mm. Pro přesnější přístroj, u kterého platí  $\sigma_{km} = 2,5$  mm (např. Zeiss Ni 025), má koeficient hodnotu 10 mm. V obou případech je voleno  $u = 2$ .



Pokud se měření provádí mezi dvěma známými body obousměrně (pro zvýšení přesnosti), je ještě třeba uvést mezní rozdíl pro posouzení průměru měření tam a zpět se známou (správnou) hodnotou  ${}^{DP}\Delta_M$ . Pro směrodatnou odchylku průměru z převýšení měřeného tam a zpět platí vzorec (2). Pro mezní rozdíl  ${}^{DP}\Delta_M$  potom platí

$${}^{DP}\Delta_M = u \cdot \sigma_{km} \cdot \sqrt{L}. \quad (12)$$

Vzhledem k definici koeficientu  $K$  (9), který je vhodné využít, lze vzorec upravit do tvaru

$${}^{DP}\Delta_M = \frac{K}{2} \cdot \sqrt{L}. \quad (13)$$

### Technická nivelace

Výše odvozené vztahy budou dále aplikovány na určení kritérií pro technickou nivelaci. Specifikace technologie měření technické nivelace nejsou v současné době dána žádným závazným předpisem či normou. Při dalších úvahách budeme vycházet z [2].

Technická nivelace se provádí nivelačními přístroji, pro jejichž směrodatnou kilometrovou odchylku platí  $\sigma_{km} \leq 5,0$  mm, zvětšení dalekohledu je nejméně šestnáctinásobné, citlivost nivelační libely alespoň 60" (na dílek stupnice 2 mm) nebo v koincidenční úpravě 80"/2 mm nebo kompenzátor odpovídající přesnosti. Dále se používají nivelační latě dlouhé 2 až 4 m, celistvé nebo různým způsobem skládací se zařízením na zajištění svislosti (krabicová libela) se zřetelným dělením (zpravidla po 0,01 m) a nivelační podložky ploché, kruhové nebo trojúhelníkové. V případě použití digitálních nivelačních přístrojů a pomůcek by tyto měly splňovat dříve uvedené vlastnosti. Postup určení směrodatné kilometrové odchylky je uveden v [3].

Délky záměr se volí s ohledem na sklonitost terénu, požadovanou přesnost, stav atmosféry, způsob čtení latí. Zpravidla se nerozměrují, ale krokují. Podle [2] se volí nejvýše do 120 m, což je z praktického hlediska hodnota příliš velká. Podle [5] je směrodatná odchylka  $\sigma_a$  ve čtení na lati při odhadu milimetrů v centimetrovém dílku dána vztahy

$$\sigma_{ar}^2 = \frac{0,5^2}{\sqrt{3}}, \quad (14)$$

$$\sigma_z^2 = \left( \frac{183^{cc} \cdot s \cdot 10^3}{z \cdot \sqrt{3} \cdot \rho^{cc}} \right)^2, \quad (15)$$

$$\sigma_a^2 = \sigma_z^2 + \sigma_{ar}^2, \quad (16)$$

kde  $\sigma_{ar}$  je směrodatná odchylka ze zaokrouhlování čtení [mm],

$\sigma_z$  – směrodatná odchylka způsobená rozlišovací mezí dalekohledu [mm],

$s$  – délka záměry [m],

$z$  – zvětšení dalekohledu.

Pokud připustíme směrodatnou odchylku ve čtení na lati 1 mm, pak pro zvětšení dalekohledu 16 ze vztahu (16) vyplývá maximální délka záměry 89 m při optimálních podmínkách. Pro praxi proto doporučujeme používat délku záměry do 60 m, což přibližně odpovídá směrodatné odchylce ve čtení na lati 0,7 mm.

Dříve se uvádělo nejednotné rozdělení – podle [4] se rozlišují dva druhy technické nivelace, a to technická a hrubá, podle [5] „přesnější“ technická nivelace a technická nivelace, podle [6] technická nivelace základní přesnosti a technická nivelace zvýšené přesnosti.

Ze vzorce (11) a požadavku na maximální směrodatnou kilometrovou odchylku pro technickou nivelaci (5 mm) a dodržení všech uvedených požadavků, a navíc při použití celistvých latí délky 2 až 3 m a při trvalé stabilizaci připojovacích bodů, vyplývá koeficient kritéria

$$K = 20 \text{ mm}, \quad (17)$$

v souladu s ustanovením vyhlášky [7]. Jsou-li používány necelistvé latě nebo připojovací body nejsou trvale stabilizovány, bývá hodnota koeficientu kritéria zdvojnásobena na

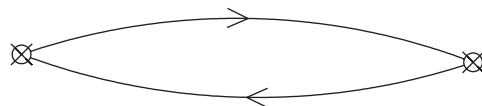
$$K = 40 \text{ mm}. \quad (18)$$

Z hlediska postupu měření se ve stavební praxi využívají zejména tyto případy:

- vložený nivelační pořad mezi dva body o známé (ověřené) výšce měřeny
  - jednosměrně (obr. 1a),
  - obousměrně (obr. 1b);

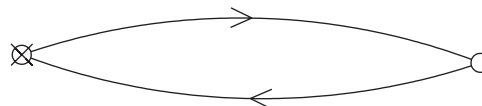


Obr. 1a



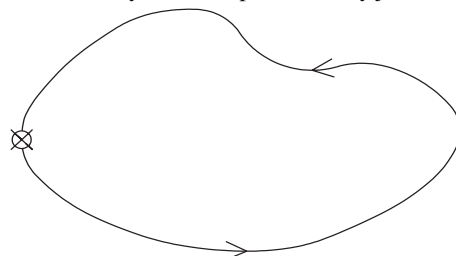
Obr. 1b

- volný pořad jednostranně připojený na bod o známé (ověřené) výšce měřeny obousměrně (obr. 2);



Obr. 2

- uzavřený nivelační pořad měřený jednosměrně (obr. 3).



Obr. 3

Dále se používají k posouzení, zda přesnost měření ve výše uvedených případech vyhovuje technické nivelaci.

Na obrázcích 1 až 3 značí  $\circ$  určený bod,  $\otimes$  bod o známé výšce a  $\rightarrow$   $\leftarrow$  směr nivelace. V případě 1a se posuzuje rozdíl mezi daným a určeným převýšením připojovacích bodů, kdy rozdíl  $\Delta$  mezi daným a určeným převýšením nesmí překročit mezní rozdíl  ${}^T\Delta_M$  daný vzorcem (11) s příslušným koeficientem  $K$ . V případě 1b se posuzuje nejprve rozdíl mezi měřením tam a zpět pomocí mezního rozdílu  ${}^{TZ}\Delta_M$  (10), a pokud měření vyhoví, posuzuje se rozdíl aritmetického průměru převýšení tam a zpět a daného převýšení připojovacích bodů mezním rozdílem  ${}^{DP}\Delta_M$  (13). V případě 2 se posuzuje rozdíl mezi měřením tam a zpět pomocí mezního rozdílu  ${}^{TZ}\Delta_M$  (10). V případě 3 se posuzuje uzavěr nivelačního pořadu, který nesmí překročit (v absolutní hodnotě) hodnotu  ${}^T\Delta_M$  (11).

#### Poznámka 1

V publikaci [4] lze nalézt koeficient  $K = 10$  mm pro technickou nivelaci, což vychází ze směrodatné kilometrové odchylky  $\sigma_{km} = 2,5$  mm. Je zřejmé, že požadavky na přesnost se proti předpokladům (zlepšování přístrojů apod.) později snížily.

**Poznámka 2**

Autoři [4] a [8] ve spojení s hodnocením přesnosti nivelace uvádějí některé vztahy s mezemi pro pravděpodobnou chybu  $r = 0,67 \cdot m_0$  ( $m_0$  je střední kilometrová chyba jednotková, dnes směrodatná kilometrová odchylka), které se dříve někdy používaly, ale se zde uvedeným testováním, založeným na směrodatných odchylkách, nemohou být spojovány.

**Závěr**

V práci jsou odvozena kritéria pro posouzení přesnosti technické nivelace vycházející ze směrodatné kilometrové odchylky nivelačního přístroje, která popisuje přesnost průměrného převýšení určeného z obousměrné nivelace na vzdálenost 1 km. Dále je popsána metodika ověřování měření v několika v praxi nejvyužívanějších případech nivelace.

Je vhodné upozornit, že chceme-li bezezbytku využít přesnosti, kterou poskytuje určitý nivelační přístroj ve spojení s odpovídajícími pomůckami, je účelné použít koeficient  $K$  pro kritéria vypočítaný na základě parametru přesnosti daného přístroje, což umožňuje zvýšit jakost poskytovaných geodetických služeb, a tím spolehlivost stavebního díla.

Článek je podkladem pro výzkumný záměr MSM 21 000 000 1 „Funkční způsobilost a optimalizace stavebních konstrukcí“, dílčí část „Výzkum a aplikace geodetických metod pro zabezpečování jakosti a spolehlivosti stavebních konstrukcí“.

**Literatura**

- [1] Böhm, J. – Radouch, V. – Hampacher, M.: Teorie chyb a vyrovnávací počet. Praha, Geodetický a kartografický podnik 1990.
- [2] Technologický postup pro technickou nivelaci. Praha, Český úřad geodetický a kartografický 1984.
- [3] ČSN ISO 8322-3 Geometrická přesnost ve výstavbě. Určování přesnosti měřicích přístrojů. Část 3: Optické nivelační přístroje. ČSN, 1994.
- [4] Böhm, J. – Svoboda, J.: Geometrická nivelace. Praha, SNTL 1960.
- [5] Hauf, M. a kol.: Geodézie (Technický průvodce). Praha, SNTL 1982.
- [6] Blažek, R. – Škořepa, Z.: Geodézie 30 (Výškopis). Praha, Vydavatelství ČVUT 1999.
- [7] Vyhláška č. 31/1995 Sb., kterou se provádí zákon 200/1994 Sb., o zeměměřičství a o změně a doplnění některých zákonů souvisejících s jeho zavedením, v platném znění.
- [8] Ryšavý, J.: Geodesie, 4. vyd. Praha, SNTL 1955.

**Pospíšil, J. – Štroner, M.: A Contribution to the Accuracy Assessment of Technical Levelling**

This paper is aimed to derive criteria of accuracy assessment of a height difference using the technical levelling method. The authors also define requirements for levelling instruments and other tools. Further, they describe methods of testing measurements in a few cases of levelling most frequently employed in practice.

**Pospíšil, J. – Štroner, M.: Beitrag zur Beurteilung der Genauigkeit eines technischen Nivellements**

Der Artikel befasst sich mit der Ableitung von Kriterien für die Beurteilung der Genauigkeit der Ermittlung der Überhöhung mit der Methode des technischen Nivellements. Die Autoren führen gleichfalls die Anforderungen an die Nivelliergeräte und weiteren Hilfsmittel an. Des Weiteren wird eine Methodik zur Prüfung der Messung in einigen in der Praxis am meisten genutzten Nivellierfällen beschrieben.

## • zprávy

**Zlatá medaile pro Schiedel KERASTAR**

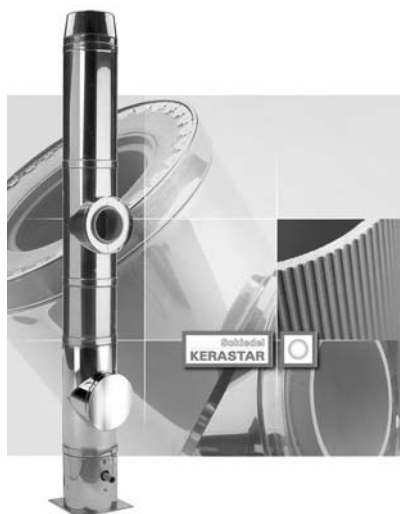
Systém Schiedel KERASTAR je v oblasti komínové techniky na českém trhu novinkou. Přináší originální řešení v kombinaci vnitřní šamotové vložky, izolované minerální izolací, s vnějším pláštěm z leštěné nerezové oceli. Toto netradiční řešení dodává systému nadstandardní životnost, obvyklou u keramických komínů, při současně extrémně nízké hmotnosti a vnějším vzhledu typickém pro nerezové systémy. Pro své vlastnosti byl na letošním stavebním veletrhu IBF oceněn Zlatou medailí.

Byl vyvinut jako univerzální systém pro všechny typy spotřebičů pracujících v podtlakovém provozu a pro všechny typy paliv od nízkých teplot spalin po vysoké. Jeho předností je především malá hmotnost, která umožňuje rychlou výstavbu bez použití mechanizace, a zároveň umožňuje založení komínového

tělesa bez základu, je tedy vhodný i pro dodatečnou montáž.

Vzhledem k tomu, že jde o komínový systém z prefabrikovaných prvků, které na sebe přesně navazují, je dosaženo jednoduché, přesné a čisté montáže.

Systém je určen především pro rodinné domy, a to jak v exteriéru, tak v interiéru, kde lze ocenit především úsporu místa a opticky zdařilé řešení. V rodinných domech není nutné dodatečné opláštění, např. sádkkartonem. Dodává se v rozměrech 140, 160, 180, 200 a 250 mm. Výška jednotlivých prvků je 165, 330 a 665 mm. Součástí nabídky jsou T-kusy, čisticí tvarovky, běžné roury, kondenzátní misky, průchodky včetně příslušenství. Izolace tloušťky 60 mm je z minerálních vláken. Vnější plášť je z ušlechtilé nerez oceli 1.4301 o tloušťce 0,4 mm.



*Tisková informace*

# Automatizácia časového plánovania výstavby

Ing. Peter MAKÝŠ, PhD.  
STU – Stavebná fakulta  
Bratislava

Článok sa zaoberá problematikou časového plánovania výstavby, hodnotením súčasného stavu a možnosťami automatizácie tvorby a aktualizácie časových plánov pri zohľadnení vplyvu pracovného prostredia na trvanie stavebných procesov.

## Úvod

Časové plánovanie výstavby možno považovať za jednu z najdôležitejších prípravných činností, nakoľko vytvára podmienky pre plynulý priebeh uskutočňovania stavby pri optimálnom využívaní zdrojov. Plánovanie je vo všeobecnosti považované za projektovanie budúcnosti, t. j. budúceho stavu, pri ktorom sa určujú ciele (realizácia stavby) a stanovujú sa cesty, ako tieto ciele dosiahnuť v stanovenom čase a na požadovanej úrovni. Uplatňuje sa v rôznych stupňoch prípravy stavby, pre rôzne objekty a rôzne stupne riadenia, preto je aj jeho obsah od prípadu k prípadu odlišný.

Orientačné časové plány sa môžu vypracovávať – najmä na základe požiadavky stavebníka – už v projekte organizácie výstavby, ktorý sa ako súčasť projektovej dokumentácie stavby spracovanej projektantom predkladá na stavebné konanie. Spracovávajú sa ako súhrnný časový plán výstavby s členením na jednotlivé objekty stavby a poskytujú orientačné informácie o predpokladanej realizácii jednotlivých objektov v čase a o ich vzájomnej nadväznosti. Stavebníkovia poskytujú informáciu o trvaní výstavby a o celkových finančných požiadavkách v jednotlivých obdobiach výstavby. Stavebnému úradu zas poslúžia na koordináciu ďalších, súbežne uskutočňovaných stavieb a ich objektov (napr. realizácia komunikácií, inžinierskych sietí a pod.). Určité menšie nepresnosti v spracovaní nemávajú negatívny dopad na priebeh výstavby. Ak sa časové plány nespracovávajú, určuje sa v projekte organizácie výstavby aspoň termín začatia a ukončenia výstavby. Ak by časový plán mal slúžiť aj k získaniu bankového úveru, potom už v tomto štádiu prípravy stavby by mal byť spracovaný s takou podrobnosťou, aby bol zrejмый priebeh čerpania finančných prostriedkov počas výstavby, a to na základe stavebno-technologickej analýzy vychádzajúcej z informácií dostupných v danom štádiu plánovania.

Podrobnejšie spracované časové plány výstavby bývajú súčasťou ponukových konaní, pri ktorých je určujúcim kritériom lehota výstavby. Pri jej určovaní sa môže vychádzať z lehoty požadovanej stavebníkom, alebo ju navrhuje zhotoviteľ podľa obdobných, už realizovaných stavieb. V každom prípade je však potrebné vychádzať z podrobnej analýzy konštrukčno-výrobného systému, z postupu výstavby, z organizačných nadväzností a priestorových možností. To si vyžaduje podrobnejšie členenie stavby na súhrny prác, etapy rozostavanosti, technologické etapy, etapy výstavby a pod. Spracovanie takého časového plánu je vecou zhotoviteľa stavby. Slúži mu okrem stanovenia reálnosti lehoty výstavby aj na posúdenie jeho kapacitných možností, na stanovenie rozsahu zabezpečenia výstavby poddodávateľmi a pod. Môže byť aj podkladom pre uzatvorenie zmluvy

o budúcej zmluve. Prípadné nepresnosti pri spracovaní časového plánu môžu však už mať za následok, že ponúknutá lehota výstavby je zbytočne dlhá, čo organizáciu v ponukovom konaní znevýhodní, alebo naopak, je príliš krátka, čo síce dáva organizácii predpoklady v súťaži uspieť, avšak môžu vzniknúť problémy pri jej dodržaní. Spracovaný časový plán výstavby má význam aj pre stavebníka tým, že mu dáva možnosť:

- vytvoriť si predstavu o budúcom priebehu výstavby,
- priebežne sledovať jeho plnenie,
- plánovať finančné zabezpečenie výstavby.

Podrobné časové plány výstavby vypracováva zhotoviteľ stavby po získaní zákazky v rámci svojej výrobnjej prípravy ako operatívne časové plány, ktoré vychádzajú z časových plánov spracovaných do ponukového konania a upresní ich detailným rozpisom jednotlivých rozhodujúcich stavebných procesov a prác. Bývajú podľa potreby doplnené požadovanými zdrojmi, ako sú počty robotníkov, finančné náklady, potrebná mechanizácia, rozhodujúce stavebné materiály a pod. Slúžia pre zabezpečovanie výstavby vlastnými kapacitami a pre zmluvné zabezpečenie poddodávateľmi a potrebnými zdrojmi. Operatívne časové plány poskytujú podrobný prehľad o predpokladanom priebehu výstavby a o nevyhnutných nadväznostiach medzi jednotlivými stavebnými činnosťami. Umožňujú sledovanie a kontrolu postupu výstavby, a tak sa stávajú dôležitým nástrojom pre riadenie a prípadné nevyhnutné korekcie v priebehu výstavby. Patria preto medzi rozhodujúce dokumenty prípravy realizácie stavieb. Prípadné nepresnosti pri ich spracovaní sa prejavujú v poruchách plynulosti priebehu výstavby, najmä ak bola dohodnutá krátka lehota výstavby, ktorá neposkytuje rezervy v časovom plnení.

## Aký je súčasný stav?

Spracovanie časových plánov výstavby, adekvátnych k zložitosti podmienok výstavby a zohľadňujúcich kapacitné možnosti zhotoviteľa, je veľmi dôležitou fázou prípravy výstavby. Ich spracovanie nie je vecou jednoduchou, a samotné vyhotovenie je časovo náročné. Vzhľadom na veľký počet spracovávaných ponúk a relatívne malú úspešnosť v získaní zákaziek nie je dostatočný priestor pre vypracovanie časového plánu výstavby pri každej ponuke. Časové plány pre ponukové konanie sa preto často vyhotovujú len vtedy, ak ich stavebník požaduje, inak sa lehota výstavby a dôležité termíny iba odhadujú. Žiaľ, po ukončení výberového konania len zriedkavo poskytne stavebník zhotoviteľovi dostatočný čas na spracovanie kvalitnej výrobnjej prípravy a výstavba sa často začína bez podrobne spracovaného časového plánu.

Vo veľkých stavebných organizáciách je situácia relatívne dobrá. Sú vybavené kvalitnou výpočtovou technikou a príslušnými programami na spracovanie časových plánov, disponujú kvalifikovanými pracovníkmi, ktorí vedú časový plán zostaviť s dostatočnou podrobnosťou, a povedomie o význame časového plánu pre efektívne riadenie procesu výstavby je na dobrej úrovni. Tu sa pre riadenie výstavby vypracovávajú podrobné časové plány podľa potreby.

Tab. 1. Príklad formálneho „časového plánu výstavby“

Plan	2003									
	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
[mil. SK]	0,8	1,1	1,2	1,3	1,7	2,3	3,5	2	1,6	1,4

Horšia situácia je v malých stavebných firmách, kde je často nedostatok odborníkov s dostatočnými skúsenosťami z oblasti prípravy stavieb, schopných podrobne časové plány vyhotoviť, a chýba tu aj primerané počítačové a programové vybavenie. Ak tieto firmy realizujú stavby malého rozsahu, ako napríklad drobné rekonštrukčné práce, opravy, prípadne práce s jednoduchou štruktúrou procesov – zatepľovanie fasád, inžinierske siete a pod., pre ktoré nie je nevyhnutný časový plán výstavby, nevypracovávajú ho. Realizujú však aj výstavbu väčšieho rozsahu, kde je pre riadenie procesu výstavby časový plán potrebný, a ten sa často nevypracováva ani v týchto prípadoch.

V posledných rokoch sa už spracovávanie časových plánov výstavby predsa len rozširuje, a to vďaka zavádzaniu systémov manažerstva kvality podľa STN EN ISO 9001 [3], ktorá ich spracovanie v zmysle článku 7.1 (plánovanie realizácie produktu) požaduje. Mnohé z vypracovaných časových plánov výstavby sú však často vyhotovené povrchno, bez podrobnej analýzy výstavbového procesu, a ako také sú na operatívne riadenie výstavby len málo použiteľné. V tabuľke 1 je príklad takéhoto „časového plánu výstavby“ pre realizáciu stavby 14 bytových jednotiek vypracovaného jednou malou stavebnou firmou. Určite nepomohol stavbyvedúcemu pri riadení stavebných prác a treba poznamenať, že už od druhého mesiaca výstavby bol neaktuálny.

Vysoká prácnosť zostavovania časových plánov, nedostatok času na podrobnú prípravu stavby a nedostatok kvalifikovaných pracovníkov spôsobujú, že časové plány s dostatočnou podrobnosťou sa vyhotovujú len v obmedzenej miere. Veľmi často sa zhotovujú len zjednodušene, nezohľadňujúc skutočné podmienky výstavby, a preto sa už krátko po zahájení nedarí výstavba nich organizovať. Odlišnosť skutočného priebehu výstavby od plánovaného sa neraz mylne používa ako argument o zbytočnosti časového plánovania prispieva k nízkemu povedomiu o význame

podrobnej prípravy stavby. Širšie využitie podrobných časových plánov výstavby by si preto vyžadovalo:

- vytvoriť súbor vstupných údajov, ktorý by umožnil čo najvernejšie modelovať skutočný priebeh výstavby;
- znížiť prácnosť ich zostavovania, napr. automatizáciou tvorby;
- pravidelnú aktualizáciu podľa skutočného priebehu výstavby, z ktorej by vyplynuli požiadavky na operačné zásahy v jej riadení.

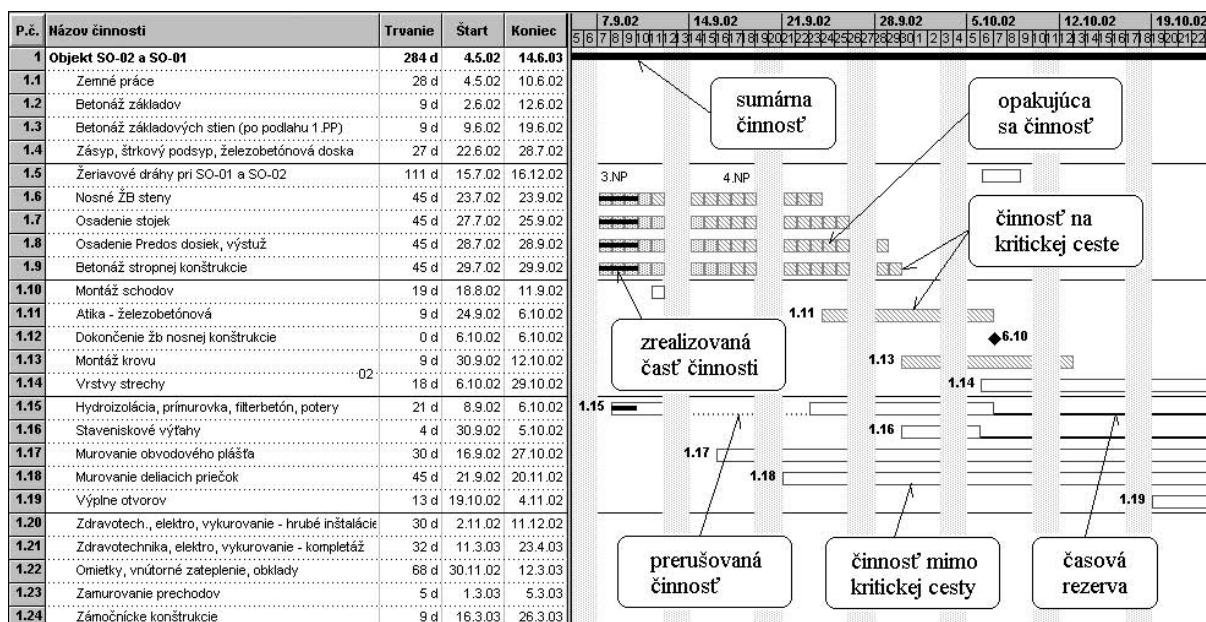
### Automatická tvorba časových plánov

Automatizácia tvorby časových plánov výstavby predstavuje zvyšovanie podielu práce výpočtovej techniky na ich spracovaní, a to v štádiu prípravy vstupných údajov, pri tvorbe samotných časových plánov, ako aj pri ich aktualizácii. U nás sa na časové plánovanie používajú najmä programy Project (obr. 1) od firmy Microsoft, Contec (obr. 5) od firmy Contec, CA – SuperProject od firmy Computer Associates International, Koral od firmy Kros (nadstavba pre Microsoft Project) a Flow Project od firmy Systematic.

Vstupné údaje predstavujú súbor informácií zahrňujúcich najmä:

- parametre stavebného procesu, a to:
  - technologický (realizované práce, ich rozsah, prácnosť),
  - priestorový (veľkosť pracovného priestoru pre pracovné čaty),
  - časový (trvanie prác na jednom zábere, nutné technologické prestávky);
- kapacitné možnosti zdrojov;
- pracovné podmienky (napr. klimatické podmienky).

Toto programové vybavenie na spracovanie časových plánov výstavby umožňuje preberanie vstupných údajov



Obr. 1. Časť harmonogramu postupu výstavby spracovaného programom Project

najmä pre technologický parameter stavebného procesu z programu určeného na tvorbu rozpočtov a výrobných kalkulácií. Sú to súpis a rozsah prác, údaje o prácnosti a potrebných zdrojoch, prípadne údaje o zrealizovaných činnostiach a pod. Pre určenie trvania jednotlivých stavebných procesov je potom potrebné len určiť veľkosti pracovných čiat.

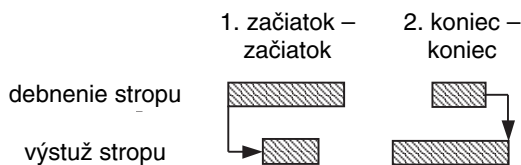
Časová následnosť jednotlivých činností sa pri použití programov na časové plánovanie definuje prostredníctvom uzlovo orientovaných sieťových grafov. Pre projekty, ktoré sú aspoň čiastočne opakovateľné, teda pre opakovateľnú výstavbu, je možné vopred pripraviť typové sieťové grafy, ktoré definujú sled a časovú postupnosť procesov vrátane potrebných technologických prestávok medzi procesmi. Typové sieťové grafy sa vypracovávajú na výstavbu konkrétneho druhu objektov realizovaných určitou technológiou (napr. monolitický železobetónový nosný systém na základových pásoch z prostého betónu), alebo môžu byť univerzálne pre rôzne technológie (napr. aj pre objekt murovaný, alebo montovaný zo železobetónových prefabrikátov a založený na železobetónovej doske, alebo na prefabrikovaných pätkách). Pri konkrétnom návrhu sa potom vylúčia tie činnosti, ktoré sa v danom projekte nevyskytujú.

Vzhľadom na to, že trvanie činností sa môže meniť, musia byť väzby medzi činnosťami v týchto sieťových grafoch zostavené tak, aby sa predišlo možným chybám pri automatickom spracovaní postupu výstavby. Aj keď väčšina programov na časové plánovanie umožňuje zostavenie typových sieťových grafov, obvykle nedisponujú dostatočným sortimentom možných väzieb definujúcich väzby medzi činnosťami. Najčastejšie sa vyskytujúce väzby používané programami na spracovanie časových plánov sú znázornené na obr. 2.



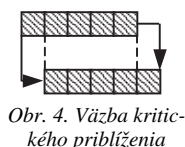
Obr. 2. Väzby používané programami na časové plánovanie

Týmito väzbami ale nie je možné dostatočne ošetriť časovú súbežnosť procesov, najmä ak vopred nevieme ich trvanie, čo je prípad aj v riešení a zostavovaní typových sieťových grafov. Napríklad, ak je potrebné zadefinovať dva procesy, ktoré budú prebiehať čiastočne súbežne s určitým oneskorením, je možné použiť väzbu začiatok-začiatok alebo koniec-koniec z obr. 2 s určenou prestávkou – oddialením. Existuje však riziko, že ak trvanie procesov bude značne rozdielne (napríklad sa nasadia čaty s výrazne rozdielnym počtom pracovníkov), môže druhý proces predbehnúť prvý. Napríklad výstuž stropu musí začať až po zadení časti stropu a skončiť až po ukončení debnenia celého stropu, čo spomenutými väzbami nevieme jednoznačne zabezpečiť (obr. 3). Tento problém odstraňuje väzba



Obr. 3. Riziká pri súbežnosti procesov

kritického priblíženia, ktorá je kombináciou väzieb začiatok-začiatok a koniec-koniec (obr. 4). Táto väzba umožňuje zadefinovať požiadavku



Obr. 4. Väzba kritického priblíženia

uvolnenia minimálneho pracovného frontu (priestoru) procesom tak, aby na dané miesto mohol nastúpiť nasledujúci proces bez toho, aby si procesy vzájomne prekážali. Žiaľ, uvedená väzba nie je bežnou výstavou programov na spracovanie časových plánov a z vyššie uvedených ju ponúka len program Contec [1] pod názvom „väzba kritického priblíženia“ (prestávka medzi procesmi je definovaná v časových jednotkách) alebo „stavebno-technologická väzba“ (prestávka medzi procesmi je definovaná súčiniteľom pracovnej fronty, čo je pomer minimálneho, technologicky nutného pracovného frontu k celkovému disponibilnému pracovnému priestoru), čím je tento program na spracovanie typových sieťových grafov dobre prispôsobený.

Pred použitím typového sieťového grafu je potrebné uvážiť, že každý objekt má osobitú priestorovú štruktúru (napr. objekt môže byť výškovou budovou alebo nízkopodlažnou budovou, podpivničený alebo nepodpivničený) a veľkosť pracovného frontu sa pre stavebné procesy môže líšiť, aj keď pre niektoré skupiny procesov môže byť rovnaký (napr. pre procesy na zastrešení môže byť pracovným frontom celá strecha, pre dokončovacie procesy v objekte jedna bytová jednotka). Z toho dôvodu je pri automatickej tvorbe časového plánu, ako aj pri jeho modifikácii, dôležité, aby typové sieťové grafy umožňovali zadávať veľkosť pracovného frontu pre rôzne skupiny stavebných procesov spoločne, čím sa výrazne urýchlí jeho spracovanie. To umožňuje už spomenutý program Contec, ktorý ponúka aj niekoľko ďalších nástrojov. Patrí sem možnosť zostaviť typový sieťový graf zahrňujúci rôzne technológie, pričom pre činnosti vyskytujúce sa pri najčastejšie používanej technológii sa zadefinujú pomery, v akých sa na celkovej výstavbe podieľajú. Pri automatickej tvorbe časového plánu sa potom zadá

		2003																								
Index Dodav.	Název činnosti Smernosť	Pracovníkú	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
301	HĽOBENÉ VYKOPÁVKY 1 Administr. bud.	12	[Gantt chart bars for activity 301]																							
501	ROUBENÍ VYKOPÁVEK 1 Administr. bud.	2	[Gantt chart bars for activity 501]																							
601	PŘEMÍSTĚNÍ VÝKOPKU 1 Administr. bud.	2	[Gantt chart bars for activity 601]																							
701	NÁŠYPY A SKLÁDKY 1 Administr. bud.	1	[Gantt chart bars for activity 701]																							
752	ZHUT.A OČISTĚNÍ PODLOŽÍ 1 Administr. bud.	2	[Gantt chart bars for activity 752]																							
802	POLSTĚR ZÁKLADŮ 1 Administr. bud.	2	[Gantt chart bars for activity 802]																							
1102	ZÁKLADY 1 Administr. bud.	6	[Gantt chart bars for activity 1102]																							

Obr. 5. Časť harmonogramu postupu výstavby (Contec)

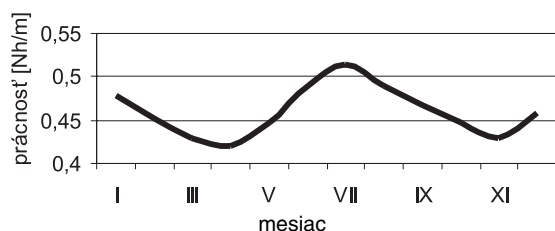
veľkosť objektu v stanovených merných jednotkách ( $m^3$  pre budovy,  $m^2$  pre plošné objekty,  $m$  pre líniové objekty) a prepočtom sa určí trvanie jednotlivých činností, tzn. že typový sieťový graf sa prispôsobuje veľkosti objektu. Týmto spôsobom je možné mimoriadne rýchlo získať prvý – orientačný návrh časového plánu výstavby (obr. 5), ktorý je možné po spresnení použiť na riadenie procesu výstavby. Uvedený program obsahuje tiež rozsiahle databázy stavebných činností, zdrojov, typových sieťových grafov a kontrol, ktoré výrazne uľahčujú tvorbu a aktualizáciu časových plánov vo všetkých štádiách prípravy stavby, pričom ponúka aj dostatočné možnosti na spracovanie údajov z týchto databáz. Napríklad pri výpočte trvania prác vychádza z noriem času (sú súčasťou databázy stavebných činností) a množstva prác (definovaného napr. v  $m^3$ ,  $m^2$ ,  $m$ ,  $t$ ), čo napriek tomu, že ide

o správny postup, väčšina spomínaných programov neumožňuje.

### Vplyv ročného obdobia

Proces výstavby je ovplyvnený množstvom rôznych faktorov, z ktorých niektoré sú počas výstavby stále a niektoré premenlivé. Stále faktory je možné pomerne presne definovať, napr. vplyv technologického parametra na prácnosť stavebného procesu je možné určiť z výkonnej normy, priestorový parameter a rozsah prác z projektovej dokumentácie a pod. Iná je však situácia pri premenlivých faktoroch, ku ktorým patria napr. faktory pracovného prostredia. Tieto sa počas výstavby menia (teplota, vietor, dážď a pod.), čo spôsobuje, že stavebný proces môže mať v rôznych obdobiach roka rôznu reálnu prácnosť. Prácnosť sa pritom môže v závislosti od zmeny faktorov pracovného prostredia meniť plynulo alebo skokom.

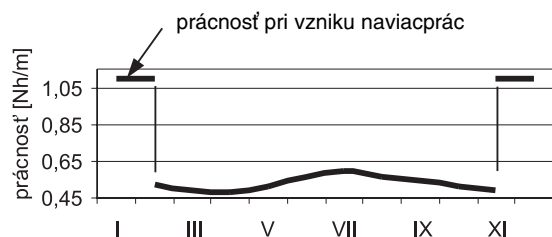
Plynulé zmeny prácnosti zapríčiňuje napríklad zmena teploty prostredia pôsobiaca na výkonnosť človeka. Na obrázku 6 je znázornený priebeh prácnosti v roku pre mon-



Obr. 6. Prácnosť pre montáž krovu

táž konštrukcií krovu sedlovej strechy, ktorej priemerná prácnosť je  $0,46 \text{ Nh}\cdot\text{m}^{-1}$  a reálna sa na základe výskumu pohybuje v rozmedzí 20 % priemernej. Na základe informácií tohto druhu pri automatickom spracovaní časových plánov je potrebné zostaviť databázu vplyvov pracovného prostredia na trvanie stavebných procesov, a po zadaní priemerných hodnôt pracovného prostredia (napr. priemerných teplôt v jednotlivých mesiacoch) by mohol program automaticky upraviť trvanie stavebného procesu podľa obdobia, v ktorom sa bude realizovať, čím dospeje k reálnejším výsledkom (uvedená problematika je v štádiu výskumu) [2].

Pracovné prostredie môže v určitých situáciách vyvolať aj nárast prácnosti „skokom“ (obr. 7), napríklad ak vznikne



Obr. 7. Prácnosť pre betonáž

potreba prác navyč (ohrev konštrukcie pri betonáži za nízkych teplôt, zakrývanie konštrukcie ako ochrana pred dažďom, pri rozpojovaní zamrzutej zeminu a pod.). Vyžaduje to určiť procesy, ktoré sú takýmto spôsobom pracovným prostredím ovplyvnené, ako aj definovať nárast ich prácnosti. K tomu je k dispozícii dostatok informácií, žiaľ ponúkané programy ich neumožňujú využívať pri automatickom návrhu časového plánu.

Pracovné prostredie ovplyvnené ročným obdobím môže tiež spôsobiť, že stavebný proces sa za určitých podmienok

nedá realizovať (napr. maľovanie a natieranie nechránených plôch za dažďa alebo pri nízkych teplotách). Túto situáciu programy na spracovanie časových plánov umožňujú zohľadniť aj pri automatickom návrhu, a to napríklad tým, že procesy, ktoré sa nedajú realizovať pre nepriaznivé ročné obdobie, program automaticky presúva do najbližšieho vhodného obdobia.

### Aktualizácia časových plánov

Pri realizácii každej stavby sa vyskytuje množstvo udalostí, ktoré ohrozujú presné plnenie navrhnutého plánu výstavby. Niektoré z nich (ako príčiny porúch jej priebehu) je možné predvídať, ale časť z nich má vyslovene náhodný charakter (dodatočné zmeny projektu, nedodržanie termínov inými dodávateľmi, finančné problémy stavebníka a pod.). Na zvyšovanie presnosti pri spracovaní časových plánov výstavby je možné definovať tieto náhodné faktory ako stochastické veličiny. Niektoré programy na tvorbu časových plánov (napr. Microsoft Project, Contec) počítajú aj s týmito vplyvmi a ponúkajú podporu pre spracovanie plánov so stochasticky definovanými vstupnými údajmi. Vzhľadom na značnú prácnosť zostavovania vstupných údajov sa takéto časové plány v praxi zatiaľ nepoužívajú a rôzne náhodné vplyvy na proces výstavby a vyvolané odchýlky od plánovaného postupu sa riešia až pravidelnou aktualizáciou časových plánov.

Aktualizácia pozostáva v zhromaždení informácií o skutočnom priebehu výstavby a ich zaznamenaní do pôvodného plánu. Následne sa musí vyhodnotiť nový stav, prípadne navrhnúť opatrenie na elimináciu nepriaznivého priebehu, ak by mohol viesť k nedodržaniu dohodnutých termínov (napr. návrh nových termínov, hľadanie nových zdrojov, výber ďalších subdodávateľov). Aktualizáciu umožňuje v rôznej miere každý program na časové plánovanie, i keď automatický návrh technologicky zdôvodniteľných opatrení aspoň v podobe zvýšenia počtu pracovníkov v čase ponúka z uvedených programov len Contec. Pravidelnou aktualizáciou sa tak nielen v dostatočnom predstihu môžu odhaliť riziká v nedodržaní dohodnutých termínov, ale aj následne zvrátiť nepriaznivý vývoj.

### Záver

Rozšíreniu využívania časových plánov výstavby výrazne prispieva automatizácia ich tvorby príslušnými programami. Návrh časových plánov modelujúcich reálne podmienky výstavby je veľmi komplikovanou úlohou, ktorú počítače zatiaľ neumožňujú zvládnuť v plnom rozsahu. Niektoré programy však ponúkajú nástroje a databázy údajov umožňujúce rýchly návrh orientačných časových plánov výstavby. Tieto po dopracovaní vplyvu predvídateľných faktorov na proces výstavby vytvoria predpoklady umožňujúce priblížiť sa reálnym podmienkam na stavenisku, i keď bude aj naďalej potrebná ich aktualizácia počas realizácie stavby.

### Literatúra

- [1] Jarský, Č.: Automatizovaná príprava a řízení realizace staveb. Praha, Čeněk Jarský 2000.
- [2] Makýš, P.: Preparation of Input Data for Stochastic Outlines of Procedures. Slovak Journal of Civil Engineering, **10**, 2002, No. 2, pp. 21–26.
- [3] STN EN ISO 9001. Systémy manažérstva kvality. Požiadavky. Bratislava, Slovenský Ústav technickej normalizácie 2001.

**Makýš, P.: Automation of Construction Scheduling**

This article deals with construction scheduling, evaluation of the current situation and possibilities for automation in the creation and update of time plans, while respecting the influence of the work environment on the duration of building processes.

**Makýš, P.: Automatisierung der Bauablaufplanung**

Der Artikel befasst sich mit der Problematik der Bauablaufplanung, der Auswertung aktueller Situationen, mit Möglichkeiten der Automatisierung der Bauablaufplanung, mit dem Entwurf und der Aktualisierung der Bauablaufplanung, bei Berücksichtigung von Einflüssen der Arbeitsumwelt auf die Dauer der Bauprozesse.

Česká stavební společnost ČSVTS  
Vědeckotechnická společnost pro sanace staveb  
a péči o památky WTA  
Kloknerův ústav ČVUT



pořádají



26. konferenci

**SANACE A REKONSTRUKCE STAVEB****23. – 24. listopadu 2004**

Kongresový sál Masarykovy koleje, Thákurova 1,  
Praha 6

[www.wta.cz](http://www.wta.cz)**V roce 2004**

slaví

**VYDAVATELSTVÍ**

Českého vysokého učení technického v Praze

**40 LET SVÉ EXISTENCE.**

Vydavatelství ČVUT zajišťuje

pro studenty, zaměstnance,  
ale i širokou odbornou veřejnost  
výrobu učebních textů – skript a monografií,  
audiovizuálních a multimediálních programů,  
propagačních materiálů a univerzitních časopisů.

Všechny tyto produkty nabízí  
ve své prodejně technické literatury,  
která patří k největším v České republice.

Bližší informace na  
[www.cvut.cz/cz/parts/PH.html](http://www.cvut.cz/cz/parts/PH.html)

nebo

na tel.: 233 051 143

e-mail: [smoliko@vc.cvut.cz](mailto:smoliko@vc.cvut.cz)



# EACWE 4

.....

**Prague, Czech Republic, 11 – 15 July, 2005**

**The Fourth European & African Conference on Wind Engineering**

The Conference represents a continuation to the series of conferences held at Guernsey 1993, Genova 1997 and Eindhoven 2001. The EACWE 4 is organised by:

- International Association of Wind Engineering (IAWE)
- **Institute of Theoretical and Applied Mechanics**, Academy of Sciences of the Czech Republic
- Faculty of Civil Engineering and Klokner Institute of the Czech Technical University
- Czech Society for Mechanics
- Engineering Academy of the Czech Republic

#### □ **Topics to be discussed**

- Wind climate and structure; Boundary layer, gradient, turbulence, 3D effects; Flow fields, dispersion.
- Static & dynamic wind load; Snow loading/drift; Windstorm disaster; Combined wind-rain effects.
- Dynamics of structures - linear/non-linear; Random vibration due to wind; Stochastic mechanics.
- Bluff body aerodynamics; Aeroelasticity - flow and structure interaction, response stability.
- Computational fluid dynamics and wind engineering; Simulations, informatics in wind engineering.
- Experimental methods, facilities and devices; Wind tunnel measurements; Design of models; Full scale measurements; On/off-line data processing, filtering and mining.
- Vibration control and suppression passive/active; Monitoring of structures, identification, reliability; Material properties and behaviour under wind load.
- Urban wind problems; Human comfort, pedestrian wind environment; Dispersion of pollutants.
- Wind energy; Wind turbines – design/dynamics /testing.
- Highway/railway/pedestrian bridges; Towers, masts, chimneys, cooling towers; High/low-rise buildings, cables, roofs; Offshore structures.
- Benchmarks, case studies, standards and codes, limit states of structures under wind load.

#### □ **Venue**

The EACWE4 will be held in Prague, the capital of the Czech Republic. The Conference will take place at the Conference Centre of the Czech Technical University, at the Krystal Hotel.

#### □ **Submission of Papers**

Papers of theoretical (analytical/numerical), experimental (laboratory/in-situ) or applied (civil/ maritime/offshore, etc.) character are welcome. Summary in English (approx. 200 words) is requested from those who would like to present a paper. It should be sent either via e-mail in PDF format to the contact e-mail address (preferable method) or by regular mail (contact address - see below)

**before 30 June 2004.**

The papers accepted for presentation will be published in the EACWE 4 Conference Proceedings. Each paper will be published in the form of an extended abstract (2 pages) in the Book of Extended Abstracts, while its full text version (6 to 12 pages) will appear at a CD ROM.

#### □ **Contact Address:**

**Conference Chairman: Dr. Jiří Náprstek**  
**Institute of Theoretical and Applied Mechanics**  
 Prosecká 76  
 CZ-19000 Prague 9  
 Czech Republic

Tel: +420-286 892 515, +420-286 882 121  
 Fax: +420-286 884 634  
 e-mail: [eacwe2005@itam.cas.cz](mailto:eacwe2005@itam.cas.cz)  
 WWW page: <http://www.itam.cas.cz/eacwe2005>



# STAVEBNÍ OBZOR

## ROČNÍK 13 ČÍSLO 09/2004

### Navigace v dokumentu

#### OBSAH

Kuklík, P. – Masopust, J. – Mühl, J. – Sehnoutek, L. <b>Statické zatěžovací zkoušky základové půdy tuhou deskou v hlubokých jamách</b>	<b>257</b>
Vaněk, T. <b>Zbytečné snižování spolehlivosti betonových staveb</b>	<b>262</b>
Gramblička, M. – Šejnoha, M. – Pruška, J. <b>Numerické modelování tunelu v programu GEO MKP</b>	<b>265</b>
Semerák, P. – Vodák, F. – Vrána, T. <b>Metoda měření délky indukční periody tuhnutí cementové pasty</b>	<b>272</b>
Beran, V. <b>Udržitelný rozvoj a dlouhodobě udržitelné hodnoty investičního díla</b>	<b>274</b>
Záleský, J. – Bubeníček, M. <b>Přístroje a příklady sledování svahových pohybů</b>	<b>279</b>
Somolová, A. – Zeman, J. <b>Homogenizace prizmatické konzoly</b>	<b>282</b>

**9 • 2004**

**ročník 13**

# STAVEBNÍ OBZOR

pozemní stavby  
dopravní stavby  
vodohospodářské stavby  
geotechnika  
konstrukce a materiály  
technologie  
životní prostředí  
geodézie a kartografie  
mechanizace  
informatika  
ekonomika  
software



Fakulta stavební  
ČVUT v Praze



Česká komora autorizovaných  
inženýrů a techniků



Český svaz  
stavebních inženýrů



Fakulta stavební  
VUT v Brně



Fakulta stavební  
VŠB TU-Ostrava

**OBSAH**

Kuklík, P. – Masopust, J. – Mühl, J. – Sehnoutek, L.

**Statické zatěžovací zkoušky základové půdy tuhou deskou v hlubokých jamách . . . . . 257**

Vaněk, T.

**Zbytečné snižování spolehlivosti betonových staveb . . . . . 262**

Gramblička, M. – Šejnoha, M. – Pruška, J.

**Numerické modelování tunelu v programu GEO MKP . . . . . 265**

Semerák, P. – Vodák, F. – Vrána, T.

**Metoda měření délky indukční periody tuhnutí cementové pasty . . . . . 272**

Beran, V.

**Udržitelný rozvoj a dlouhodobě udržitelné hodnoty investičního díla . . . . . 274**

Záleský, J. – Bubeníček, M.

**Přístroje a příklady sledování svahových pohybů . . . . . 279**

Somolová, A. – Zeman, J.

**Homogenizace prizmatické konzoly . . . . . 282**

**CONTENTS**

Kuklík, P. – Masopust, J. – Mühl, J. – Sehnoutek, L.

**Structural Loading Tests of Subsoil by a Rigid Slab in Deep Pits . . . . . 257**

Vaněk, T.

**Counterproductive Reliability Reduction of Concrete Constructions . . . . . 262**

Gramblička, M. – Šejnoha, M. – Pruška, J.

**Numeric Modelling of a Tunnel in GEO MKP . . . . . 265**

Semerák, P. – Vodák, F. – Vrána, T.

**A Method of Measurement of the Induction Period Length of Cement Paste Hardening . . . . . 272**

Beran, V.

**Sustainable Developemnt and Sustainable Values of a Capital Construction Project . . . . . 274**

Záleský, J. – Bubeníček, M.

**Technical Equipment and Examples of the Monitoring of Slope Movements . . . 279**

Somolová, A. – Zeman, J.

**Homogenization of a Heterogeneous Cantilever . . . . . 282**

**INHALT**

Kuklík, P. – Masopust, J. – Mühl, J. – Sehnoutek, L.

**Statische Belastungsprüfungen des Baugrunds mit einer steifen Platte in tiefen Gruben . . 257**

Vaněk, T.

**Unnötige Herabsetzung der Sicherheit von Betonbauten . . . . . 262**

Gramblička, M. – Šejnoha, M. – Pruška, J.

**Numerische Modellierung eines Tunnels im Programm GEO MKP . . . . . 265**

Semerák, P. – Vodák, F. – Vrána, T.

**Verfahren zur Messung der Länge der Induktionsperiode der Erhärtung einer Zementpaste . . . . . 272**

Beran, V.

**Nachhaltige Entwicklung und langfristig nachhaltige Werte eines Investitionsobjektes . . . . 274**

Záleský, J. – Bubeníček, M.

**Instrumente und Beispiele der Beobachtung von Hangbewegungen . . . . . 279**

Somolová, A. – Zeman, J.

**Homogenisierung einer prizmatischen Konsole . . . . . 282**

**REDAKČNÍ RADA****Předseda:**

prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.

**Místopředseda:**

doc. Ing. Alois MATERNA, CSc.

**Členové:**

Ing. Miroslav BAJER, CSc.

doc. Ing. Pavel HÁNEK, CSc.

Ing. Jiří HIRŠ, CSc.

doc. Ing. Vladimír JELÍNEK, CSc.

Ing. Jana KORYTÁROVÁ, PhD.

Ing. Karel KUBEČKA

Ing. Petr KUNEŠ, CSc.

doc. Ing. Ladislav LAMBOJ, CSc.

doc. Ing. Ivan MOUDRÝ, CSc.

doc. Ing. Jaroslav NOVÁK, CSc.

doc. Ing. Luděk NOVÁK, CSc.

doc. Ing. Miloslav PAVLÍK, CSc.

prof. Ing. J. PROCHÁZKA, CSc.

Ing. Vlastimil ROJÍK

Ing. Karel SVOBODA

doc. Dr. Ing. Miloslav ŠLEZINGR

Ing. Ludvík VÉBR, CSc.

doc. Ing. Josef VITÁSEK, CSc.

prof. Ing. Jiří WITZANY, DrSc.

Ing. Renata ZDAŘILOVÁ

**STAVEBNÍ OBZOR**, odborný měsíčník, vydává Fakulta stavební ČVUT Praha společně s Fakultou stavební VUT Brno, Fakultou stavební VŠB TU Ostrava, Českou komorou autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě a Českým svazem stavebních inženýrů. Řídí redakční rada, vedoucí redaktorka Marcela Klímová. Adresa redakce: Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel./fax: 224 354 596, klimova@fsv.cvut.cz, http://web.fsv.cvut.cz/obzor. Vychází každý měsíc kromě července a srpna, cena za výtisk je 40 Kč včetně DPH (+ poštovné a balné). Objednávky odběru i reklamace přijímá Ing. Milan Gattringer, MG DTP, Borovanská 3388, 143 00 Praha 4, tel./fax: 241 770 220, e-mail: mgdtp@volny.cz. Odběr je možné zrušit až po vyčerpání zaplaceného předplatného. Inzerce adresujte redakci. Technická redakce a realizace: Ing. Milan Gattringer. Podávání novinových zásilek povoleno Ředitelstvím pošt Praha, č. j. NP 144/1994, ze dne 21. 10. 1994. Do sazby 12. 10. 2004. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

**INDEX 47 755, ISSN 1210-4027**

## Statické zatěžovací zkoušky základové půdy tuhou deskou v hlubokých jamách

*doc. Ing. Pavel KUKLÍK, CSc.  
Ing. Luděk SEHNOUTEK  
ČVUT – Fakulta stavební, Praha*

*doc. Ing. Jan MASOPUST, CSc.  
FG Consult, spol. s r. o., Praha*

*Ing. Jiří MÜHL  
Zakládání staveb, a. s., Praha*

Článek se zabývá zpětnou analýzou statické zatěžovací zkoušky tuhou deskou. Zkouška je vyhodnocena jednak podle ČSN 73 6190 [7], jednak je zde prezentován nestandardní způsob vyhodnocení. Zatímco norma vychází z teorie Boussinesqova poloprostoru, nestandardní způsob je založen na teorii pružné vrstvy řešené ve Westergardově duchu. Tloušťka pružné vrstvy je stanovena v závislosti na geostatické napjatosti, hloubce stavební jámy a úrovní při zkoušce aplikovaného zatížení.

### Úvod

V souvislosti s výstavbou rozsáhlých objektů s hlubokými suterény a základovými deskami ve stavebních jamách je třeba řešit mnoho statických i technologických problémů, jež se projeví při výstavbě v podstatě všech těchto objektů např. v Praze v posledních deseti letech. Základové desky bývají založeny plošně, zvláště v prostředí terasových sedimentů tvořených silně ulehými štěrky, nebo dokonce v poloskalním podloží, jež je většinou tvořeno ordovickými břidlicemi různých vrstev. V některých případech, zvláště tehdy, je-li základová deska zatížena značným soustředěným zatížením ze sloupů velkých modulových roztečí, navrhuje se hlubinné založení této desky, a to zejména z ekonomických důvodů, kdy o ceně zakládání rozhoduje v podstatě objem betonu uloženého do základů (desky i pilot). Tato soustředěná zatížení lze pak přenést přímo do vrtných velkopřůměrových pilot, a tím tloušťku desky výrazně zeslabit. V obou těchto skupinách případů se základové desky nacházejí většinou pod hladinou podzemní vody (nebo alespoň v jejím dosahu), jsou značně citlivé na vznik trhlin, jež vedou k průsakům podzemní vody do suterénu, a jsou tak zdrojem častých reklamací.

Skutečné chování základových desek závisí tedy jak na jejich geometrii (půdorysných rozměrech a tloušťce), na způsobu jejich podepření (vlastnostech základové půdy, vlastnostech a deformačních parametrech hlubinných základů) a na způsobu jejich zatížení, jež kromě pozitivního (z horní stavby) může být tvořeno i proměnným negativním zatížením (vztlak podzemní vody), tak na způsobu vyztužení desky a jejím smršťování již v průběhu hydratace

betonu. Pro důkladné řešení této problematiky byl získán grant GA ČR č.103/04/1134: Základové desky pod hladinou podzemní vody. Příspěvkem k řešení uvedené problematiky jsou výsledky měření deformačních vlastností základové půdy na vybraném staveništi AB Těšnov v Praze a jejich analýza.

### Geotechnické poměry na staveništi

Objekt o půdorysných rozměrech  $95 \times 35$  m má suterénní část hlubokou 12 až 13 m tvořenou podzemními stěnami tl. 0,80 m realizovanými z předvýkopu hl. kolem 2 m zapaženého záporovým pažením, popř. vysvahovaného. Základová spára objektu se nachází ve vrstvě zahliněných štěrků tř. G4 ulehých a zvodnělých, náležejících k údolní (Malínské) terase, jejichž zbývající mocnost (po výkopu) je 2 až 3 m, přičemž jejich podloží tvoří navětralé břidlice ordovického stáří (vrstvy zahořanské a chlustínské), tř. R5, jež cca po 2 m přecházejí do břidlic třídy R4. Hladina podzemní vody je v úrovni asi 2 m nad povrchem základové desky, nicméně její přítok do stavební jámy je výrazně omezen vetknutím obvodových stěn do málo propustného poloskalního podloží.

Pro ověření deformačních vlastností základové půdy, tvořené ulehými štěrky, a stanovení hloubky deformační zóny byly navrženy polní zkoušky – statické zatěžovací zkoušky tuhou deskou. Ke zjištění hloubky deformační zóny byly použity dvě desky – větší o ploše  $0,5 \text{ m}^2$ , tj. o průměru  $d = 798 \text{ mm}$ , a menší klasická deska o ploše  $0,1 \text{ m}^2$ , která umožňuje značné převýšení kontaktního napětí.

### Postup zkoušek

Účinnost hutnění základové půdy tvořené štěrky, zejména však vlastnosti této základové půdy, byly ověřovány statickou zatěžovací zkouškou podle staré normy [7]. Původně bylo plánováno provedení šesti zkoušek tuhou deskou o ploše  $A = 0,5 \text{ m}^2$ , uskutečnila se však pouze jedna a další dvě zkoušky deskou s plochou  $A = 0,1 \text{ m}^2$ . Důvodem byla nepatrná deformace (1,27 mm) dosažená při zkoušce deskou s  $A = 0,5 \text{ m}^2$  při max. kontaktním napětí  $\sigma = 366 \text{ kPa}$ . Další dvě zkoušky byly realizovány deskou s  $A = 0,1 \text{ m}^2$  při dosažení maximálního kontaktního napětí  $\sigma = 1,8 \text{ MPa}$  a celkového sedání desky 7,16 mm, resp. 8,36 mm.

Ocelová deska o průměru  $d = 798$  mm (resp.  $d = 357$  mm), tl. 40 mm (resp. 20 mm) s osmi výztuhami a středním dílem výšky 50 mm o průměru 150 mm byla položena na základovou půdu, přičemž případné nerovnosti byly vyrovnány vrstvou řídké sádry tl. 2 mm. Zatěžoval ji hydraulický lis kapacity 5,0 MN o zdvihu 80 mm vzepřený (přes ocelové tuhé podložky a kulový kloub) o střed nápravy hydraulického bagru hmotnosti přes 22 t. Tím byla k dispozici maximální síla 180 kN, která mohla být aplikována na zatěžovací desku. Prostřednictvím kulového kloubu se do jisté míry vyrovnávalo naklánění protizátěže. Kolmo na podélnou osu bagru byl cca 0,3 m vedle svislé osy lisu upevněn vodorovný ocelový měřický nosník délky 5 m, který byl ve vzdálenosti 2 m od osy lisu (na obě strany) uložen na dvě ocelové tyče zaražené do země. Tento nosník byl považován za referenční vzhledem k deformacím zatěžovací desky. Byl opatřen čtyřmi elektronickými čidly snímajícími svislé deformace povrchu ocelové desky ve dvou protilehlých bodech po obvodu této desky. Další dva snímače byly osazeny na povrch základové půdy ve vzdálenosti 0,40 m (0,35 m) na jedné straně desky a 1,20 m (resp. 0,70 m) na druhé straně desky. Možný rozsah měřených deformací je 60 mm (bez přestavení), přesnost odečítání je 0,01 mm. Čidla byla napojena na řídicí počítač a deformace na jednotlivých čidlech automaticky snímány v intervalu pět minut a zaznamenány. Výsledná deformace desky byla uvažována aritmetickým průměrem obou protilehlých čtení. Vlastní zkoušky proběhly ve dnech:

- 5.5.2004 Z1 (deska  $A = 0,5$  m<sup>2</sup>),
- 11.5.2004 Z2, Z3 (deska  $A = 0,1$  m<sup>2</sup>).

Všechny tři zkoušky byly situovány v jižní části jámy na úrovni cca 177,30 m n. m., přičemž mocnost ztuhnutých štěrků (po úroveň skalního podloží) dosahovala 1,80 až 2,00 m.

### Fáze a výsledky měření

Zkouška Z1 deskou s plochou  $A = 0,5$  m<sup>2</sup> (tab. 1) probíhá v těchto fázích:

- 1. zatěžovací stupeň  $F = 50$  kN  $f_z = 100$  kPa
- 2. zatěžovací stupeň  $F = 100$  kN  $f_z = 200$  kPa
- 1. odlehčovací stupeň  $F = 0$   $f_z = 0$
- 3. zatěžovací stupeň  $F = 150$  kN  $f_z = 300$  kPa
- 4. zatěžovací stupeň  $F = 183$  kN  $f_z = 366$  kPa
- 2. odlehčovací stupeň  $F = 0$   $f_z = 0$

Zkoušená zemina má charakter slabě jílovitých štěrků, tj. odpovídá přibližně zemině tř. G3 až G4, jejíž Poissonovo číslo  $\nu = 0,25$  (až 0,30). Vzhledem k velmi malé deformaci desky byly následující zkoušky realizovány s deskou o ploše  $A = 0,1$  m<sup>2</sup> (tab. 2, tab. 3).

### Standardní vyhodnocení statického modulu deformace

Základní veličinou je statický modul deformace  $E_0$ , jež se pro statickou zatěžovací zkoušku s malou deskou ( $A = 0,1$  m<sup>2</sup>) stanoví ze vzorce

$$E_0 = \pi/2 \cdot (1 - \nu^2) \cdot (f_z \cdot r/s_{\text{tot}}), \quad (1)$$

kde  $\nu$  je Poissonovo číslo zkoušené základové půdy;

$f_z$  – kontaktní napětí v základové spáře tuhé desky, které pro malou desku je omezeno velikostí cca 0,40 MPa;

$r$  – poloměr zatěžovací desky ( $r = 0,1785$  m,  $r = 0,399$  m);

$s_{\text{tot}}$  – celková průměrná deformace desky pro příslušný zatěžovací stupeň.

Tab. 1. Výsledky statické zatěžovací zkoušky Z1 tuhou deskou  $A = 0,5$  m<sup>2</sup>

Síla $F$ [kN]	Plošné zatížení $f_z$ [kPa]	Doba zatěžování (odlehčování) [min]	Deformace
			průměr sedání desky [mm]
50	100	15	0,60
100	200	15	0,70
–	–	15	0,69
150	300	20	1,11
183	366	20	1,27
–	–	15	1,15

Tab. 2. Výsledky statické zatěžovací zkoušky Z2 tuhou deskou  $A = 0,1$  m<sup>2</sup>

Síla $F$ [kN]	Plošné zatížení $f_z$ [kPa]	Doba zatěžování (odlehčování) [min]	Deformace
			průměr sedání desky [mm]
10	100	20	0,44
20	200	15	0,71
40	400	25	1,28
–	–	15	0,61
60	600	30	1,80
70	700	15	2,26
80	800	15	2,40
90	900	15	2,63
100	1 000	15	3,15
120	1 200	15	3,93
140	1 400	40	5,44
–	–	15	3,44
160	1 600	45	6,91
180	1 800	30	8,36
–	–	20	5,90

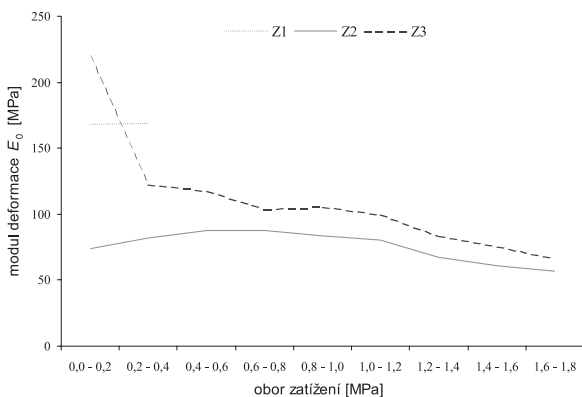
Tab. 3. Výsledky statické zatěžovací zkoušky Z3 tuhou deskou  $A = 0,1$  m<sup>2</sup>

Síla $F$ [kN]	Plošné zatížení $f_z$ [kPa]	Doba zatěžování (odlehčování) [min]	Deformace
			průměr sedání desky [mm]
10	100	20	0,00
20	200	25	0,24
40	400	15	0,86
60	600	15	1,34
–	–	15	0,57
80	800	25	2,02
100	1 000	15	2,49
–	–	10	1,31
120	1 200	30	3,15
140	1 400	30	4,41
–	–	10	2,65
160	1 600	30	5,60
180	1 800	40	7,12
–	–	20	3,02

S odvozením vzorce se můžeme podrobně seznámit např. v [1]. Statický modul pružnosti základové půdy  $E_p$  lze stanovit stejným způsobem jako modul deformace  $E_0$  a vypočítat ze vzorce

$$E_p = \pi/2 \cdot (1 - \nu^2) \cdot (f_z \cdot r/s_e),$$

kde  $s_e$  je průměrné pružné zatlačení desky při zatěžovací zkoušce. Pomocí vztahu (1) vypočteme velikost modulů deformace základové půdy. Výsledky graficky zachycuje obr. 1.



Obr. 1. Velikost modulů deformace  $E_0$  pro různé obory napětí z výsledků zkoušek  $Z_1, Z_2, Z_3$

Pro potřebu budoucí nestandardní analýzy uvádíme ještě velikost modulů deformace, a to pro zkoušku Z2:

obor zatížení 1 000–1 200 kPa	$E_0 = 80,31$ MPa
obor zatížení 1 200–1 400 kPa	$E_0 = 67,68$ MPa
obor zatížení 1 400–1 600 kPa	$E_0 = 60,90$ MPa

Obdobně pro zkoušku Z3:

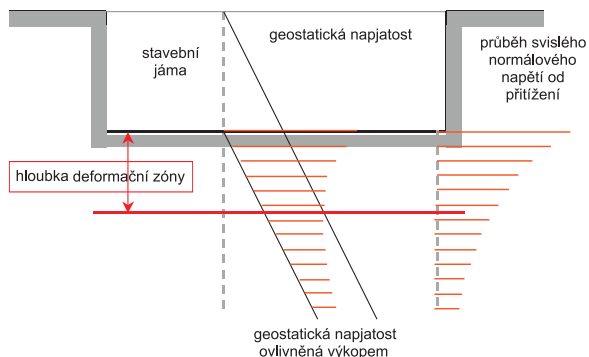
obor zatížení 1 000–1 200 kPa	$E_0 = 100,19$ MPa
obor zatížení 1 200–1 400 kPa	$E_0 = 83,49$ MPa
obor zatížení 1 400–1 600 kPa	$E_0 = 75,14$ MPa

Podrobně pro všechna rozmezí kontaktního napětí jsou hodnoty uvedeny v [2].

### Nestandardní vyhodnocení statických zatěžovacích zkoušek

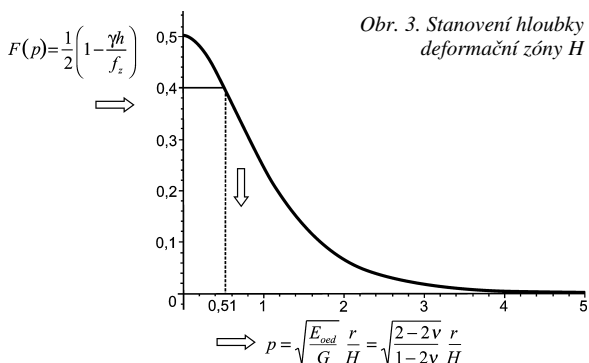
#### Teorie s uvažováním vlivu tloušťky deformační zóny

K ověření či získání geotechnických parametrů v podzákladí se používá statická zatěžovací zkouška tuhou deskou [3], [4]. Z měřené relace mezi zatížením a sedáním (pracovní diagram desky) můžeme zpětně počítat parametry podloží. Zjišťujeme modul pružnosti  $E_p$ , modul deformace  $E_0$  ( $E_{def}$ ) a součinitel příčné kontrakce  $\nu$ . Při výpočtu sedání základu se dosud většinou vycházelo z Boussinesqovy teorie pružného poloprostoru. Jelikož však zároveň standardy doporučují uvážit vliv deformační zóny, je tento přístup určitým způsobem rozporuplný. Tento rozpor odstraníme, použijeme-li k výpočtu sedání, tedy i stanovení hloubky deformační zóny, teorii pružné vrstvy. Je však třeba zvolit ideu, podle které hloubku deformační zóny stanovíme. V našem případě vycházíme z toho, že zemina je konsolidována, po vykopání stavební jámy překonsolidována geostatickou napjatostí. Řídící myšlenka pro její stanovení je tedy podmínka, že geostatická napjatost ovlivněná výkopem spolu s vlivem zatížení dosáhne geostatické napjatosti původní. Tuto skutečnost přibližuje obr. 2.



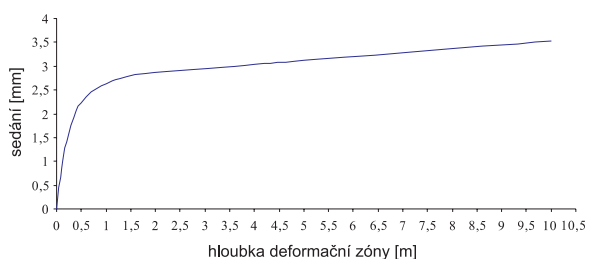
Obr. 2. Základní myšlenky pro stanovení hloubky deformační zóny

Analytické řešení pružné vrstvy můžeme provést Kantovíčovou metodou, jestliže zanedbáme vodorovná posunutí. Říkáme též, že řešení jsme provedli ve Westergardově duchu. Se základními principy a postupem odvození se můžeme seznámit v [5]. Zanedbáme-li při řešení vodorovná posunutí, je podloží tužší než skutečně a v důsledku toho jsou i vypočtená napětí větší než ve skutečnosti. Sledujeme-li vytyčenou myšlenku (obr. 2), je zřejmé, že při určování hloubky deformační zóny dostaneme hodnotu vyšší, tudíž určitý horní odhad. Řešení hloubky deformační zóny pro nenasyčenou zeminu, kdy konstantní plošné zatížení působí v kruhu na povrch vrstvy, zachycuje obr. 3. Odvození a graf byly poprvé publikovány v [6].



Obr. 3. Stanovení hloubky deformační zóny  $H$

Abychom přiblížili, a zároveň vyzdvihli vliv deformační zóny, použili jsme profesionální kód ADINA a pro tuhou kruhovou desku zjišťovali vliv deformační zóny na sedání. Pro možnost zpětné analýzy jsme zvolili průměr desky  $d = 0,357$  m, plošné zatížení  $f_z = 1\,000$  kPa a parametry zeminy  $E_0 = 80$  MPa,  $\nu = 0,25$ . Výsledky zachycuje obr. 4.



Obr. 4. Vliv hloubky deformační zóny na sedání

Dvě skutečnosti, patrné z tohoto obrázku, stojí za připomenutí. Za prvé je vidět, že pokud deformační zóna dosáhne dvojnásobku až trojnásobku průměru desky, je další přírůstek sedání vlivem zvětšení deformační zóny poměrně malý. Za druhé, vzrůstá-li hloubka deformační zóny neomezeně, není ani průhyb konečný. Dlužno podotknout, že v našem

případě je součinitel příčné kontrakce  $\nu = 0,25$ , zatímco klasické Boussinesqovo řešení je odvozeno pro  $\nu = 0,50$ . Jestliže druhé konstatování má význam víceméně teoretický, nesmíme opomenout, že z prvního konstatování vyplývá, že **není-li hloubka deformační zóny dostatečně velká, nemůžeme používat vzorce odvozené Boussinesqem**. Co se hloubky deformační zóny týče, lze analyticky odvodit, že závisí:

- na velikosti zatížení, tj. s rostoucím zatížením narůstá;
- **na překonsolidaci zeminy**, potažmo na hloubce výkopu. Čím hlubší výkop, tím pro jinak stejné podmínky klesá hloubka deformační zóny;
- na velikosti plochy (např. poloměru kruhu), kterou se zatížení do podloží přenáší. Je-li intenzita zatížení stejná, tak zatížení působící na větší ploše má vliv do větší hloubky.

Asi by nedělal potíže potvrdit výše zmíněná konstatování technickým citem. Připravujeme-li zatěžovací zkoušku tuhou kruhovou deskou v hluboké jámě a chceme-li využít známou teorii pružného poloprostoru, musíme mít výše zmíněná fakta, zejména druhé tvrzení, na mysli. Znamená to, že pro daný či zvolený poloměr kruhu musíme mít připraveno „závaží“. Jestliže plošné zatížení desky nestačí, aby deformační zóna sahala do hloubky minimálně čtyř poloměrů  $H = 4r$ , je třeba provést zpětnou analýzu (vyhodnocení zkoušky) nestandardně.

#### ■ Vyhodnocení zatěžovací zkoušky Z1 s uvažováním vlivu deformační zóny

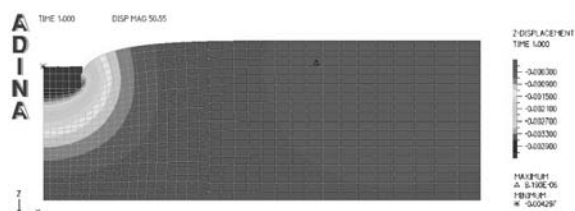
V lokalitě Těšnov ve stavební jámě hluboké 12 m jsme v rámci řešení grantové úlohy provedli zatěžovací zkoušky tuhou deskou. V případě Z1 měla zatěžovací deska plochu  $A = 0,5 \text{ m}^2$  (poloměr  $r = 0,399 \text{ m}$ ), ve zbývajících případech Z2, Z3 byla plocha pětinová  $A = 0,1 \text{ m}^2$  (poloměr  $r = 0,1785 \text{ m}$ ). Zkoušky byly standardně vyhodnoceny. Pro větší poloměr desky bylo konstatováno, že získané údaje jsou nereálné. Podívejme se na tyto výsledky z pohledu teorie, která započítává hloubku deformační zóny a uvažuje překonsolidaci zeminy vlivem geostatické napjatosti.

Požadujeme, aby hloubka deformační zóny pro desku menšího poloměru dosáhla dvojnásobku průměru, tj.  $H = 4 \times 0,1785 = 0,7140 \text{ m}$ . Pro součinitel příčné kontrakce  $\nu = 0,25$  dopočteme parametr  $p = 0,433$  (budeme postupovat opačně, než je naznačeno v grafu na obr. 3). Této hodnotě přiřadíme hodnotu funkce  $F(p) = 0,422$ . Uvažujeme-li pro jámu hloubky 12 m vliv vlastní tíhy zeminy, odhadujeme  $\gamma h = 220 \text{ kPa}$ , potom musíme na desku působit spojitým plošným zatížením  $f_z = 1\,400 \text{ kPa}$ . V rámci podrobnější analýzy jsme pro menší desku, dané zatížení a známou hloubku deformační zóny dopočítali sedání softwarem ADINA 8.1. Modul deformace jsme v souladu s vyhodnocením zkoušky zvolili  $E_0 (E_{\text{def}}) = 64,3 \text{ MPa}$ . Pro úplnost opět připomínáme uvažovanou hodnotu součinitele příčné kontrakce  $\nu = 0,25$ . Výsledek výpočtu je uveden v obr. 5.

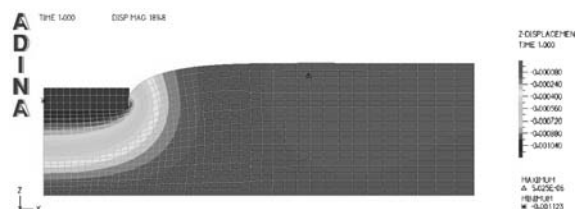
Vidíme, že naměřené sedání 5,44 mm je větší než vypočtené 4,30 mm. To lze vysvětlit tím, že hloubka deformační zóny plně nedosahuje hodnoty, aby se zadání blížilo pružnému poloprostoru. Naopak, podíváme-li se na velikost modulu deformace, který byl získán podle teorie pružného poloprostoru, jenž je ve skutečnosti poddajnější než vrstva, musí tento být mírně nadhodnocen. V souladu s uvedeným komentářem jsme museli výpočtem získat hodnotu menší než skutečně naměřenou. V úvodu zpětné analýzy jsme naznačili, jak hloubka deformační zóny ovlivňuje výpočet sedání. Dá se konstatovat, že v případě menší desky jsou úrovně zatížení „téměř dostatečné“, a tudíž takto získané

parametry se nebudou výrazně lišit od skutečnosti. Naopak, v případě velké desky tomu tak není a zpětná analýza parametrů standardním způsobem nemůže poskytnout spolehlivý výsledek.

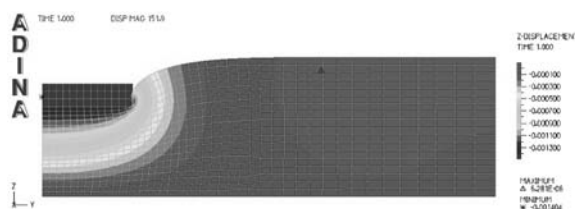
Nejvyšší zatížení, kterého bylo pro desku poloměru  $r = 0,399 \text{ m}$  dosaženo, bylo  $f_z = 366 \text{ kPa}$ . Zjistili bychom (obr. 3), že horní odhad hloubky deformační zóny je přibližně  $H = 0,6 \text{ m}$ . V případě malé desky bychom ověřili, že do této hloubky má vliv zatížení  $f_z = 1\,000 \text{ kPa}$ . Přes drobné výtky můžeme na základě výsledků zkoušek Z2 a Z3 očekávat modul deformace na spodní hranici, tj.  $E_0 (E_{\text{def}}) = 80$  až  $100 \text{ MPa}$ , součinitel příčné kontrakce i nadále akceptujeme  $\nu = 0,25$ . Provedli jsme výpočet zkoušky pro obě krajní meze modulu deformace. Na obrázku 6 je zachycen výsledek pro horní odhad, na obr. 7 pro dolní odhad modulu deformace.



Obr. 5. Výpočet sedání tuhé kruhové desky  $A = 0,1 \text{ m}^2, f_z = 1\,400 \text{ kPa}, E_0 (E_{\text{def}}) = 64,3 \text{ MPa}$



Obr. 6. Výpočet sedání tuhé kruhové desky  $A = 0,5 \text{ m}^2, f_z = 366 \text{ kPa}, E_0 (E_{\text{def}}) = 100 \text{ MPa}$



Obr. 7. Výpočet sedání tuhé kruhové desky  $A = 0,5 \text{ m}^2, f_z = 366 \text{ kPa}, E_0 (E_{\text{def}}) = 80 \text{ MPa}$

Na základě řešení bychom skutečné sedání mohli očekávat v rozmezí 1,12 až 1,40 mm (průměr 1,26 mm). Porovnáme-li předpokládaný výsledek se skutečností (naměřeno bylo 1,27 mm), je shoda zřejmá.

#### Závěr

Účelem polních geotechnických zkoušek v lokalitě AB Těšnov v Praze bylo stanovení deformačních vlastností základové půdy tvořené ulehlymi štěrky se skalním podlozím z ordovických břidlic. Deformační vlastnosti základové půdy jsou charakterizovány především modulem deformace  $E_0$  [MPa] stanoveným pro různé úrovně působícího kontaktního zatížení  $f_z$  [MPa]. Modul deformace zahrnuje jak pružná, tak i trvalá přetvoření základové půdy. V příspěvku je poukázáno na to, že při zpětné analýze, zejména pro překonsolidovanou zeminy (v hlubokých stavebních jamách), je třeba uvažovat **hloubku deformační zóny**. Toto je důležité pro malé zatížení, kdy hloubka deformační zóny je

malá a nedostatečná pro použití standardní zpětné analýzy. Vzorec (1), který vychází z Boussinesqovy teorie pružného poloprostoru, potom dává nereálné, výrazně nadhodnocené parametry. Tyto diskrepance jsou jasně ukázány v obr. 1. Pro dostatečné zatížení je také v tomto obrázku vidět, že nesrovnalosti jsou již téměř nepodstatné. Přesto však i zde jsou hodnoty modulu deformace, získané standardní zpětnou analýzou, nepatrně nadhodnoceny.

**Príspevek vznikl za podpory grantů č. 103/02/0668 a č. 103/04/1134 GA ČR a výzkumného záměru MSM 261100007.**

#### Literatura

- [1] Davis, R. O. – Selvadurai, A. P. S.: Elasticity and Geomechanics. Cambridge University Press 1996, pp. 131–137.
- [2] Masopust, J.: Administrativní budova Těšnov, Praha. Statické zatěžovací zkoušky základové půdy tuhou deskou. [Zpráva], Praha, FG Consult 2004.
- [3] Máca, J.: Dynamic Analysis of Plates on Elastic Foundation. Eurodyn 2002, Lisse, Swets&Zeitlinger 2002, pp. 887–892.
- [4] Máca, J. – Makovička, D.: Dynamická analýza systému konstrukce-základ-podloží. Stavebnický časopis 36 (5), 1988, s. 373–389.
- [5] Kuklík, P. – Kopáčková, M.: Porovnání řešení pružné vrstvy s Boussinesqovým řešením pružného poloprostoru. Stavební obzor, 13, 2004, č. 6, s. 171–175.
- [6] Kuklík, P. – Kopáčková, M. – Sehnoutek, L.: Příspěvek k řešení hloubky deformační zóny. [Sborník], 31. konference „Zakládání staveb“, Brno, 2003, s. 15–20.
- [7] ČSN 73 6190 Statická zatěžovací zkouška podloží a podkladních vrstev vozovek. ČSN, 1980.

**Kuklík, P. – Masopust, J. – Mühl, J. – Sehnoutek, L.: Structural Loading Tests of Subsoil by a Rigid Slab in Deep Pits**

The present contribution deals with the back analysis of the subsoil parameters. Using the standard back analysis, the well-known Boussinesq solution of elastic half-space is employed. The article highlights the necessity of taking the depth of the influence zone into account. In the case of a low uniform load, the depth of the influence zone is not sufficient and the standard analysis shows a significantly higher modulus of deformation. The remedy for this problem has been found in the engagement of real tools of the back analysis incorporating the influence zone phenomenon, e. g. FEM codes.

**Kuklík, P. – Masopust, J. – Mühl, J. – Sehnoutek, L.: Statische Belastungsprüfungen des Baugrunds mit einer steifen Platte in tiefen Gruben**

In diesem Artikel handelt es sich um eine retrospektive Analyse der liegenden Parameter. Durch die Verwendung einer standardmäßigen retrospektiven Analyse wird die bekannte Boussinesq-Lösung des elastischen Halbraums angewendet. Der Artikel zeigt, wie nötig es ist, die Tiefe der Einflusszone zu überlegen. Falls es eine niedrige gleichförmige Belastung gibt, ist die Tiefe der Einflusszone nicht zuverlässig und die Standardanalyse zeigt ein wesentlich höheres Deformationsmodul. Die Lösung dieses Problems ist, reale Instrumente der retrospektiven Analyse anzuwenden, die das Phänomen der Deformationszone zusammenfassen, z. B. mit finiten Elementcodes.

## • výročí

**Prof. Ing. Jiří Šejnoha, DrSc.  
– 65 let**



V dnešní uspěchané době, kdy každý se snaží uspět v soutěži s časem a letmo sleduje, jak ho v řece času míjejí již nikdy se nevracející neuložené rybky příležitostí. Životní jubilea přátel by měla být příležitostí se na chvíli zastavit, zavzpomínat, připomenout všechno dobré, a zároveň za mnohé poděkovat.

Právě taková situace nastala letos na začátku srpna, kdy se dožil šedesátí pětilet prof. Ing. Jiří Šejnoha, DrSc., FEng. Narodil se v krkonošském podhůří v Nové Pace. Po ukončení středního vzdělání si zvolil studium stavebního inženýrství a v roce 1961 absolvoval Fakultu architektury a pozemního stavitelství ČVUT v Praze. Stavební realitu okusil jako projektant pozemních staveb v Pražském projektovém ústavu. Během tohoto relativně krátkého působení však dokázal získat velké množství praktických zkušeností. Pod vedením Dr. Baumelta projektoval řadu především výškových staveb. Řízením osudu, po emigraci Dr. Baumelta do ciziny, velmi mladý převzal projektový dohled nad jejich realizací.

V roce 1964 nastoupil na Fakultu stavební ČVUT nejprve jako asistent (1964), poté docent (1974) a profesor (1984). Vědeckou hodnost CSc. získal v roce 1968 a DrSc. v roce 1983. V letech 1987 až 1999 úspěšně vedl Katedru stavební mechaniky. Během svého působení na fakultě si profesor Šejnoha získal značný respekt a přirozenou autoritu. Postupně se stal členem různých vědeckých rad (fakulty, ČVUT, ÚTAM), komisí (pro obhajoby dizertačních prací, habilitačních a jmenovacích), oborových rad doktorského studia, redakčních rad (např. České stavebnictví, Building Research Journal). Byl též předsedou Akademického senátu fakulty, v letech 1998 až 2000 byl prorektorem ČVUT pro výstavbu, je členem Inženýrské akademie. Často přednáší na zahraničních univerzitách (např. na RPI, Troy a University of Wisconsin, Milwaukee v USA nebo RWTH, Aachen v SRN). Je řešitelem mnoha významných projektů a autorem několika set publikací. Mezi nejvýznamnější patří monografie Numerical Methods in Structural Mechanics z roku 1996 (ASCE Publ., USA; T. Telford, U. K.). Vychoval kolem dvaceti mladých vědeckých pracovníků. Za všechnu tuto zásluhou činnost právem získal i mnohá ocenění, např. Felberovu medaili ČVUT, Cenu rektora ČVUT, Medaili ministra školství a další.

Neustálá touha po vzdělávání, sledování nejnovějších poznatků, stavební moudrost, mimořádná pracovitost a rozvinutý inženýrský cit způsobily, že se na pana profesora velmi často s důvěrou obraceli nejen studenti Fakulty stavební, ale i řada uznávaných odborníků z praxe. Stopu užití jeho širokých teoretických znalostí můžeme sledovat v řadě expertních a odborných stanovisek ke stavu významných staveb současnosti, jako jsou velkorozponové haly, výškové stavby, hlubinné základy, tunely, ale i odborných stanovisek k historickým stavbám patřícím ke klenotům našeho kulturního dědictví.

Toto číslo Stavebního obzoru částečně představuje práci Jiřího „stavební rodiny“, a to nejen kolegů z Almy Mater a stavební praxe, ale i střední a nejmladší generace následovníků.

*Milý Jiří, dovolu, abych Ti jménem všech autorů, všech kteří měli tu čest s Tebou spolupracovat, příspěvky v tomto čísle Stavebního obzoru symbolicky věnoval na památku. Poděkoval za všechny rady a pomoc, kterou jsi nám kdy poskytl, a popřál všechno nejlepší v osobním životě i ve Tvém dalším vědeckém a inženýrském působení. Přeji Ti hodně zdraví, životního elánu a energie, aby ses mohl věnovat všemu, co Ti přináší uspokojení a potěšení.*

Pavel Kuklík



## Zbytečné snižování spolehlivosti betonových staveb

prof. Ing. Tomáš VANĚK, DrSc.  
 ČVUT – Fakulta stavební  
 Praha

Spolehlivost stavby či konstrukce je podobně jako u člověka nejvyšší možné ohodnocení. Musí splňovat všechny požadavky při dokončení projektu, v průběhu stavby i při jejím užívání.

### Úvod

Připomeňme, že spolehlivostí nosné konstrukce vyjadřujeme její nejvyšší statické hodnocení, tzn. že splňuje požadavky obou mezních stavů, trvanlivost na požadovaný počet roků, samozřejmě požadavky provozu, požární odolnost a požadavek životnosti za předpokládaného systému rozumné údržby. Vždy musíme uvážit přijatelné ekonomické požadavky. Jde o přirozené požadavky, které nejsou často splněny, a musíme pak řešit vcelku zbytečné problémy na obnovení původní spolehlivosti. Většina návrhů je však pouze kompromisní, zvyšují se náklady, prodlužují termíny a způsobuje rozladěnost mezi zainteresovanými pracovníky.

### Příklady

Vzhledem k omezenému rozsahu příspěvku jsou uvedeny jen dva příklady, které komplikují realizaci stavby. Příklad č. 1 ve výsledku oddálil pouze termín dokončení stavby a zvyšuje rozpočet objektu. Příklad č. 2 je obtížnější v tom, že úplné odstranění trhlin je nereálné, což se projeví v kratší životnosti budovy.

#### Příklad č. 1 – Základ jeřábu

Na obrázku 1 je vyznačen základ pro jeřáb Potain MDT 162, který se při provozu naklonil, nebylo možno ho dále užívat a musel být odstraněn. Základ tvoří čtyři piloty délky 8 m, na kterých spočívá železobetonová deska tloušťky 1 m. V desce jsou zabetonovány kotevní prvky jeřábu. Některé příčiny deformace základu s následným nakloněním jeřábu:

- základ splňoval požadavky ČSN, avšak s malou rezervou;
- nebylo možno ověřit hloubku pilot 8 m;
- pevnost betonu má větší rozptyl;
- určitá anomálie základové půdy, kde základ je v blízkosti potoka;
- při jádrovém vývrtnu v místě spodního líce desky a horního líce piloty byl zjištěn méně kvalitní beton v tloušťce 20 až 30 mm;
- vzdálenost pilot pouze 1,6 m je poměrně malá při značném ohybovém momentu působícím do patky a pilot;
- kotvení jeřábu do pilot, tj. tahových a tlakových sil, nebylo v jejich osách - viz půdorys základu;
- při odbourávání hlav pilot do potřebné výškové úrovně mohlo dojít k částečnému narušení betonu;
- nelze vyloučit určitou deformaci v kotvení jeřábu do zabetonovaných prvků;

- stavba základu a montáž jeřábu byla mimořádně rychlá, tj. betonáž základu po šesti dnech od provedení pilot a montáž jeřábu po 21 dnech po betonáži základu.

Důsledkem těchto dílčích příčin bylo naklonění jeřábu, nemožnost jeho užívání, nutnost jeho odstranění dvěma dalšími jeřáby a užití nového, v pořadí čtvrtého jeřábu, s menším dosahem a nutnými přesuny.

Příklad je poučný v tom, že i při dodržení všech norem může dojít k nepříjemné události a komplikacím již při stavbě nového objektu. Za kvalitní dílo odpovídá samozřejmě projektant a zhotovitel. Norma je pouze doporučená zákonná úprava zaručující splnění některých parametrů. Snižování spolehlivosti díla je zde chyba lidského činitele. Další podrobnosti jsou zřejmé z obr. 1.

#### Příklad č. 2 – Trhliny v základové desce

Železobetonová monolitická deska tloušťky 0,9 m, která se pod sloupy zvětšuje na 1,4 m. Na desce spočívají železobetonové monolitické sloupy v osových vzdálenostech  $10 \times 10$  m s osovou silou až 7 MN. Půdorys desky je  $60 \times 90$  m (obr. 2). Po zabetonování se na jejím horním líci objevil větší počet trhlin délky až 8 m a různých šířek do 0,5 mm, které se ještě částečně zvětšily. Betonáž probíhala v letním období při teplotě až  $32^\circ\text{C}$ . Menší pozornost ošetřování betonu, smršťování betonu, a zejména nedostatečné vyztužení v některých místech desky, způsobily vznik četných trhlin, z nichž některé jsou vyznačeny na obr. 2.

V takových případech vzniká problém zjistit hloubku trhlin. Průzkum jádrovými vývrty v místě trhlin prokázal, že procházejí celou tloušťkou desky, což je z hlediska statického velmi nepříjemné. Nejde tedy o celistvou monolitickou desku, ale o jakési betonové kry, na kterých bude objekt stát.

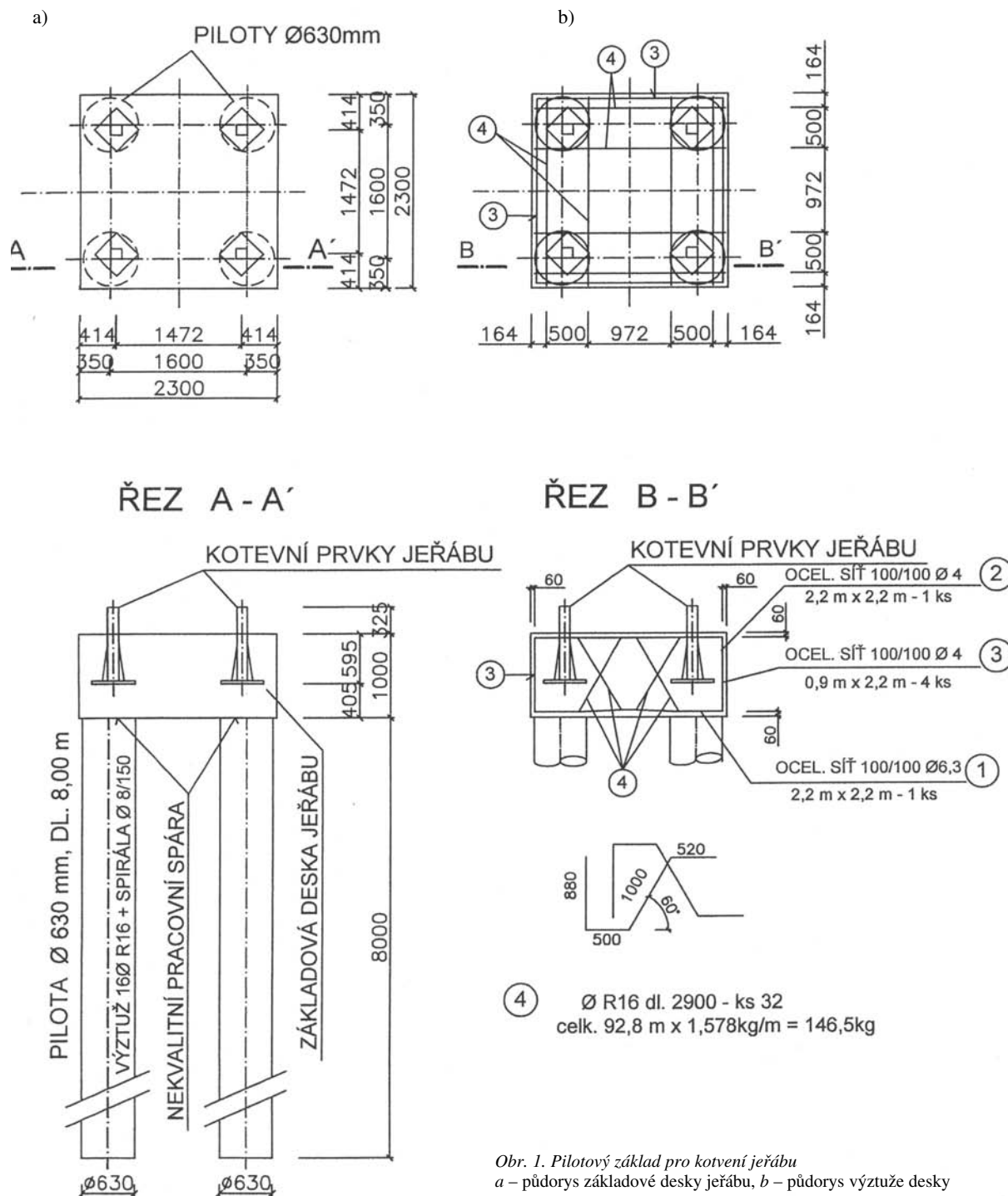
Při namáhání průřezů ohybem v četných místech trhlina prochází nejen v tažené části průřezu, ale i v tlačené části, a tlaková síla  $F_c$  je zde nulová. V průřezu působí tedy jen tahová síla z výztuže  $F_s$  a tlačná výztuž  $F_s'$ , která je samozřejmě nedostatečná. Únosnost se zde zvýší až po uzavření trhliny v tlačené části průřezu, čemuž musí předcházet deformace základové desky. Tento stav nastane však až při téměř plném zatížení, a jsou tak vytvořeny předpoklady pro možný vznik trhlin ve spodní části objektu.

Nabízí se zde návrh trhliny injektovat, a tak předejít možným poruchám. Injektáž trhlin v celkové délce 514 m je však nereálná z finančních i technických důvodů. Z uvedeného vyplývá, že je tedy nutno počítat se sníženou životností objektu, pro což byly vytvořeny předpoklady již v projektu, mj. nedostatečnou výztuží a částečně i provedením základové desky. Jde o závadu, kterou nelze kvalifikovaně odstranit.

V řadě státní je běžnou praxí, že projekt před realizací posoudí nezávislý další pracovník, který za kvalitní dílo rovněž odpovídá.

### Závěr

Obsahem příspěvku je upozornění na stále se opakující zbytečné hrubé chyby, které vznikají zejména nepozorností



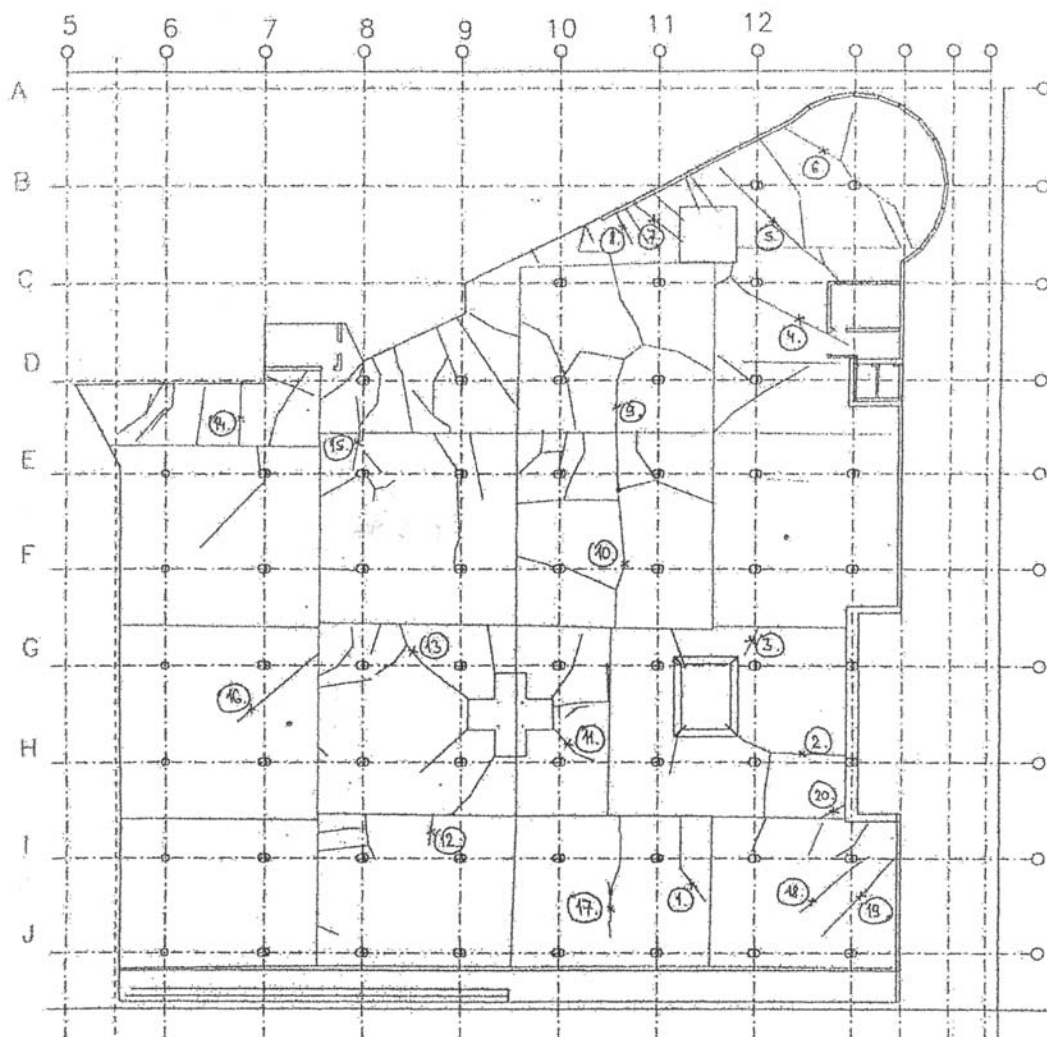
Obr. 1. Pilotový základ pro kotvení jeřábu  
a – půdorys základové desky jeřábu, b – půdorys výztuže desky

projektanta, resp. statika. Kontrola (ani zběžná) projektu se u nás téměř neprovádí. Závady odstraňujeme ještě v průběhu stavby. Některé hrubé chyby však zcela odstranit nelze, čímž jsou vytvořeny předpoklady pro snížení životnosti a spolehlivosti objektu na požadovanou dobu investorem. Závad v posledním období, bohužel, přibývá. Specializované firmy mají sice zajímavou práci a podobnou situaci lze očekávat i v budoucnosti.

**Příspěvek byl vypracován za podpory výzkumného záměru MSM 210000001 „Funkční způsobilost a optimalizace stavebních konstrukcí“.**

#### Literatura

- [1] Vaněk, T.: Hrubé závady při projektování a realizaci nových i rekonstruovaných objektů. [Sborník], konference „Betonářské dny“, Pardubice, 1999, s. 169–173.
- [2] Vaněk, T.: Časté závady betonových podlah v průmyslových objektech. [Sborník], konference „Sanace betonových konstrukcí. Brno, 2000, s. 233–238.
- [3] Vaněk, T. – Tyrlik, M.: Perspektiva odstraňování hrubých závad betonových konstrukcí. Beton, 2002, č. 2, s. 158–162.
- [4] Vaněk, T. – Tyrlik, M.: Nutné sanace betonových staveb zaviněné nedbalostí. [Sborník], konference „Sanace betonových konstrukcí. Brno, 2002, s. 237–241.



Obr. 2. Půdorys části základové desky s rozmístěním tržlin

(1.) ÷ (20.) místa s měřenou šířkou tržliny

**Vaněk, T.: Counterproductive Reliability Reduction of Concrete Constructions**

The reliability of a building or structure is its best possible assessment, as it is when referring to a person. It should comply with all the requirements arising at the time of the project completion, in the construction process, as well as during its use.

**Vaněk, T.: Unnötige Herabsetzung der Sicherheit von Betonbauten**

Die Sicherheit eines Bauwerks bzw. einer Konstruktion ist ähnlich wie beim Menschen die höchstmögliche Bewertung. Sie muss alle Anforderungen bei der Fertigstellung der Planung, im Verlauf des Baus und bei seiner Nutzung erfüllen.

**PŘEDPLATNÉ**

časopisu Stavební obzor  
je možné objednat vyplněním elektronického formuláře na internetu na adrese

**<http://web.fsv.cvut.cz/obzor>**

nebo zasláním písemné objednávky na adresu distributora  
uvedenou v tiráži časopisu na druhé straně obálky.

## Numerické modelování tunelu v programu GEO MKP

Ing. Michal GRAMBLIČKA  
SUDOP Praha, a. s.

doc. Ing. Michal ŠEJNOHA, PhD.  
doc. Dr. Jan PRUŠKA  
ČVUT – Fakulta stavební, Praha

Příspěvek je věnován numerickému modelování tunelu Turecký vrch v programu GEO MKP. Výpočet je dvojrozměrný, přičemž pro trojrozměrné přetváření zemního tělesa v okolí tunelové čelby je využita metoda opěrných napětí v rámci exkavace. Jsou posuzovány dva způsoby pobírání tunelu, zejména z pohledu stability celého systému. Z tohoto hlediska je také sledován stabilizující účinek kotevního systému. Vně tunelu je systém výztužných prvků chápán v rámci prokotené oblasti se zvýšenými hodnotami parametrů pevnosti původní zeminy. V oblasti pilíře jsou potom výztužné prvky modelovány jednotlivě užitím kotev s vyloučením tlakového působení. Analýza pak jednoznačně dokumentuje vhodnost zvoleného softwarového vybavení.

### Úvod

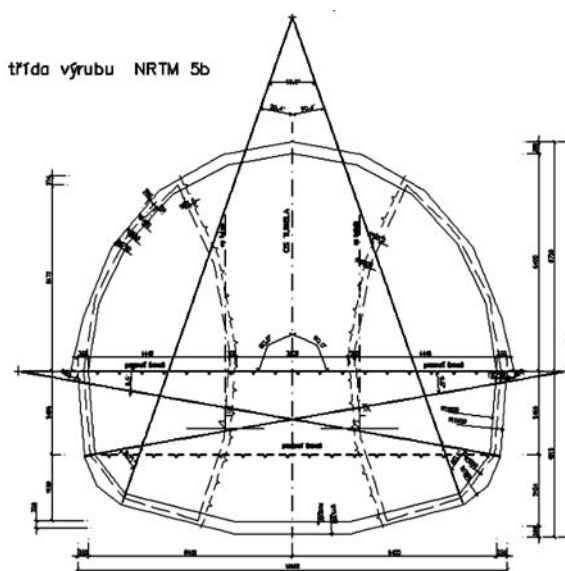
První otázkou, na kterou bychom měli odpovědět, je jednoznačně důvod, proč je třeba numerické metody ke studiu výstavby tunelu použít. Vždyť literatura nabízí řadu nenumernických metod, poskytujících relativně slušný odhad pravděpodobné odezvy zemního tělesa na účinky ražby a možného zatížení tunelové obezdívky. Tyto metody jsou navíc nepoměrně rychlejší, levnější a snadněji použitelné v porovnání s numerickými metodami, jako je např. doporučená metoda konečných prvků (MKP). Jsou však charakteristicky nesdružené, tj. zatížení je určeno jednou metodou (většinou za předpokladu elastického chování) a deformace obezdívky metodou jinou (většinou empiricky) bez vlivu spolupůsobení s okolní zeminou. Jejich užití je navíc podmíněno existencí jednoduchých topologických a základových poměrů. Řada těchto omezujících podmínek je však v praxi nepostihnutelná. Dále je zřejmé, že sledovaný problém je ve skutečnosti značně složitý, zahrnující změny pórových napětí, nelineárního chování zemního masivu, deformace ostění, historii předchozí výstavby v okolí tunelu apod. Zahrnutí těchto vlivů v rámci sdružené analýzy je tak možné pouze při použití některé z numerických metod.

Program GEO MKP představuje jednu z těchto metod a tou je metoda konečných prvků [1], [2], [3]. Umožňuje:

- simulovat jednotlivé fáze výstavby tunelu,
- modelovat realistické chování zemního tělesa,
- řešit složité základové poměry včetně vlivu podzemní vody,
- přihlížet ke spolupůsobení zemního masivu a tunelové obezdívky,
- řešit problém vícenásobných tunelů,
- simulovat dlouhodobé přetváření celého systému (konsolidace, dotvarování).

Na základě těchto poznatků byla zvolena pro studii výstavby tunelu Turecký vrch. Tento dvoukolejný železniční tunel

má osovou vzdálenost kolejí 4 200 mm ve dvou protisměrných obloucích s požadavkem rychlosti přepravovaných souprav až 200 km/h. Nadloží v ose tunelu dosahuje minimálně 3 m a v místě jižního raženého portálu přibližně 100 m. Předpokládaný profil výrubu včetně nadvýlomů má plochu 110 až 118 m<sup>2</sup>. Vzorový příčný řez tunelu je uveden na obr. 1.



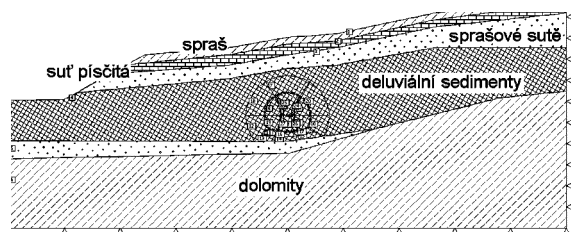
Obr. 1. Vzorový příčný řez

Tunel bude ražen převážně v horninovém masivu s předpokládaným zastoupením vápence wettersteinského a dachsteinského typu a dolomity wettersteinského typu. Oblast severního portálu je zastoupena zejména fluvialními sedimenty. Vrstva tloušťky cca 100 m představuje z pohledu výstavby tunelu, a to jak tunelové trouby, tak i samotného portálu, relativně složité základové poměry vyžadující komplexní přístup modelování, jehož lze s úspěchem dosáhnout využitím metody konečných prvků. Na základě rozboru podmínek ovlivňujících výstavbu tunelu navrhl projektant razit podzemní dílo technologií respektující zásady nové rakouské tunelovací metody. Přitom se předpokládá vertikální členění výrubu (obr. 1).

### Topologie

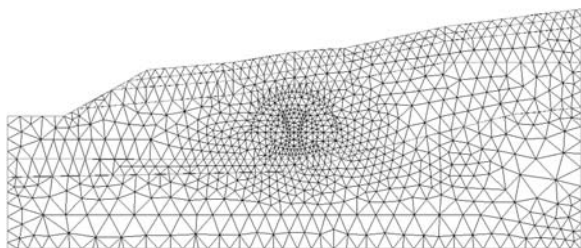
Pro studii daného problému (simulace exkavace a osazení primárního ostění) byl zvolen program GEO MKP, vyvinutý firmou FINE ve spolupráci s Katedrou stavební mechaniky Fakulty stavební ČVUT, který využívá metodu konečných prvků implementovanou pro dvojrozměrné modelování. Sestává ze dvou částí – topologické a výpočetní. Topologická část slouží k popisu geometrického modelu, specifikaci materiálových modelů všech zemín, které se mohou ve výpočtu vyskytovat, a generování sítě konečných

prvků včetně zadání nosíkových prvků, které lze využít pro model primárního ostění tunelu. Po provedení parametrické studie byl pro konečné posouzení vybrán geometrický model zahrnující oblast širokou 160 m a vysokou 62 m a standardní okrajové podmínky (obr. 2).



Obr. 2. Geometrický model, okrajové podmínky a přiřazení zemin

Vzhledem k tomu, že většina plastických modelů zemin implementovaných v programu vychází z předpokladu tuhoplastického chování materiálů, byly ve výpočtu použity šestiuzlové prvky pro rovinnou deformaci, které výrazně snižují (na rozdíl od prvků tříuzlových) možný vývoj objemového ztuhnutí. Pro zachování kompatibility sítě pak byly u modelu ostění použity tříuzlové nosíkové prvky formulované na základě Mindlinovy hypotézy [1]. Připomeňme, že příprava sítě konečných prvků je jednou z důležitých částí analýzy a zásadním způsobem rozhoduje, společně se zvolenými materiálovými modely zemin, o kvalitě a spolehlivosti dosažených výsledků. Je zřejmé, že příliš hrubá síť vede k velmi nepřesným výsledkům, příliš jemná síť pak může výrazně snížit ekonomiku výpočtu bez výrazného zvýšení jeho přesnosti. Je proto vhodné využít možnosti programu a v exponovaných místech síť zahustit a v oblastech bez výrazných gradientů v průběhu deformace a napětí volit síť hrubší. Často je třeba provést, dříve než zahájíme analýzu, několik zkušebních výpočtů na různých sítích. Výsledná síť konečných prvků je patrná z obr. 3, zjemnění v oblasti výrubu tunelu představuje obr. 4a.



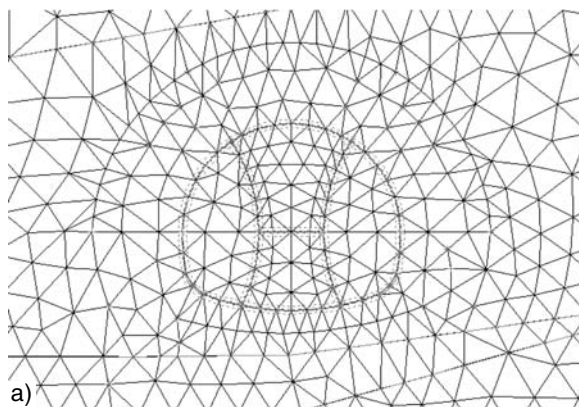
Obr. 3. Zvolená síť konečných prvků

Jak již bylo uvedeno, vlastní svorníková výztuž byla nahrazena oblastí se zvýšenými parametry pevnosti zemin a vyšším modulem pružnosti (prokotvená oblast) v porovnání se základním materiálem (deluviální sedimenty), neboť se ukazuje, že při použití systémového kotvení ve sprašové suti (jílovito-kamenné a kamenito-jílové suti: jíl se střední plasticitou CI s obsahem 20 až 50 % balvanů velikosti 100 až 300 mm, lokálně až 400 mm) je použití speciálního svorníkového prvku nevhodné [5]. Prokotvení lze ve vlastním výpočtu realizovat výměnou zeminy v dané oblasti v příslušné fázi budování. Tyto oblasti je však nutno definovat předem v topologické části, jak je naznačeno na obr. 4b. Další informace o přípravě geometrického modelu a sítě konečných prvků lze nalézt v [4].

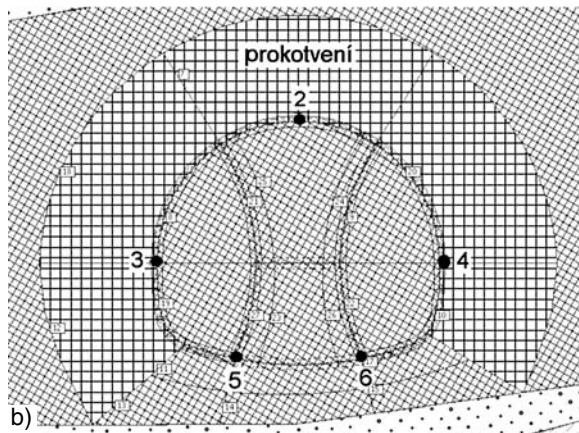
### Numerická analýza

Po splnění požadavků kladených na topologickou část lze přistoupit k vlastnímu výpočtu. Základem úspěchu nume-

rické analýzy je volba vhodného materiálového modelu včetně vstupních parametrů. Parametry zemin byly voleny na základě závěrečné zprávy orientačního inženýrsko-geologického průzkumu [7]. Vzhledem ke zjištěnému intervalu hodnot jednotlivých charakteristik zemin a hornin byly materiálové parametry voleny jednak při jeho horní (pro studii 1) a jednak při jeho dolní hranici (pro studii 2). Pro posouzení konečné varianty byly vybrány charakteristiky zemin při dolním okraji průzkumu (tab. 1). Na základě předběžné studie, která odhalila exponovaná místa modelu z pohledu nelineárního chování zemin, byly zvoleny různé materiálové modely pro jednotlivé vrstvy (tab. 1). V oblastech, kde se neočekával vývoj trvalých deformací, byl zvolen elastický modifikovaný model umožňující zavedení různých modulů pro přitížení a odtížení ( $E/E_{sec}$ ).



a)



b)

Obr. 4. Detail zjemnění v oblasti výrubu tunelu  
a – detail sítě konečných prvků, b – schéma prokotvené oblasti a body určené ke sledování konvergence

Pro popis nelineárního chování zemin byl zvolen klasický materiálový Mohrův – Coulombův model. Přestože neumožňuje zcela přesně zachytit skutečné chování zemin (deformační zpevnění/změkčení, nelineární elastické chování v oblasti malých deformací atd.), je dostatečně spolehlivý (zejména s přihlédnutím ke „spolehlivosti“ použitých materiálových parametrů) pro odhad kvalitativní odezvy zemního tělesa na proces výstavby tunelu, zejména pokud výsledné porušení má smykový charakter a průběh zatěžování je víceméně monotónní.

Geometrie tunelu umožnila zadat ostění jako nosíkový prvek. Ve výpočtu se uvažovalo primární ostění ze stříkaného betonu SB20 vyztuženého svařovanými sítěmi a příhradovými rámy. Zrání je zohledněno změnou parametrů betonu během modelování fází výpočtu. Nárůst pevnosti v čase u betonu SB20 (tab. 2) se uvažuje podle zásad pro používání stříkaného betonu [8].

Tab. 1. Materiálové vlastnosti zemin a použité materiálové modely

Označení	Model	$E_{sec}/E$ [MPa]	$\nu$ [m/m]	$c$ [kPa]	$\varphi$	$\psi$	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]
					[°]		
spraš – třída F6, konzistence tuhá	EM	4/12	0,4	–	–	–	21
suť písčitá – třída F6, konzistence tuhá	EM	10/30	0,4	–	–	–	21
sprašové suť – F6	MC	30	0,4	13	17	0	21
deluviální sedimenty, konzistence tuhá	MC	36	0,4	13	22	0	21
dolomity	EM	500/1000	0,2	–	–	–	24
prokotvená oblast deluviálních sedimentů	MC	40	0,4	28	25	0	21

Připomeňme, že výsledky prezentované v další části příspěvku odpovídají modelování za předpokladu rovinné deformace. Odezva zemního tělesa na průběh ražby má však jednoznačně trojrozměrný charakter. Přestože s nárůstem výpočetní síly se tento přístup stává poměrně přitažlivým, jsou příprava geometrického modelu a vlastní výpočet stále časově velmi náročné. Pro velmi rychlý odhad odezvy je tak dvojrozměrné modelování stále nezastupitelné. V takovém případě však musíme přijmout alespoň jeden předpoklad, jinými slovy, něco musí být předepsáno spíše než předpovězeno. V literatuře existuje mnoho přístupů, jak realizovat ztrátu objemu před aplikací primárního ostění a stabilizující klenbové účinky v podélném směru [3].

Pro simulaci exkavace (hloubení) ve dvojrozměrném prostředí využívá program GEO MKP metodu  $\lambda$  neboli metodu opěrných napětí (Convergence Confinement Method) [6]. Před zavedením ostění vyžaduje předepsat určité procento odtížení ( $\lambda$ -násobek celkového odtížení připadající na plný výrub), takže ztrátu objemu lze v tomto případě předpovědět. V metodě konečných prvků probíhá tento proces následovně: vektor vnitřních sil  $\lambda F_0$  je aplikován v uzlech na hranici tunelu (části výrubu), kde  $F_0$  představuje vnitřní síly odpovídající veškerému odtížení při plné exkavaci. Parametr  $\lambda$  je na počátku roven 0 a je postupně zvyšován k 1. Při určité hodnotě  $\lambda_d$  je instalováno ostění. Zbylá část úbytku napětí, odpovídající hodnotě  $(1 - \lambda_d)F_0$ , je pak aplikována na ostění.

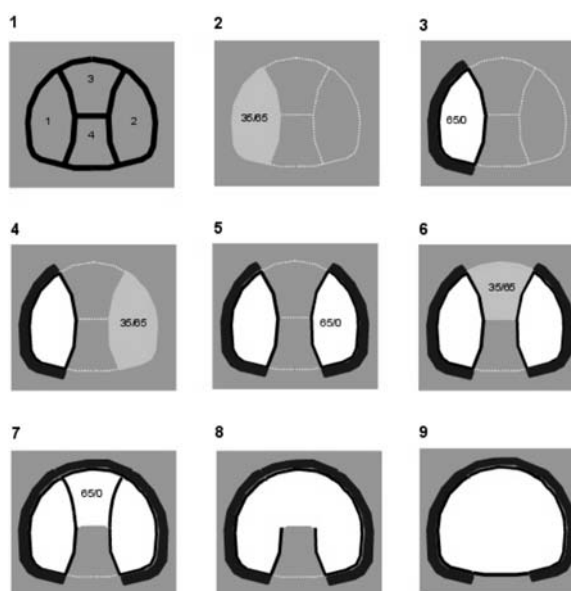
Ve studii byly sledovány dva procesy exkavace. Aplikace metody opěrných napětí a předpokládaný průběh pobírání v první variantě jsou prezentovány na obr. 5. Výpočet byl proveden v devíti fázích. První fáze sloužila k odhadu počáteční napjatosti generované pouze vlastní tíhou zemního masivu. V této fázi byly nosníkové prvky neaktivní. V dalších fázích pak byly postupně zaváděny do výpočtu. Výpočet probíhal následovně:

1. primární napjatost;
2. pobírání levého opěří, částečné uvolnění napětí ( $\lambda = 0,35$ );
3. vybudování levé opěry, plné uvolnění zbylého napětí ( $1 - \lambda = 0,65$ ), kotvení levé opěry;
4. pobírání pravého opěří, částečné uvolnění napětí ( $\lambda = 0,35$ );
5. vybudování pravé opěry, plné uvolnění zbylého napětí ( $1 - \lambda = 0,65$ ), kotvení pravé opěry;
6. pobírání horní části horninového pilíře, částečné uvolnění napětí ( $\lambda = 0,35$ );
7. vybudování horní klenby, plné uvolnění zbylého napětí ( $1 - \lambda = 0,65$ ), kotvení horní klenby;
8. odebrání horní poloviny opěry horninového pilíře;
9. odebrání spodní poloviny horninového pilíře, uzavření primárního ostění.

Druhý způsob exkavace byl rozdělen do deseti fází, přičemž fáze 1 až 7 byly shodné s prvním způsobem (obr. 5).

Tab. 2. Parametry stříkaného betonu SB20

Betón	$E$ [GPa]	$\nu$ [m/m]	$Rb_c$	$Rb_{td}$
			[MPa]	
třídenní	15,0	0,154	12	0,4
vyzrálý	18,6	0,154	15	9,8



Obr. 5. Uplatnění metody opěrných napětí a průběh exkavace

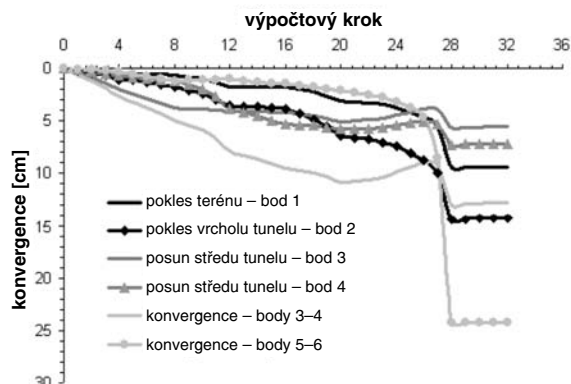
Od osmé fáze byl výpočet proveden v krocích:

8. pobírání spodní části horninového pilíře, částečné uvolnění napětí ( $\lambda = 0,35$ );
9. vybudování spodní klenby, plné uvolnění zbylého napětí ( $1 - \lambda = 0,65$ );
10. odstranění vnitřních opěr.

## Výsledky výpočtu

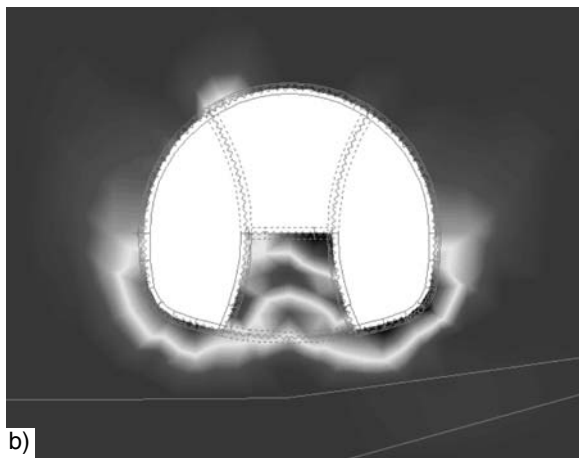
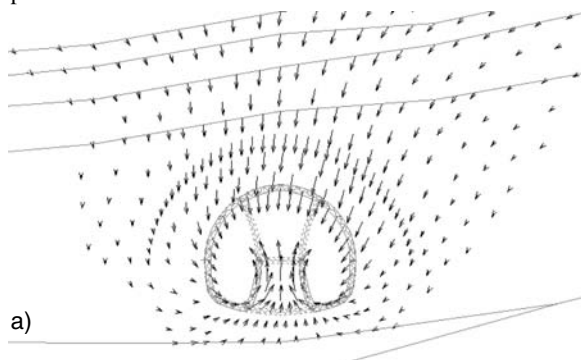
V úvodu tohoto oddílu jsou představeny výsledky prvního způsobu pobírání tunelu. Průběh deformací vybraných bodů, zvolených jednak na povrchu terénu, a zejména pak na okraji výrubu, je znázorněn na obr. 6. Standardní časový průběh konvergence je zde chápán v rámci jednotlivých výpočetových kroků. V každé fázi byl výpočet proveden ve čtyřech krocích. Výsledky jsou prezentovány bez první fáze. Kladné vodorovné posuvy bodů 3 a 4 (obr. 4b) jsou uvažovány směrem do výrubu. Pojem konvergence je použit pro vzájemné přiblížení zvolených bodů ve vodorovném směru. Jak je patrné z obr. 6, kritická je fáze 8 (výpočetové kroky 24 až 28), během níž se odebrá horní část opěry pilíře (obr. 5), přičemž dno není zcela uzavřeno. Dno tunelu se zřetelně uzavírá a dochází k vývoji kritických ploch porušení (obr. 7). Představu o deformaci konstrukce formou

vektorů deformací poskytuje *obr. 7a*. Vývoj kritických ploch porušení je znázorněn na *obr. 7b* ve formě ekvivalentní plastické deformace.

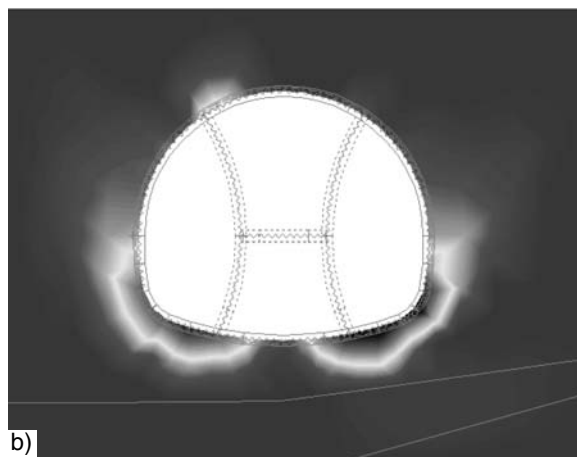
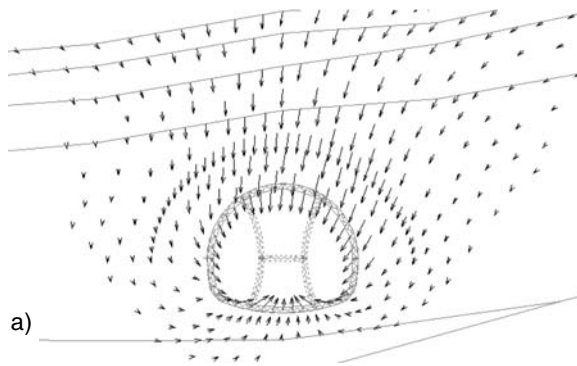


*Obr. 6. Průběh deformací vybraných bodů – 1. způsob exkavace*

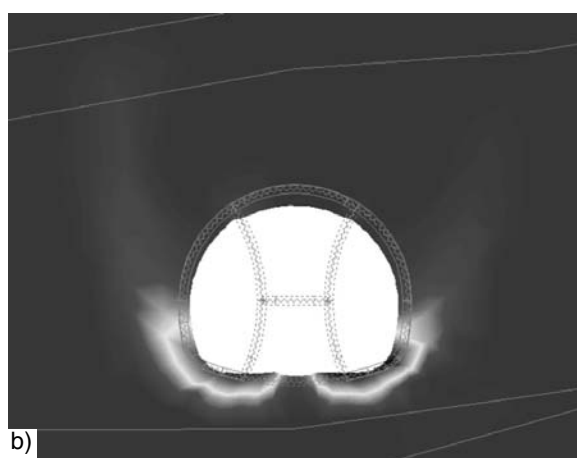
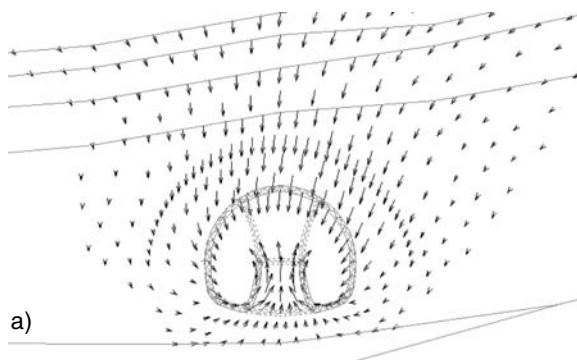
Abychom se vyhnuli kolapsu, bylo nutno v 9. fázi výpočtu společně s vybráním spodní části pilíře dno okamžitě uzavřít. Toho se dosáhlo tím, že parametr 1 se nastavil na 1 a nosníkové prvky se aktivovaly společně s exkavací pilíře. V okamžiku, kdy se dno okamžitě neuzavřelo (nechalo se proběhnout 35 % relaxace), došlo ke kolapsu. Výpočet v dané fázi konvergoval pouze do 50 % předpokládaného zatížení. Navíc došlo k prudkému nárůstu deformací (*obr. 9a* a *obr. 10*) a úplnému vývoji kritické plochy usmyknutí (*obr. 9b*). Pokud by z technologických důvodů nebylo možné dno okamžitě uzavřít, dalo by se předejít kolapsu vložím rozpěr (*obr. 12*). Tyto rozpěry by však bylo nutné posoudit na vybočení, neboť vzniklé normálové síly by byly poměrně velké.



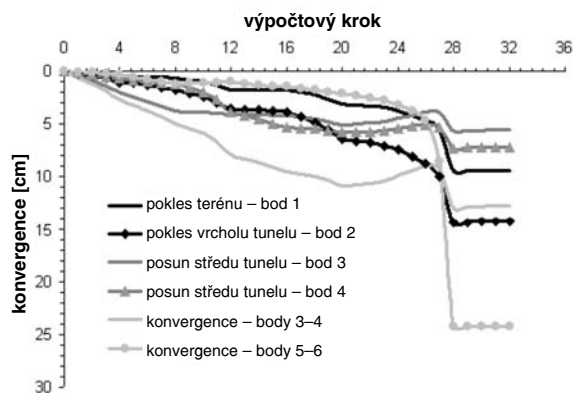
*Obr. 7. Vývoj kritických ploch porušení  
a – vektory posunutí,  
b – ekvivalentní plastická deformace (8. fáze)*



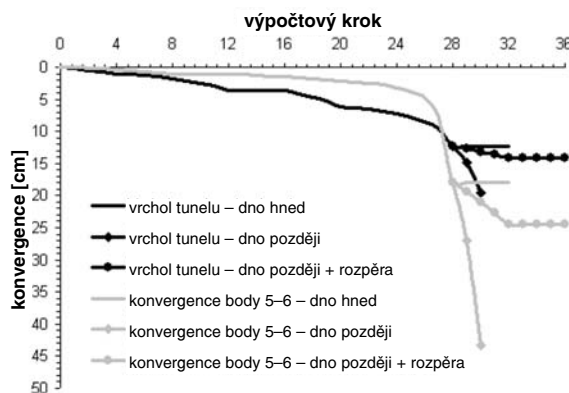
*Obr. 8. Vývoj kritických ploch porušení  
a – vektory posunutí,  
b – ekvivalentní plastická deformace (9. fáze – dno)*



*Obr. 9. Vývoj kritických ploch porušení  
a – vektory posunutí,  
b – ekvivalentní plastická deformace (9. fáze - bez dna)*



Obr. 10. Průběh deformací vybraných bodů – 1. způsob exkavace, vliv postupu výstavby

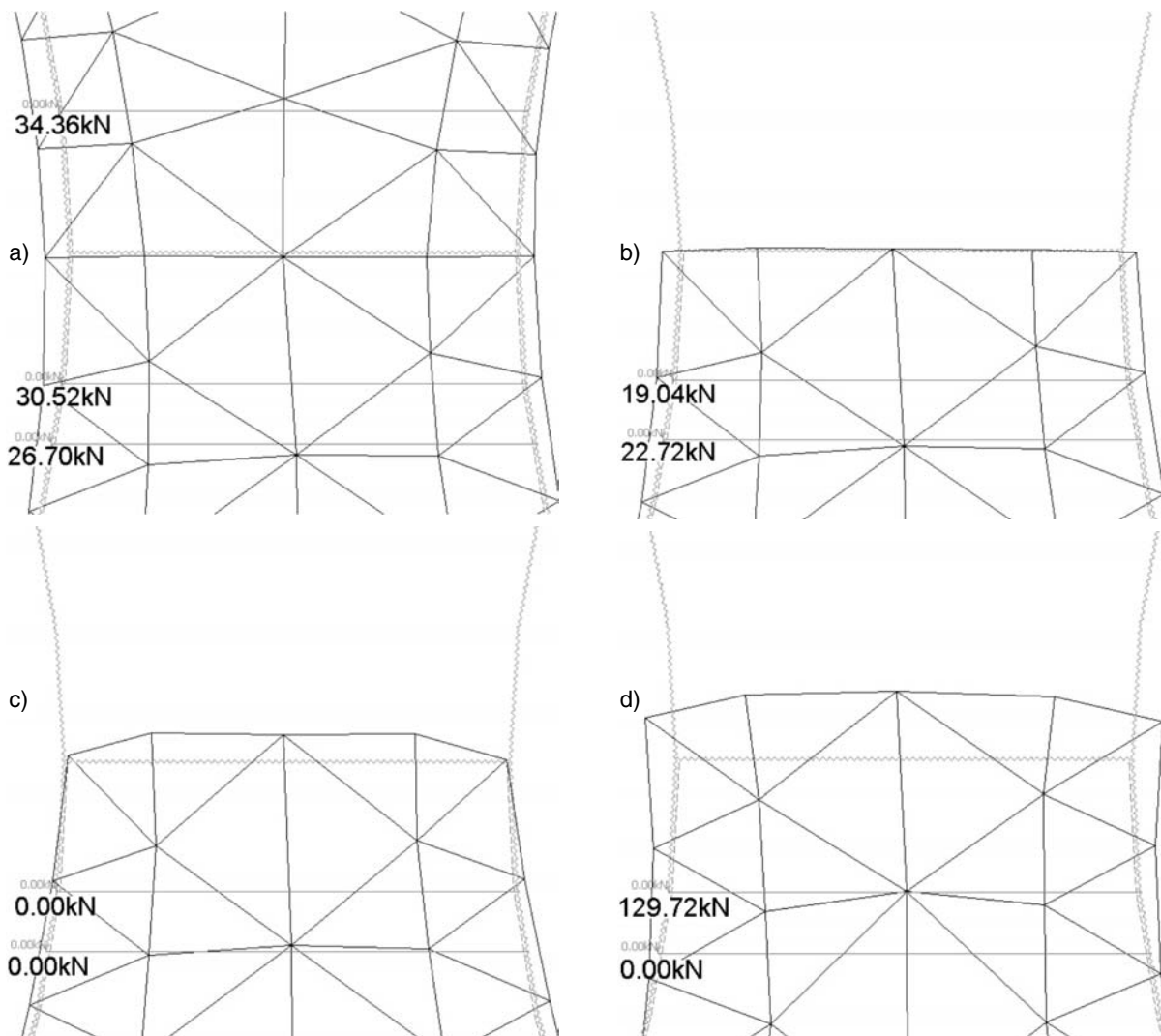


Obr. 12. Průběh deformací vybraných bodů – 1. způsob exkavace, vliv kotevních prvků

V případě, že by během exkavace došlo k prudkému uzavírání jednotlivých opěr, bylo by nutné pilíř stáhnout. Tento proces lze v programu GEO MKP simulovat zavedením kotevních prvků, ať už předepnutých, nebo nepředepnutých, s vyloučením tahu. Jinými slovy, v okamžiku, kdy kotevní prvek by měl přenášet tlakovou sílu (7. fáze), je deaktivován a do výpočtu se zavede v okamžiku, kdy opět začne přebírat tahová napětí (8. fáze). Tento proces je dokumentován na obr. 11.

Vliv kotevních prvků na průběh deformací je zřejmý i z obr. 12. Přestože jejich zavedením lze dosáhnout určitého snížení celkových deformací a částečné stabilizace výpočtu, nebylo by možné zabránit kolapsu v případě, kdy primární ostění není v rámci exkavace spodní části pilíře okamžitě uzavřeno.

Předchozí analýza naznačila nevhodnost zvoleného postupu exkavace a výstavby tunelu. Připomeňme možnost kolapsu v okamžiku, kdy primární ostění není včas uza-

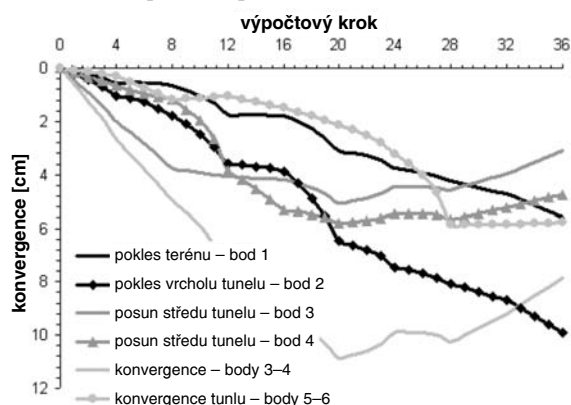


Obr. 11. Užití kotevních prvků pro vyztužení pilíře a – 5; b – 6; c – 7; d – 8. fáze

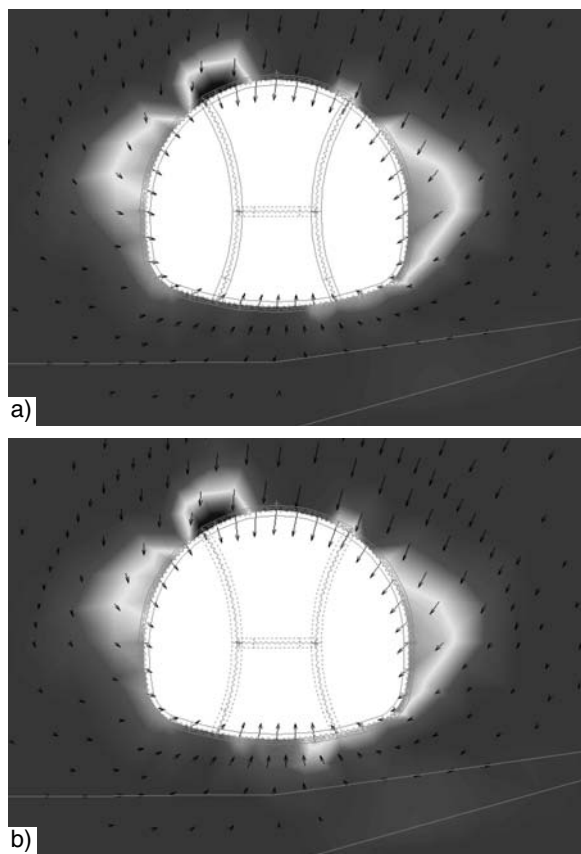


vřeno. Z tohoto důvodu byl navržen postup, který byl již představen v oddílu věnovaném topologii. Zde uvádíme pouze výsledky.

Průběh deformace v závislosti na výpočtových krocích je znázorněn na obr. 13. Na rozdíl od prvního způsobu výstavby tunelu zde nevzniká prudký nárůst deformace signalizující možný kolaps. Tato skutečnost je patrná i z obr. 14, poskytujícího informaci o vývoji plastických zón ve dvou posledních fázích. Připomeňme, že 9. fáze odpovídá plnému odtěžení pilíře, 10. fáze pak odstranění vnitřních opěr. Ani v jednom případě nedošlo k vývoji kritických ploch porušení na rozdíl od prvního způsobu (obr. 9b).



Obr. 13. Průběh deformací vybraných bodů – 2. způsob exkavace



Obr. 14. Ekvivalentní plastická deformace a vektory posunutí  
a – 9. fáze, b – 10. fáze

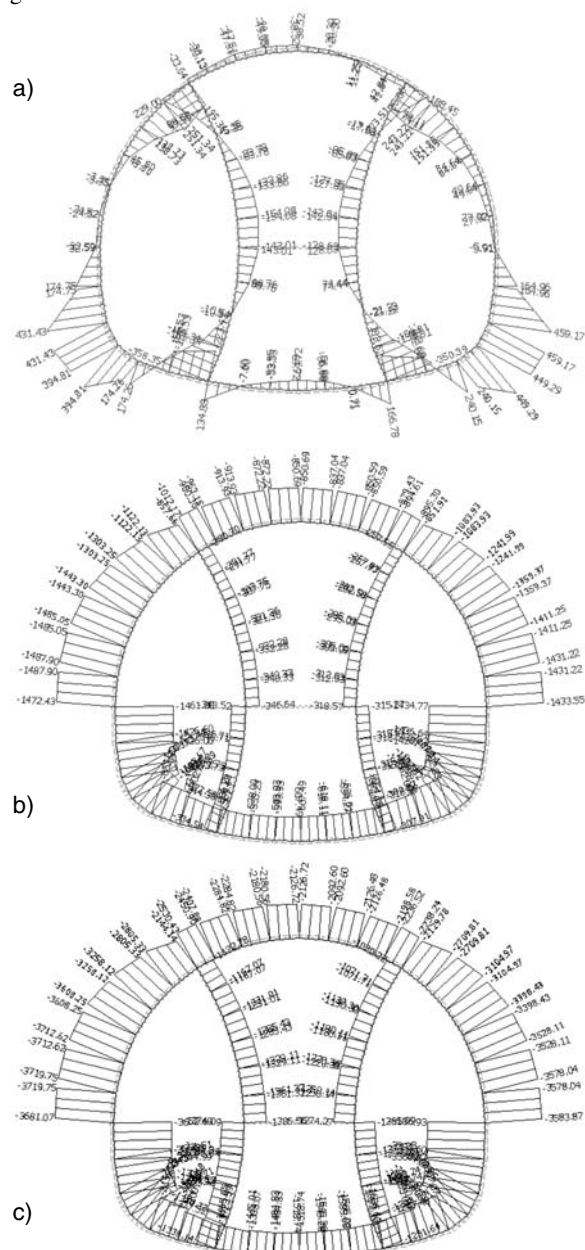
Pro posouzení celkové stability systému je třeba ověřit, zda během výstavby nedojde v žádné z fází k porušení ostění. Tento krok vyžaduje posouzení napjatosti v ostění. Připomeňme, že ostění je modelováno standardními nos-

níkovými prvky. Program umožňuje zobrazit průběh vnitřních sil pro jednotlivé fáze. Jako příklad uvádíme průběh momentů a normálových sil na konci 9. fáze (obr. 16ab). Z těchto informací lze pak určit napjatost v ostění klasickými nástroji teorie pružnosti. Průběh napětí pro uvažovanou fázi (obr. 16c) odpovídá vztahu

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M h}{I 2},$$

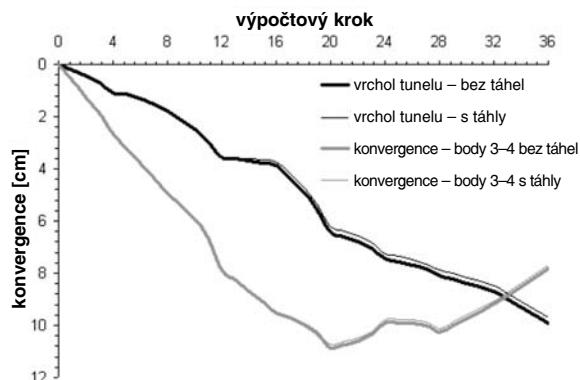
kde  $N$  a  $M$  jsou normálová síla a ohybový moment,  $A$  a  $I$  představují průřezovou plochu a moment setrvačnosti, a konečně  $h$  je výška průřezu. Jak je patrné z obr. 16c, nedochází v žádném z průřezů k vývoji tahových napětí. Bližší inspekce průběhu tlakových napětí navíc ukazuje, že žádná z hodnot nepřesahuje povolenou mez pevnosti v tlaku z tab. 2.

Ke grafickému zobrazení normálových sil je třeba poznamenat, že ačkoli je jejich průběh kreslen po obou stranách nosníků, jde o sílu tlakovou. Tento stav je důsledkem různého směru číslování nosníkových prvků danou přímo generátorem sítě.

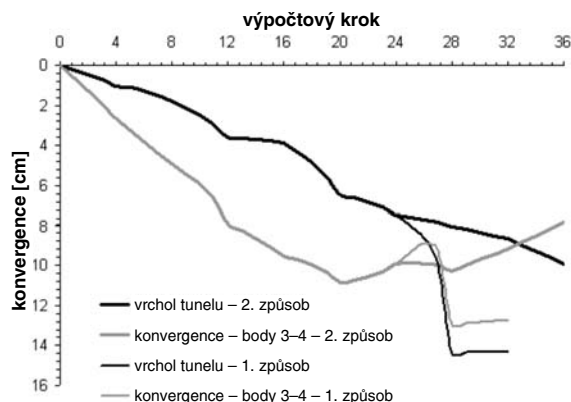


Obr. 15. Průběh  
a – momentu, b – normálové síly, c – napětí

Podobně jako v případě prvního způsobu výstavby jsme sledovali i zde vliv kotevních prvků (obr. 16). Je zřejmé, že v tomto případě je jejich účinek zanedbatelný. Nicméně pozorujeme obdobný trend jako u prvního způsobu výstavby. Na závěr poskytujeme porovnání obou přístupů pro dva vybrané body. Je zřejmé, že druhý způsob exkavace je prioritní.



Obr. 16. Průběh deformací vybraných bodů – 2. způsob exkavace, vliv kotevních prvků



Obr. 17. Průběh deformací vybraných bodů (porovnání způsobů exkavace)

## Závěr

Program GEO MKP byl zvolen pro numerickou simulaci exkavace tunelu Turecký vrch. Pro posouzení aplikovatelnosti tohoto programu byl vybrán reprezentativní příčný řez v blízkosti severního portálu, nacházejícího se v oblasti písčitých a sprašových sutí a deluviálních sedimentů. Nelineární chování těchto materiálů bylo kontrolováno podmínkou plasticity vycházející z Mohrovy – Coulombovy podmínky porušení. Typicky trojrozměrné přetváření zemního masivu během exkavace bylo částečně zohledněno použitím metody opěrných napětí. V návaznosti na inženýrsko-geologický průzkum bylo navrženo vertikální členění výrubu. Přitom se sledovaly dva postupy exkavace. Z prezentovaných výsledků vyplývá, že druhý způsob, při kterém nejdříve vybereme celý pilř, uzavřeme primární ostění, a poté odstraníme vnitřní opěry pilře, je výrazně stabilnější a nevede ke kolapsu konstrukce během výstavby.

Z pohledu vlastního programu jde o uživatelsky příjemný, velice spolehlivý a efektivní software, umožňující řešit komplexní problémy geotechnického inženýrství, kterým výstavba tunelu bezesporu je. Tento program byl také použit pro návrh a posouzení portálu.

Príspevek byl vypracován za podpory projektů č. 103/02/0688 a č. 103/04/1134 GA ČR. Software a odborné konzultace poskytla firma FINE, s. r. o.

## Literatura

- [1] Bittnar, Z. – Šejnoha, J.: Numerical Methods in Structural Mechanics. New York, ASCE Press and Thomas Telford Publ. 1996.
- [2] Potts, D. M. – Zdravkovič, L.: Finite Element Analysis in Geotechnical Engineering – Theory. London, Thomas Telford Publishing 1999.
- [3] Potts, D. M. – Zdravkovič, L.: Finite Element Analysis in Geotechnical Engineering – Application, London, Thomas Telford Publishing 1999.
- [4] GEO MKP – Uživatelská příručka. Praha, FINE 2002, www.fine.cz.
- [5] Hilar, M.: Numerická analýza tektonicky porušeného horninového masivu s primární výstrojí při aplikaci NRTM. [Dizertace], Praha, ČVUT – Fakulta stavební 2000.
- [6] Panet, M. – Guenot, A.: Analysis of Convergence Behind the Face of a Tunnel. Proc. Tunneling 82, London, The Institution of Mining & Metallurgy, 1982, pp. 197–204.
- [7] Závěrečná zpráva orientačního inženýrsko-geologického průzkumu II. etapy tunelu Turecký vrch. GEOFOS, s. r. o., Žilina, 2002.
- [8] Zásady pro používání stříkaného betonu. Praha, Český tunelářský komitét ITA/AITES, 2003.

## Gramblička, M. – Šejnoha, M. – Pruška, J.: Numeric Modelling of a Tunnel in GEO MKP

The present contribution is concerned with the modelling of the Turecký Vrch Tunnel, using the GEO FEM program. The analysis is carried out in two dimensions, while the three dimensional character of deformation of a soil body in the vicinity of a tunnel face is taken into account by employing the  $\lambda$  or the convergence confinement method to simulate excavation. Two ways of excavation are studied particularly viewing the stability of the overall system. In this regard, the stabilizing effect of an anchorage system is also examined. Outside of the tunnel, the system of reinforcing elements is introduced through a region with improved strength parameters of the original soil. Within the buttress, the reinforcing elements are modelled individually using anchors with excluded tension. The present analysis clearly demonstrates applicability of the chosen software.

## Gramblička, M. – Šejnoha, M. – Pruška, J.: Numerische Modellierung eines Tunnels im Programm GEO MKP

Der Beitrag behandelt die numerische Modellierung des Tunnels Turecký vrch im Programm GEO MKP. Die Berechnung erfolgt zweidimensional, wobei für die dreidimensionale Verformung des Erdkörpers in der Umgebung der Tunnelbrust das Verfahren der Stützspannungen im Rahmen des Auffahrens angewandt wird. Es werden zwei Arten der Aufnahme des Tunnels beurteilt, insbesondere hinsichtlich der Stabilität des ganzen Systems. Von diesem Gesichtspunkt aus wird auch die stabilisierende Wirkung des Verankerungssystems verfolgt. Außerhalb des Tunnels wird das System von Aussteifungselementen im Rahmen des durchankerten Bereichs mit erhöhten Werten der Festigkeitsparameter des ursprünglichen Erdstoffs aufgefasst. Im Pfeilerbereich werden dann die Aussteifungselemente einzeln durch Anwendung von Ankern unter Ausschluss einer Einwirkung von Druck modelliert. Die Analyse dokumentiert dann eindeutig die Eignung der gewählten Softwareausstattung.

# Metoda měření délky indukční periody tuhnutí cementové pasty

Ing. Petr SEMERÁK, PhD.  
 prof. František VODÁK, DrSc.  
 Ing. Tomáš VRÁNA  
 ČVUT – Fakulta stavební  
 Praha

V článku je popsána metoda měření délky indukční periody hydratace cementu, tj. intervalu, během kterého se hydratační procesy téměř zastaví. Její princip spočívá v analýze změn elektrického odporu cementové pasty na základě membránové hypotézy indukční periody.

## Rozbor problému

Hydratace cementu patří k nejsložitějším procesům materiálového inženýrství a k nejméně probádaným oblastem této problematiky patří rané stadium hydratace, které odpovídá tuhnutí cementové pasty. Během prvních cca 24 hodin hydratačních procesů můžeme rozlišit celkem pět různých period [1]:

- počáteční, trvající řádově minuty, během níž dochází k intenzivnímu rozpouštění trikalciem silikátu  $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  (v cementářské literatuře  $\text{C}_3\text{S}$ );
- indukční (někdy také inkubační), trvající řádově hodiny, během níž se chemické reakce v podstatě zastaví;
- urychlených reakcí, trvající řádově hodiny, kdy dochází k intenzivní hydrataci a tuhnutí gelu;
- zpomalených reakcí (znovu trvající hodiny);
- pomalých reakcí, řízených především difúzí, během které se tuhnutí mění na tvrdnutí a ve vhodných podmínkách trvá téměř celou dobu existence materiálu.

Z hlediska zpracovatelnosti cementového materiálu má zásadní význam indukční perioda, jejíž délka je přibližně rovna časovému intervalu, během kterého je možné materiál tvarovat. Přesně vzato je doba zpracovatelnosti rovna součtu intervalů obou prvních period, ale jak již bylo řečeno, počáteční perioda trvá pouze minuty. Interval odpovídající jednotlivým periodám se měří převážně kalorimetricky prostřednictvím měření rychlosti vývinu hydratačního tepla. Tato metoda má jednu zásadní nevýhodu – neumožňuje přesně určit konec indukční periody, tedy konec intervalu odpovídajícího zpracovatelnosti. Proto zde navrhneme metodu elektrickou, která identifikuje jednotlivé periody pomocí změn elektrického odporu materiálu.

Podle Taylora [2] existují čtyři hypotézy pokoušející se vysvětlit existenci indukční periody a identifikovat její začátek a konec:

- H1 – ochranné vrstvy kolem zárodků hydrosilikátu ( $3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ; v cementářské literatuře C-S-H);
- H2 – hypotéza nestabilní nukleace zárodků hydrosilikátů;
- H3 – „boje“ mezi zárodky  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (v cementářské literatuře CH) a  $\text{SiO}_2$  (v cementářské literatuře CH);
- H4 – hypotéza membránová.

Právě tuto poslední hypotézu použijeme, abychom vyložili princip navržené metody. Nevybrali jsme ji proto, že bychom ji považovali za nejlepší, ale proto, že se na ní dají nejlépe

předvídat změny elektrické vodivosti cementové pasty v závislosti na čase.

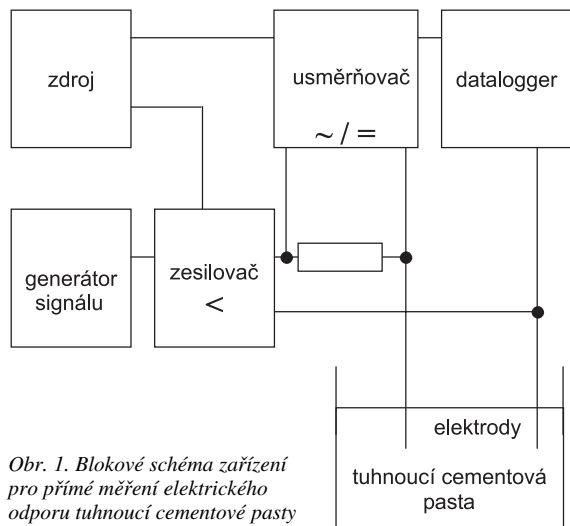
Podle membránové hypotézy se po počáteční periodě vytvoří kolem zrn  $\text{C}_3\text{S}$  membrána (tvořená C-S-H), která zastaví hydratační procesy. Okamžik  $t_1$ , kdy se tato membrána začne tvořit, je tedy počátkem intervalu, který odpovídá indukční periodě. Tato membrána je však polopropustná, a to znamená, že dovnitř k zrnům propouští vodu a ven propouští kationty  $\text{Ca}^{2+}$ . Uvnitř membrány tedy roste tlak, který po určité době membránu roztrhá. Okamžik destrukce membrány  $t_2$  tedy odpovídá konci indukční periody a po této destrukci nastupuje perioda urychlených reakcí provázená tuhnutím gelu.

Pokusme se nyní interpretovat tuto hypotézu v termínech elektrické vodivosti a elektrického odporu  $R$  studovaného materiálu. Hypotetickým výchozím stavem je směs (suspenze) dvou nevodivých materiálů – kapalné  $\text{H}_2\text{O}$  a zrn  $\text{C}_3\text{S}$ . Tato nevodivá směs má tedy vysoký elektrický odpor  $R$ . Ovšem okamžitě po smíchání se za chemických reakcí začnou zrna  $\text{C}_3\text{S}$  rozpouštět. Nevodivá suspenze se mění v elektrolyt, jehož iontová vodivost neustále vzrůstá. Grafická závislost  $R = R(t)$  musí mít tedy v této počáteční periodě charakter klesající funkce. V určitém okamžiku  $t_1$  začne kolem nerozpuštěných zrn  $\text{C}_3\text{S}$  vznikat membrána tvořená hydrosilikátem vápenatým. Tento okamžik je zároveň počátkem indukční periody. Při tvorbě membrány je část volných iontů začleněna do pevné struktury, takže vodivost směsi klesne (tudíž  $R$  vzroste). Je-li tato úvaha správná, pak čas  $t_1$  musí být na závislosti  $R(t)$  zobrazen inflexním bodem nebo alespoň lokální nespojitostí. Membrána kolem zrn  $\text{C}_3\text{S}$  je však polopropustná – dovnitř propouští molekuly  $\text{H}_2\text{O}$  a ven ionty  $\text{Ca}^{2+}$ . Po krátkém čase, který je potřebný k tvorbě membrány, musí tedy iontová vodivost elektrolytu opět mírně vzrůst, takže i během indukční periody má křivka  $R(t)$  charakter klesající funkce. Zároveň uvnitř membrány vzrůstá tlak, protože zde roste počet molekul vody. V okamžiku  $t_2$  pak tento tlak začne membránu trhat, což zahájí urychlenou periodu, charakterizovanou intenzivními chemickými reakcemi a tuhnutím cementové pasty. Od okamžiku  $t_2$ , který je koncem indukční periody, tedy ubývá volných iontů, takže elektrický odpor začíná radikálně růst. Konec indukční periody  $t_2$  musí být na grafu  $R(t)$  zobrazen opět inflexním bodem. Z uvedeného rozboru vyplývá, že délku indukční periody bychom měli být schopni jednoduše zjistit měřením časové závislosti elektrického odporu studovaného materiálu.

## Princip metody

Pro zjištění elektrických vlastností tuhnoucí cementové pasty byla vybrána metoda přímého měření elektrického odporu. Nezbytná aparatura byla navržena a vyzkoušena na Katedře fyziky Fakulty stavební ČVUT v Praze (obr. 1). Zařízení se skládá z oscilátoru, který produkuje sinusový signál proměnné frekvence, jenž se používá pro potlačení polarizace elektrod. Samotné elektrody jsou tvořeny dvojicí

rovnoběžných nerezových kulatin o průměru 5 mm a délce 50 mm. Jsou od sebe vzdáleny 20 mm a ponořeny do nádoby s cementovou pastou. Signál z generátoru je zesílen a je jím přes snímací člen procházejícího proudu napájena dvojice elektrod. Snímaný proud je přes nízkofrekvenční usměrňovač spolu s napětím na elektrodách zaznamenáván



Obr. 1. Blokové schéma zařízení pro přímé měření elektrického odporu tuhnoucí cementové pasty

do měřicí ústředny s nastavitelnou periodou záznamu. Získaná data jsou dále zpracována v prostředí Excel, z hodnot napětí a intenzity proudu je vypočtena hodnota elektrického odporu, která je poté vynesena do grafu závislosti odporu na čase. Hodnota odporu, resp. elektrické vodivosti, se mění přirozeně s časem, protože se mění hustota nosičů elektrického náboje v důsledku fázového přechodu prvního druhu.

## Diskuse

Na obrázku 2 je typická závislost odporu na čase pro cementovou pastu na bázi portlandského cementu s vodním součinitelem  $w/c = 0,4$ . Obdobné závislosti jsme obdrželi i pro jiné hodnoty součinitele  $w/c$ . Je zřejmé, že tato závislost umožňuje velice přesně určit počátek a konec indukční periody. Můžeme tedy odpovědně tvrdit, že navržená metoda je vhodná pro měření intervalu ( $t_1$ ,  $t_2$ ), který této periodě odpovídá. Získané výsledky by mohly zpřesnit vstupní data programu CEMHYD 3D [3]. Tato závislost vykazuje také dobrou shodu s teoretickým rozbohem, který byl založen na

membránové hypotéze a nepřímo ji potvrzuje. Definitivním závěrem bychom se však rádi vyhnuli a počkali na výsledky další části experimentálního programu.

Článek vznikl za finanční podpory prostřednictvím projektu č. 106/03/0028 GA ČR.

## Literatura

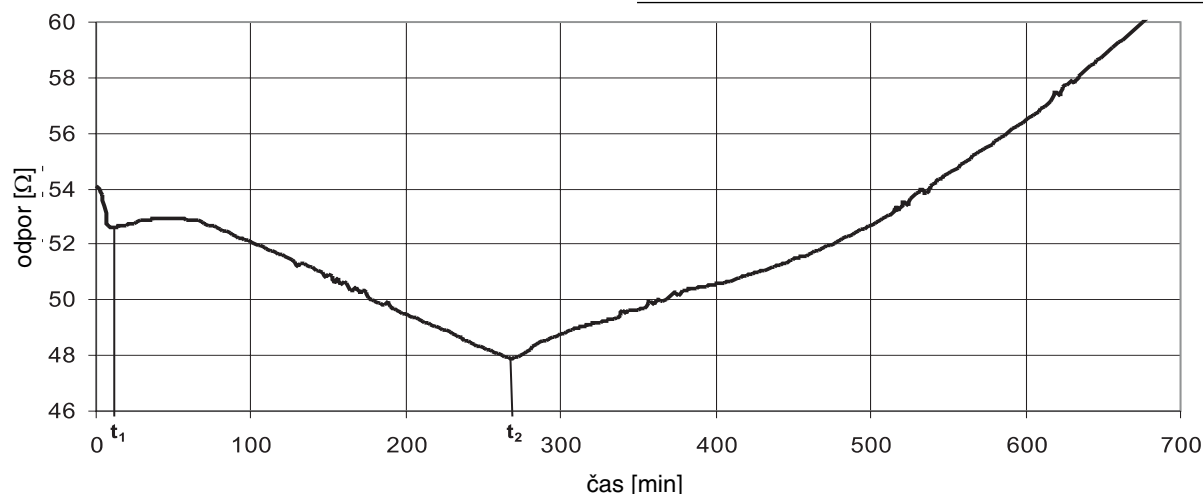
- [1] Kondo, R. – Ueda, S.: Kinetics of Hydration of Cements, [Proceedings], 5th International Symposium on the Chemistry of Cement, Cement Association of Japan, Vol. 2, Tokyo, 1969, p. 203.
- [2] Taylor, H. F. W.: Cement Chemistry. London, Thomas Telford 1997.
- [3] Šmilauer, V. – Bittnar, Z.: Hydratace cementové pasty a model CEMHYD 3D. Beton, 2003, č. 6, s. 32–35.

## Semerák, P. – Vodák, F. – Vrána, T.: A Method of Measurement of the Induction Period Length of Cement Paste Hardening

This paper describes a method of measurement of the induction period length of cement hydration (i.e. the time interval after which hydration processes are practically stopped). The principle of the method lies in the analysis of changes of electric resistance of cement paste and the analysis involves a membrane hypothesis of the induction period. This article outlines the measurement method of electric resistance of cement paste, including the block diagram of connexion and an example of the measured dependencies.

## Semerák, P. – Vodák, F. – Vrána, T.: Verfahren zur Messung der Länge der Induktionsperiode der Erhärtung einer Zementpaste

Im Artikel wird ein Verfahren zur Messung der Länge der Induktionsperiode der Hydratation von Zement (d.h. der Zeitspanne, während der die Hydratationsprozesse zum Stillstand kommen) beschrieben. Das Prinzip des Verfahrens besteht in der Analyse der Veränderungen des elektrischen Widerstands der Zementpaste, und diese Analyse wird in der Membranhypothese der Induktionsperiode durchgeführt. Das Verfahren zur Messung des elektrischen Widerstands einer Zementpaste wird im Artikel einschließlich Abbildung eines Blockschemas und eines Beispiels der gemessenen Abhängigkeiten beschrieben.



Obr. 2. Příklad závislosti elektrického odporu cementové pasty na čase

## Udržitelný rozvoj a dlouhodobě udržitelné hodnoty investičního díla

doc. Ing. Václav BERAN, DrSc.  
 ČVUT – Fakulta stavební  
 Praha

Příspěvek prezentuje polemiku k článku, který uvádí, že druhý termodynamický zákon popírá možnost východisek pro udržitelný rozvoj. Autor odmítá možnost aplikovatelnosti zmíněného ekofyzikálního přístupu. Termodynamika aplikovaná na socioekonomický rozvoj má své interpretační limity. Ekonomické děje se rozvíjejí v čase a trajektorie užítka vyznačují technický úspěch návrhu nebo inovace. Měření užítka pro varianty v technickém navrhování v průběhu životního cyklu jsou jednou z nejobtížnějších partí profesionální technické analýzy náročné ve smyslu akademické kvantitativní analýzy projektů a inovací. Přidaná užitná hodnota nových technických řešení má, jak se zdá, kvantový aspekt, který není dosud do existujících přístupů ohodnocování zahrnut. Nová generalizovaná teorie užítka by mohla překlenout nedostatky v teorii ohodnocování.

Patří k reáliím začátku 21. století, že některé fundamentální otázky získávají v řadě oborů novou aktuálnost a vystupují do popředí v nových souvislostech. Je tomu tak i s problematikou entropie ve vazbě na téma příspěvku J. Říhy [3]. „*Vize udržitelného rozvoje byla nastartována jako myšlenková abstrakce možného řešení vyhrocující se globální ekologické krize záhy po konferenci OSN o životním prostředí v roce 1972. Pro tuto kategorii byla postupně vytvořena různá paradigmat a na mezinárodní úrovni se k udržitelnému rozvoji vedou četné diskuze. V politickém rozhodování se zdůrazňuje význam souběžného zvažování cílů ekonomických, sociálních a životního prostředí. Tato integrovaná koncepce je hodnocena jako principiální. Koncept udržitelného rozvoje však naráží na nepřekročitelné hranice fyzikálních zákonů a postrádá teoretické odůvodnění.*“ Článek uvádí přehled stěžejních přístupů významných pro technickou praxi a hodnotí dosavadní výsledky. Nesporně, pokud se nespokojíme tu s autologií definic, jinde autoritativním tvrzením existujících vědních disciplin.

Není příliš výhodné hovořit k udržitelnému rozvoji z pozice výčtu toho, co se ve vědě nedaří. Nezdár a selhání je však také výzvou, která vyvolává potřebu dalšího vývoje. Zvyšuje cenu budoucích hodnot [1], ať jsou jimi úspěchy, nebo neúspěchy. Z dlouhodobého hlediska je pozice a východisko stejně tak málo významné, jako bývá z krátkodobého hlediska přeceňován jeho význam. Vědní disciplína je vědní disciplinou pouze do té doby, dokud hledá a vysvětluje nepoznané. Vše ostatní, poznané a ukončené, je databáze vědního odkazu, encyklopedie poznaného, pedagogika. V tomto smyslu je možné se ztotožnit s příspěvkem [3], nelze však převzít jeho komponentu, že „koncept udržitelného rozvoje naráží na nepřekročitelné hranice fyzikálních zákonů a postrádá teoretické odůvodnění“. Nesouhlas se týká pragmatického krátkodobého nebo střednědobého pohledu [2], pro nějž lze působení technického díla rozumně vymezit.

Je to paradoxně pravděpodobně právě druhá věta termodynamická, která potvrzuje potřebu udržitelného rozvoje jako nové potřebné kategorie v současném světě technicko-ekonomického rozvoje. Hovoří o konečném stavu probíhajícího procesu. Jde o skutečnost, že je-li uzavřený makrosystém ponechán svému osudu (není řízen nebo regulován), vyvine se do stavu, který maximalizuje entropii. Těleso ponechané svému osudu (zde jako ilustrační příklad) v chladném prostoru vyrovná svou teplotu a stane se součástí prostředí.

Druhá věta termodynamická je nesporně pravdivou výpovědí v extrému limity času. Nicméně její tvrzení, vztaheno k relativně krátké historii parciálně úspěšných aktivit Homo Economicus a Technicus (ET), o náhodnosti a neuspořádanosti, vyjádřené entropií, není přesvědčující. Dočasně se entropie v časovém období působení aktivit Homo ET nesporně zmenšila. Zákon druhé věty termodynamické jistě nebyl překonán. Lokální diferenciální uspořádání, učiněné aktivitami zmíněných subjektů, vytvořilo krátký, pomíjivý prostor pro dočasné (čtème tisíciletí, nebo jejich desítek) uspořádání a snížení entropie (tu mobilním telefonem, jinde excelentním mostem, dálničním přivaděčem, regulovanou řekou). Z pohledu této věty je ostatně s podivem, že život vůbec vznikl, neboť je formulována pro uzavřené systémy. Svět zmíněných Homo ET jím není. Jejich svět je otevřený, přijímají vnější zdroje, energii, zejména však absorbují informace. Zde spočívá úhelný kámen rozdílného pohledu. Svět Homo ET je ve skutečnosti nenasytným světem spotřeby surovin a energií. Takový stav je, aniž bychom chtěli negovat předcházející tvrzení o v čase limitním entropickém stavu, historicky krátkodobým neudržitelným excesem. V dlouhodobějším vývoji by jím být neměl a také nemusel. Měl by změnit své organizační, technologické a ekonomické praktiky materiální a energetické nenasytnosti. Zahnutí externalit typu informace do uzavřeného modelu vytváření nových hodnot je snad spíše potenciální nadějí než nebezpečím pro reálný udržitelný vývoj, ale i rozvoj.

Termín udržitelný rozvoj se stal zástupným pojmem pro mnohé představy. Jedna z nich však je nepopiratelná. Změny lze dosáhnout opět pouze změnou technických a organizačních způsobů řešení. Změna je aplikací znalostí. Znalost mechanismů vytváření změn je potřebná jak pro nové přístupy k navrhování, tak pro užívání existujících nebo nově vznikajících hodnot [8].

Klauzule zachování stávajícího stavu v oblasti poznání není cestou k novým řešením a hodnotám života. Cestou však je překonávání bariér limitů existujících technologických spotřeb (příklad: přechodem od ekonomicky a energeticky náročných přístrojů měření času 18. a 19. století s jejich hmotnostmi, energetickou náročností jsme poskytli stejnou funkci v několika málo gramech každému vlastníkovi digitálních hodinek). Všude tam, kde hmotný a energetický požadavek předchází informačnímu zvládnutí požadované funkce, je materiální statek neudržitelně náročným statkem. Teze udržitelného rozvoje je filozofickou představou žádající změnu hodnot a změnu měření užítků potřeb Homo ET. Nejde o nic menšího než o zachování životního prostředí Genus Hominum (lidského pokolení). Řada účtyhodných

vědeckých kapacit biologie 18. a 19. století věnovala značnou část svého intelektuálního potenciálu hledání zdroje života. Nikdy jej v uhlíkatých sloučeninách, které jsou základním prvkem chemické struktury rostlin a zvířat, nenašla. Chemie pragmaticky vymezila celou vědní oblast disciplině nazvané organická chemie. Nadějný obor, v podtextu jeho názvu dosud zaznívá naděje na nalezení zdroje života z dob klasiků biologie 18. a 19. století. Moderní chemie však dříve výlučně organické látky dnes připravuje z anorganických látek technologiemi molekulární chemie. Prapůvodní substance hledané jiskry života se nepřidává.

Ve svém výsledku je pro moderní život dostačující, když technická, výrobní a organizační sféra poskytne uživatelům novou formu užité funkce v materiálně redukováném stavu proti dosavadní známé hmotné formě. Hledáme eficientní (produktivní) formu poskytované *užité funkce*. Chceme se oddělit od pragmatičnosti ekonomické nebo technické efektivity jako měřítka. Příkladem z 21. století může být technický vývoj zmíněné funkce měření času (viz mechanické přístroje měření času člověka 19. a první poloviny 20. století), dnes již téměř nehmotné. Funkce poskytující reprodukci zvuku a obrazu je jiným příkladem. Vyžadovala v první polovině minulého století celou budovu (kina, natáčecí studia), náročné mechanické přístroje, vše v hodnotě snad mnohanásobku celoživotní ekonomické potence (práce) jednotlivce. Televizní obrazovka běžné domácnosti nebo mechanika DVD o hmotnosti desítek dekagramů plní dnes uživatelsky stejné, ne-li dokonalejší funkce. Ve finálním řešení hledáme totiž v mnohém uspokojení pouze pomocí informací, jako je obraz, zvuk, vjem nebo pocit.

Stejnou redukci funkcí by přivítal každý uživatel budov v ekonomice vytápění, osvětlení, větrání, ale i nákladní dopravy, přenosu energií a mnoha dalších oblastech. Očekáváme mnohé od nanotechnologií. Vysokou eficienci (produktivnost) uživatelských funkcí s minimálním přenosem a potřebou hmotné substance. Zdůrazníme proto znovu, že je to pravděpodobně právě druhá věta termodynamická, která paradoxně potvrzuje potřebu udržitelného rozvoje.

Položené základy moderní fyziky, chemie, mechaniky, ekonomiky jsou vším jiným než finálním stavem. Druhá věta termodynamická, aplikovaná na technické dílo, hovoří o jeho konečném makroekonomickém stavu, nepetrifikuje probíhající proces. Rovnovážný stav na konci řetězce je bodovým stavem. Nic neříká o průběhu procesu a jeho složitém chování (nerovnovážné stavy, modifikace struktury, viz změny skupenství apod.) v průběhu dlouhého období, než bude rovnovážného stavu dosaženo. Navíc je třeba k takovému tvrzení dodat, že není nikde řešeno, jaký stav nastane a bude uplatněn za rámcem, nebo lépe nad rámcem, do něhož je onen limitující stav vložen (je-li rámcem dynamika plynů vodní páry, neřešíme chování v rámci dynamiky proudění vody jako tekutiny, apod.).

Hypotézy o dosud nepoznaných energetických cyklech mechaniky kosmického prostoru jsou jistě výrazným upozorněním na rozsáhlou oblast dosud chybějících znalostí. Gigantické transformace hmoty a energií přiblížené digitálním mapováním (Hubbleovým teleskopem a rentgenovým teleskopem Chandra, 2003) universa, financovaným NASA, jsou drobnou připomínkou potřeby nových technologií k velkým krokům, nutným k poznání dosud nepoznaného. Podařilo se spatřit, nahlédnout [9], nepodařilo se však mnohemu porozumět. Jisté v tomto okamžiku je, že nestojíme vizi budoucnosti u rovnovážných stavů druhé věty termodynamické.

Podněty rozvoje budou častěji přicházet z představ nelineární dynamiky o jejích pravděpodobných stavech, velmi vzdálených od rovnovážných stavů. Jakkoliv exaktně bychom chtěli dosud nepoznané vyjádřit, jakkoliv intenzivně bychom si přáli uskutečnit a vysvětlit mnoho jevů denního života, ekonomiky, technických aplikací, sociálních a sociologických jevů, zůstává nám komplexní poznání dosud upřeno. Jedním z počátečních nástrojů nabídnutých pro pragmatický krátký úsek našeho technicko-ekonomického vývoje jsou dnes kritéria hodnocení na základě udržitelného rozvoje.

**Poznámka lektora:** Jestliže udržitelný rozvoj autor hodnotí jako „filozofii hodnocení“, potom tento proces nelze redukovat na pouhé „kritérium hodnocení na základě udržitelného rozvoje“. Udržitelný rozvoj je standardně hodnocen na základě tří opěrných pilířů, tj. hlediska ekonomického, sociálního a environmentálního. Odborná veřejnost k tomu aktuálně přidává hledisko bezpečnostní. Zavádění robustních (víceparametrových) kritérií nedává objektivní výsledky, např. viz World Economic Forum, Yale Center for Environmental Law and Policy, and Center for International Earth Science Information Network CIESIN (2002): 2002 Environmental Sustainability Index, 21 March 2002 (<http://www.ciesin.columbia.edu/indicators/ESI>); kritický názor [4].

Moderní mechanika a fyzika, v komplexní podobě matematika a filozofie upozorňují na něco, co potvrzuje potřebu změnit ekonomická a technická kritéria posuzování nových řešení denního života. Kritérium hodnocení na základě indikátorů udržitelného rozvoje (Agenda 21, její promítnutí do aktivit UN, aktivit Světové banky, aktivit EU a dalších institucí) je takovým vybidnutím.

Můžeme je samozřejmě odmítnout jako nedopracované a možná v současnosti špatně interpretované. Potřeba hodnocení stavů změny je však objektivní (kritické hlasy Římského klubu let šedesátých a pozdějších autorů, např. E. F. Schumachera, A. Tofflera, B. Kurase).

Hlavní proud praktikující ekonomiky a techniky nemůže sledovat trajektorii jednoho extrému jednoho parametru. Bylo by chybné a pochybné sledovat v komplexním pohledu pouze krátkodobý zisk fiskální roční bilance nebo pouze estetická hlediska architektonického působení kompozice hmot, světla a stínu, popř. ekologický profit jednoho živočišného druhu jako centrální rozhodovací kritérium. Udržitelný rozvoj je filozofií hodnocení. Sleduje celý životní cyklus procesů, které má hodnotit, popisovat, regulovat, řídit. Pojetí je, a vždy by mělo být, odlišné od krátkodobých extrémních optimalizačních stavů pohledů jedné dimenze.

Pojetí jedné dimenze nebo jinak nekomplexní hodnocení nesměruje k nalezení opravdu rovnovážných stavů. Směřuje-li k nalezení řešení ve smyslu udržitelného a obnovitelného cyklu technického díla a jeho uživatelských funkcí, pak obnovitelný cyklus nesmí být návratem a rekonstrukcí starých stavů. Ekonomika a proces vývoje jsou neúprosné. Žádají racionálnější, funkčně bohatší řešení proti minulosti. Zlomit bariéru energetické náročnosti (energie, práce, mzdy, práce strojů atd.) znamená zlomit bariéru elity, luxusu minorit a vytvořit funkčními dlouhodobě udržitelné kategorie budoucích, dnes extrémních stavů. Znamená to vesměs nutnost vytvořit uspořádání potlačující entropii, z limitního pohledu jistě stav pouze dočasný. Z pragmatického pohledu generačního vývoje Genus Hominum nicméně dostatečně dlouhodobý. Nástroji tvorby a navrhování jsou však v našem limitním světě pouze omezené technické a ekonomické znalosti. Naděje na dočasné snížení entropie v životním prostředí nicméně přinášely v minulosti pouze technické

aplikace objevů přírodních věd. Ekonomika a další disciplíny vytvářejí pouze jejich rámec. Rozhodovací kritérium, kterým udržitelný rozvoj v redukované formě je, nepředstavuje svou podstatou nic více než onen dočasný znalostní poplatný rámec. Nejde však také o nic méně důležitého.

### Technicko-ekonomická kritéria hodnocení

V současnosti jsme svědky toho, že náročné technicko-ekonomické projekty jsou vyhodnocovány filtrem výrazně přísnějšího rámce ekonomických parametrů – finančních efektů než v nedávné minulosti. Technická, ekologická a sociální hlediska se dostávají ke slovu teprve tehdy, vyhoví-li rámci ekonomické přípustnosti. Ekonomické limity se staly podmínkou nutnou, ostatní limity pak podmínkami postačujícími.

Mluvíme-li o hodnocení nových technických řešení, dotýkáme se citlivé otázky rozvoje. Technický vynález a skutečné technické inovace jsou přitom nepominutelným předpokladem rozvoje každého hospodářství a ekonomiky vůbec. Zavedení kritérií hodnocení a práce s nimi je proto často důležitější pro technicko-ekonomický rozvoj, než bychom byli ochotni na první pohled připustit [1]. Míra zavlečené chyby může deformovat výsledný efekt způsobem, který eliminuje podstatnou část věcného efektu nově navrhovaného řešení [4], [5]. Oprávněnost nazývat cokoliv novým řešením je jistě věcí díkce legislativy, priorit, vesměs vztahených k úzkému spektru hodnotících kritérií.

Koncem minulého století byla zavedena pro hodnocení technických řešení metodologie nazvaná *technological assessment*. Poměrně podrobně se zabývá hodnocením nových technických řešení a snaží se usnadnit cestu k jejich nalezení. V průběhu vývoje byly zdůrazňovány otázky rizik (Precautionary Principle [7]).

Omezme se na předstihu, že hodnocení probíhá pouze na úrovni dvou hodnotících kritérií,  $x$  – technického standardu a  $y$  – ekonomického standardu. V průběhu minulého desetiletí byl předložen návrh zavést kromě toho pro posuzování technicko-ekonomických řešení rovněž standard  $z$  pro udržitelný rozvoj. Ambice mnoha protagonistů či obdivovatelů navrženého hodnocení jdou mnohdy dále. Nelze jim upřít aspiraci na vytvoření globálního kritéria hodnocení. Pokus, jistě svou invencí ambiciózní, byl již v minulosti proveden. Do učebních textů vstoupil v těžko identifikovatelné minulosti pojem *užitku*. Je ctižádostí mnoha teoretických prací se s pojmem, jeho měřením a jeho výpočetní stránkou vypořádat [4]. Každý student, který absolvoval první semestry vysokoškolské výuky, poznal obtíž a úskalí veličiny, která je obtížně měřitelná, všeobsahující, subjektivní apod. Technicko-ekonomické návrhy jsou disciplinami pracujícími s exaktními materiálními objemy, hodnotami a stavy. Stavební konstrukce nepřipouští vágní kategorie. Nicméně pojem udržitelnosti technicko-ekonomického řešení mostní konstrukce či dálniční trasy v daném místě po celý dlouhý technický životní cyklus je pro různé variantní řešení zajímavou kategorií hodnocení [7]. Indikátory udržitelnosti [5] a indikátory technických či ekonomických standardů vyžadují agregátní formu vyjádření výsledného hodnotového efektu.

### Rozšiřující poznámka

Pokusme se hodnotit vektor indikátorů<sup>1)</sup> objemů potřeb  $\mathbf{x}$  na základě jejich ocenění<sup>2)</sup>  $\mathbf{c}$ . Výsledkem bude hodnocení, matice o jednom prvku, které získáme formou maticového součinu

$$u(x) = \mathbf{c} \mathbf{x}. \quad (1)$$

Každé hodnocení v čase však doznává změny. Mostní konstrukce uváděná do provozu bude mít jiná  $\mathbf{c}$  než mostní konstrukce vybudovaná po několika desítkách let. Standard technicko-ekonomických řešení se mění a mění se i jejich subjektivní ocenění. Vztah (1) má v časové dimenzi hodnocení tvar

$$u(t, x) = \sum_1^T \mathbf{c}(t) \mathbf{x}, \quad \text{pro } t = 1, \dots, T. \quad (2)$$

Považujme interval pro  $t$  ve vztahu (2) za životní cyklus technického řešení s celkovou životností technického díla  $T$ .

Stále předpokládáme, že jde o technické dílo, které hodnotíme na základě vstupních zdrojů  $\mathbf{x}$ , které se v průběhu času nezmění. Vstupy budou objektivně konstantní veličinou. Zdivo mostního pilíře, jeho betonové konstrukce budou stále k dispozici. Bude se měnit pouze jeho kvaziocenění pomocí prvků matice  $\mathbf{c}$ , popisující významnost hodnocení v jednotlivých časových úsecích celkové životnosti  $T$ . Přesto, že jde stále o stejné technické dílo, hodnocené na základě parametrů  $\mathbf{x}$ , budou hodnoty  $u(t, x)$  pro  $t = 1, \dots, T$  různé. Navíc nebudou konzistentní s hodnocením  $u(x)$ . Vztah (1) charakterizuje v nejlepším případě jakýsi orientační průřez hodnocení nebo výchozí počáteční hodnocení technického návrhu  $\mathbf{x}$  bez ohledu na budoucí vývoj. Hodnocení (2) představuje postup hodnocení v průběhu životnosti. Její modifikace časovým faktorem má tvar

$$u(t, x) = \sum_1^T \gamma^t \mathbf{c}(t) \mathbf{x}, \quad \text{pro } t = 1, \dots, T, \quad (2a)$$

kde  $\gamma$  je diskontní faktor pro  $\mathbf{c}$  (míra degradace, zastarávání, morální životnosti, popularity, odporu, nepřijatelnosti atd.).

Každé hodnocení (rovněž závislé na stupni poznání) je realizováno za určitého stavu technologie  $\mathbf{A}$  a za existující dostupnosti výrobních, organizačních a technologických zdrojů  $\mathbf{b}$ . Omezení realizace je proto velmi jednoznačné. Platí

$$\mathbf{A} \mathbf{x} \leq \mathbf{b}. \quad (3)$$

Nicméně technologie  $\mathbf{A}$  doznávají změn. Organizace a technologie se v čase životního cyklu mění a matice nabývá v průběhu životního cyklu různých hodnot,  $\mathbf{A}_t$ ,  $t = 1, \dots, T$ . Stejně tak zdroje řešitele technicko-ekonomického návrhu doznávají rovněž v čase změny,  $\mathbf{b}_t$ ,  $t = 1, \dots, T$ . Výrobce a projektant nových řešení současnosti disponuje jiným spektrem disponibilních zdrojů než jeho předchůdci. Zlepšuje se kvalita materiálů, zlepšuje se kvalita metod navrhování. Srovnatelná potřeba zdrojů pro řešení  $\mathbf{x}$  v čase  $t$  je dána vztahem

$$\mathbf{A}_t \mathbf{x} \leq \mathbf{b}_t, \quad (4)$$

Předpokládejme, že řešení reprezentované standardem na konci životního cyklu bude  $\mathbf{x}_T$ . Diference mezi potřebou zdrojů měřenou stávajícími organizačními a technologickými standardy  $\mathbf{A}_t$  vyjadřuje nárůst disponibility zdrojů pro technicko-ekonomická řešení  $\mathbf{x}_T$  a  $\mathbf{x}_t$ , kde první řešení před-

<sup>1)</sup> Rozumějme potřebou obecně zdroje, tj. materiál, práce, energie, informace. Zahrňme mezi vstupní potřeby i znečištění ovzduší, hlučnost, zhodnocení pozemků a další indikátory z oblasti spotřební kvality.

<sup>2)</sup> Jednotlivá množství  $x_j$ , potřebná pro technicko-ekonomické řešení, charakterizují veličiny  $x_j \geq 0$ . Jejich ocenění  $\mathbf{c}$  je sloupcová matice. Parametry mohou být normovány a může např. platit  $\sum c_i = 1$ .

stavuje řešení na konci životního cyklu a druhé moderní řešení na začátku životního cyklu. Platí

$$\mathbf{A}_t \mathbf{x}_T - \mathbf{A}_t \mathbf{x}_t = \mathbf{A}_t (\mathbf{x}_T - \mathbf{x}_t) = \mathbf{b}_T - \mathbf{b}_t = \Delta \mathbf{b} . \quad (4.1)$$

Sloupcová matice  $\Delta \mathbf{b}$  představuje uvolnění zdrojů z titulu rozvoje za období  $(T - t)$ . Jeho ohodnocení v cenách období  $t$  může být dáno jako řádková matice  $\mathbf{y}_t$ . Hodnota uvolněných zdrojů je dána jako

$$G(\mathbf{y}_t) = \mathbf{y}_t \Delta \mathbf{b} . \quad (4.2)$$

Předpokládáme, že  $G(\mathbf{y}_t)$  představuje nárůst eficiency navrhování technicko-ekonomických řešení za životní cyklus  $(T - t)$ .

Porovnáme-li technické dílo, jehož životní cyklus v současnosti končí,

$$u(\mathbf{x}_T) = \mathbf{c}_T \mathbf{x}_T , \quad (5)$$

a moderní technické dílo, jehož životní cyklus je právě zahajován,

$$u(\mathbf{x}_t) = \mathbf{c}_t \mathbf{x}_t \quad \text{pro } t = 1 . \quad (6)$$

Měli bychom vidět výrazný rozdíl přidaného užítka z titulu rozvoje technické disciplíny jako

$$\Delta u(\mathbf{x}_t) = u(\mathbf{x}_t) - u(\mathbf{x}_T) . \quad (7)$$

Budeme předpokládat, že technické dílo, jemuž končí životní cyklus (5), je hodnoceno v současnosti. Hodnocení v současných hodnotových kategoriích pro  $\mathbf{c}_T \mathbf{x}_T$  zapíšeme jako  $\mathbf{c}_T \mathbf{x}_T$ .

Nárůst užité hodnoty nového technického díla proti užité hodnotě technického díla s ukončeným životním cyklem zapíšeme jako

$$\Delta u(\mathbf{x}_{tT}) = \mathbf{c}_t \mathbf{x}_t - \mathbf{c}_T \mathbf{x}_T = \mathbf{c}_t (\mathbf{x}_t - \mathbf{x}_T) . \quad (8)$$

V důsledku (8) usilují nová technická řešení o přidanou hodnotu užítka proti existujícímu stavu. Odůvodnění nových řešení obnovujících stav technického díla na úrovni jeho standardu z některé části jeho životního cyklu  $t$  je řešení nedostačující. Ekonomicky velmi krátkodobé, málo produktivní.

Technická řešení jsou moderní, když přinášejí nové technické, technologické, organizační, a nakonec i ekonomické a sociální výhody. Vztah (3) pak musí být rozšířen o skutečnost, že technologie, organizace i technické parametry se rozvíjejí. Platí, že  $\mathbf{A}$  obsahuje dynamický prvek změny v čase a pro každé období  $t$  bude platit jiná matice technologických potřeb  $\mathbf{A}_t$ . Levá strana vztahu (4) tím představuje příležitost hodnotit udržitelnost rozvoje technické oblasti, oboru. Jestliže je matice  $\Delta \mathbf{b}$  vesměs kladná, není pochyb o tom, že řešení, která jsou navrhována, jsou řešení směřující ke snižování materiálních potřeb  $\mathbf{x}_t$  při poskytování užité hodnoty .

Uvedená skutečnost ovšem stále ještě problém neřeší. Jestliže bychom na dané úrovni měli zavést nová kritéria udržitelnosti rozvoje, pak nezbytně platí i dynamika technicko-ekonomických parametrů zdrojů jako vůdčí motiv, který rozvoj umožňuje. V minulosti se pro ně ustálil pojem inovace.

Dosavadní způsoby hodnocení na bázi vztahu (1), popř. (2), jsou velmi zjednodušená a jejich prohloubení vyžaduje přiznat, že i otázka disponibilních zdrojů se v čase mění nejen co do dostupnosti zdrojů, ale i co do jejich struktury. Stejně tak se mění a požadavky na celkovou potřebu zdrojů pro jednotlivá technicko-ekonomická řešení. Platí vztah (4), kde zdroje  $\mathbf{b}$  mají časovou komponentu a kde jednotlivé potreby zdrojů mají rovněž časovou komponentu. Jestliže

bychom propojili hodnocení na úrovni (2) a úrovni (4), dostaneme složitější pohled na navrhování, který již není tak jednostranný a zachycuje i vnitřní složitost jednotlivých dějů, které v navrhování probíhají. Z hlediska udržitelného rozvoje tak dostáváme variantu řešení, která nemůže spočívat na neřešitelném konfliktu vyčerpání zdrojů (typu katastrofického scénáře vyčerpání zdrojů apod.). Je nutné připustit, že dojde ke konfliktním situacím v posunech ohodnocení cen  $\mathbf{y}_t$  zdrojů  $\mathbf{c}_t$ , ale zároveň dojde ke změnám dostupnosti zdrojů a dohledání nových zdrojů  $\mathbf{b}_t$ . Je skutečností, že nově zaváděné zdroje by měly být v životním prostředí odbouratelné a ve své dostupnosti obnovitelné. V případě, že tomu tak nebude, budou parametry dostupnosti  $\mathbf{c}_t$  odpovídajícím způsobem znevýhodňovat jejich dostupnost. Obecný náhled na hodnocení ve skupenství (obrazně řečeno) finančních prostředků jako jediného hodnotícího kritéria je stejně komplikované jako málo užitečné. Rozumějme ve fázi hodnocení návrhů, které se pohybuje ve vymezeném ekonomickém rámci.

Pokusy v minulosti, které se orientovaly na objemové standardy jako vhodné normativní předlohy hodnocení, měly významné limity pro úspěšné vyhodnocování technicko-ekonomických řešení. Dosáhnout parametrů, které jsou hodnocením změny a dlouhodobě udržitelné změny, je účinnější a pro technicky orientované navrhování i výkonnější nástroj [8].

## Závěr

Je určitým paradoxem současnosti, že tendence a trendy podporující udržitelný rozvoj se často váží se snahami zvýšit tlak na rozdělování již existujících zdrojů. Rozdělování je jistě důležitý moment každé hospodářské činnosti. Klíč k řešení však spočívá nikoli v rozdělování nebo racionálnosti využívání existujícího, ale ve vytváření zdrojů nových, inovovaných (nových materiálů, energií, výrobních postupů a výrobků). Smysluplnost článku by jistě vynikla zařazením jednoduchého akademického příkladu. V připravované publikaci [8] je zařazena kapitola příkladů a výpočtů na bázi programového modulu modifikovaného dynamického modelování (MDM). Jde o poměrně rozsáhlou počítačově orientovanou podporu modelování technicko-ekonomických jevů v jejich životním cyklu. Součástí je i vyhodnocování na bázi očekávaných užítků s časovým faktorem a bez něho. Existuje mnoho významných institucí, které se problematikou udržitelného rozvoje zabývají. Jejich internetové stránky obsahují řadu zajímavých výzkumných zpráv a prací, např. portály OECD, UNIDO, World Bank, ale i World Economic Forum a další.

## Literatura

- [1] Tondl, L.: Hodnocení a hodnoty. Praha, Filosofie 1999, s. 85.
- [2] Beran, V. a kol.: Dynamický harmonogram. Praha, Academia 2002, s. 48 – 56.
- [3] Říha, J.: Koncept udržitelného rozvoje selhává. Stavební obzor, 12, 2003, č. 9, s. 275–281.
- [4] Fishburn, P. C.: Utility Theory for Decision-Making. New York, J. Wiley & Son 1970.
- [5] Říha, J.: Posouzení udržitelného rozvoje ČR globálním indexem ESI. EKO-ekologie a společnost, XV, č. 3, s. 12–15.
- [6] Beran, V.: Management Processes in Technical-Economic Design, Decision-Making, Fractals and Market Bubbles. Acta Polytechnica, 2003, No. 1, pp. 46–53.
- [7] Foster, K. R.: The Precautionary Principle – Common Sense of Environmental Extremism, 2002, <http://ieeexplore.ieee.org>
- [8] Beran, V. – Dlask, P.: Management udržitelného rozvoje v území. Praha, Academia 2004 (v tisku).
- [9] <http://photojournal.jpl.nasa.gov>



### Beran, V.: Sustainable Development and Sustainable Values of a Capital Construction Project

This paper presents a debate on a formerly presented article [3] arguing that the second thermodynamic law denies the basis of sustainable development. The author refuses the possibility of applicability of the mentioned ecophysical approach. Thermodynamics applied to the socioeconomic development has its interpretation limits. Economic events develop in time and the utility trajectory traces the technical success of design or new innovations. The measurement of utility for variants in technical design during the entire life cycle (LC) is the hardest part of a professional technical analysis and most difficult in terms of academic quantitative design analysis and innovation. The utility value added to new technical solutions seems to have a quantum nature that is not involved in existing traditional evaluation approaches yet. The call for a more general science of utility measures may bridge the gap in the evaluation theory.

### Beran, V.: Nachhaltige Entwicklung und langfristige nachhaltige Werte eines Investitionsobjektes

Der Beitrag präsentiert eine Polemik zu dem Artikel [3], in dem angeführt wird, dass das zweite thermodynamische Gesetz die Möglichkeit von Ausgangspunkten für eine nachhaltige Entwicklung verneint. Der Autor lehnt die Möglichkeit der Anwendbarkeit der erwähnten ökophysikalischen Auffassung ab. Die auf die sozio-ökonomische Entwicklung angewandte Thermodynamik hat ihre Interpretationslimite. Die ökonomischen Vorgänge entwickeln sich in der Zeit, und die Nutzens-trajektorien bezeichnen den technischen Erfolg eines Entwurfs oder einer Innovation. Die Nutzensmessungen für Varianten beim technischen Entwerfen im Verlaufe eines Lebenszyklus sind eine der schwierigsten Partien einer im Sinne einer akademischen quantitativen Projekt- und Innovationsanalyse anspruchsvollen professionellen technischen Analyse. Der hinzugefügte Gebrauchswert neuer technischer Lösungen hat, wie es scheint, einen Quantenaspekt, der bisher nicht in die bestehenden Herangehensweisen der Bewertung einbezogen ist. Eine neue generalisierte Nutzenstheorie könnte die Unzulänglichkeiten in der Bewertungstheorie überbrücken.

## • literatura

### Beinhauer, P.:

#### **Atlas štandardných detailov**

#### **Normatívnym požiadavkám vyhovujúce konštrukčné detaily pre stavebné zámery**

EUROSTAV, 2004, Bratislava, 361 s. + CD-ROM, 1 575 Kč

Moderní průmyslová společnost je charakterizovaná neustálou technizací. V posledních letech vyvolaly počítače, faxy, kopírky a podobná zařízení průlom do způsobu práce v každé kanceláři. Pomocí e-mailového spojení a internetu lze rychle a bezpečně přenášet textové, grafické a hlasové informace v dobré kvalitě a na velké vzdálenosti. Tyto lze mezitím – nezávisle na místě a času – přijímat kdekoliv. Působením tohoto vývoje se podstatně změnil i styl práce každého architekta a projektanta. Ti teď již nezpracovávají a nekoordinují stavební záměr reflexivně pouze z kanceláře, ale – díky moderní technice – je jim umožněno přijímat, zpracovávat a individuálně uplatnit odborně zaměřené informace mobilně v autě, ve vlaku, na staveništi. Na základě této moderní techniky byla v lednu 2003 v Německu poprvé vydána publikace autora Petra Beinhauera Atlas standardních detailů, která v tomtéž roce zaznamenala tři vydání, což svědčí o její užitečnosti ve stavební praxi.

Při široké nabídce stavebních materiálů je často velmi obtížné najít jejich správné použití a kombinaci tak, aby na jedné straně byly splněny estetické požadavky, na straně druhé praxí ověřená stavebně technická řešení. Na základě všeobecně platných zásad navrhování stavebních konstrukcí byla v publikaci pečlivě sebrána aplikační řešení detailů, které se ve stavebních objektech standardně opakují. Jde o detailní výkresy k tématům: základy, vnější stěny, vnitřní stěny, stěnové otvory, stropy, schodiště a střechy. Každý detail je zobrazen ve formátu A4 podle norem platných v EU a je doplněn stavebně konstrukčními vysvětlivkami, jakož i upozorněními na stavebně fyzikální zvláštnosti. Kniha obsahuje více než 300 výkresů řešení detailů stavebních konstrukcí.

Součástí atlasu je i CD-ROM, na němž se nacházejí všechny publikované výkresy. Přířímým postupem lze kopírovat každý detail do formátů dxf, dwg, pdf, podle potřeby do nich vstupovat a upravovat je podle potřeb projektového řešení. Obecně poskytují výkresy:

- kontrolu možnosti výroby a realizovatelnosti předcházejících plánů;
- zobrazení stavebních materiálů a jejich smysluplné použití;
- dimenzování stavebních prvků;
- podporu při sestavování a výpočtu potřebných nákladů.



Odkazy na předpisy podle platných norem a osvědčená konstrukční řešení standardních detailů poskytují architektům a projektantům pocit jistoty při projektování, a rovněž jim ušetří práci a čas.

Vazba obsahu knihy na CD-ROM umožňuje plné využití výpočetní techniky nejen při projektování, ale přímo i při návazných stavebních procesech. Publikace významným způsobem pomůže zjednodušit, sjednotit, zkvalitnit a zefektivnit průběh celého procesu počínaje investorem, přes projektanta a stavební firmy, a konče stavebním dozorem, v souladu s praxí a normami uplatňovanými v EU.

Atlas standardních detailů nabízí osvědčené know-how pro architekty, stavební inženýry, studenty a v neposlední řadě i pro stavební dodavatele při realizaci stavebních záměrů. Významnou měrou přispěje ke zvýšení konkurenceschopnosti stavebních firem a zrovnoprávní jejich postavení se zahraničními firmami v EU.

*Tisková informace*

## Přístroje a příklady sledování svahových pohybů

Ing. Jan ZÁLESKÝ, CSc.  
Ing. Michal BUBENÍČEK  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

Článek je zaměřen na technické vybavení pro liniová měření přetvoření zemního prostředí a měření pórových tlaků v něm ve vztahu ke sledování nestabilních území [1], [2], [5]. Jsou zde uvedeny a hodnoceny výsledky vybraných měření přetvoření a pórových napětí. V závěru jsou sestavena základní doporučení vyplývající z aplikace uvedených metod.

### Instrumentace

Pro liniová měření přetvoření jsou užívány kombinace velmi přesného měření osových přetvoření v rozsahu do  $\pm 10$  mm/m klouzavým mikrometrem s rozlišením 1  $\mu$ m nebo přetvoření až do  $\pm 50$  mm/m s rozlišením 0,01 mm/m a modifikované vybavení pro přesnou inklinometrii [1]. Ve všech případech je délka měřicí základny přístrojů rovna 1 m. Dosažení deklarované přesnosti je v případě měření axiálních přetvoření kombinované pažnice s kovovými nebo plastovými měřicími značkami ověřováno kalibracemi na kalibračních zařízeních pro každou sondu před měřením a po souboru měření.



Obr. 1. Dokončování vrtu v podložní břidlici v areálu Fakulty stavební ČVUT v Praze

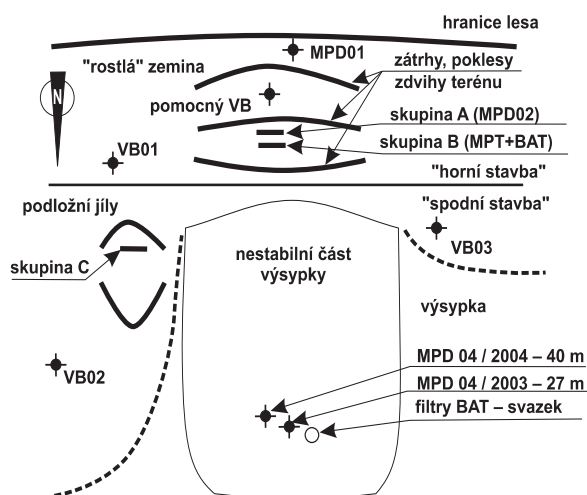
V případě inklinometru je nastavení „0“ kompenzováno postupem měření a ke kontrole slouží ověřovací vrt před budovou B Fakulty stavební ČVUT v Praze–Dejvicích. Vrt prochází navážkami, sprašovým pokryvem přes říční šterkopískovou terasu do kompaktní břidlice, kde je pata vrtu vetknuta 4 m. O kvalitě skalního podkladu svědčí i obr. 1, z něhož je zřejmé, že bylo proti očekávání nutné použít kladiva.

#### ■ Body pro geodetická měření

Geotechnické instrumentace prostředí vyžadují vždy zaměření polohy a sledování povrchových deformací v různých fázích kontrolního sledování. Zde jsou uvedeny

dva typy bodů, a to vztažné body užívané současně jako stanovištní pro totální stanice a body měřické v sesuvných částech území.

Modelová lokalita Rabenov se nachází na severovýchodním svahu lomu Chabařovice. Vzhledem k rozsahu území a několikakilometrovým vzdálenostem bodů státní geodetické sítě bylo nutné zajistit lokalitu vlastními vztažnými/stanovištními body – alespoň trojicí VB 01 až 03, lokalita Rabenov (obr. 2).

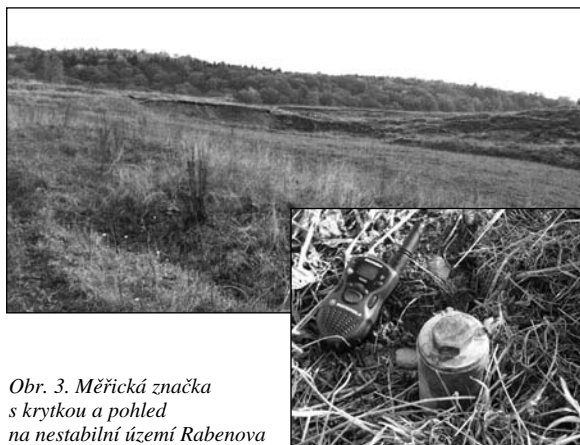


Obr. 2. Orientační situace modelové lokality Rabenov

Vztažné body pro geodetická měření (Leica TC 1800) byly provedeny na „ostrůvcích“ v zájmovém území, které jsou tvořeny podložními jíly pevné až tvrdé konzistence, popř. zbytkem uhelné sloje tam, kde nebyly dlouhodobě pozorovány svahové pohyby. Paty vrtů jsou v hloubce cca 21 m a jsou v tvrdých podložních jílech. Pro zajištění přijatelné přesnosti zde byla zvolena speciální konstrukce bodů [3]. Kombinovaná pažnice s kovovými měřicími značkami pro vysoce přesná měření osových a příčných deformací (3D) je ve vrtu injektována cementobentonitovou směsí, zhlaví je tuhé, tvořené ocelovou výpažnicí profilu 220 mm, délky 1,8 m, v níž je měřicí pažnice zabetonována [4].

Měření jsou při tomto užití prováděna klouzavým mikrometrem a inklinometrem se stejnou délkou základny. Inklinometrická sonda je zavěšena na kabelu s vloženým adaptérem pro zachycování na měřicích značkách mikrometru. Tím je zajištěna vysoká přesnost polohy sondy ve vrtu na jednotlivých pozicích a vazba na měření přetvoření v ose vrtu. Kvůli adaptéru a speciální redukci konektorů je vahadlo s horními vodícími kolečky inklinometrické sondy o 0,65 m pod značkou mikrometru nebo deformometru. Tento posun je však konstantní po celé délce vystrojeného vrtu.

Měřické body pro geodetická sledování posunů na povrchu území zřizují pomocí soupravy dynamické penetrace pracovníci Katedry geotechniky FSv ČVUT. Ukázka bodu je na obr. 3 společně s pohledem na nestabilní část území Rabenova. Měřický bod tvoří opracované zhlaví tyčové oceli s celkovou délkou 1 250 mm. Na zhlaví je při měření našroubována tyč s odrazným hranolem.



Obr. 3. Měřická značka s krytkou a pohled na nestabilní území Rabenova

#### ■ Vystrojení pro liniová měření v nestabilním území

Provedení měřicích vrtů je obdobné vztažným bodům, ale zhlaví vrtů nejsou ztužena, ocelová pažnice je uložena v zemi pouze cca 0,5 m a je obetonována a uzavřena rovněž čepcem. Měřicí výstroj je kombinovaná teleskopická s plastovými měřicími značkami z materiálu ABS. Ostatní provedení je shodné s výše uvedenými vztažnými body.

#### Možnosti využití liniových měření přetvoření

##### ■ Příklady výsledků měření ve vrtech pro zajištění vztažných bodů

Příklady výsledků měření pro svislé přetvoření jsou uvedeny na obr. 4 a pro přetvoření vodorovné ve směru spádu svahu na obr. 5. V obou případech je dobře patrné, že hloubka vetknutí je v případě vrtu VB 03 dostatečná. Svislá přetvoření v oblasti při povrchu terénu jsou vyvolána dlouhodobými změnami vlhkosti jílů a vodorovná představují mělký pohyb vrstev v oblasti vztažného bodu. K údajům na hloubkové ose je třeba přičíst konstantu posunu inklinometrické sondy 0,65 m proti měřicím značkám mikrometru nebo deformetru (obr. 5, obr. 6). Vektory posunů  $x$ ,  $y$ ,  $z$  jsou předávány skupině geodetů pro sledování povrchových deformací území.

Při porovnání uváženého provedení vztažných bodů je zřejmý rozdíl ve znalosti vodorovných přetvoření, která jsou u těžké stabilizace bodu ve vrtu neznámá. Navíc v tomto prostředí zpravidla není možné dosáhnout vždy zdravého skalního podkladu pro vetknutí, a proto obvyklé provedení nemusí vyhovovat a může být zdrojem zavádějících výsledků. Svislá přetvoření většinou standardní provedení vylučuje s výjimkou změn vlivem teploty, ale ty jsou většinou zanedbatelné.

##### ■ Příklad výsledků liniových měření v nestabilním území

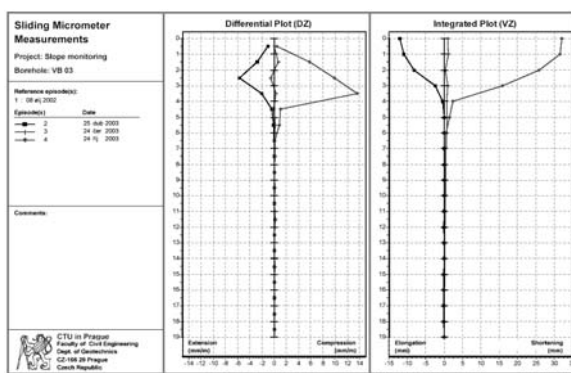
V obrázku 6 je příklad výsledků měření z horní stavby území, kde probíhají svahové pohyby v povrchových vrstvách o mocnosti do cca 6 m (plastická přetváření). Vrt MPD 01 byl proveden nad oblastí intenzivních mělkých svahových deformací, aby se ověřilo, že jsou zachyceny pohyby v celém profilu ve skupinách instrumentací A a B. Získané výsledky byly překvapením, protože se pod mělkými sesuvy odehrávají další, hluboké, které probíhají v podložních jílech pevné až tvrdé konzistence. Smykové deformace se postupně rozvíjejí i co do mocnosti, což je pro využitelnost vrtu příznivé (menší nebezpečí sevření nebo usmyknutí výstroje).

Svislá přetvoření nabývají významných hodnot ve dvou úrovních, a to hned při povrchu a v hloubce odpovídající smykovým přetvořením. U povrchu byly vyvolány nájezdem nákladního vozidla na zhlaví vrtu (patrné z deformace čepce) při stavebních pracích na výstavbě přeložky vodovodního řadu, který byl probíhající sesuvnou činností poškozen. V nižší úrovni, tj. v oblasti smykové plochy, jde o stlačování. Toto přetvoření může být složkou posunu po ukloněné smykové ploše, ale může i charakterizovat povahu přetváření materiálu, pravděpodobně kontraktantní chování jílu. K rozlišení je nutná ještě znalost průběhu smykové plochy – oblasti se zvýšenou mobilizací smykové pevnosti.

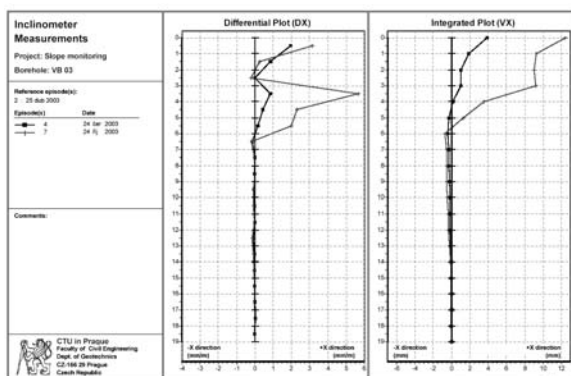
#### Měření pórových napětí

##### ■ Instrumentace pro měření pórových tlaků

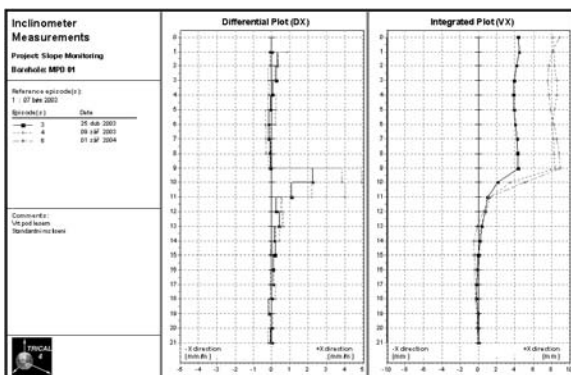
Pro posuzování stability a hodnocení vývoje mobilizace smykové pevnosti je neopominutelnou informací rozdělení pórových napětí v zájmovém profilu. Ve skupině instrumen-



Obr. 4. Svislá přetvoření ve vrtu VB 03

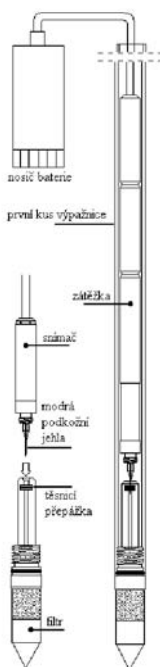


Obr. 5. Vodorovná přetvoření ve spádnici ve vrtu VB 03



Obr. 6. Vodorovná přetvoření ve spádnici ve vystrojeném vrtu MPD 01

tací B jsou pórová napětí měřena dvěma typy snímačů pórových tlaků, a to standardním a snímačem BAT ze Švédska. První je instalován ve vrtu s pískovým obsypem, uzavřen vrstvou bentonitových peletek a těsnící injektáží.



Obr. 7. Piezometr BAT

Snímač je relativní, na atmosférický tlak je napojen kapilárou přes silikagel. Ve druhém případě se pórové napětí měří snímačem absolutního tlaku BAT [5] s odděleným filtrem (obr. 7). Do kontaktu s uzavřenou hydraulickou komůrkou filtru přichází pomocí vpichu podkožní jehly po spuštění snímače se zátežkou přístupovou pažnicí o světlosti 1". Díky oddělení snímače a filtru je možné instalovat filtry s napojenými vodovodními trubkami do horninového prostředí pomocí dynamické nebo statické penetrace rychle a za významně nižších nákladů. Snímač není tzv. ztracenou výstrojí, ale používá se ve vstrojeném vrtu pro okamžitá měření nebo dlouhodobě. Čtecí zařízení obsahuje snímač atmosférického tlaku. Srovnávací měření ve skupině B vykazují velmi dobrou shodu.

Filtry je pak možné instalovat do různých hloubek ve svazcích, což je v případě výsypky nutné. V nejmenší hloubce mají vysoký odpor proti vstupu vzduchu pro sledování možných negativních pórových napětí.

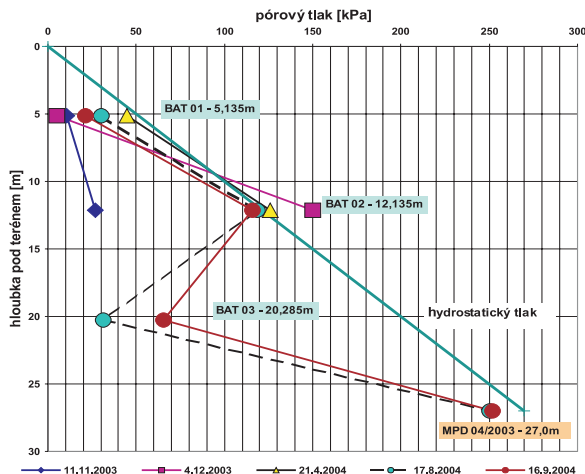
#### ■ Vybrané výsledky měření pórových tlaků

Jsou uvedeny v obr. 8, kde tlustá čára představuje pro srovnání průběh hydrostatického tlaku. BAT 01-BAT 03 jsou tři filtry v různých hloubkách, MPD 04/2003 je „hydrogeologický vrt“ s měřením polohy hladiny vody. U BAT 03 je menší počet měření proto, že bylo třeba krátit přístupovou pažnici pro zajištění kontaktu snímače s hydraulickou komůrkou. Výsledky měření velmi dobře dokumentují heterogenitu výsypky a vývoj tlaků v čase i možnost výskytu tzv. napjaté vody, která může být pro stabilitu výsypky velmi nebezpečná.

#### Závěry a doporučení

Liniová měření poskytují velmi dobrý obraz o přetváření horninového prostředí. Jsou dostatečně citlivá pro zachycení vývoje přetvoření nejen v zemině a hornině, ale i například v tělese podzemní stěny nebo betonové přehradní hráze. Uvedená trojrozměrná měření umožňují vyjádření prostorového přetváření formou vektorů posunů měřících bodů kombinované pažnice. Měření pórových tlaků ve svazcích významně lepším způsobem vystihuje rozdělení tlaků v prostředí a může zastihnout nebezpečné růsty jejich pozitivních hodnot snižujících stabilitu celku.

Na základě ověřování výše uvedených metod měření doporučujeme užívání trojrozměrných liniových měření deformací. Zejména pro metody numerického modelování výrazně výstižněji popisují chování masivu včetně inženýrských konstrukcí v něm či na něm realizovaných. Pórové napětí sledované ve větším počtu bodů v různých hloubkách poskytuje možnost vytvoření reálných předpokladů o jeho rozdělení v masivu. Zejména v případě výsypky hnedouhelných dolů je pro jejich heterogenitu uvedený způsob měření a vstrojení velmi vhodný.



Obr. 8. Vývoj pórových tlaků v materiálu výsypky v závislosti na hloubce a času

Článek vznikl za podpory projektu č. 103/02/1166 GA ČR „Výzkum a verifikace metod sledování svahových pohybů“ a příspěví výzkumných záměrů „Experimentální výzkum stavebních materiálů a technologií“ MSM 210000004 k vývoji aplikací dynamické penetrace a „Funkční způsobilost a optimalizace staveb“ MSM 210000001 k ověřování přesnosti liniových měření přetváření konstrukce a podloží.

#### Literatura

- [1] Záleský, J. a kol.: Projekt instrumentace pro měření prostorových deformací vybraných objektů Pražského hradu. Stavební obzor, 12, 2003, č. 8, s. 225–228.
- [2] Lamboj, L. a kol.: Výzkum a ověření metod monitorování svahových posunů. Stavební obzor, 12, 2003, č. 8, s. 229–231.
- [3] Záleský, J. a kol.: Sledování svahových pohybů s velkým rozsahem deformací. [Sborník], konference „Zakládání staveb“, Brno, CERM 2003, s. 221–226.
- [4] Záleský, J. – Vobořilová, P. – Pruška, J. – Procházka, J.: Monitoring of Displacement of Wide Range Focused on Historical Buildings and Slopes. [Proc.], 11. FIG Symposium on Deformation Measurements. Santorini Island, 2003.
- [5] Záleský, J. – Kurka J.: Výzkum a verifikace metod sledování svahových pohybů. [Sborník], konference, GA ČR č. 103/02/1166, Ústí nad Labem, AZ Consult 2003, s. 73–80.

Záleský, J. – Bubeníček, M.: Technical Equipment and Examples of the Monitoring of Slope Movements

This paper describes technical equipment deployed in linewise measurements of the soil mass deformation and measurements of pore pressures in it with a view to the monitoring of unstable regions. In conclusion, this article provides basic recommendations resulting from the application of the above methods.

Záleský, J. - Bubeníček, M.: Instrumente und Beispiele der Beobachtung von Hangbewegungen

Der Artikel orientiert sich auf die technische Ausrüstung für eine lineare Messung der Verformung des Erdumfelds und die Messung von Porendrücken in diesem in Bezug auf die Beobachtung instabiler Gebiete. Es werden darin die Ergebnisse ausgewählter Messungen der Verformung und der Porenspannungen angeführt und bewertet. Zum Schluss sind aus der Anwendung der genannten Verfahren hervorgehende grundlegende Empfehlungen zusammengestellt.

# Homogenizace prizmatické konzoly

Alena SOMOLOVÁ  
Ing. Jan ZEMAN, PhD.  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

Homogenizační metody se v posledních desetiletích ukázaly jako velmi vhodný nástroj pro modelování heterogenních materiálů. Cílem příspěvku je představit a podrobně ilustrovat základní principy těchto metod na velmi jednoduchém příkladu ohybu heterogenní konzoly složené ze dvou materiálů.

## 1. Úvod

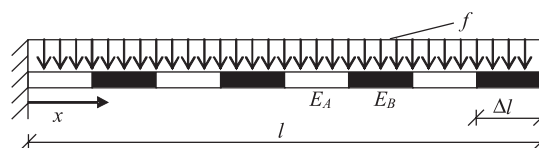
Kompozitní materiály, jako například kompozity vztužené vlákny a textiliemi, nabývají ve stavebnictví na stále větší důležitosti především v oblasti zesilování a rekonstrukci staveb a při návrhu konstrukcí v extrémních situacích [1], [2]. V posledních letech se též přístupů teorie kompozitních materiálů stále ve větší míře využívá i při modelování tradičních stavebních materiálů, jako je např. beton nebo zdivo. Proto je pochopení a následná předpověď odezvy heterogenních materiálů nezbytným předpokladem k racionálnímu návrhu inženýrských konstrukcí obecně. Jedněmi z nejpoužívanějších metod modelování heterogenních materiálů jsou **homogenizační metody**, které nahrazují komplikovaný heterogenní materiál fiktivním homogenizovaným materiálem, jehož vlastnosti odrážejí vlastnosti jednotlivých složek materiálu a jejich geometrické uspořádání.

V literatuře lze najít mnoho publikací a textů vztahujících se k teorii homogenizace heterogenních materiálů. První skupina pochází z oblasti aplikované matematiky [3]–[5]. Zde je odezva homogenizované konstrukce chápána jako (vhodně definovaná) limita odezvy heterogenní konstrukce, kdy se velikost charakteristického rozměru materiálové heterogenity blíží nule. Druhá skupina, vycházející spíše z fyzikálních a inženýrských přístupů, je pak typicky založena na předpokladu konstantního průběhu průměrných polí (např. napětí a deformace) na délkách odpovídajících charakteristické velikosti složek materiálu [6]–[8]. Obě skupiny publikací jsou však podle našeho názoru poněkud komplikované pro úvod do této problematiky, jelikož předpokládají pokročilé znalosti aplikované mechaniky nebo matematiky, popř. obou.

Cílem tohoto textu je demonstrovat na co nejjednodušším příkladu základní principy homogenizace konstrukcí složených z nehomogenních materiálů. Naší hlavní snahou bylo, aby pochopení textu vyžadovalo znalost jen základních principů stavební mechaniky a teorie pružnosti (např. v rozsahu [9]). Proto jsou veškerá odvození a úpravy prováděny poněkud podrobněji, než je v odborných publikacích běžné, a to s cílem přiblížit tuto problematiku čtenáři, který nemá hlubší znalosti v této oblasti. Dalším důvodem volby tohoto jednoduchého příkladu je možnost názorného porovnání homogenizovaného řešení s řešením přesným, které lze vyjádřit v uzavřeném tvaru. To je ve vícerozměrných případech v podstatě nemožné.

## 2. Formulace problému

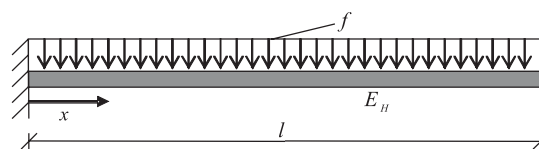
Uvažujme nehomogenní prizmatickou konzolu délky  $l$  skládající se z  $n$  intervalů s rozdílným modulem pružnosti  $E_i$  (pro  $i = 0$  a  $i$  sudé nabývá hodnoty  $E_A$ , pro  $i$  liché  $E_B$ ). Bez újmy na obecnosti prezentovaných výsledků je pro jednoduchost uvažována konstrukce s průřezem charakterizovaným konstantním momentem setrvačnosti  $I$ . Konzola je zatížena spojitým rovnoměrným silovým zatížením  $f$  (obr. 1).



Obr. 1. Schéma heterogenní konzoly

Princip homogenizace spočívá v nalezení homogenních parametrů (např. modulu pružnosti), které co nejlépe charakterizují chování původní konstrukce, a v jejich použití při dalších výpočtech. Tím se následné výpočty značně urychlí, neboť získat přesné řešení je velmi pracné a náročné (viz oddíl 3) i při použití výpočetní techniky a v některých případech je vzhledem k dosavadním technickým možnostem nalezení přesného řešení nemožné.

V tomto jednoduchém příkladu budeme homogenizovaným modelem konstrukce rozumět konzolu s homogením (zatím neznámým) modulem pružnosti  $E_H$  (obr. 2). Délka konzoly, moment setrvačnosti průřezu i působící zatížení zůstávají stejné jako u nehomogenní konzoly.



Obr. 2. Schéma homogenizované konzoly

## 3. Řešení pro obecné $n$

Průběh ohybových momentů  $M(x)$  na dané konstrukci je vyjádřen vztahem

$$M(x) = -\frac{f}{2}(l^2 - 2xl + x^2). \quad (1)$$

Po dosazení tohoto momentu do ohybové rovnice (viz např. [9], s. 77)

$$w''(x) = -\frac{M(x)}{E(x)I} \quad (2)$$

získáme vztah

$$w''(x) = \frac{1}{E(x)I} \frac{f}{2}(x^2 - 2xl + l^2), \quad (3)$$

odkud určíme postupnou integrací rovnice pro pootočení a průhyb konzoly v libovolném bodě  $x$

$$w'_i(x) = \frac{1}{E_i I} \frac{f}{2} \left( \frac{x^3}{3} - x^2 l + xl^2 \right) + c_i, \quad (4)$$

$$w_i(x) = \frac{1}{E_i I} \frac{f}{2} \left( \frac{x^4}{12} - \frac{x^3}{3} l + \frac{x^2}{2} l^2 \right) + c_i x + d_i, \quad (5)$$

kde  $w_i(x)$  a  $w'_i(x)$  označují průhyb a pootočení  $i$ -tého intervalu,  $i = 0, \dots, (n-1)$  ( $n$  je počet intervalů na konzole) a  $c_i$ ,  $d_i$  jsou integrační konstanty v příslušném intervalu. Tyto konstanty získáme použitím okrajových podmínek a podmínek spojitosti průhybů a pootočení mezi jednotlivými intervaly.

Připomeňme okrajové podmínky ve vetknutí:

- pro pootočení  $w'_0(0) = 0$ , (6)

- pro průhyb  $w_0(0) = 0$ . (7)

Podmínky spojitosti na rozhraní intervalů mají tvar ( $x = i\Delta$ ,  $i = 1, \dots, (n-1)$ ), kde  $\Delta = ln$ :

- pro pootočení  $w'_{i-1}(x) = w'_i(x)$ , (8)

- pro průhyb  $w_{i-1}(x) = w_i(x)$ . (9)

První dvě konstanty získáme z okrajových podmínek. Pro interval  $i = 0$  dosadíme  $x = 0$  do rovnic pro pootočení a průhyb (4) a (5) a použitím okrajových podmínek (6) a (7) získáme

$$w'_0(0) = c_0 = 0,$$

$$w_0(0) = d_0 = 0.$$

Vzájemný vztah mezi zbylými  $2(n-1)$  integračními konstantami lze získat použitím podmínek spojitosti. Dosazením  $x = i\Delta$  do rovnic (4) a (5) dostáváme:

- pro interval ( $i-1$ )

$$\begin{aligned} w'_{i-1}(i\Delta) &= \frac{1}{E_{i-1} I} \frac{f}{2} \left( \frac{i^3 \Delta^3}{3} - i^2 \Delta^2 n \Delta + i \Delta l n^2 \Delta^2 \right) = \\ &= \frac{1}{E_{i-1} I} \frac{f}{2} \Delta l^3 \left( \frac{i^3}{3} - i^2 n + i n^2 \right) + c_{i-1}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_{i-1}(i\Delta) &= \frac{1}{E_{i-1} I} \frac{f}{2} \left( \frac{i^4 \Delta^4}{12} - \frac{i^3 \Delta^3}{3} n \Delta + \frac{i^2 \Delta^2}{2} n^2 \Delta^2 \right) = \\ &= \frac{1}{E_{i-1} I} \frac{f}{2} \Delta l^4 \left( \frac{i^4}{12} - \frac{i^3}{3} n + \frac{i^2}{2} n^2 \right) + c_{i-1} x + d_{i-1}; \end{aligned}$$

- pro interval  $i$

$$\begin{aligned} w'_i(i\Delta) &= \frac{1}{E_i I} \frac{f}{2} \left( \frac{i^3 \Delta^3}{3} - i^2 \Delta^2 n \Delta + i \Delta l n^2 \Delta^2 \right) = \\ &= \frac{1}{E_i I} \frac{f}{2} \Delta l^3 \left( \frac{i^3}{3} - i^2 n + i n^2 \right) + c_i, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_i(i\Delta) &= \frac{1}{E_i I} \frac{f}{2} \left( \frac{i^4 \Delta^4}{12} - \frac{i^3 \Delta^3}{3} n \Delta + \frac{i^2 \Delta^2}{2} n^2 \Delta^2 \right) = \\ &= \frac{1}{E_i I} \frac{f}{2} \Delta l^4 \left( \frac{i^4}{12} - \frac{i^3}{3} n + \frac{i^2}{2} n^2 \right) + c_i x + d_i. \end{aligned}$$

Použitím podmínek spojitosti (8) a (9) a po rozvážení vztahu mezi moduly pružnosti  $E_A$  a  $E_B$  na jednotlivých intervalech snadno získáme po několika početních úpravách vztahy pro integrační konstanty ve tvaru:

$$c_i = c_{i-1} + (-1)^{i+1} \left( \frac{1}{E_A} - \frac{1}{E_B} \right) \frac{f}{2I} \Delta l^3 \left( \frac{i^3}{3} - i^2 n + i n^2 \right),$$

$$\begin{aligned} d_i &= d_{i-1} - i\Delta (-1)^{i+1} \left( \frac{1}{E_A} - \frac{1}{E_B} \right) \frac{f}{2I} \Delta l^3 \left( \frac{i^3}{3} - i^2 n + i n^2 \right) + \\ &+ (-1)^{i+1} \left( \frac{1}{E_A} - \frac{1}{E_B} \right) \frac{f}{2I} \Delta l^4 \left( \frac{i^4}{12} - \frac{i^3}{3} n + \frac{i^2}{2} n^2 \right). \end{aligned}$$

Označíme-li

$$A_i = (-1)^{i+1} \left( \frac{1}{E_A} - \frac{1}{E_B} \right) \frac{f}{2I} \Delta l^3 \left( \frac{i^3}{3} - i^2 n + i n^2 \right), \quad (10)$$

$$B_i = (-1)^{i+1} \left( \frac{1}{E_A} - \frac{1}{E_B} \right) \frac{f}{2I} \Delta l^4 \left( \frac{i^4}{12} - \frac{i^3}{3} n + \frac{i^2}{2} n^2 \right), \quad (11)$$

můžeme psát vztahy pro integrační konstanty ve tvaru

$$c_i = c_{i-1} + A_i, \quad c_0 = 0,$$

tedy 
$$c_i = \sum_{k=0}^i A_k, \quad (12)$$

$$d_i = d_{i-1} - i\Delta A_i + B_i, \quad d_0 = 0;$$

po úpravě 
$$d_i = \sum_{k=0}^i (B_k - k\Delta A_k). \quad (13)$$

Tímto postupem získáváme vztahy pro průhyb v libovolném bodě  $x$  konzoly pro obecné  $n$ .

#### 4. Homogenizace pomocí průhybu na konci

V této části představíme první možnost odvození vztahu pro homogenizovaný modul pružnosti  $E_H$ . Vztah pro  $E_H$  určíme z podmínky rovnosti přesného a homogenizovaného průhybu na konci konzoly ( $x = l$ )

$$w_{n-1}(l) = w_H(l) \quad (14)$$

pro  $n \rightarrow \infty$ . Průhyb nehomogenní konzoly  $w_{n-1}$  vyjádříme tedy pro obecné  $n$  vztahem (5), kde integrační konstanty  $c_{n-1}$  a  $d_{n-1}$  vyplývají z výrazů (12) a (13).

Rovnici pro průhyb homogenní konzoly určíme integrací ohybové rovnice pro konzolu s konstantním modulem pružnosti  $E_H$ . S uvážením okrajových podmínek ve vetknutí (6) a (7) lze průhyb jednoduše vyjádřit ve tvaru

$$w_H = \frac{1}{E_H I} \frac{f}{2} \left( \frac{x^4}{12} - \frac{x^3}{3} l + \frac{x^2}{2} l^2 \right). \quad (15)$$

Dosazením  $x = l$  do vztahů (5) a (15) získáme rovnice

$$\begin{aligned} w_{n-1}(l) &= \frac{1}{E_{n-1} I} \frac{f}{2} \left( \frac{l^4}{12} - \frac{l^4}{3} + \frac{l^4}{2} \right) + c_{n-1} l + d_{n-1} = \\ &= \frac{f}{8 E_{n-1} I} l^4 + \sum_{k=0}^{n-1} A_k l + \sum_{k=0}^{n-1} (B_k - k\Delta A_k) = \quad (16) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{f}{8 E_{n-1} I} l^4 + \sum_{k=0}^{n-1} (A_k l + B_k - k\Delta A_k), \\ w_H(l) &= \frac{1}{E_H I} \frac{f}{2} \left( \frac{l^4}{12} - \frac{l^4}{3} + \frac{l^4}{2} \right) = \frac{f}{8 E_H I} l^4. \quad (17) \end{aligned}$$

Nyní upravíme sumační výraz do tvaru

$$\begin{aligned} &\sum_{k=0}^{n-1} (A_k l + B_k - k\Delta A_k) = \\ &= \sum_{k=0}^{n-1} \left[ (-1)^{k+1} \left( \frac{1}{E_A} - \frac{1}{E_B} \right) \frac{f}{2I} \Delta l^4 \left( nk^3 - \frac{3}{2} k^2 n^2 + n^3 k - \frac{1}{4} k^4 \right) \right] \end{aligned}$$

a například pomocí programu Maple® sečteme předchozí řadu. Po dosazení do rovnice průhybu na konci konzoly (16) získáváme výraz ve tvaru

$$w_{n-1}(l) = \frac{f}{8 E_{n-1} I} l^4 + \frac{f}{2I} \left( \frac{1}{E_A} - \frac{1}{E_B} \right) \Delta l^4 \left( \frac{1}{8} n^4 (-1)^n - \frac{1}{8} n + \frac{1}{4} n^3 \right).$$

Vypočítáme limitu průhybu  $w_{n-1}(l)$  pro  $n \rightarrow \infty$

$$\begin{aligned} \lim_{n \rightarrow \infty} w_{n-1}(l) &= \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \left[ \frac{f}{8} \frac{1}{E_{n-1} I} l^4 + \frac{f}{2I} \left( \frac{1}{E_A} - \frac{1}{E_B} \right) \Delta l^4 \left( \frac{1}{8} n^4 (-1)^n - \frac{1}{8} n + \frac{1}{4} n^3 \right) \right] = \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \left[ \frac{f}{8} \frac{1}{E_{n-1} I} l^4 + \frac{f}{2I} \left( \frac{1}{E_A} - \frac{1}{E_B} \right) \Delta l^4 \left( \frac{1}{8} n^4 (-1)^n - \frac{1}{8} n + \frac{1}{4} n^3 \right) \right] = \\ &= \frac{f l^4}{8I} \lim_{n \rightarrow \infty} \left[ \frac{1}{E_{n-1}} + \left( \frac{1}{E_A} - \frac{1}{E_B} \right) \left( \frac{1}{2} (-1)^n - \frac{1}{2n^3} + \frac{1}{n} \right) \right]. \end{aligned}$$

Pro sudé  $n$  je tedy<sup>1)</sup>

$$\lim_{n \rightarrow \infty} w_{n-1}(l) = \frac{f l^4}{8I} \left( \frac{1}{E_B} + \frac{1}{2} \left( \frac{1}{E_A} - \frac{1}{E_B} \right) \right). \quad (18)$$

Dosažením vztahů (17) a (18) do podmínky rovnosti přesného a homogenizovaného průhybu na konci konzoly (14) získáme rovnici

$$\frac{f l^4}{8I} \left( \frac{1}{E_B} + \frac{1}{2} \left( \frac{1}{E_A} - \frac{1}{E_B} \right) \right) = \frac{f l^4}{8I} \frac{1}{E_H}.$$

Po několika úpravách získáme finální vztah pro  $E_H$  ve tvaru

$$E_H = \frac{2E_A E_B}{E_A + E_B}. \quad (19)$$

## 5. Inženýrský přístup k homogenizaci

V tomto oddíle odvodíme vztah (19) poněkud jiným přístupem, který vychází ze studia přemístění průřezů studované konzoly. Konkrétně náš výklad založíme na velmi názorné představě víceúrovňové kinematiky přemístění průřezu nosníku, která byla ke studiu homogenizačních problémů mechaniky využita v [10].

V našem případě založíme úvahy na vztahu mezi ohybovým momentem  $M$  a křivostí  $\kappa = w''$ , viz rovnice (2). Pokud by studovaná konzola byla homogenní, křivost  $\kappa$  by byla jako funkce  $x$  dostatečně hladká a umožňovala rozvinutí pootočení  $\varphi = w'$  v okolí libovolného bodu  $x$  do Taylorovy řady

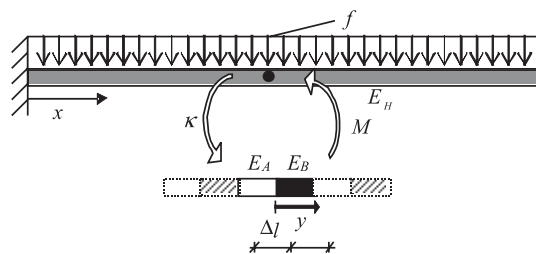
$$\varphi(x+y) = \varphi(x) + \varphi'(x)y + O(y^2) \approx \varphi(x) + \kappa(x)y,$$

a tedy pro dostatečně malé hodnoty  $y$  by bylo možné uvažovat průběh pootočení jako **lineární** vzhledem k proměnné  $y$ . Tento předpoklad však není splněn pro studovanou heterogenní konzolu. Skutečně, pokud umístíme bod  $x$  na rozhraní mezi dvěma intervaly s různými moduly pružnosti, z výrazu (3) vyplývá, že graf funkce  $\varphi(x)$  bude mít v tomto bodě hrot, což je v rozporu s předchozím tvrzením. Toto tvrzení je bohatě dokumentováno v následujícím oddíle řadou numerickým příkladů. Abychom zohlednili tuto skutečnost, vyjádříme průběh pootočení ve tvaru

$$\varphi(x+y) \approx \varphi(x) + \kappa(x)y + \varphi^*(x, y), \quad (20)$$

kde funkce  $\varphi^*(x, y)$  vystupuje v předchozím výrazu v důsledku heterogenity studované konstrukce a závisí obecně jak na poloze v konstrukci  $x$ , tak na poloze  $y$  v rámci **jednotkové buňky** (obr. 3). Pokud bude počet intervalů  $n$  dostatečně velký, lze díky hladkému průběhu momentů očekávat, že korekce  $\varphi^*(x, y)$  bude mít pro stejné body  $y$  v rámci jednotkové buňky podobné hodnoty, i když nebudeme uvažovat rozvoj (20) v okolí stejných bodů  $x$ . To vede k následujícímu předpokladu o pootočení jednotlivých průřezů

$$\varphi(x+y) \approx \varphi(x) + \kappa(x)y + \varphi^*(y), \quad (21)$$



Obr. 3. Inženýrská interpretace homogenizace

kde nyní funkce  $\varphi^*(y)$  nezávisí na proměnné  $x$  a vzhledem k proměnné  $y$  je **periodická** s periodou  $\langle -\Delta l, \Delta l \rangle$ . Dále předpokládáme, že uvedený rozvoj platí pro obecné  $x$ , nejenom na rozhraní mezi jednotlivými intervaly.

Předchozí úvahy vedou k následující interpretaci homogenizačního problému (viz též obr. 3). Pro daný bod  $x$  předepíšeme pro danou jednotkovou buňku, která nyní vystupuje jako materiálový bod, průměrnou (makroskopickou) křivost  $\kappa(x)$  pomocí vztahu (21). Pro tuto předepsanou průměrnou hodnotu vyjádříme průběh pootočení  $\varphi^*(y)$  a ohybových momentů  $M(x, y)$  na úrovni jednotkové buňky (mikroúrovni) v závislosti na proměnné  $y$ . Vztah mezi průměrnou křivostí  $\kappa(x)$  a průměrným ohybovým momentem

$$M(x) = \frac{1}{2\Delta l} \int_{-\Delta l}^{\Delta l} M(x, y) dy \quad (22)$$

potom definuje hledaný homogenizovaný konstitutivní vztah, který nahrazuje rovnici (3). Naznačený postup lze pak snadno rozšířit na obecné lineární a nelineární úlohy mechaniky [10].

V uvedeném příkladu je řešení tohoto problému podstatně jednodušší. Vzhledem ke skutečnosti, že studovaná konstrukce je staticky určitá, nezávisí hodnota ohybového momentu na souřadnici  $y$ . Na **mikroúrovni** pak platí ohybová rovnice (2) v závislosti na proměnné  $y$  ve tvaru

$$\frac{d}{dy} \varphi(x, y) = -\frac{M(x)}{E(y)I}.$$

Po dosažení kinematických předpokladů (21) do předchozí rovnice dostáváme

$$\frac{d}{dy} (\varphi(x) + \kappa(x)y + \varphi^*(y)) = \kappa(x) + \frac{d\varphi^*(y)}{dy} = -\frac{M(x)}{E(y)I}.$$

To umožňuje vyjádřit pootočení ve tvaru

$$\varphi^*(y) = -\int_{-\Delta l}^y \left( \frac{M(x)}{E(t)I} + \kappa(x) \right) dt + C.$$

Podmínky periodicity lze v tomto případě vyjádřit rovnicí

$$\varphi^*(\Delta l) = -M(x) \left( \frac{\Delta l}{E_A I} + \frac{\Delta l}{E_B I} \right) - 2\kappa(x)\Delta l + C = C = \varphi^*(-\Delta l).$$

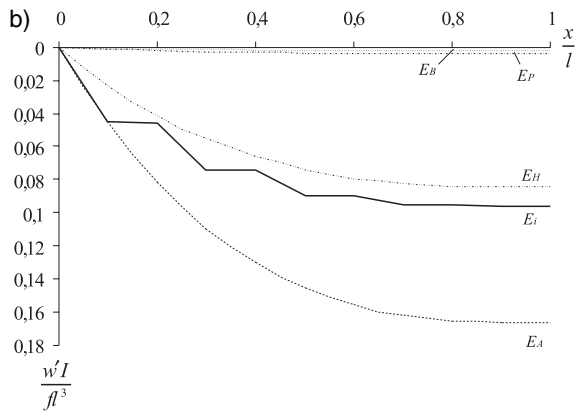
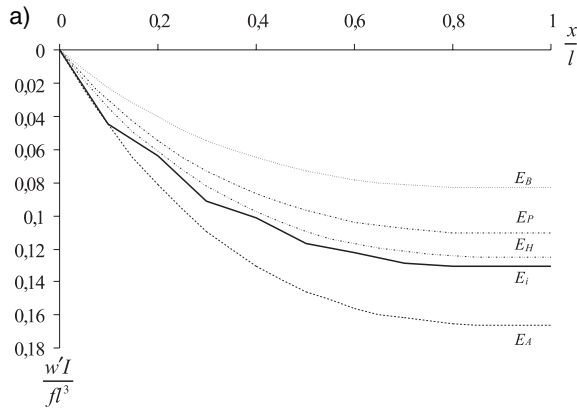
Hledaný vztah mezi momentem  $M(x)$  a  $\kappa(x)$  má pak tvar

$$\begin{aligned} M(x) &= -2 \left( \frac{1}{E_A I} + \frac{1}{E_B I} \right)^{-1} \kappa(x) = -2I \left( \frac{E_A + E_B}{E_A E_B} \right)^{-1} \kappa(x) = \\ &= -E_H I \kappa(x), \end{aligned} \quad (23)$$

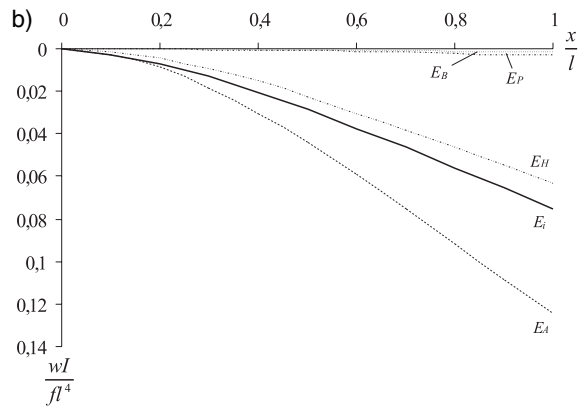
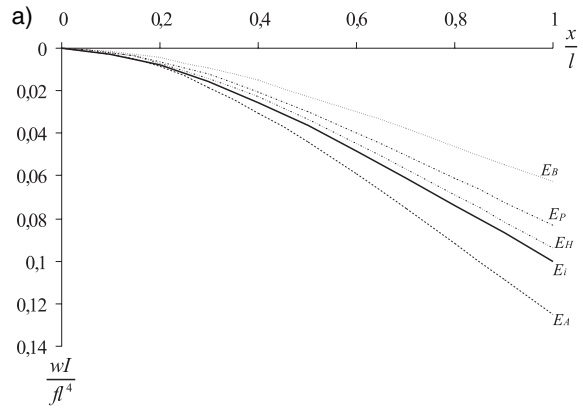
tedy stejný výsledek, jaký jsme dostali v předchozím oddíle. Na závěr poznamenejme, že funkce  $\varphi^*(y)$ , plynoucí z řešení problému na mikroúrovni, je definovaná až na integrační konstantu  $C$ . To lze řešit např. dodatečnou podmínkou  $\varphi^*(-\Delta l) = \varphi^*(\Delta l) = 0$ .

<sup>1)</sup> Pokud bychom zvolili pro výpočet  $n$  liché, získali bychom po úpravách výsledný vztah pro  $E_H$  stejný.

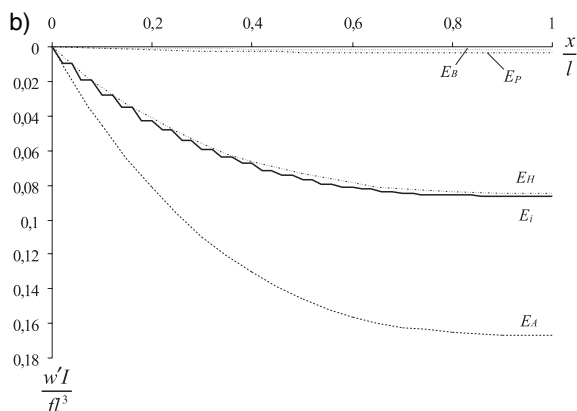
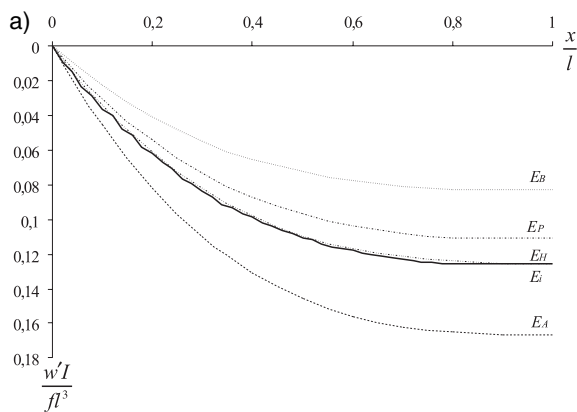
**6. Rozdíl mezi homogenizovaným a přesným řešením**



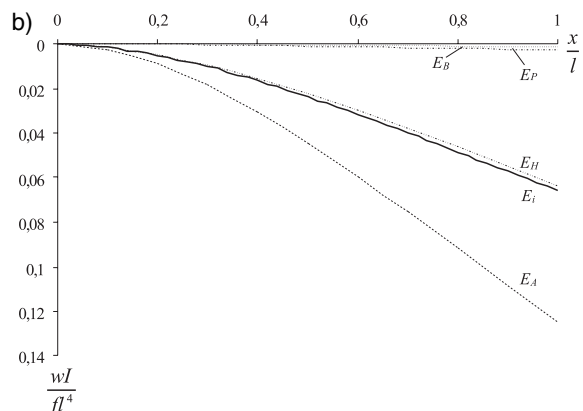
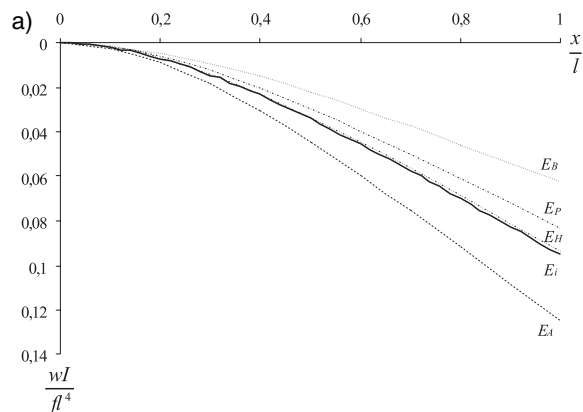
Obr. 4. Průběh pootočení pro počet intervalů  $n = 10$   
 a)  $E_B/E_A = 2$ , b)  $E_B/E_A = 100$



Obr. 5. Průběh průhybů pro počet intervalů  $n = 10$   
 a)  $E_B/E_A = 2$ , b)  $E_B/E_A = 100$



Obr. 6. Průběh pootočení pro počet intervalů  $n = 50$   
 a)  $E_B/E_A = 2$ , b)  $E_B/E_A = 100$



Obr. 7. Průběh průhybů pro počet intervalů  $n = 50$   
 a)  $E_B/E_A = 2$ , b)  $E_B/E_A = 100$

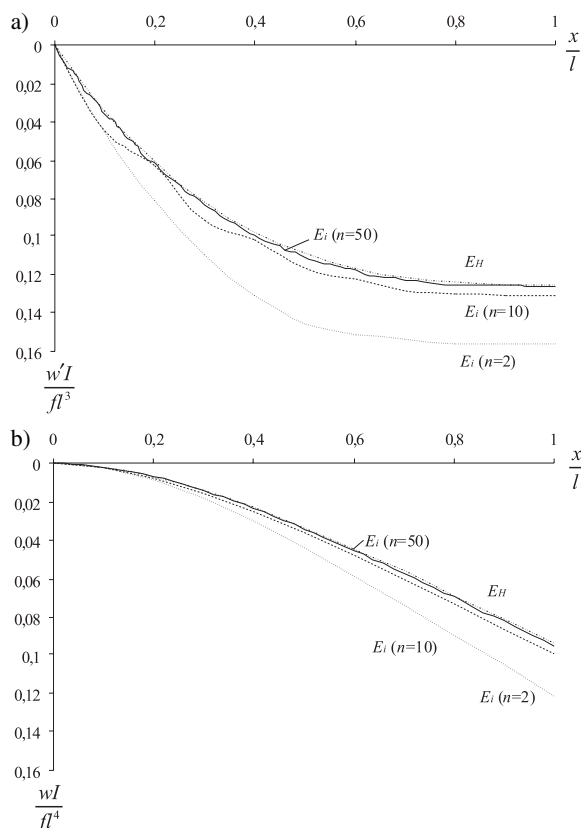


Nyní podrobně demonstrujeme rozdíl mezi homogenizovaným řešením a skutečným průhybem nehomogenní konzoly. Cílem tohoto porovnání je ukázat, nakolik idealizované homogenizované řešení reprezentuje skutečné chování heterogenní konstrukce. Pozornost je věnována vlivu poměru modulů pružnosti jednotlivých materiálů, počtu intervalů a rozdílnému charakteru pootočení a průhybu konstrukce. *Obrázky 4 až 10* dokumentují vztah mezi pootočením a průhybem:

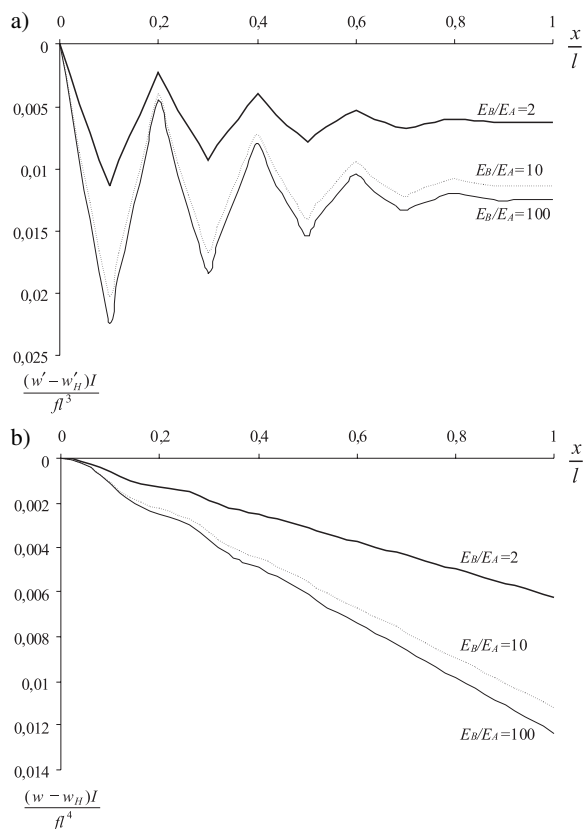
- přesným,
- vypočteným podle průměrného modulu pružnosti  $2E_P = E_A + E_B$ ,
- vypočteným podle homogenizovaného modulu pružnosti  $E_H$ ,

v závislosti na proměnném počtu intervalů  $n$  a poměru modulů pružnosti  $E_B/E_A$ . Pro srovnání jsou v grafech vyneseny i pootočení a průhyby vypočtené podle modulu pružnosti  $E_A$  (resp.  $E_B$ ) pro celou konzolu.<sup>2)</sup> Je zřejmé, že od určité hodnoty  $n$  se pootočení a průhyb homogenizované konzoly dostatečně přiblíží přesnému řešení (viz grafy pro  $n = 50$ ). Při zvětšujícím se poměru modulů pružnosti  $E_B/E_A$  se zvětšuje odchylka mezi přesným a homogenizovaným řešením. Dále je patrné, že použití průměrné hodnoty modulů pružnosti jednotlivých materiálů pro celou konzolu je velmi nepřesné (zvláště při velkém poměru modulů pružnosti  $E_B/E_A$ ). Pro názornost a další demonstraci tohoto chování jsou do následujícího grafu (*obr. 8*) vyneseny dohromady přesná pootočení a průhyby konzol s různým počtem intervalů  $n$  ve srovnání s pootočením a průhybem homogenní konzoly.

Míru nepřesnosti pootočení (resp. průhybu) způsobenou použitím homogenizovaného modulu pružnosti  $E_H$  vystihují



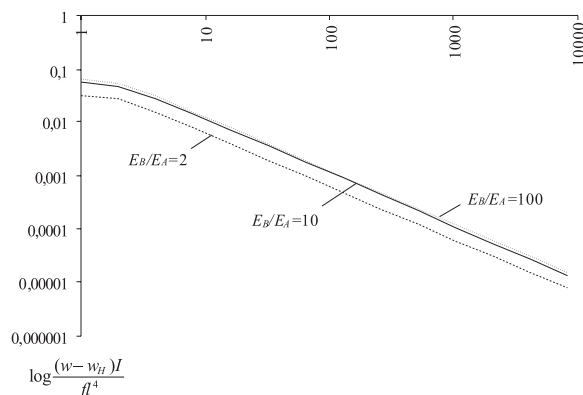
Obr. 8. Průběh (a) pootočení a (b) průhybů na konzole pro poměr modulů pružnosti  $E_B/E_A = 2$  v závislosti na počtu intervalů  $n$



Obr. 9. Průběh odchylky přesného a homogenního (a) pootočení (b) průhybu konzoly ( $n = 10$ )

nejlépe odchylka přesného a homogenního pootočení (resp. průhybu) konzoly, jejíž průběh na konzole je znázorněn na *obr. 9*. Jak je z grafu zřejmé, v okolí podpory dochází k oscilacím rozdílu mezi homogenizovaným a skutečným řešením. Ty jsou způsobeny skutečností, že v okolí podpor je předpoklad (21) o pootočení jednotlivých průřezů v rozporu s okrajovou podmínkou  $\varphi(0) = 0$ .

Maximální chyba homogenního průhybu se projeví na volném konci konzoly. Její velikost v závislosti na počtu intervalů  $n$  zobrazuje graf na *obr. 10*. Jak je zřejmé, v dané závislosti lze vysledovat dvě oblasti. Pro malý počet intervalů je výstižnost řešení poměrně malá, již od cca deseti intervalů je z hlediska průhybu na konci intervalu přesnost řešení uspokojivá. Dále je zjevný dominantní vliv počtu intervalů vzhledem k poměru modulů pružnosti jednotlivých materiálů.



Obr. 10. Závislost chyby na konci konzoly na počtu intervalů  $n$

<sup>2)</sup> Poznamenejme, že ve všech prezentovaných výpočtech byla hodnota modulu pružnosti  $E_A$  uvažována rovna jedné.

## 7. Závěr

Již u takto jednoduchého příkladu, kdy lze přesné řešení poměrně snadno určit, jsou patrné výhody homogenizace konstrukcí skládajících se z materiálů s rozdílnými moduly pružnosti. Mezi hlavní přednosti homogenizace patří zejména urychlení výpočtu při dosažení dostatečně přesného řešení. Naopak, přístupy založené na pouhém průměrování materiálových charakteristik jsou zatíženy značnou chybou, především pro vyšší rozdíl modulů pružnosti jednotlivých materiálů. Jak vyplývá z uvedených příkladů, reprezentativnost a přesnost homogenizovaného řešení závisí především na těchto činitelích:

- „počtu intervalů“ konstrukce (poměru velikosti jednotkové buňky a konstrukce),
- poměru tuhosti jednotlivých materiálů,
- poloze v makroskopické oblasti (okolí podpor, koncentrovaných zatížení).

Na určení homogenizovaných vlastností naopak nemá vliv:

- charakter ani intenzita spojitého zatížení  $f$ ,
- absolutní rozměr jednotkové buňky  $\Delta l$ ,

neboť ani jedna z těchto veličin nevystupuje ve výrazu pro homogenizovaný modul pružnosti  $E_H$ . Všechny tyto poznatky lze přímo zobecnit na řešení složitějších nehomogenních konstrukcí, kde přesné řešení není dosažitelné.

Článek vznikl v rámci grantu č. 103/04/P254 GA ČR.

Somolová, A. – Zeman, J.: Homogenization of a Heterogeneous Cantilever Beam

Homogenization methods have proven to be valuable approaches to modelling and simulation of heterogeneous materials. In the present contribution, the fundamental principles of these methods are thoroughly illustrated in a simple example of bending of a heterogeneous cantilever beam composed of two materials.

## Literatura

- [1] Kabele, P.: Assessment of Structural Performance of Engineered Cementitious Composites by Computer Simulation. CTU Reports, 4, 2001, No. 5.
- [2] Poděbradská, J.: Termofyzikální parametry kompozitních materiálů na bázi cementu v oblasti vysokých teplot. [Dizertace], ČVUT v Praze, 2004.
- [3] Bensoussan, A. – Lions, J.-L. – Papanicolaou, G.: Asymptotic Analysis for Periodic Structures. Studies in Mathematics and its Applications, 5. Amsterdam – New York – Oxford, North-Holland 1978.
- [4] Jikov, V. V. – Kozlov, S. M. – Oleinik, O. A.: Homogenization of Differential Operators and Integral Functionals. Berlin – New York, Springer Verlag 1994.
- [5] Cioranescu, D. – Donato, P.: An Introduction to Homogenization. Oxford Lecture Series in Mathematics and Its Applications. Oxford University Press 1999.
- [6] Šejnoha, M.: Micromechanical Analysis of Unidirectional Fibrous Composite Plies and Laminates. CTU Reports, 3, 1999, No. 3.
- [7] Procházka, P.: Základy mechaniky složených materiálů. Praha, Academia 2001.
- [8] Milton, G. W.: The Theory of Composites. Cambridge Monographs on Applied and Computational Mathematics, 6. Cambridge University Press 2002.
- [9] Šejnoha, J. – Bittnarová, J.: Pružnost a pevnost 10. ČVUT v Praze, 2002.
- [10] Terada, K. – Kikuchi, N.: A Class of General Algorithms for Multi-Scale Analyses of Heterogeneous Media. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 190, 2001, No. 40/41, pp. 5427–5464.

Somolová, A. – Zeman, J.: Homogenisierung einer prizmatischen Konsole

Die Homogenisierungsmethoden haben sich im letzten Jahrzehnt als ein sehr geeignetes Instrument für das Simulieren heterogener Materialien herausgestellt. Das Ziel dieses Beitrages ist die Vorstellung und die ausführliche Illustration der elementaren Prinzipien dieser Methode an einem einfachen Beispiel der Biegung einer heterogenen Konsole, die aus zwei Materialien zusammengesetzt ist.

## • zprávy

### Pachtův palác

Budova Pachtova paláce patří k pozoruhodným pražským barokním památkám. Nachází se, donedávna poněkud opomíjena, v překrásné lokalitě Smetanova nábřeží, v těsné blízkosti Vltavy a Karlova mostu. Okna paláce skýtají jeden z nejkrásnějších pohledů na Petřín a Pražský hrad. Současný majitel a provozovatel Residence Pachtuv Palace, realitní a developerská společnost MaMaison Residences, provedla rozsáhlou a velmi náročnou rekonstrukci, v jejímž průběhu přeměnila objekt v luxusní rezidenci, která poskytuje ubytování krátkodobého i dlouhodobějšího charakteru. Návrhy současných interiérů vypracovala architektka Jane Wilson z londýnské společnosti RPW.

K zájmovostem jistě patří i fakt, že v objektu se již po desetiletí nachází scéna divadla Na zábradlí. Nový majitel umožnil divadlu užívání těchto prostor zdarma.



## • osobní zprávy

### Zemřel doc. Ing. Miroslav Kaun, CSc.



Doc. Ing. Miroslav Kaun, CSc., se narodil 25.5.1937 v Praze. Středoškolské vzdělání ukončil maturitou na Vyšší průmyslové škole stavební v Praze v roce 1956. Po dvouletém studiu na Vojenské akademii v Brně přešel na Fakultu inženýrského stavitelství ČVUT v Praze. Po jejím ukončení nastoupil v roce 1961 na Katedru staveb silničních, leteckých a městských komunikací Fakulty stavební ČVUT, kde v roce 1973 získal hodnost kandidáta technických věd a v roce 1982 byl jmenován docentem pro obor „Pozemní komunikace a letiště“. Po celou dobu svého působení na Katedře silničních staveb se věnoval oboru pozemních komunikací, zkoušení silničních materiálů a později projektování a stavbě letišť. Jeho výzkumná činnost byla zaměřena na zlepšování vlastností a kvality podkladních vrstev silničních a leteckých vozovek. Věnoval se sledování vlivu změn charakteristik kameniva používaných do cementových stabilizací na odolnost proti namrzání a ztrátu únosnosti v důsledku proměnných klimatických podmínek v podloží vozovky. Úzce spolupracoval s Moskevským institutem automobilové dopravy při stanovení metodiky pro určení modulu deformace podkladních vrstev silničních vozovek. V posledních letech se zaměřil na zdokonalování technologie pokládky vyztužených cementobetonových dvouvrstvých vozovek.

Pedagogická činnost doc. Kauna byla orientována na stavbu silničních komunikací. Samostatně rozvíjel a zajišťoval přednášky z předmětu „Letecká doprava“ a „Letecká doprava“. Byl autorem nebo spoluautorem dvanácti vysokoškolských skript, řady odborných publikací a článků. Vytvořil ucelenou řadu audiovizuálních pomůcek, které obsahují metody a postupy pro zkoušení silničních materiálů, jejich pokládky, zhutňování a ověřování výsledných vlastností. Pro celou generaci absolventů Fakulty stavební ČVUT byl vynikajícím učitelem a vedoucím diplomových prací. V posledních letech přednášel také na Dopravní fakultě ČVUT v Praze a na Dopravní fakultě J. Pernera Univerzity v Pardubicích.

Kromě rozsáhlé pedagogické činnosti uplatnil své vynikající organizační schopnosti ve funkci zástupce vedoucího katedry a v odborných radách fakulty. Byl též členem redakční rady časopisu Stavební obzor. Svou odbornou erudicí uplatnil ve funkci předsedy komise pro státní závěrečné zkoušky na stavebních fakultách v Praze a Brně. Velmi aktivně pracoval také v České silniční společnosti a byl členem Rady společnosti.

Všichni spolupracovníci, pokračovatelé i studenti budou na doc. Ing. Miroslava Kauna, CSc., vzpomínat vždy s hlubokou úctou.

prof. Ing. František Lehovec, CSc.

## • zprávy

### Autostrade chce v Česku vybudovat systém elektronického mýtného

Italská společnost Autostrade, která provozuje pokročilý systém výběru elektronického mýtného na dálnicích v Itálii a Rakousku, má zájem vybudovat systém výkonnostního zpoplatnění silničních komunikací i v České republice. Autostrade je největším provozovatelem zpoplatněných dálnic v Evropě. „V tendru na dodavatele systému výběru elektronického mýtného jsme připraveni české vládě nabídnout nejvýhodnější podmínky a předložit reference spolehlivosti,“ řekl Ing. Riccardo Starace, ředitel mezinárodního rozvoje Autostrade, S. p. A. Podle něho italská firma nejprve systém na vlastní náklady vybuduje, po celou dobu životnosti ho bude provozovat a svůj zisk bude realizovat jako podíl na výnosech z mýtného. „Financování prostřednictvím PPP (Public Private Partnership) je pro Českou republiku nejvýhodnější varianta, protože přinese Státnímu fondu dopravní infrastruktury peníze už v prvním roce, aniž by musel do projektu vložit jedinou korunu,“ uvedl Starace.

Autostrade analyzuje požadavky stanovené českou vládou. „Myslím, že všechny dokážeme splnit. Technické řešení, tzn. zda půjde o mikrovlnný systém podobný tomu, který provozujeme v Rakousku, nebo o satelitní systém, který dosud nefunguje v Německu – není podle nás v tuto

chvíli důležité. Rozhodující bude know-how ve výběru mýtného a s tím máme více než 50 let zkušeností. To byl také klíč k našemu úspěchu v Rakousku,“ dodal Starace. Italská společnost čeká na oficiální vyhlášení výběrového řízení, aby mohla stanovit potřebný objem investic. V současné době se odhady pohybují mezi 200 až 300 milióny euro v závislosti na délce silniční sítě, která bude zpoplatněna. Vzhledem k relativně nízkému objemu italských investic v ČR lze očekávat, že zapojení Autostrade, S. p. A., do tohoto projektu bude mít oficiální podporu italské vlády.

Autostrade a její dceřinné společnosti v Itálii spravují 3 408 km zpoplatněné dálniční sítě na základě licence udělené ANAS (obdobu českého Ředitelství silnic a dálnic). Díky své padesátileté zkušenosti a rozsahu spravované dálniční sítě je vedoucí společností v oboru v Evropě. Své aktivity má i v zahraničí, kde realizovala systém elektronického výběru mýtného v Rakousku pod názvem Euroypass, ve Virginii ve Spojených státech „Dulles Greenway“, v Birminghamu ve Velké Británii „M6 Toll“ a v Austrálii systém výběru elektronického mýtného od těžkých nákladních vozů na 2 100 km silnic.

Tisková informace

# STAVEBNÍ OBZOR

## ROČNÍK 13 ČÍSLO 10/2004

### Navigace v dokumentu

#### OBSAH

Vaněk, T. <b>Zajímavá přestavba objektu k jinému účelu</b>	<b>289</b>
Studničková, M. <b>Zatížení budov sněhem</b>	<b>291</b>
Wasserbauer, R. <b>Salinita a mikroflóra povrchových vrstev kamenných mostů</b>	<b>296</b>
Valentová, J. – Valenta, P. – Kazda, I. <b>Stanovení vlivu přestavby nádraží v Bratislavě na režim podzemní vody</b>	<b>300</b>
Šílová, K. <b>Záliv Homebush – příklad řešení brownfields</b>	<b>306</b>
Procházková, D. <b>Komplexní pohled na problematiku bezpečnosti</b>	<b>309</b>
<b>REJSTŘÍK</b>	<b>I – VI</b>

**10 • 2004**

**ročník 13**

# STAVEBNÍ OBZOR

pozemní stavby  
dopravní stavby  
vodohospodářské stavby  
geotechnika  
konstrukce a materiály  
technologie  
životní prostředí  
geodézie a kartografie  
mechanizace  
informatika  
ekonomika  
software



Fakulta stavební  
ČVUT v Praze



Česká komora autorizovaných  
inženýrů a techniků



Český svaz  
stavebních inženýrů



Fakulta stavební  
VUT v Brně



Fakulta stavební  
VŠB TU-Ostrava

**OBSAH**

Vaněk, T.

**Zajímavá přestavba objektu k jinému účelu . . . . . 289**

Studničková, M.

**Zatížení budov sněhem . . . . . 291**

Wasserbauer, R.

**Salinita a mikroflóra povrchových vrstev kamenných mostů . . . . . 296**

Valentová, J. – Valenta, P. – Kazda, I.

**Stanovení vlivu přestavby nádraží v Bratislavě na režim podzemní vody . . . . . 300**

Šílová, K.

**Záliv Homebush – příklad řešení brownfields . . . . . 306**

Procházková, D.

**Komplexní pohled na problematiku bezpečnosti . . . . . 309**

**REJSTŘÍK . . . . . I – VI****CONTENTS**

Vaněk, T.

**An Interesting Conversion of a Building to Suit Other Purposes . . . . . 289**

Studničková, M.

**Snow Load of Buildings . . . . . 291**

Wasserbauer, R.

**Salinity and Microflora of Surface Layers of Stone Bridges . . . . . 296**

Valentová, J. – Valenta, P. – Kazda, I.

**The Impact of the Reconstruction of the Bratislava Railway Station on Groundwater Flow . . . . . 300**

Šílová, K.

**The Homebush Bay – An Illustrative Example of the Solution of Brownfields . . . . . 306**

Procházková, D.

**A Complex Approach to the Safety Issue . . . . . 309**

**REGISTER . . . . . I – VI****INHALT**

Vaněk, T.

**Interessanter Umbau eines Objektes zu einem anderen Zweck . . . . . 289**

Studničková, M.

**Schneelasten an Gebäuden . . . . . 291**

Wasserbauer, R.

**Salzgehalt und Mikroflora der Oberflächenschichten von Steinbrücken . . . . . 296**

Valentová, J. – Valenta, P. – Kazda, I.

**Der Einfluss des Ausbaus des Bahnhofs Bratislava auf das Regime der Grundwasserströmung . . 300**

Šílová, K.

**Die Homebush-Bucht, ein anschauliches Beispiel für die Lösung kontaminierter Gebiete . . . . . 306**

Procházková, D.

**Komplexe Betrachtung der Sicherheitsproblematik . . 309**

**REGISTER . . . . . I – VI****REDAKČNÍ RADA****Předseda:**

prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.

**Místopředseda:**

doc. Ing. Alois MATERNA, CSc.

**Členové:**

Ing. Miroslav BAJER, CSc.

doc. Ing. Pavel HÁNEK, CSc.

Ing. Jiří HIRŠ, CSc.

doc. Ing. Vladimír JELÍNEK, CSc.

Ing. Jana KORYTÁROVÁ, PhD.

Ing. Karel KUBEČKA

Ing. Petr KUNEŠ, CSc.

doc. Ing. Ladislav LAMBOJ, CSc.

doc. Ing. Ivan MOUDRÝ, CSc.

doc. Ing. Jaroslav NOVÁK, CSc.

doc. Ing. Luděk NOVÁK, CSc.

doc. Ing. Miloslav PAVLÍK, CSc.

prof. Ing. J. PROCHÁZKA, CSc.

Ing. Vlastimil ROJÍK

Ing. Karel SVOBODA

doc. Dr. Ing. Miloslav ŠLEZINGR

Ing. Ludvík VÉBR, CSc.

doc. Ing. Josef VITÁSEK, CSc.

prof. Ing. Jiří WITZANY, DrSc.

Ing. Renata ZDAŘILOVÁ

**STAVEBNÍ OBZOR**, odborný měsíčník, vydává Fakulta stavební ČVUT Praha společně s Fakultou stavební VUT Brno, Fakultou stavební VŠB TU Ostrava, Českou komorou autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě a Českým svazem stavebních inženýrů. Řídí redakční rada, vedoucí redaktorka Marcela Klímová. Adresa redakce: Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel./fax: 224 354 596, klimova@fsv.cvut.cz, http://web.fsv.cvut.cz/obzor. Vychází každý měsíc kromě července a srpna, cena za výtisk je 40 Kč včetně DPH (+ poštovné a balné). Objednávky odběru i reklamace přijímá Ing. Milan Gattringer, MG DTP, Borovanská 3388, 143 00 Praha 4, tel./fax: 241 770 220, e-mail: mgdtp@volny.cz. Odběr je možné zrušit až po vyčerpání zaplaceného předplatného. Inzerce adresujte redakci. Technická redakce a realizace: Ing. Milan Gattringer. Podávání novinových zásilek povoleno Ředitelstvím pošt Praha, č. j. NP 144/1994, ze dne 21. 10. 1994. Do sazby 11. 11. 2004. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

**INDEX 47 755, ISSN 1210-4027**

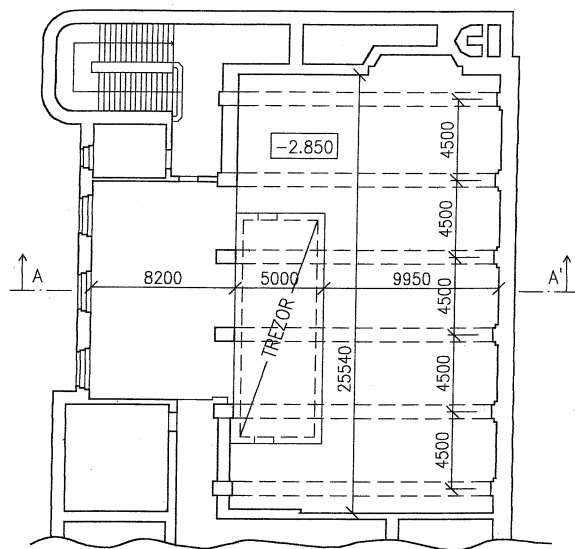
## Zajímavá přestavba objektu k jinému účelu

prof. Ing. Tomáš VANĚK, DrSc.  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

Vzájemným pochopením statika a architekta lze při rekonstrukci budovy dospět k optimálnímu řešení. Tak tomu bylo i v případě přestavby Domu horníků na Kladně pro Českou spořitelnu.

### Úvod

Stávající nosnou konstrukcí části objektu, kde se nachází nad sebou taneční a divadelní sál, je šest dvoupatrových jednolodních rámu z monolitického betonu, postaveného v roce 1920. Směrem do dvora je přístavek, který se odbourává. Osová vzdálenost rámu je 4,5 m. Vlastní rám má rozpon 15,7 m (obr. 1). Výška spodního rámu je 7,5 m, horního



Obr. 1. Schematický půdorys

8,5 m. Sloupy spodního rámu jsou průřezu  $0,70 \times 1,50$  m, horního rámu  $0,65 \times 1,12$  m. Vodorovná příčle spodního rámu má uprostřed rozpětí průřez  $0,40 \times 1,05$  m včetně železobetonové desky tloušťky 0,12 m. Horní příčel má průřez  $0,40 \times 1,00$  m. Rámové rohy jsou zesíleny náběhy u sloupů i příčelí. Nosné sloupy jsou na patkách uloženy na vrubových kloubech. Základové poměry jsou velmi dobré. Území je poddolované.

### Navrhované projektové úpravy

Hlavní statickou a konstrukční přestavbou bylo, po vybourání nadbytečných částí, vložení dvou mezistropů do

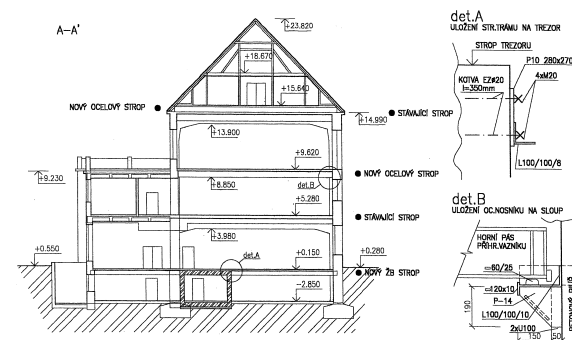
rámové železobetonové konstrukce. V suterénu byl požadován železobetonový trezor. Do podkrovního požadoval investor vybudovat další kancelářské prostory.

### Varietní návrhy vestavby stropních konstrukcí a jejich kritické posouzení

O rekonstrukci této budovy by bylo možné uvádět řadu zajímavých podrobností. Vzhledem k omezenému rozsahu příspěvku uvádím podrobnost jedinou, a to volbu dvou nových vestavěných stropních konstrukcí. Připomeňme, že by téměř vždy měla být úzká spolupráce s architektem, kde statick kromě bezpečného návrhu sleduje též hospodárnost, což nelze vždy konstatovat o architektovi.

#### ■ Varianta č. 1

Je navrhován (obr. 2) nový strop na úrovni +0,15; +9,62 a +15,64 m. U všech tří stropů se podporové reakce přenášejí do obvodových sloupů, ze kterých se zatížení přenáší do základových patek, jež nevyhovují na toto přitížení a musely by se nákladně zesilovat.

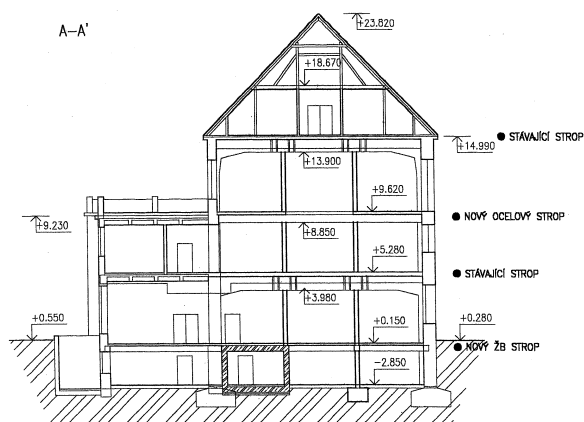


Obr. 2. Schematický řez původní varianty návrhu

Vnitřní prostory pro administrativní provoz jsou samozřejmě rozdělovány četnými příčkami, a proto vložení nosných sloupů nemůže být překážkou. Tato varianta nebyla k realizaci doporučena. Ještě připomeňme méně dokonalý detail „A“ – připojení stropu na trezor a detail „B“ – podepření ocelových nosníků na obvodové sloupy.

#### ■ Varianta č. 2

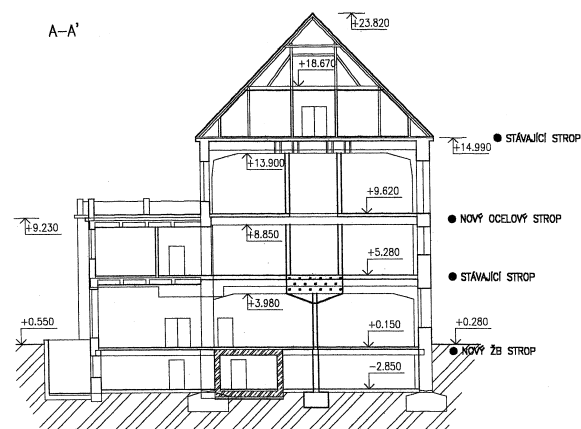
Po celé výšce objektu jsou navrženy dvě řady sloupů (obr. 3). Je zřejmé, že přitížení do obvodových sloupů bude minimální a žádná úprava základových patek není nutná. Jak je patrné z obrázku, levá řada sloupů je situována na stěně trezoru, zatímco pravá musí mít patky nebo základový pás. Další nutností je však u obou stávajících stropů zesílení průvlaku nad podporami přidáním výztuže na ohyb při horním líci a dále zesílení na smyk v okolí podpor. Pro vyšší pracnost a náklady nebyla varianta realizována.



Obr. 3. Schematický řez varianty se dvěma řadami sloupů

### ■ Varianta č. 3

Architekt stanovil kategoričkový požadavek v přízemí umístit jen jednu řadu sloupů a ve vyšších podlažích řady dvě. V tomto případě (obr. 4) by však bylo nutné vyřešit náročný

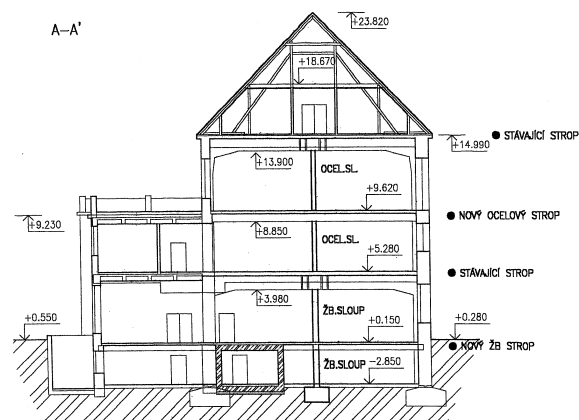


Obr. 4. Schematický řez varianty s jednou řadou sloupů v suterénu

detail, tj. zatížení dvěma novými sloupy na stávající průvlak na kótě +5,28, pod kterým směrem dolů pokračuje sloup jediný. Toto řešení je však možné pouze ocelovými prvky na obou stranách průvlaku i pod ním. Tato varianta též nebyla realizována.

### ■ Varianta č. 4

Kompromisem byla realizovaná varianta (obr. 5), v níž jsme navrhli pouze jednu řadu sloupů uprostřed rozpětí průvlaků.



Obr. 5. Schematický řez realizované varianty – jedna řada sloupů

Pro zajímavost uvedme, že ve spodních dvou podlažích jsou sloupy železobetonové 350 × 530 mm, zatímco v horních dvou podlažích jsou sloupy ocelové Ø 200 mm. I zde bylo nutné zesílit stávající průvlak na ohyb při horním lici a na smyk nad přídatnými podporami. Zajímavou podrobností a nutností byla aktivace podpor pod stávajícími průvlakly na kótě +5,28 m. Byla realizována vynecháním otvorů v horních částech pod průvlakem, do nichž byl vložen ocelový nosník na umístění lisů umožňujících průhyb nahoru při vyvození zatížení do patky pro očekávané sednutí těchto základů kolem 15 mm.

### Závěr

Obsahem příspěvku je upozornění na zajímavost vestavby dvou nových stropů do stávajících společenských sálů. Je uvedeno několik variant a jejich porovnání s důrazem na nutnost vzájemného pochopení statika a architekta, aby bylo realizováno optimální řešení.

**Příspěvek byl vypracován za podpory výzkumného záměru MSM 21000001 „Funkční způsobilost a optimalizace stavebních konstrukcí“.**

### Literatura

- [1] Vaněk, T.: Rekonstrukce staveb. Praha, SNTL 1989.
- [2] Vaněk, T.: Vážné závady z nerespektování objemových změn na různých typech konstrukcí nedostatečnou podélnou výztuží. [Sborník], konference „Betonářské dny“. Pardubice, 2000, s. 317–320.
- [3] Vaněk, T.: Havárie montovaných konstrukcí z malé pozornosti k detailům. [Sborník], konference „Sanace betonových konstrukcí“, 2001, s. 147–157.
- [4] Vaněk, T. – Tyrlík, M.: Perspektiva odstraňování hrubých závad betonových konstrukcí. Beton – Technologie – Konstrukce – Sanace, 2002, č. 2, s. 13–16.
- [5] Vaněk, T. – Tyrlík, M.: Nutné sanace betonových staveb zaviněné nedbalostí. [Sborník], konference „Sanace betonových konstrukcí“, Brno, 2002, s. 158–162.
- [6] Vaněk, T. – Tyrlík, M.: Možnosti zvýšení spolehlivosti staveb. [Sborník], konference „Betonářské dny“. Pardubice, 2002, s. 158–162.
- [7] Vaněk, T.: Rekonstrukce betonových staveb. Praha, Sekurkon 2004, s. 1–28 + Příloha.

### Vaněk, T.: An Interesting Conversion of a Building to Suit Other Purposes

An optimal solution of a reconstruction of a building can be achieved thanks to cooperation of the structural engineer and the architect. This was the case in the reconstruction of the Miners' House in Kladno for the Czech Savings Bank.

### Vaněk, T.: Interessanter Umbau eines Objektes zu einem anderen Zweck

Durch gegenseitiges Verstehen des Statikers und des Architekten kann man beim Umbau eines Gebäudes zu einer optimalen Lösung kommen. Das war auch im Falle des Umbaus des Hauses des Bergmanns in Kladno für die Tschechische Sparkasse so.



## Zatížení budov sněhem

Ing. Marie STUDNIČKOVÁ, CSc.  
 ČVUT – Kloknerův ústav  
 Praha

Charakteristické hodnoty zatížení sněhem v EN 1991-1-3 [1] vycházejí ze statistického zpracování souborů ročního maxima vodní tíhy sněhu v jednotlivých meteorologických stanicích pro pravděpodobnost překročení 0,02 (doba návratu 50 let). V ČSN 73 0035 [3] byla základní tíha sněhu stanovena pro pravděpodobnost překročení 0,01 (doba návratu 100 let). V příspěvku je popsán způsob, jak lze z mapy sněhových oblastí k české normě získat charakteristické hodnoty zatížení sněhem z evropské normy, a jsou porovnány hodnoty zatížení na hranicích mezi Českou republikou, Rakouskem a Německem podle map sněhových oblastí [1].

### Úvod

V červenci 2003 byla v CEN vydána definitivní evropská norma pro zatížení sněhem [1]. Vznikla konverzí z předběžné ENV 1991-2-3: 1995 [2], která byla pod označením ČSN P ENV 1991-2-3 [6] zavedena do soustavy českých technických norem v roce 1997. Vyhlášením ve Věstníku ČSNI v lednu 2004 pak byla převzata v anglickém originále. Lze ji použít pro stanovení zatížení sněhem při navrhování konstrukcí podle definitivních evropských norem. Český překlad s národní přílohou bude vydán v lednu 2005 pod označením ČSN EN 1991-1-3. V národní příloze budou uvedeny parametry pro stanovení zatížení sněhem na území České republiky. Základní informace o jejím členění, obsahu a porovnání výsledného zatížení sněhem podle Eurokódu [1] a ČSN [3] uvádí [7]. Příspěvek seznamuje se způsobem stanovení charakteristických hodnot zatížení sněhem na zemi jako základních národně stanovených parametrů.

### Zatížení sněhem na zemi

Základní hodnotou pro výpočet zatížení podle Eurokódu [1] i [2] je charakteristické zatížení sněhem na zemi  $s_k$ , které závisí na zeměpisné poloze a nadmořské výšce uvažované lokality. Vychází ze statistického zpracování souboru ročních maxim tíhy sněhu při pravděpodobnosti překročení 0,02 (doba návratu 50 let). V předběžné evropské normě [2] byly v Příloze A uvedeny mapy sněhových oblastí jednotlivých zemí CEN, předané národními normalizačními orgány. Vznikly ve většině případů statistickým zpracováním dlouhodobých záznamů zatížení sněhem. Zpravidla však byla v jednotlivých zemích použita různá metodika zpracování a výsledné hodnoty se nedají porovnat. Při výpočtu zatížení sněhem na hranicích mezi státy proto vycházejí často zcela rozdílné hodnoty na každé straně hranice. Tento nesoulad vedl k přípravě velkého mezinárodního projektu „Evropské mapy zatížení sněhem na zemi“, financovaného Komisí evropských společenství a řešeného v období 1997 až 2000.

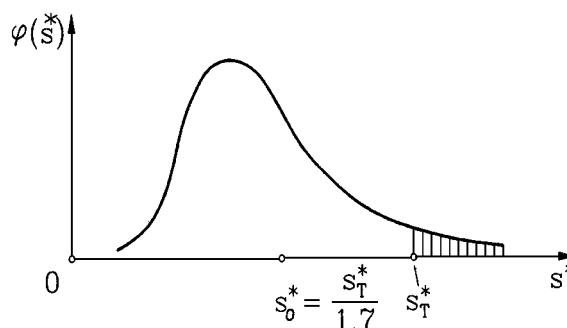
### Mapa sněhových oblastí

#### ■ Česká republika

V době, kdy byl projekt plánován, nebyla Česká republika plnoprávným členem CEN, a nebyla proto k řešení projektu

přizvána. To je i případ dalších zemí střední a východní Evropy (např. Maďarsko, Polsko, Slovensko, pobaltské státy a další), které, pokud nyní chtějí evropskou normu [1] používat, musí mapu charakteristických hodnot zatížení sněhem zpracovat na vlastní náklady. Jde o záležitost náročnou na čas i prostředky, a proto byla u nás snaha využít mapu, která je součástí normy [3], v níž jsou uvedeny hodnoty základní tíhy sněhu  $s_0$ , ze kterých se vypočítává normové zatížení sněhem  $s_n$ . Tyto hodnoty samozřejmě nejsou hodnotami zmiňovanými v předchozím odstavci. Podívejme se na problém podrobněji.

Podle [4] a [5] byly hodnoty základní tíhy sněhu  $s_0$  stanoveny statistickým zpracováním 26 souborů ročních maxim vodní tíhy sněhové pokrývky ve 205 meteorologických stanicích dřívějšího Československa. Jako statistický model bylo použito pravděpodobnostní rozdělení maximálních hodnot (Gumbelovo). Zpracování se provádělo pro dobu návratu  $T = 100$  let (roční pravděpodobnost překročení 0,01). Takto zjištěné hodnoty byly vyděleny součinitelem  $\gamma = 1,7$ , který odpovídá zaokrouhlenému součinu součinitele zatížení  $\gamma_{fs} = 1,4$  a opravného součinitele pro lehká zastřešení  $\kappa = 1,2$  ( $1,2 \cdot 1,4 = 1,7$ ) používaných v [3].

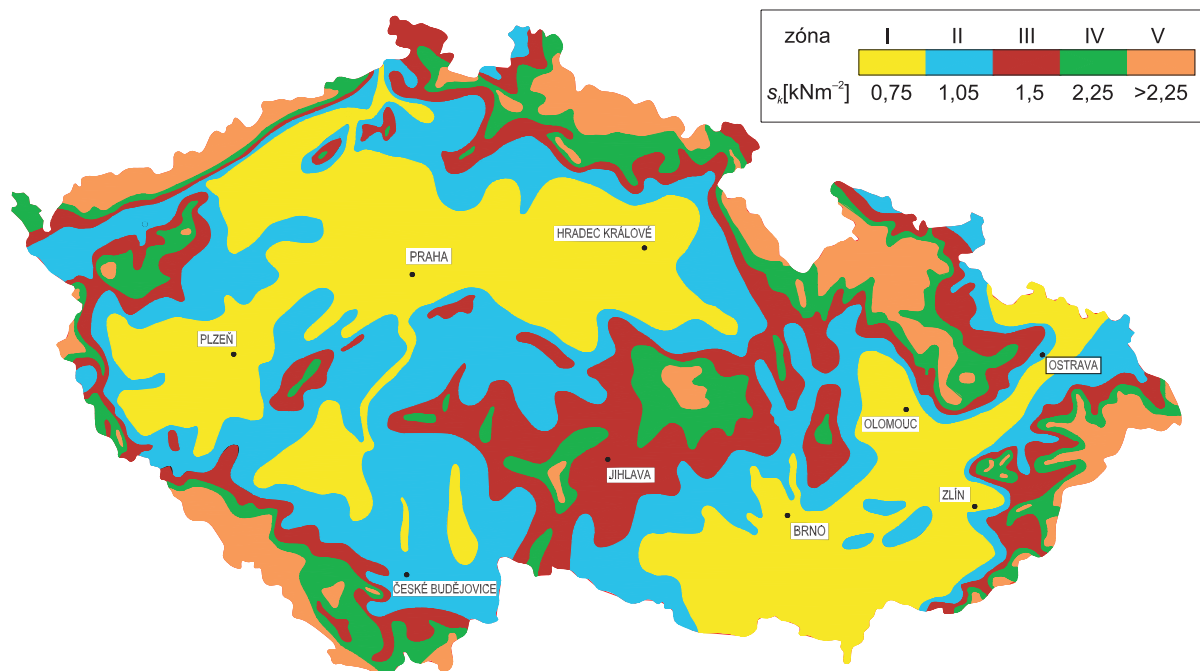


Obr. 1. Hustota pravděpodobnosti rozdělení  $s^*$

Metodika stanovení  $s_T$  a  $s_0$  je znázorněna na obr. 1 pro jednu meteorologickou stanic. Hodnota příslušející určité meteorologické stanici je označena hvězdičkou –  $\varphi(s)^*$  je hustota pravděpodobnosti,  $s^*$  roční maxima tíhy sněhu změřená na dané stanici,  $s_T^*$  hodnota tíhy sněhu zjištěná na pravděpodobnostním modelu pro dobu návratu  $T = 100$  let a  $s_0^*$  normová hodnota tíhy sněhu vypočtená z  $s_T^*$  vydělením součinitelem  $\gamma = 1,7$ . Hodnoty  $s_0^*$ , zjištěné pro jednotlivé meteorologické stanice, se využily pro stanovení hranic mezi sněhovými oblastmi. V dané oblasti je potom hodnota  $s_0^*$  nahrazena jednotnou smluvní hodnotou  $s_0$ .

Vztah pro přečet charakteristických hodnot tíhy sněhu při různých dobách návratu je uveden v Příloze D [1]. Pro závislost mezi charakteristickou hodnotou zatížení sněhem  $s_k$  a hodnotou zatížení sněhem pro střední dobu návratu  $T$  let  $s_T$  platí výraz

$$s_T = s_k \left\{ \frac{1 - V \frac{\sqrt{6}}{\pi} [\ln(-\ln(1 - P_T)) + 0,57722]}{(1 + 2,5923 V)} \right\}, \quad (1)$$



Obr. 2. Charakteristické hodnoty zatížení sněhem na zemi  $s_k$  musí být stanoveny kompetentním úřadem (ČMHÚ)

kde  $s_k$  je charakteristické zatížení sněhem na zemi (pro dobu návratu 50 let podle EN 1990:2002);

$s_T$  – zatížení sněhem na zemi pro dobu návratu  $T$  let;

$P_T$  – roční pravděpodobnost překročení (je rovna přibližně hodnotě  $1/T$ , kde  $T$  je odpovídající doba návratu v letech);

$V$  – variační součinitel souboru ročních maxim zatížení sněhem.

Protože platí (obr. 1)

$$s_0 = \frac{s_T}{1,7}, \quad (3)$$

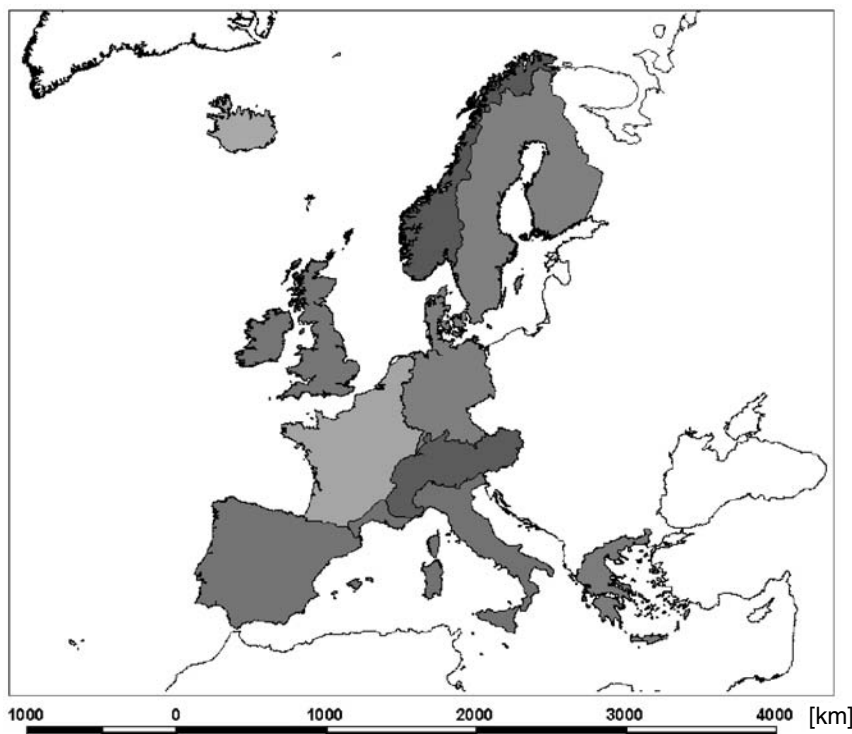
Ize vyjádřit závislost mezi charakteristickou hodnotou zatížení sněhem  $s_k$  [1] a základní tíhou sněhu  $s_0$  udanou mapou sněhových oblastí [3] vztahem

$$s_k = 0,894 \cdot 1,7 s_0 = 1,52 s_0. \quad (4)$$

Po dosazení  $T = 100$  a  $V = 0,5$  do vzorce (1) získáme vztah

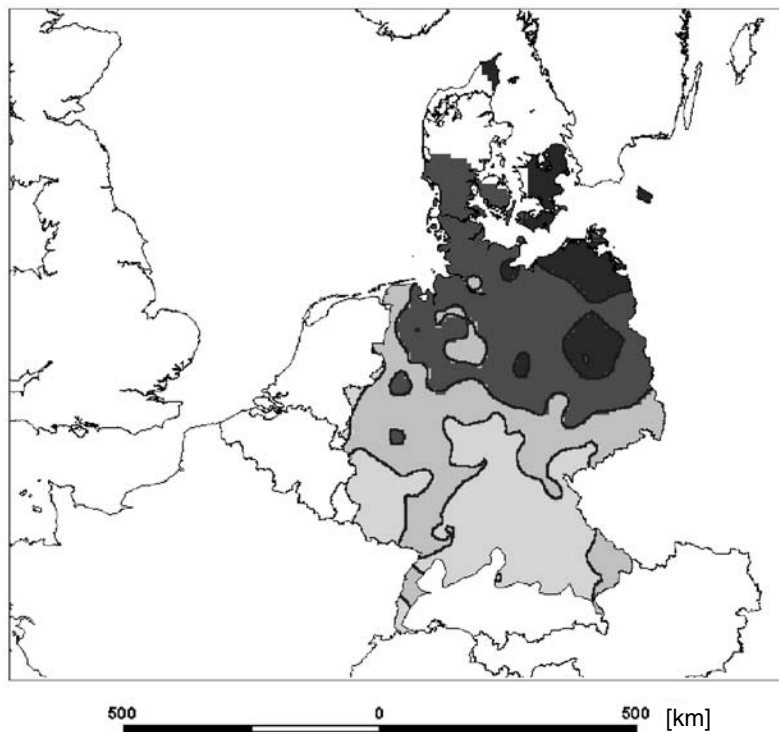
$$s_k = 0,894 s_T. \quad (2)$$

Vyjádřeno slovy, charakteristické hodnoty zatížení sněhem na zemi  $s_k$  můžeme odvodit z hodnot základní tíhy sněhu [3] vynásobením součinitelem 1,52.



Obr. 3. Evropské klimatické oblasti

- Alpská
- Středovýchodní
- Středozápadní
- Řecko
- Iberský poloostrov
- Island
- Středomořská
- Norsko
- Švédsko, Finsko
- Velká Británie a Irská republika



Obr. 4. Středovýchodní oblast – zatížení na úrovni mořské hladiny

zóna	[kN/m <sup>2</sup> ] (A = 0)
1	0,3
2	0,5
3	0,8
4,5	1,2



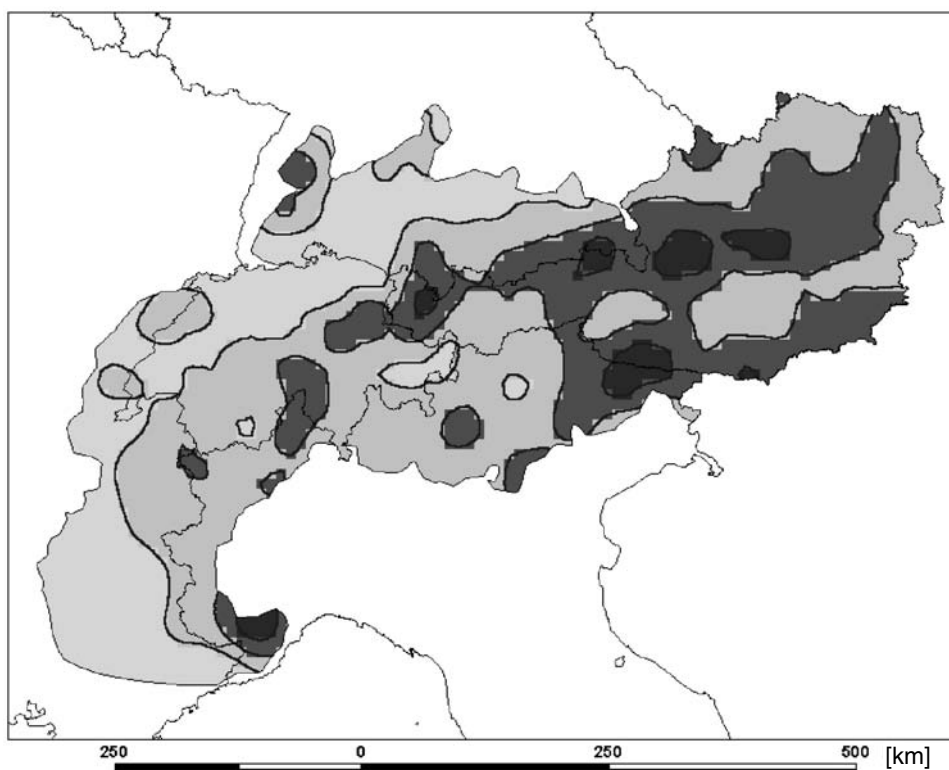
Takto vytvořená mapa charakteristických hodnot zatížení sněhem na zemi České republiky (obr. 2) je součástí Přílohy C [1], zároveň přílohou k národnímu aplikačnímu dokumentu předběžné normy [6] a bude také součástí národní přílohy připravované ČSN EN 1991-1-3.

■ **Evropské oblasti**

Výsledkem řešení projektu „Evropské mapy zatížení sněhem na zemi“ je přehledná mapa evropských klimatických oblastí (obr. 3) a soubor osmi regionálních map. V nich se

charakteristické hodnoty zatížení sněhem vypočítávají podle vzorců uvedených v tab. 1 v závislosti na nadmořské výšce lokality. Příkladem jsou na obr. 4 a obr. 5 mapy pro středovýchodní oblast a pro alpskou oblast, které hraničí s územím ČR. Jsou koncipovány tak, aby bylo možné stanovit zatížení sněhem pro libovolnou výškovou i zeměpisnou polohu staveniště.

Evropské mapy zatížení sněhem jsou uvedeny v Příloze C [1]. Tato příloha je informativní, což znamená, že uvedené mapy pro stanovení charakteristického zatížení sněhem



Obr. 5. Alpská oblast – zatížení na úrovni mořské hladiny

zóna	[kN/m <sup>2</sup> ] (A = 0)
1	0,7
2	1,3
3	1,9
4,5	2,9



použít můžeme, ale nemusíme. Použití informativních příloh je stanoveno v národních přílohách k jednotlivým Eurokódům, tedy i způsobu stanovení charakteristických hodnot zatížení sněhem na území členských států CEN bude předepsán v národních přílohách k [1] příslušných zemí. Pro Českou republiku bude v národní příloze použita mapa z obr. 2 v měřítku 1: 1 000 000, tedy ve stejném měřítku jako mapa v normách [3] nebo [6].

Pokud bude projektant určovat zatížení sněhem konstrukce umístěné na území jiného členského státu CEN, musí mít k dispozici národní přílohu k [1] příslušné země, kde bude uvedeno, jak má postupovat.

#### ■ Porovnání charakteristických hodnot

Byly provedeny srovnávací výpočty v lokalitách u hranic ČR s Německem a Rakouskem. Pro naše území se využilo postupu uvedeného v tomto článku. Pro území Německa se využila regionální mapa z obr. 4, pro Rakousko regionální mapa alpské oblasti z obr. 5. Výsledky ukazují, že zatížení stanovená podle obou map nejsou zcela totožná, ale rozdíl se pohybuje v řádu procent, v některých případech dokonce desítek procent, podle příslušné lokality. Obecně vycházejí podle evropských map vyšší než podle naší mapy. Rozdíly rostou s nadmořskou výškou, jak je zřejmé z charakteru vzorců v tab. 1, kde je nadmořská výška ve druhé mocnině. Pro běžné lokality stavenišť (nikoli na vrcholcích hor) jsou rozdíly v zatížení zanedbatelné.

Tab. 1. Vztahy mezi zatížením sněhem a nadmořskou výškou

Klimatická oblast	Vztah <sup>*)</sup>
Alpská	$s_k = (0,642Z + 0,009) \left[ 1 + \left( \frac{A}{728} \right)^2 \right]$
Středovýchodní	$s_k = (0,264Z - 0,002) \left[ 1 + \left( \frac{A}{256} \right)^2 \right]$
Řecko	$s_k = (0,420Z - 0,030) \left[ 1 + \left( \frac{A}{917} \right)^2 \right]$
Iberský poloostrov	$s_k = (0,190Z - 0,095) \left[ 1 + \left( \frac{A}{524} \right)^2 \right]$
Středozevní	$s_k = (0,498Z - 0,209) \left[ 1 + \left( \frac{A}{452} \right)^2 \right]$
Středozápadní	$s_k = 0,164Z - 0,082 + \frac{A}{966}$
Švédsko, Finsko	$s_k = 0,790Z + 0,375 + \frac{A}{336}$
Velká Británie, Irská republika	$s_k = 0,140Z - 0,1 + \frac{A}{501}$

<sup>\*)</sup>  $s_k$  – charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi [kN/m<sup>2</sup>],  $A$  – nadmořská výška umístění stavby [m],  $Z$  – číslo zóny uvedené na mapě (pro Norsko a Island jsou v příloze C uvedeny mapy charakteristických hodnot  $s_k$ , nikoli čísla zón)

#### Závěr

Mapa charakteristických hodnot zatížení [1] (obr. 2) dobře vystihuje sněhové podmínky na území České republiky i na hranicích se sousedními zeměmi. Potvrdilo se, že v současné době není nové statistické zpracování meteoro-

logických údajů a vytvoření nové mapy sněhových oblastí České republiky nutné. Pracovníci ČHMÚ považují za správné zahrnout vliv nadmořské výšky do výpočtu zatížení sněhem, jak je to provedeno v evropských regionálních mapách zatížení sněhem.

I proto bude účelné iniciovat u Evropské komise pokračování výzkumného projektu „Evropské mapy zatížení sněhem“, který bude zahrnovat nové členy EU ze zemí střední a východní Evropy.

**Příspěvek vznikl při řešení výzkumného záměru CEZ 210000029 „Spolehlivost a rizikové inženýrství technických systémů“.**

#### Literatura

- [1] EN 1991-1-3: 2003 Eurocode 1 – Actions on Structures – Part 1-3: General Actions – Snow Loads. Brussels, CEN 2003.
- [2] ENV 1991-2-3: 1995 Basis of Design and Actions on Structures Part 2-3: Actions on Structures – Snow Loads. Brussels, CEN 1995.
- [3] ČSN 73 0035:1986 Zatížení stavebních konstrukcí. Praha, ÚNM 1986.
- [4] Boháč, A.: Revize mapy sněhových oblastí ČSN 73 0035. Stavebnický časopis, 23, 1975, č. 11, s. 840–862.
- [5] Tichý, M. a kol.: Zatížení stavebních konstrukcí. Technický průvodce 45. Praha, SNTL 1987.
- [6] ČSN P ENV 1991-2-3 Zásady navrhování a zatížení konstrukcí – Část 2.3 Zatížení konstrukcí – Zatížení sněhem. Praha, ČSN 1997.
- [7] Studničková, M.: Evropská norma EN 1991-1-3 Eurokód 1 – Zatížení konstrukcí – Část 1.3 Obecná zatížení – Zatížení sněhem. Beton, 2003, č. 1, s. 43–45.

#### Studničková, M.: Snow Load of Buildings

Characteristic values of snow load shown in EN 1991-1-3 [1] are based on the statistic processing of sets of yearly peaks of the water weight of snow in meteorological stations for the probability of exceeding which is equal to 0.02 (with the time of return 50 years). The Czech standard ČSN 73 0035 [3] determined the basic weight of snow for the probability of exceeding which is equal to 0.01 (with the time of return 100 years). This paper describes a method of gaining characteristic values of snow load from the map of snow areas for the Czech standard, while using the European standard. Further, it compares the values of loading on the boundaries between the Czech Republic, Austria and Germany according to the maps of snow areas [1].

#### Studničková, M.: Schneelasten an Gebäuden

Die charakteristischen Werte für Schneelasten in der EN 1991-1-3 [1] gehen von der statistischen Verarbeitung der Dateien des jährlichen Maximums der Wasserlast des Schnees in den einzelnen meteorologischen Stationen für die Wahrscheinlichkeit einer Überschreitung von 0,02 (Wiederholung in 50 Jahren) aus. In der tschechischen Norm ČSN 73 0035 [3] wurde die Grundlast des Schnees für eine Wahrscheinlichkeit der Überschreitung von 0,01 (Wiederholung in 100 Jahren) festgelegt. Im Beitrag wird ein Verfahren beschrieben, wie aus der Karte der Schneegebiete zur tschechischen Norm charakteristische Werte der Schneelast aus der europäischen Norm gewonnen und die Belastungswerte an den Grenzen zwischen Tschechien, Österreich und Deutschland nach den Schneekartengebieten verglichen werden können [1].

## • veletrhy

### BAU 2005

17. – 22. ledna 2005  
Mnichov

Bau se v posledních deseti letech vyvinula v evropský vůdčí veletrh pro průmyslové stavebnictví a stavbu objektů, stavbu bytů a vnitřní výstavbu. V podstatě každé uspořádání přineslo vysoké přírůstky na straně vystavovatelů a návštěvníků. Dnes platí za nejdůležitější událost v odvětví evropského stavebního průmyslu. Analogicky se změnami ve stavebnictví se i tento veletrh v minulých letech s přibývajícím měrou rozvíjel od přehlídky komponentů k přehlídce systémů, od veletrhu stavebních materiálů k veletrhu témat. Vedle již osvědčeného členění podle materiálů lze v letošním ročníku sledovat i další pořádkový systém, tj. strukturování rozsáhlé nabídky podle produktů a témat. Tím bude usnadněna orientace odborného návštěvníka v nabídce šestnácti veletržních hal. V úzké spolupráci se svazy vůdčích podnikatelů evropského stavebnictví se podařilo integrovat do portfolia BAU nová témata na straně jedné, a tím i nové oblasti vystavování, na straně druhé vyvinout nový koncept pro stávající témata.

■ Středem pozornosti je nově koncipovaná prezentace **Visions of Glass** a kongres **GlasKon**.

■ **Zámek a kování** je dnes mnohem více než jednoduché spojení mezi dveřmi a rámem. Stále vyšší měrou se vyvíjí v high-tech produkty. Kromě bezpečnostních konceptů zde prezentuje Technická univerzita Mnichov, katedra Klima budov a domovní instalace, téma **Klimadesign**.

■ Software a hardware pro architekty a stavaře budou prezentovány pod názvem **BAU IT**. Kromě velkých individuálních výstupů firem se stavebním software se prezentují také četní podnikatelé na zvláštní přehlídce **Computer na BAU**.

■ Pod titulkem **Solární horizonty** prezentují v hale C3 podnikatelé v těchto technologiích a službách solární teplo a solární proud v kontextu s tématy architektů a inženýrů. S výsledky workshopu na téma **Makroarchitektura** se mohou návštěvníci seznámit v prezentaci obkladů. Ve formě kolagenu vnímaného hmatovým smyslem budou představeny nejrůznější materiály a povrchy současnosti a budoucnosti.

■ Vzhledem k vysoké přírůstkové míře u potřeb bytového fondu je pozornost soustředěna i na téma **Stavba v bytovém fondu**. Doprovodnou akcí je kongres **Úspora energie v bytovém fondu – vyvíjení více hodnot**.

■ Druhý mezinárodní odborný veletrh **acqua alta** s kongresem obohatí veletrh o témata: klima (prognózy, předpovědi, varování), ochrana před povodněmi, management katastrof, velehorská přírodní nebezpečí (laviny, přívaly sutí, nauka o ledovcích), nedostatek vody, sucho, zdolání požárů, škody po bouřích a vichřicích, opětovné zalesňování, stavba toků a hrází, námořní ochrana pobřeží, technika budov a materiály, služby, pojištění.

*Tisková informace*

MESSE MÜNCHEN  
INTERNATIONAL

WOB München

Budovcnost  
pro stavění  
→ nové impulsy pro vaše podnikání

**BAU 2005**  
17.–22. LEDEN 2005

16. MEZINÁRODNÍ VELETRH STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ,  
SYSTÉMŮ A REKONSTRUKCE · NOVÉ VÝSTAVIŠTĚ MNICHOV

Informace pro návštěvníky,  
zlevněné vstupenky za Kč,  
zájezdy, ubytování,  
zastoupení MMI pro ČR:

Registrace návštěvníků:  
[www.bau-muenchen.com](http://www.bau-muenchen.com)  
Hotline: 545 176 158

Expo-Consult+Service, spol. s r.o.  
Příkop 4, 604 45, Brno  
Tel. 545 176 158-60  
Fax 545 176 159  
[info@expocs.cz](mailto:info@expocs.cz)  
[www.expocs.cz](http://www.expocs.cz)

# Salinita a mikroflóra povrchových vrstev kamenných mostů

doc. Ing. Richard WASSERBAUER, DrSc.  
 ČVUT – Fakulta stavební  
 Praha

Na pískovcových kamenech mostu v Roudnici je patrný, proti pískovcovým kamenům Karlova mostu, výrazný vliv posypových solí, motorizmu a průmyslových exhalací, převládá zde výrazná síranová a chloridová koroze. Komparativní analýza prokázala, že co do obsahu vodorozpustných síranů je Karlův most srovnatelný s mostem v Roudnici nad Labem, obsah dusičnanů je však v Karlově mostu, díky nitrifikačním procesům, až desetkrát vyšší. Naopak, obsah vodorozpustných solí v mostu v Litovli je proti Karlovu mostu v některých místech až desetkrát nižší. Nejintenzivnější mikrobiální procesy probíhají v pískovcových kamenech Karlova mostu. Výskyt chemoorganotrofních bakterií v mostu v Roudnici, a zejména v Litovli, je podstatně nižší.

příčinou zvýšené vlhkosti tělesa mostů může být prosakování dešťové vody s povrchu vozovky v důsledku porušené hydroizolace a v částech oblouků přiléhajících k pilířům také kapilárním vztláním. Omezenou účinnost může mít také sorpce vodní páry v důsledku převážně vyšší vlhkosti vnějšího prostředí nad řekou, která je provázána difúzí vodní páry do tělesa mostu. V jarním období k tomu může přistoupit i kondenzace vodní páry na chladných plochách stavebního kamene [1]–[4].

Pro zjištění vlivu běžného provozu a místních klimatických podmínek [6] jsme uskutečnili v letním období roku 2003 orientační komparativní analýzu tří historických mostních děl – Karlova mostu v Praze (14. století), mostu v Litovli (16. století) a mostního oblouku v Roudnici (14. století), ve které jsme porovnali koncentraci vodorozpustných solí a chemoorganotrofní mikroflóry v povrchových vrstvách kamene jednotlivých mostů.

## Úvod

Zvětráváním stavebního kamene se obecně rozumí postupné rozpadávání a rozkládání hornin, ze kterých je stavební kámen složen, vlivem vnějších klimatických činitelů. Podle povahy pochodů, které při zvětrávání probíhají, se rozlišuje zvětrávání mechanické, jež zahrnuje cyklické tání a mrznutí vody v pórech kamene a větrnou abrazi. Pro chemické zvětrání je rozhodující voda. Agresivita vody prudce stoupá s obsahem iontů  $H_3O^+$  (změna pH), se zvýšenou teplotou a s obsahem kyselin v roztoku. V důsledku opakovaní cyklů zvlhčení a vysoušení kamene a v důsledku rozpouštěcí schopnosti vody zasáknuté do nitra kamene vznikají na povrchu zvětrávací kůry, které přispívají k postupnému rozpadu kamene. V tenké vrstvě vody na povrchu kamene je vždy rozpuštěn oxid uhličitý, oxid siřičitý, oxidy dusíku, popř. jsou ve vodě rozpuštěny i depozity chloridů, tedy vesměs látky, které značně urychlují degradaci stavebního kamene.

Nedílnou složkou zvětrávání stavebního kamene je i mikrobiální koroze, která se opticky projevuje patinou, výkvěty, spráškovaním, popř. jemnými trhlinkami. Přítomnost mikrobů na stavebním kameni je obecně limitována především množstvím živin, expozicí ke světovým stranám, texturou, materiálovým složením a vlhkostí kamene. Hlavní

## Materiál a metody

### Chemická analýza

Kvantitativní analýza vodných výluhů jednotlivých vzorků proběhla na fotometru Spektroquant SQ 300 Merck podle speciální metodiky pro stavební materiály. Výsledky byly přepočítány na 1 g pískovcového kamene. Orientační klasifikaci přítomnosti solí ve stavebním kameni jsme provedli podle WTA 4-5-97.

Hmotnostní vlhkost pískovcového kamene  $u = m_v/m_s$  byla stanovena ihned po odběru, vázkově po vysušení vzorků pískovců při teplotě 105 °C do konstantní hmotnosti. Výsledky jsou vyjádřeny v procentech hmotnosti suchého materiálu. Aktivní reakce kamene pH/H<sub>2</sub>O byla měřena kolorimetricky kapalným indikátorem Merck Universal porovnáním s barevnou stupnicí pH. Pro informaci byly některé vodní výluhy měřeny pH-metrem Hamma Hi 9017. Poměr destilované vody a vysušeného pískovce byl 5 : 1.

### Mikrobiologická analýza

Chemoorganotrofní bakterie jsme prokázali na masopeptonovém agaru č. 2 (MPA, Imuna Šarišské Michalany), obohaceném kvasničným autolyzátem, thiaminem a glukózou. Nitrifikační bakterie jsme detekovali na živné půdě podle Tsuru (1968). Mikromycety jsme detekovali na sladovém

Tab. 1. Obsah vodorozpustných solí [ $mg \cdot g^{-1}$  staviva<sup>-1</sup>] v povrchových vrstvách pískovcového kamene mostu v Roudnici

Místo odběru	pH	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Močovina
schody k nádraží	7,0	<b>5,26</b>	1,78	<b>14,39</b>	0,0037	0,076	0,217
okraj mostu <sup>*)</sup>	5,0	1,39	6,08	1,66	0,0046	0,091	0,130
sloupek zábradlí	5,0	2,74	0,75	1,00	0,0033	0,063	0,065
pod plastikou lva	5,5	0,25	<b>48,89</b>	0,16	0,0041	0,128	0,111
sloupek zábradlí	6,5	4,09	9,17	0,97	0,0028	0,036	0,087
rozpadlý pískovec	5,5	0,43	4,74	0,21	0,0043	0,054	0,065
sokl nad ulicí	5,0	1,39	0,75	1,70	0,0024	0,049	0,065
spodek pilíře <sup>**)</sup>	<b>4,5</b>	1,04	<b>16,52</b>	1,08	0,0033	0,041	0,065

<sup>\*)</sup> na druhé straně Labe mimo město, <sup>\*\*)</sup> vzorek ze spodu pilíře odebrán z ulice pod mostem – tučná čísla indikují zvýšené zasolení

agaru a na živné půdě podle Czapka Doxe (Imuna Šarišské Michaľany). Odečtení z Petriho misek proběhlo na počítači Artek Counter (USA). Pro klasifikaci napadení bakteriemi jsme jako ukazatel použili empirickou mezní hodnotu  $1 \cdot 10^5$  mikroorganismů plísněmi  $1 \cdot 10^3$  zárodků. Při překročení této hodnoty dojde s 90% pravděpodobností k biokorozi kamene.

### Výsledky a jejich diskuze

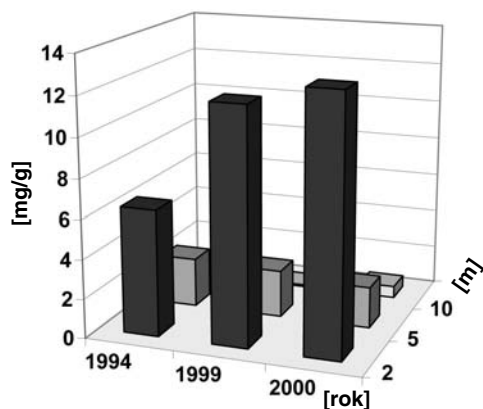
- Na pískovcových kamenech mostu v Roudnici převládala síranová a částečně i chloridová koroze (vliv posypových solí a průmyslových exhalací), pH kamene bylo nízké. Biologická koroze (vyšší přítomnost dusičnanů a močoviny, nitrifikace) se uplatnila pouze na vzorku odebraném ze schodů k nádraží (kryté místo, *tab. 1*). Koncentrace síranů a chloridů náležela proto, ve smyslu směrnice WTA 4-5-97, u většiny vzorků do oblasti vysoké salinity. Koncentrace dusičnanů náležela do oblasti střední salinity s výjimkou vzorku, který byl odebrán na schodech k nádraží (vysoká salinita).

- Salinita vzorků odebraných z mostu v Litovli byla, až na vzorek odebraný z paty VII. oblouku, ve všech případech nízká (*tab. 2*). To může být dáno menším dopravním i průmyslovým zatížením v okolí mostu, popř. dalšími lokálními i konstrukčními vlivy.

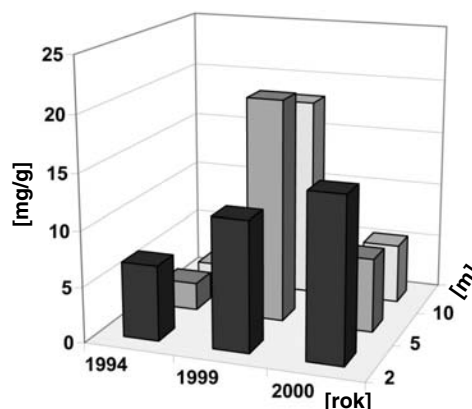
- Odlíšný byl obsah vodorozpustných solí v povrchových vrstvách pískovcového kamene Karlova mostu v Praze. Koncentrace vodorozpustných síranů měla v porovnání s rokem 2003 vzestupnou tendenci (*obr. 1*) a dosahovala podle směrnice WTA 4-5-97 na řadě míst mostní konstrukce vysokých hodnot (*tab. 3*). Stálý vzestup síranů je zřejmě ovlivněn dlouhodobým působením ovzduší znečištěného oxidem siřičitým, v úvahu přicházejí i další mechanismy založené (vzhledem k vysoké vlhkosti mostní konstrukce) na biologické transformaci oxidu siřičitého chemoorganotrofními bakteriemi [5].

Obsah chloridů byl většinou nízký. Přítomnost, zejména halitu, je zřejmě způsobena starými aplikacemi solných posypů vozovky v zimním období. V porovnání s mosty v Roudnici a Litovli se koncentrace chloridů a síranů v povrchových vrstvách pískovcového kamene Karlova mostu blíží, případně mírně překračuje koncentrace nalezené u mostu v Roudnici (*tab. 1*) a vysoce překračuje koncentrace nalezené u mostu v Litovli (*tab. 2*).

Významný rozdíl byl nalezen v koncentraci dusičnanů. Vysoké koncentrace dusičnanů (*obr. 2, tab. 3*) ovlivňují dřívější aplikace náhradních chemických posypů na bázi močoviny, ale také s oxidy dusíku v atmosféře, které jsou produktem stále rostoucího dopravního zatížení v okolí Karlova mostu. Biotickou i abiotickou cestou vzniklý dusičnan reaguje s uvolněným kationtem draslíku z hydrolyzovaných a hydratovaných živců na nitrokalit ( $\text{KNO}_3$ ),



Obr. 1. Obsah vodorozpustných síranů v pískovcových kamenech Karlova mostu (6. oblouk – pilíř)



Obr. 2. Obsah dusičnanů v pískovcových kamenech Karlova mostu (9. oblouk – pilíř)

Tab. 2. Obsah vodorozpustných solí [ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$  staviva $^{-1}$ ] v povrchových vrstvách pískovcového kamene mostu v Litovli

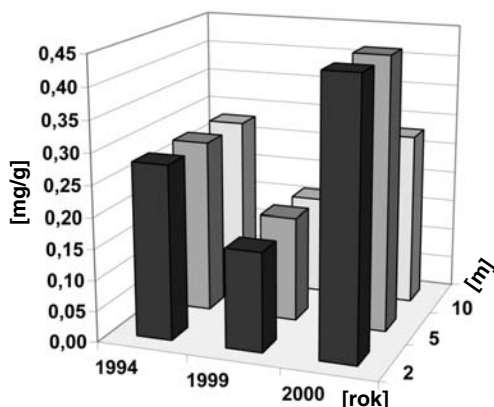
Místo odběru	pH	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Močovina
I. oblouk pata	6,5	0,57	1,66	0,21	0,021	0,032	<b>0,33</b>
II. oblouk nad patou	7,0	0,57	1,33	0,19	0,005	0,013	0,17
střed I. oblouku	8,5	4,00	2,64	2,94	0,008	0,013	0,14
střed II. oblouku	7,5	0,66	2,46	0,28	0,005	0,016	0,11
2. pilíř střed	7,0	0,37	1,82	0,26	0,004	0,018	0,09
1. pilíř střed	7,0	0,41	2,06	0,46	0,005	0,018	0,09
pata II. oblouku	7,0	0,41	1,61	0,17	0,062	0,021	0,09
úloemek kamene	7,5	1,35	1,64	0,26	0,000	0,022	0,12
pata VI. oblouku	7,0	0,39	1,14	0,29	0,003	0,011	0,07
střed VI. oblouku	8,5	1,76	1,23	0,35	0,004	0,016	0,09
pata VII. oblouku	6,5	<b>19,33</b>	1,87	0,96	0,000	0,038	0,03
střed VII. oblouku	9,0	2,52	2,62	0,38	0,003	0,027	0,02
pata kraje VII. oblouku	7,0	5,86	1,95	2,58	0,001	0,034	0,03
poprsník	6,0	0,33	1,18	0,17	0,001	0,052	0,02
poprsník	8,0	0,39	1,10	0,19	0,002	0,049	0,02

Tab. 3. Obsah vodorozpustných solí [ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$  staviva $^{-1}$ ] v povrchových vrstvách pískovcového kamene Karlova mostu v Praze

Místo odběru	pH	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Močovina
3. oblouk, pata	7,0	1,50	47,70	3,53	0,011	0,14	0,05
3. oblouk, střed	4,0	0,92	61,60	8,92	0,004	0,14	0,05
4. oblouk, pata	6,5	2,26	5,17	7,65	0,000	0,08	0,13
4. oblouk, střed	6,0	2,35	<b>88,30</b>	27,80	0,017	0,05	<b>0,22</b>
6. oblouk, pata	5,0	<b>2,70</b>	2,70	15,00	0,000	<b>0,25</b>	0,14
6. oblouk, střed	7,0	2,60	2,60	<b>80,00</b>	0,000	0,16	0,16
10. oblouk pata	6,0	1,60	64,50	25,10	0,003	0,04	0,14
10. oblouk střed	6,0	1,18	84,50	9,36	0,000	0,04	0,14

chemickými analýzami byly nalezeny i další bakteriální metabolity (Na a K kamence a nitronatrit ( $\text{NaNO}_3$ )).

Obsah močoviny (zbytek posypových solí) a čpavku je nízký (obr. 3, tab. 3). Postačuje však pro intenzivní, i když pouze sezónní nitrifikační procesy, které mají odraz ve vzestupu solí dusíku v celém studovaném úseku Karlova mostu. Velkým nebezpečím je migrační schopnost solí dusíku v porézním systému kamene v závislosti na koncentračním gradientu roztoků, který je ovlivňován vlhkostním a tepelným režimem prostředí. Zejména soli dusíku se tak mohou objevit v kterékoli části kamenného zdiva.



Obr. 3. Obsah močoviny v pískovcových kamenech Karlova mostu (6. oblouk – střed)

Přítomnost vodorozpustných solí má zásadní význam pro porušování stavebního kamene každého mostu. Vodorozpustné soli, vzhledem ke svým hygroskopickým schopnos-

Tab. 4. Porovnání výskytu mikrobů v povrchových vrstvách stavebního kamene v Litovli a v Roudnici

Roudnice		Litovel	
lokality	bakterie	lokality	bakterie
schody k nádraží	$8 \cdot 10^{6*})$	–	–
okraj mostu v trávě	$9 \cdot 10^6$	kámen na levém břehu	$8 \cdot 10^5$
poprsní zeď, vnitřní strana, sloupek	$2 \cdot 10^3$	poprsní zeď mezi 5. a 6. pilířem	$4 \cdot 10^2$
poprsní zeď, vnitřní strana, sloupek	$6 \cdot 10^4$	vnitřní strana poprsní zdi	$5 \cdot 10^1$
poprsní zeď, vnitřní strana, rozpadlý pískovec	$7 \cdot 10^5$	vnitřní strana poprsní zdi	$4 \cdot 10^1$
rozpadlý sokl nad ulicí	$5 \cdot 10^3$	–	–
spodek pilíře, odběr vzorku z ulice pod mostem	$7 \cdot 10^4$	pilíř 250 mm od terénu	$5 \cdot 10^3$
–	–	pilíř 1 500 mm od terénu	$3 \cdot 10^2$
pod sochou Iva, vnější strana	$2 \cdot 10^3$	vnější strana 4. pilíře pod sochou	$2 \cdot 10^2$
–	–	vnější strana 0. pilíře	$3 \cdot 10^2$
–	–	levý břeh, nový oblouk	$2 \cdot 10^1$
–	–	vnější strana poprsní zdi mezi 0. a 1. pilířem	$4 \cdot 10^2$

\*) intenzivní nitrifikace

tem, přijímají nebo uvolňují vodu v souladu se změnami rovnováhy vlhkosti vnitřního a vnějšího prostředí. Tím vznikají hydratační a krystalizační tlaky, přičemž hydratační tlaky jsou nebezpečnější než tlaky krystalizační, neboť jsou proměnlivé v závislosti na výkyvech klimatu jak v průběhu roku, tak často i během jednoho dne [1]–[3]. Protože veškeré studované povrchové vzorky stavebních kamenů Karlova mostu obsahují karbonát-sulfátový tmel [4], který postupně zaplňuje póry a pukliny pískovcového kamene, vznikají při odpařování krystalizační tlaky, které mohou dosahovat hodnot 2 až 50 MPa a často vedou až k úplnému rozpadu porézního materiálu.

● **Mikroflóra** nalezená v kameni mostů v Roudnici a v Litovli byla druhově velmi chudá a až na výjimky nepřekračovala  $10^5$  v 1 g pískovcového kamene. Převládali zástupci rodu Bacillus, ojediněle rodu Pseudomonas a Micrococcus (tab. 5). Rovněž mikroflóra plísň byla co do počtu zanedbatelná. V podstatě šlo o zárodky zanesené na zdivo mostu větrem (převažovaly rody Alternaria, Cladosporium, Penicillium, Aspergillus, Acremonium, Fusarium).

● Celkové počty chemoorganotrofních bakterií nalezené v povrchových vrstvách oblouků Karlova mostu byly i v zimním období vysoké a na některých místech již překračovaly empiricky stanovenou kritickou hodnotu 10<sup>5</sup>. Druhová divergence však byla rovněž malá. Typičtí jsou zástupci rodů Bacillus, Pseudomonas, Micrococcus, Arthrobacter, Proteus, Actinomyces a některé dosud neidentifikované formy bakterií, kvasinek a plísň (tab. 5).

Jak ukázaly předcházející chemické analýzy [5], mikrobi produkují do kamene množství organických kyselin, které



Tab. 5. Výskyt chemoorganotrofních mikrobů v povrchových vrstvách stavebního kamene Karlova mostu (únor 2004)

Lokalita	Bakterie [10 <sup>3</sup> ]	Plísně [10 <sup>1</sup> ]
3. oblouk, pata	28	4
3. oblouk, střed	1	15
4. oblouk, pata	64	50
4. oblouk, střed	1,5	3
6. oblouk, pata	11	25
6. oblouk, střed	4,5	25
10. oblouk, pata	20	20
10. oblouk, střed	10	15

uvolňují z minerálů v kameni Ca<sup>2+</sup>. Jako významný druhotný metabolit je nutno uvést KNO<sub>3</sub>, který se účastní tvorby solných krust a výrazně degraduje povrchovou strukturu kamene. Veškeré zmíněné metabolity mikrobů oslabují pojivovou složku kamene a napadají jílové minerály kamene za tvorby solí (dusičnanů, síranů, citranů, salicylanů, oxalocetanů, mravenčanů aj.), které ucpávají či otvírají póry kamene a přispívají i k transformaci v kameni obsažených minerálů. Hydratační a rekrystalizační tlaky mikrobiálních solí v kameni urychlují tvorbu mikrotrhlin v kameni a výrazně zvyšují nestabilitu povrchových vrstev kamene.

### Závěr

Chemická a biologická koroze je u jednotlivých mostů odlišná. U mostu v Litovli převládají pomalé zvětrávací procesy. Na povrchu pískovcového oblouku mostu v Roudnici probíhá intenzivní solná koroze (sírany, částečně chloridy). U Karlova mostu probíhá solná, ale také biologická koroze daná vysokou vlhkostí tělesa mostu, dřívějším ošetřováním vozovky mostu karbamidem i vysokým obsahem oxidů dusíku v atmosféře. Je samozřejmé, že rozdílné výsledky u jednotlivých mostních konstrukcí jsou dány jak provozními, tak konstrukčními a místními atmosférickými vlivy. Podrobné rozborů těchto vlivů budou předmětem dalších analýz.

**Příspěvek byl vypracován za podpory projektu č. 103/02/0990 GA ČR „Výzkum vlivu nesilových účinků a agresivního prostředí na stárnutí historických staveb se zvláštním zaměřením na Karlův most v Praze“.**

### Literatura

- [1] Witzany, J. – Wasserbauer, R.: Monitorování a hodnocení vnějších vlivů a nesilových účinků vnějšího prostředí na kulturní památky se zvláštním zaměřením na Karlův most. [Sborník], odborný seminář „Karlův most“. Praha, Společnost pro technologii ochrany památek 2000, s. 17–22.
- [2] Witzany, J. – Mencl, V. – Pospíšil, P. – Gregerová, M. – Hruška, A. – Ziegler, R. – Čejka, T. – Cikrle P. – Wasserbauer, R.: Karlův most – hodnocení stavebně technického stavu. Stavební obzor, 11, 2002, č. 8, s. 225–249.
- [3] Witzany, J. – Wasserbauer, R. – Čejka, T. – Zemánek, J.: Chemická a biochemická degradace Karlova mostu, analýza odolnosti a bezpečnosti kamenné mostní konstrukce při povodni, průzkum základového zdiva a základů mostních pilířů. Stavební obzor, 12, 2003, č. 6, s. 161–180.
- [4] Witzany, J. – Čejka, T. – Wasserbauer, R. – Gregerová, M. – Pospíšil, P. – Cikrle, P.: Teoretický a experimentální výzkum Karlova mostu. Stavební obzor, 13, 2004, č. 4, s. 97–111.
- [5] Wasserbauer, R. – Gregerová, M.: Charles Bridge Biocorrosion. [Sborník], konference „Kontra 2002“, Zakopane, s. 257–262.

- [6] Pašek, J.: Charakteristika vnějších vlivů vzhledem k historickým kamenným mostům v Praze a v Písku (nepublikovaná práce), 2002.

### Wasserbauer, R.: Salinity and Microflora of Surface Layers of Stone Bridges

Compared with the sandstone blocks in Charles Bridge, the sandstone blocks of the bridge in Roudnice show considerable effects of the halites applied in its roadway, car traffic and industrial exhalations. Heavy corrosion caused by sulphates and chlorides is prevailing here. A comparative analysis has proved that Charles Bridge is comparable to the bridge in Roudnice over the Elbe as for the content of water-soluble salts (Cl, SO<sub>4</sub>). However, the content of nitrates is mostly as much as ten times higher in Charles Bridge due to nitrification processes. The most intensive microbial processes take place in the sandstone blocks of Charles Bridge. The total numbers of chemoorganotrophic bacteria in the bridges in Roudnice and, above all, in Litovel are substantially lower.

### Wasserbauer, R.: Salzgehalt und Mikroflora der Oberflächenschichten von Steinbrücken

An den Sandsteinblöcken der Brücke in Roudnice ist entgegen den Sandsteinblöcken der Karlsbrücke deutlich der Einfluss der Streusalze, des Autoverkehrs und der Industrieexhalationen sichtbar. Es überwiegt dort eine deutliche Schwefel- und Chloridkorrosion. Eine komparative Analyse hat erwiesen, dass hinsichtlich des Gehalts an wasserlöslichen Sulfaten die Karlsbrücke mit der Brücke in Roudnice nad Labem vergleichbar ist. Der Nitratgehalt ist jedoch in der Karlsbrücke dank den Nitrifizierungsprozessen bis um das Zehnfache höher. Dagegen ist der Gehalt an wasserlöslichen Salzen in einer Brücke in Litovel gegenüber der Karlsbrücke an einigen Stellen bis zu zehnmal geringer. Die intensivsten mikrobiellen Prozesse laufen in den Sandsteinblöcken der Karlsbrücke ab. Das Auftreten von chemoorganotrophen Bakterien ist in der Brücke in Roudnice, und insbesondere in der in Litovel wesentlich niedriger.

### Rakouské stavební veletrhy 2005

Největší rakouský stavební veletrh BAUEN & ENERGIE MESSE, pořádaný ve Vídni, zachytí čas moderní trendy a stal se informační fórem pro zdravou stavbu, modernizaci, financování a úsporu energií. V příštím roce v termínu 17.–20. února očekává přes 47 tis. návštěvníků, kterým zprostředkuje kontakt s novinkami v oboru zdravého stavění. Pro české vystavovatele je to příležitost představit své výrobky a služby nejen zákazníkům z Rakouska, ale i okolních států. S rozšířením EU přicházejí nové cílové skupiny s vysokou kupní silou. Z doprovodného programu veletrhu lze uvést např. témata **Ekologická vesnice, Zdravé stavby, Dům budoucnosti** s poradenstvím pro koncové uživatele.

Dalším stavebním veletrhem z portfolia Reed Exhibitions je salcburský Austrobau, který bude v termínu 3.–6. února 2005 představen jako veletrh **Bauen+Wohnen Salzburg**. Jak vyplývá z nového názvu, kromě dosavadních témat, kterými byly stavba a úspora energie, se soustředí i na oblast bydlení a představí trendy v interiérovém vybavení.

[www.messe-reed.cz](http://www.messe-reed.cz)

## Stanovení vlivu přestavby nádraží v Bratislavě na režim podzemní vody

Ing. Jana VALENTOVÁ, CSc.

Ing. Petr VALENTA, CSc.

ČVUT – Fakulta stavební, Praha

prof. Ing. Ivo KAZDA, DrSc.

Pražský technologický institut, o. p. s., Praha

Při plánované přestavbě nádraží Bratislava-filiálka mají být objekty nádraží vybudovány jako podzemní, čímž vytvoří nepropustnou bariéru pro proudění podzemní vody. Pomocí kvaziprostorového numerického modelu byl stanoven vliv stavby na polohu hladiny podzemní vody. Prostorový model byl použit k ověření účinnosti navržených drenážních opatření.

### Úvod

Projektantem stavby, která má v budoucnosti sloužit pro příměstskou a regionální železniční dopravu, jsou akciové společnosti REMING Consult a SUDOP Praha. Nové nádraží bude vybudováno jako podzemní objekt, na povrchu vznikne rozlehlý areál polyfunkčních budov. Podzemní objekt bude dlouhý asi 2 km, dvoukolejná trať bude částečně vedena v hloubeném tunelu (v nejhlubší části asi 16 m pod terénem), na který budou po stranách navazovat otevřené zářezy [1]. Šířka stavby je v místě nádraží asi 80 m, v navazujících úsecích 20 m. Celá stavba je orientována téměř kolmo na přirozený směr proudění podzemní vody, přetíná kvartérní kolektor po celé výšce zvodnění, a vytváří tak nepropustnou bariéru proudění podzemní vody. V souvislosti s návrhem stavby bylo proto třeba se zabývat jejím vlivem na režim proudění podzemní vody a ověřit účinek navržených opatření, která zajistí nezměněnou polohu hladiny podzemní vody v porovnání se současným stavem [2].

### Geologické a hydrogeologické poměry

Zájmová oblast se nachází v intravilánu Bratislavy v městských částech Nové Mesto, Staré Mesto a Ružinov. Geomorfologicky patří k jihozápadní části Podunajské roviny, tvořené neogenními a kvartérními pokryvnými útvary. Geologická stavba tohoto území je poměrně monotónní a jen lokálně členěná říčními toky. Spodní pokryvný útvar (neogén) je tvořen sedimenty sarmatu, panónu a pontu. Sarmat je tvořen klastickými sedimenty – hrubozrnnými písky s vložkami jílu. Sedimenty panónu jsou zastoupeny prachovitými a písčítými jíly, jíly až jílovcí, které jsou většinou vápnité a vyskytují se v hloubkách 11 až 37 m pod terénem. Jsou prostoupeny vložkami jemných až hrubozrnných šedých křemitých písků s dobře opracovanými zrny a konkrécemi stmelými vápnem. Pont, který je nejsvrchnějším útvarem neogénu, se vyskytuje v hloubkách 5 až 25 m pod terénem. Jeho mocnost roste jihovýchodním směrem. Tvoří souvrství pestrých jílu s vápennými a manganovými konkrécemi a s polohami jemnozrnných písků nebo ojediněle hrubozrnných štěrků. Granulometricky to jsou písčité jíly středně až vysoce plastické, lokálně pak písčité hlíny,

jejichž konzistence je většinou pevná, ojediněle kašovitá. V podloží neogénu se vyskytují horniny malokarpatského krystalinika. Horním pokryvným útvarem je kvartér, který je tvořen fluvialními pleistocenními a holocenními sedimenty. Pleistocenními sedimenty jsou fluvialní štěrky, uložené v řekou vytvořených terasovitých stupních. Jejich nadloží jsou holocenní štěrkopísčité sedimenty, překryté hlinitými písky a hlínami. Pro fluvialní sedimenty jsou charakteristické rozdíly v zrnitosti, a to ve svislém i vodorovném směru. Fluvialní sedimenty obsahují štěrkové valouny z křemence a rohovce, méně často jsou tyto valouny z vápence. Jejich velikost se mění od 3 do 8 cm, výjimečně dosahuje až 15 cm. Valouny jsou dobře opracované. Nadloží štěrku tvoří téměř v celé oblasti prachovité, písčité, jílovitopísčité hlíny a prachovité písky. Hlíny mají povodňový charakter a proměnlivou mocnost. Povrch zájmového území je pokryt recentní navázkou [3].

V souladu s geologickou skladbou se v zájmové oblasti nacházejí dva útvary se zcela odlišnou hydraulickou vodivostí. Sedimenty neogénu jsou velmi málo propustné, podzemní voda je v nich vázána na polohu písků a má napjatou hladinu. Kvartérní vrstvy jsou v porovnání s neogénem mnohem propustnější a jsou téměř v celé mocnosti zvodnělé. Kvartér je převážně dotován vodou přitékající z Malých Karpat, přirozený směr proudění podzemní vody v oblasti stavby je ze severozápadu na jihovýchod. Hladina podzemní vody se nachází v hloubce 3 až 6 m pod terénem a v blízkosti Dunaje navazuje na hladinu v korytě. Hydraulická vodivost kvartérních sedimentů se pohybuje mezi  $2 \cdot 10^{-4}$  až  $8 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  v závislosti na poměru štěrkové a písčité frakce. Podle dostupných materiálů kolísá dlouhodobě volná hladina v kvartérních sedimentech v poměrně malém rozmezí 1,5 až 2,5 m.

### Metodika řešení

Proudění podzemní vody je obecně neustálený prostorový proces, který je možné popsat pomocí parciální diferenciální rovnice [4]. Tuto rovnici je možné při definování počátečních podmínek a okrajových podmínek a při znalosti parametrů charakterizujících danou oblast řešit vhodnou numerickou metodou. Numerické modelování neustáleného proudění je velice náročné na data potřebná k definování okrajových podmínek, na údaje sloužící ke kalibraci modelu i z hlediska vlastního výpočtu. Z těchto důvodů se velmi často přistupuje k řešení ustáleného proudění. Ustálené trojrozměrné proudění podzemní vody je popsáno eliptickou diferenciální rovnicí

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0,$$

kde  $k_x$ ,  $k_y$ ,  $k_z$  jsou složky tenzoru hydraulické vodivosti  $\mathbf{K}$ ,  $h$  je piezometrická výška, která je funkcí prostorových proměnných  $x$ ,  $y$ ,  $z$ .

Řešení trojrozměrných úloh je velice náročné na přípravu modelu, proto se proudění podzemní vody často aproximuje pomocí kvaziprostorového modelu. Tento zjednodušený přístup je možné použít v případech, kdy mocnost zvodně je řádově menší než vodorovné rozměry řešené oblasti, převládající směr proudění podzemní vody je vodorovný a vertikální složky rychlosti jsou zanedbatelné. Při zavedení Dupuitových postulátů [5] má piezometrická výška na svislici konstantní hodnotu a svislá složka rychlosti je nulová. Prostorové proudění ve zvodni je tak nahrazeno plošným prouděním s volnou hladinou. Za uvedených předpokladů má rovnice popisující plošné proudění podzemní vody s volnou hladinou tvar

$$\frac{\partial}{\partial x} \left\{ T_x \frac{\partial h}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ T_y \frac{\partial h}{\partial y} \right\} = 0,$$

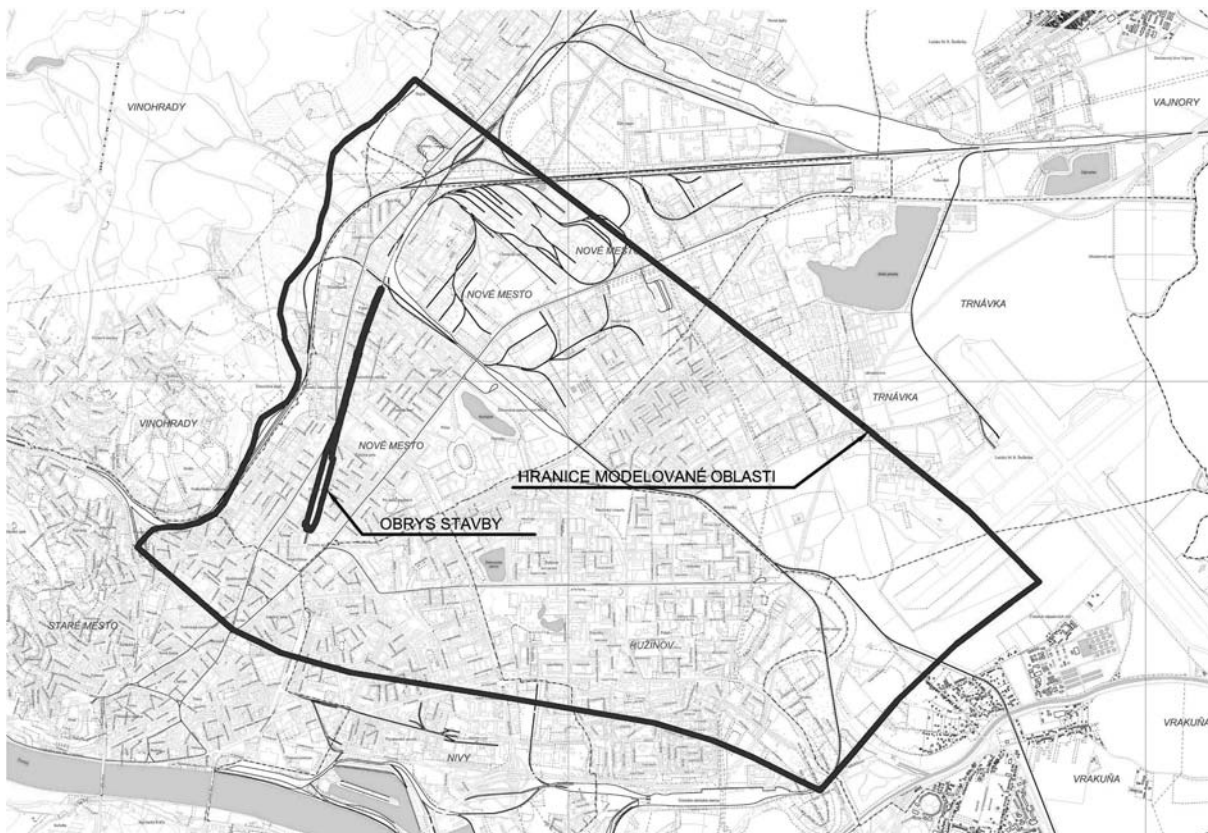
kde  $T_x$  a  $T_y$  jsou složky transmisivity. Piezometrická výška  $h$  je funkcí  $x$ ,  $y$ .

Při modelovém řešení proudění podzemní vody v okolí stavby byly použity oba přístupy. Model plošného proudění podzemní vody byl použit pro stanovení změny polohy hladiny podzemní vody po výstavbě nádraží (resp. v průběhu jednotlivých etap výstavby). Trojrozměrný model sloužil k ověření účinnosti drenážního opatření, tvořeného soustavou vodorovných drenů, které by měly převést podzemní vodu přes stavbu.

Pro řešení prostorového proudění podzemní vody s volnou hladinou byly využity programy FE3D8 a FE3D20 [9], [10]. Prostorové izoparametrické prvky ve tvaru dvanáctihranu se liší tím, že v programu FE3D8 jde o prvky s osmi uzly a v programu FE3D20 o prvky s dvaceti uzly. V prvním případě mají prvky uzly jen ve vrcholech, kdežto v programu FE3D20 také uprostřed hran. Hrany izoparametrického prvku s osmi uzly, omezující jeho jednotlivé stěny, mohou tvořit prostorový čtyřúhelník, takže stěna má tvar hyperbolického paraboloidu. Hrany izoparametrického prvku s dvaceti uzly mohou mít parabolický tvar a jeho stěny pak tvoří bikvadratické zborcené plochy.

### Numerický model plošného proudění podzemní vody

Rozsah kvaziprostorového numerického modelu proudění podzemní vody je zřejmý z *obr. 1*. Hranice modelu byly určeny tak, aby na nich bylo možné stanovit okrajové podmínky, aby posuzovaná stavba ležela co nejdále od hranic a aby modelovaná oblast zahrnovala co nejvíce pozorovacích vrtů, v nichž se měří poloha hladiny, neboť tento údaj slouží ke kalibraci modelu. Vtoková hranice je umístěna v minimální vzdálenosti 400 m od stavby, na úpatí svahů Malých Karpat, sleduje zhruba vrstevnici terénu s kótou 170 m n. m. Výtoková část hranice se nachází od nádraží ve velké



Obr. 1. Přehledná situace

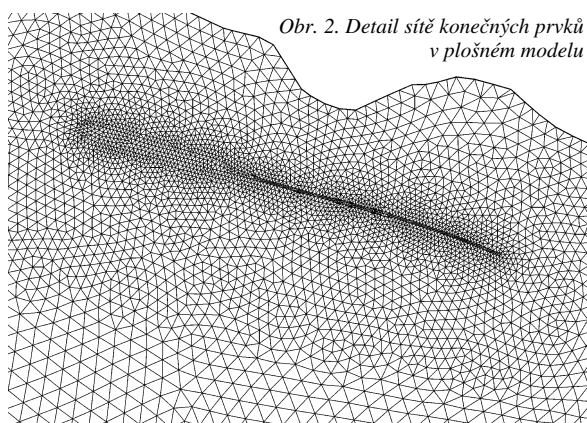
Výpočty plošného proudění podzemní vody byly provedeny softwarem GWFLOW [6], který používá metodu konečných prvků [7] a již vícekrát se uplatnil při řešení obdobné problematiky [8]. Tento model se může uplatnit při řešení ustáleného i neustáleného plošného proudění podzemní vody nebo řešení proudění podzemní vody ve svislé rovině. Používá rovinné izoparametrické prvky čtyřúhelníkového tvaru s osmi uzly nebo trojúhelníkové prvky s šesti

vzdálenosti, takže je možné předpokládat, že vyvolané změny hladiny budou zde již zanedbatelné. Tvar této části hranice odpovídá tvaru naměřené hydroizohypsy s nadmořskou výškou 128 m. Dvě zhruba rovnoběžné části hranice, spojující vtokovou a výtokovou část, byly vedeny tak, aby odpovídaly trajektoriím proudící podzemní vody, stanoveným z naměřených hydroizohyps. Vzdálenost těchto dvou úseků, odpovídající šířce oblasti, je průměrně 4 km.

Délka oblasti ve směru proudění podzemní vody je průměrně 6 km, takže plocha modelované oblasti je zhruba 24 km<sup>2</sup>. Zdola je modelovaná oblast omezena plochou tvořící bázi kvartérního kolektoru, která byla vytvořena na základě mapy vrstevnic povrchu neogénu, jež byla součástí geologických podkladů.

Na vtokové části hranice byla zadána nestabilní okrajová podmínka vyjadřující rovnoměrný přítok podzemní vody z Malých Karpat. Přítok byl odhadnut na 40 % ze srážkového úhrnu připadajícího na plochu povodí, které ke vtokové hranici přiléhá. Na hranicích odpovídajících svým tvarem trajektoriím byla zadána okrajová podmínka vyjadřující nulový průtok ve směru kolmém k hranici. Na výtokové hranici byla zadána hodnota piezometrické výšky 128 m n. m.

Hodnoty hydraulické vodivosti byly v modelu zadány v souladu s hodnotami získanými v minulosti měření ve vrtech nacházejících se v zájmové oblasti. Plošné rozložení tohoto parametru bylo zpřesněno ve fázi kalibrace modelu. Ke kalibraci modelu bylo k dispozici několik pozorovacích vrtů, ve kterých se pravidelně měří poloha hladiny podzemní vody.



Obr. 2. Detail sítě konečných prvků v plošném modelu

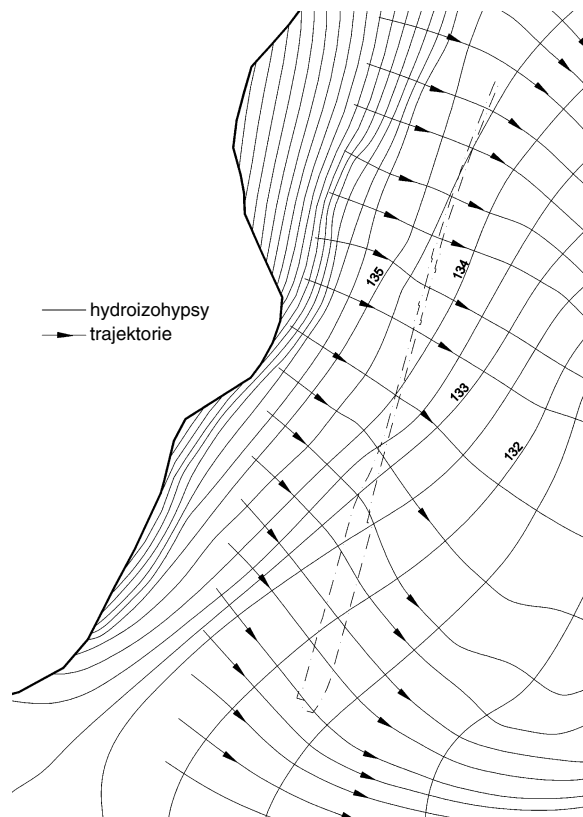
Na obrázku 2 je uveden detail použité sítě konečných prvků v blízkosti posuzovaného podzemního objektu. V daném případě byl použit osvědčený rovinný trojúhelníkový izoparametrický prvek se šesti uzly, který má kvadratický aproximační polynom. V každém prvku použité sítě se tedy mění piezometrická výška kvadraticky a průsaková rychlost z nich odvozená numerickým derivováním se mění lineárně.

### Výsledky modelování plošného proudění

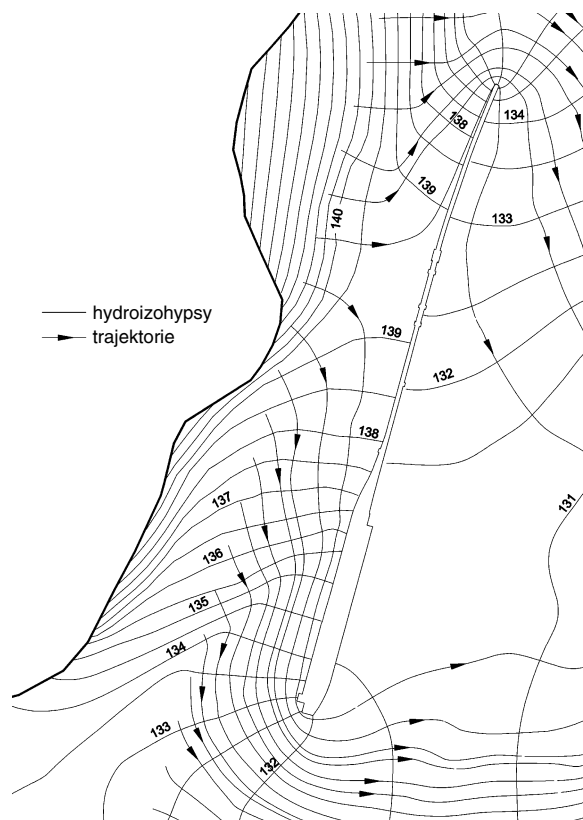
Pomocí kalibrovaného modelu bylo řešeno několik variant proudění podzemní vody v oblasti. Z hlediska polohy hladiny byly zkoumány dva stavy – první odpovídá průměrné poloze hladiny za období 1992 až 2003, druhý je charakterizován zvýšenými přítoky z Malých Karpat v období vysokých srážkových úhrnů v létě 1997. Pro oba stavy byla provedena simulace proudění podzemní vody v přirozeném stavu a po výstavbě podzemního nádraží.

Detail výsledků řešení v okolí stavby je pro průměrný stav vyhodnocen ve formě hydroizohyps a trajektorií na obr. 3. Čerchovanou čarou je vyznačen obrys projektované stavby. Nepravidelný průběh trajektorií je způsoben tím, že po kalibraci je modelovaná oblast nehomogenní, což odpovídá stochastickému charakteru hodnot hydraulické vodivosti v modelovaných kvartérních sedimentech řešené oblasti.

Charakter proudění podzemní vody se výrazně změní po vybudování podzemních objektů, které vytvoří nepropustnou bariéru sahající od povrchu neogénu až po povrch terénu. Vyhodnocení této varianty, nacházející se na obr. 4,



Obr. 3. Znárodnění tvaru hydroizohyps a trajektorií pro současný stav



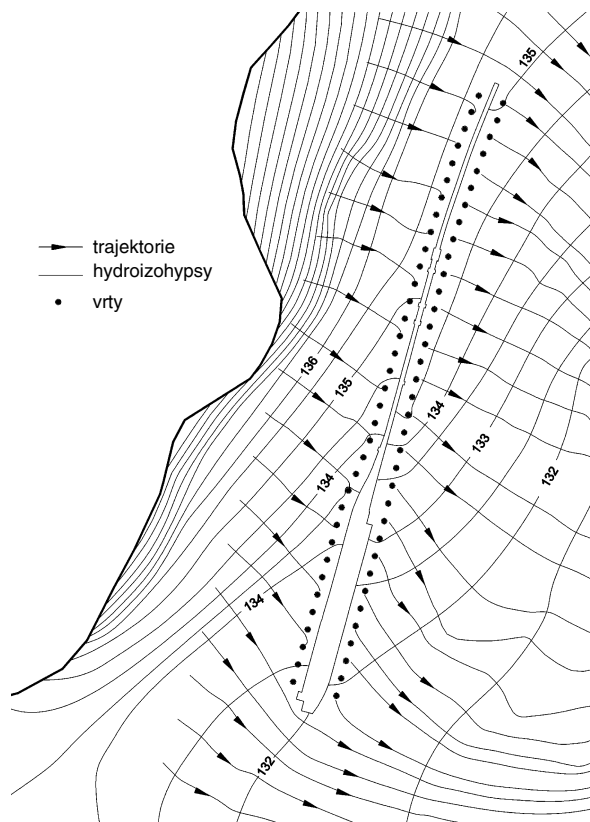
Obr. 4. Znárodnění tvaru hydroizohyps a trajektorií po výstavbě nádraží bez opatření

názorně ukazuje, jak výraznou překážkou proudění podzemní vody by podzemní objekty nádraží byly po výstavbě. Proti současnému stavu hladiny podzemní vody by došlo ke

vzdutí hladiny podzemní vody u nádraží až o 4,5 m. Tak vysoko vzdutá hladina by se dostala do těsné blízkosti povrchu terénu, což by mělo devastující účinky na současnou zástavbu. Uvedené výsledky platí pro průměrný přítok vody do oblastí, v případě zvýšených přítoků by zvýšení hladiny bylo ještě větší. Z výsledků simulací je zřejmé, že projektovanou stavbu není možné provést bez kvalitního technického opatření, které zajistí převedení přitékající podzemní vody přes stavbu.

Uvedené varianty řešení předpokládaly současnou výstavbu celého objektu (dlouhého 2 km) najednou. Ve skutečnosti bude výstavba probíhat po etapách. Za předpokladu, že bude v jednotlivých etapách vybudován drenážní systém a po jejich dokončení ihned uveden do činnosti, je možné vzdutí hladiny podzemní vody výrazně omezit. V dalších variantách byl posuzován projektantem navržený etapový postup výstavby. Z výsledků vyplynula potřeba úpravy výchozího návrhu s ohledem na nepříznivý vliv příliš dlouhých úseků.

Kvaziprostorový model proudění podzemní vody byl také použit k ověření funkčnosti technického opatření pro zamezení vzdutí hladiny podzemní vody, tj. vybudování soustavy čerpacích a injekčních vrtů, které zajistí převedení podzemní vody přes stavbu. Drenážní clona na protivodní straně objektu bude tvořena řadou svislých vrtů, propojených po částech navzájem, ze kterých se bude čerpat podzemní voda. Clona bude rovnoběžná s obrysem objektu. Injekční clona na povodní straně objektu umožní vhánění vody, čerpané z vrtů drenážní clony, znovu do podloží. Také tuto clonu budou tvořit svislé vrtů. Propojení drenážní a injekční clony bude zajištěno tlakovým potrubím včetně sběrného a rozvodného řádu. Vrtů v obou clonách budou vestrojeny tak, aby byla zabezpečena jejich spolehlivá funkce. Na obrázku 5 je vidět detail vyhodnocení výsledků varianty simulující proudění vody za funkce uvedeného

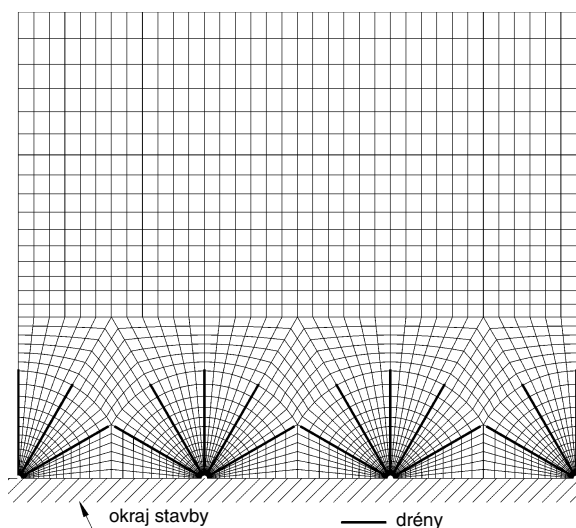


Obr. 5. Hydroizohypsy a trajektorie pro variantu dvou hydraulických clon

opatření řídicího polohu hladiny podzemní vody. Drenážní clona je tvořena 35 vrtů, přítok z každého se čerpá asi 1 l/s a stejné množství vody se vhání do každého z 35 injekčních vrtů na povodní straně stavby. Při tomto návrhu je vzdutí hladiny max. 0,25 m.

### Numerický model prostorového proudění podzemní vody

Jako jedno z možných opatření, zajišťujících převedení podzemní vody přes stavbu, byla ověřována soustava vodorovných vrtů uložených na bázi kvartérního kolektoru, které by na protivodní straně stavby plnily drenážní funkci a na povodní straně funkci vsakovacích drénů. Uspořádání vodorovných vrtů na straně přítoku podzemní vody ke stavbě je zřejmé z obr. 6. Jsou uspořádány vějířovitě po pěti, délka každého je cca 35 m a vějíř se opakuje cca po 60 m podél celé stavby. Předpokládá se, že na povodní straně



Obr. 6. Půdorys prostorové sítě

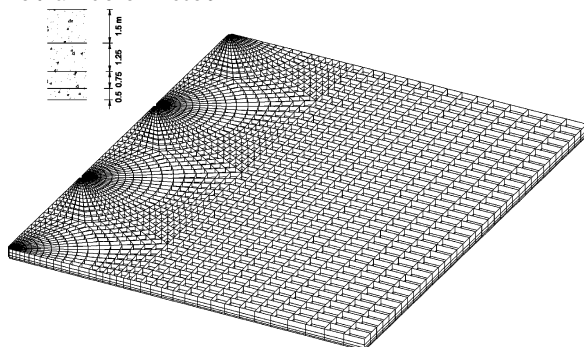
stavby bude symetricky umístěna soustava vsakovacích vrtů. Vrtů budou perforovány po celé délce.

Proudění vody v okolí vrtů má prostorový charakter, a proto bylo zapotřebí použít pro řešení účinků drénů trojrozměrný model. Vzhledem k tomu, že cílem numerického řešení bylo posouzení kapacity a účinku drénů, nebylo nutné budovat model pro celou stavbu, ale stačilo vytvořit jen detailní prostorový numerický model, charakterizující proudění v okolí drénů. Model proto zahrnoval jen dva úplné vějíře vodorovných drénů, doplněné z každé strany polovinou dvou dalších vějířů. Prostorová oblast má obdélníkový tvar, její délka je ve směru objektu nádraží 180 m, ve směru kolmém 150 m, tloušťka 4 m. Předpokládalo se, že je homogenní. Povrch nepropustného podloží byl uvažován jako vodorovný. Modelována byla pouze jímací část systému na straně stavby přivrácené k úpatí Malých Karpat, neboť závěry vyplývající z výsledků tohoto posouzení lze aplikovat i pro jeho výtokovou část – vějíře vrtů na opačné straně stavby.

Půdorys použité prostorové sítě včetně vyznačených vodorovných drénů je na obr. 6, ze kterého je patrné dělení na prvky, v každé ze čtyř modelovaných vodorovných vrstev. Prostorová síť byla podrobně zahuštěna v okolí vodorovných drénů. Pro lepší představu o použité prostorové síti je na obr. 7 uvedeno její axonometrické znázornění v blízkém okolí drénů. Z obrázku je také zřejmé vertikální dělení prostorového modelu na čtyři vrstvy různé tloušťky.

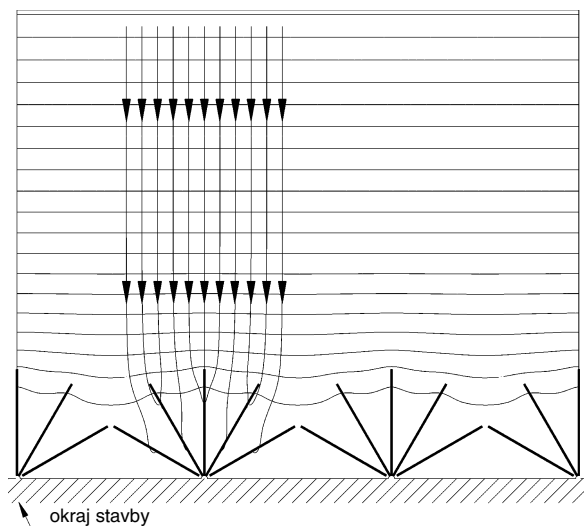
Okrajové podmínky prostorové sítě byly zadány kvalitativně obdobně jako u modelu plošného proudění. Na vtokové části byl zadán odpovídající průsak nehomogenní nestabilní okrajovou podmínkou. Na postranních částech hranice, odpovídajících trajektoriím proudění, byla zadána homogenní stabilní okrajová podmínka. Na výtokové části hranice byla při řešení původního stavu (tj. bez podzemních objektů nádraží) zadána nehomogenní stabilní okrajovou podmínkou piezometrická výška, při řešení účinku vodorovných drénů byla tato piezometrická výška zadána jen ve vodorovných drénech, stěna objektu nádraží byla zadána jako nepropustná.

vertikální členění modelu



Obr. 7. Axonometrický pohled na síť prostorových prvků

Pomocí prostorového modelu byly řešeny dvě varianty. První charakterizovala současný stav, tj. bez nádraží a bez vrtů. V tomto hydraulicky jednoduchém případě šlo především o získání porovnávací varianty výsledků, a rovněž o kontrolu adekvátnosti sítě prostorových prvků. Výsledné hydroizohypsy byly podle očekávání rovnoběžné s vtokovou částí hranice modelu a jejich vzdálenost byla konstantní. Trajektorie v tomto případě jsou rovnoběžné s bočními hranicemi a tvoří s hydroizohypsami pravoúhlu síť úseček. Výsledky druhé varianty, pomocí níž byl simulován účinek drenážních vrtů, jsou uvedeny na obr. 8. Z vyhodnocení výsledků je zřejmé, že tvar hydroizohyps se deformuje jen v jejich těsné blízkosti. Trajektorie vody, které jsou v tomto případě prostorové, jsou znázorněny v půdorysu. Porovnání s předchozí variantou ukázalo, že v důsledku drenážních účinků vrtů nedochází k výraznějšímu ovlivnění polohy



Obr. 8. Vliv vodorovných vrtů na tvar hydroizohyps a trajektorií  
 — drény, — izolinie piezometrické výšky (krok 0,05 m),  
 → trajektorie

hladiny, k jakému by došlo bez realizace zabezpečovacího systému. Numerické modelování vodorovných drenážních vrtů prokázalo, že budou mít dostatečnou jímací kapacitu, aby zamezily výraznějšímu vzduť vody u projektovaných podzemních objektů. Jejich použití je tedy z hydraulického hlediska výhodné.

## Závěry

Výsledky numerického modelování proudění podzemní vody v okolí projektovaných podzemních objektů nádraží Bratislava-filiálka ukázaly, že dlouhá nepropustná bariéra, vytvořená výstavbou těchto objektů, velmi výrazně ovlivní stávající režim podzemní vody. Dojde k mimořádně velké změně polohy volné hladiny a její vzduť před podzemními objekty může dosáhnout až 4,5 m při průměrném přítoku do dané oblasti. Takové zvýšení hladiny podzemní vody až téměř k povrchu terénu by mělo devastující účinky na stávající zástavbu.

Je proto nezbytné navrhnout vhodné drenážní opatření, které během výstavby objektů a po ní zajistí snížení hladiny podzemní vody tak, aby její poloha odpovídala současnému stavu. Numerickým modelováním s použitím kvaziprostorových a plně prostorových modelů bylo prokázáno, že je to skutečně možné. Posuzovaly se dva principiálně odlišné způsoby drenáže a z hydraulického hlediska se oba ukázaly jako vhodné, takže jejich použití by zcela odstranilo nebezpečné vzduť hladiny podzemní vody.

Numerickým modelováním se také prokázalo, že je nezbytné pečlivě posoudit vliv etapové výstavby podzemních objektů na režim proudění podzemní vody. Je třeba zajistit, aby stavební úseky jednotlivých etap výstavby měly vhodnou délku a byly účelně rozmístěny i z hydraulického hlediska. Dále je třeba, aby současně s dokončením výstavby každého úseku byla uvedena do provozu také odpovídající část drenážního systému.

Vzhledem k zásadní důležitosti drenážního systému, který je v dané lokalitě podmínkou výstavby podzemních objektů, bude třeba věnovat pozornost jak jeho technickému návrhu, tak také jeho provádění. Nezbytné bude průběžné monitorování polohy volné hladiny podzemní vody před podzemními objekty i za nimi.

## Literatura

- [1] Gramblička, M. – John, V. – Šenk, P.: Zahloubení železniční stanice Bratislava-filiálka. [Sborník], konference „Železniční mosty a tunely“, SUDOP PRAHA, a. s., Praha, 2004, s. 57–60.
- [2] Valentová, J. – Valenta, P. – Kazda, I.: Modelové řešení proudění podzemní vody v okolí stavby Bratislava-filiálka. [Zpráva], ČVUT v Praze, 2003.
- [3] Jassinger, F.: Železniční stanice Bratislava-filiálka. [Správa], Bratislava Ekoservis 2002.
- [4] Bear, J. – Verruijt, A.: Modeling Groundwater Flow and Pollution. Dordrecht, D. Reidel Publishing Company 1994.
- [5] Valentová, J.: Hydraulika podzemní vody. Praha, Vydavatelství ČVUT 2001.
- [6] Valentová, J. – Valenta, P.: Numerický model transportu rozpustných látek v podzemní vodě a analýza jeho vlastností. Vodohospodářský časopis, **41**, 1993, č. 4/5, s. 286–304.
- [7] Kazda, I.: Podzemní hydraulika v ekologických a inženýrských aplikacích. Praha, Academia 1997.
- [8] Valentová, J. – Valenta, P. – Kazda, I.: Stanovení vlivu výstavby silničních tunelů na režim podzemní vody ve Stromovce. Vodní hospodářství, **51**, 2001, č. 12, s. 341–344.
- [9] Kazda, I.: Program FE3D8 – uživatelský manuál., Praha, Fakulta stavební ČVUT 1988.
- [10] Kazda, I.: Program FE3D20 – uživatelský manuál. Praha, Fakulta stavební ČVUT 1992.

Valentová, J. – Valenta, P. – Kazda, I.: The Impact of the Reconstruction of the Bratislava – Railway Station on Groundwater Flow

The reconstruction of the Bratislava – Filiálka railway station is planned in Bratislava City. The new station will be built as an underground structure which will create an impermeable barrier for groundwater flow. The length of the barrier is approximately 2 km. The impact of the station structure on the groundwater pattern and free surface was assessed by a regional numerical model. The drainage measure efficiency was modelled with a detailed 3D model.

Valentová, J. – Valenta, P. – Kazda, I.: Der Einfluss des Ausbau des Bahnhofs Bratislava auf das Regime der Grundwasserströmung

In Bratislava ist der Umbau des Bahnhofs Bratislava-Filiálka vorgesehen, wobei die Bauobjekte des Bahnhofes unterirdisch errichtet werden und so eine undurchlässige Barriere für die Grundwasserströmung in einer Länge von etwa 2 km bilden werden. Der Einfluss des Baus auf das Regime der Grundwasserströmung wurde mit einem numerischen quasi-dreidimensionalen Modell analysiert. Die Effektivität verschiedener Dränagemaßnahmen wurde mit der Hilfe eines detaillierten 3D-Modells verifiziert.

## • zpráva

### Projekt EUropa – nový terminál pražského letiště

Dynamický průběh výstavby nového Terminálu Sever 2, růst počtu odbavených cestujících a zvýšení počtu destinací jsou současné základní provozní charakteristiky mezinárodního Letiště Praha-Ruzyně. Stavební projekt EUropa v hodnotě 10 mld. Kč se souběžně realizuje v šesti lokalitách areálu Sever, jejichž provoz bude zahájen v lednu roku 2006. Hlavním cílem je rozšíření kapacity letiště a možnost odbavování letů v rámci země Evropské unie podle režimu stanoveného Schengenskými dohodami, kterými bude ČR vázána po roce 2007.



V lednu 2003 schválila Evropská investiční banka úvěr ve výši 9 mld. Kč na výstavbu další části odbavovacích kapacit letiště v Praze, na které již bylo vydáno stavební povolení. V listopadu došlo k podpisu garance za tento úvěr se syndikátem komerčních bank. Česká správa letišť přípravné stavební úpravy zahájila již v září 2002. Na základě vyhodnocení veřejné obchodní soutěže byla v červnu 2003 jako manažer výstavby vybrána společnost Bovis Lend Lease. V průběhu téhož roku následovaly tendry na výběr stavebních firem, které jednotlivé stavby realizují, v roce 2004 na třídílnou zavazadel.

Terminál Sever 2 posouvá letiště Praha do další dimenze. Kromě dalšího nárůstu kapacity na 10 mil. pasažérů ročně v první etapě (která se instalací technologií v následující fázi může posunout na 15 mil.) nabídne další rozšíření služeb pro cestující i subjekty působící v letištním areálu. Generálními dodavateli jsou Metrostav-divize 6, Sdružení Hochtief – ŽS Brno, Sdružení Terminál Sever 2 (Skanska CZ, Strabag), Doprastav, Metrostav-divize 3, VanDerLande.

Konstrukce budovy je kombinovaná. Spodní podlaží jsou železobetonová, vrchní podlaží a střešní část jsou ocelové. Založení na pilotách. Železobetonová část, založená na modulech 15 × 12 m, je rozdělena do několika dilatačních celků. Konstrukci tvoří obousměrný skelet s železobetonovou deskou s vyztuženými nosníky. Ocelová je konstrukce zastřešení osazená na železobetonovou podnož. Zastřešení tvoří prostorová příhradová konstrukce s rámovým působením v obou směrech. Rozpětí nosníku je 57 m. Prostorová konstrukce je trubková.

Konstrukce spojovacího objektu je železobetonová ve všech třech úrovních. Založení na pilotách. Zastřešení velké spojovací chodby je vytvořeno ocelovou konstrukcí s příhradovými vazníky podporujícími plochu střechy. Fasádní pláště jsou v kombinaci plechové rastrové fasády s prosklenými stěnami.

První, druhé a třetí nadzemní podlaží nástupního prstu C jsou řešeny železobetonovým skeletem s příčnými rámy, zastřešení je ocelová konstrukce. Založení je na pilotách. Nástupní mosty (celkem 8) včetně dvouramenných schodišť jsou ocelové. Fasádní pláště jsou v kombinaci plechové rastrové fasády s prosklenými stěnami.

Konstrukce mostu estakády je železobetonová, monolitická, předpínaná ocelovými lany, u kolektorů jde zčásti o monolitický železobetonový tunel, zčásti je použita filigránová deska zalitá betonem. Mimo jiné se postaví 11 000 m<sup>2</sup> estakády (což odpovídá běžnému mostu o délce přibližně 1 km), 2 km nových komunikací, téměř 2 km kolektorů a zavazadlový tunel o délce 400 m (z toho 200 m je ražených).

Výstavbou nového terminálu se zlepší podmínky letištního provozu. Půjde zejména o rozšíření počtu nástupních mostů v odbavovacím prstu C (celkem jich bude 27), možnost oddělení cestujících v rámci destinací EU od ostatních mezinárodních letů a vytvoření nových prostor pro konferenční jednání, větších prostor pro speciální skupiny pasažérů, lékárnu apod. a vybavení tranzitního prostoru hotelovými pokoji. Významně se zvýší počet obchodů a stravovacích kapacit ve veřejných i tranzitních prostorách terminálu, podstatně se rozšíří zázemí pro letecké společnosti i pro zaměstnance.

## Záliv Homebush – příklad řešení brownfields

Ing. arch. Kristýna ŠÍLOVÁ  
 ČVUT – Fakulta stavební  
 Praha

Oblast zálivu Homebush v Sydney je území o rozloze 660 ha, na kterém byl proveden náročný projekt přeměny znečištěného území na multifunkční oblast s aplikací principů ekologicky udržitelného rozvoje. Asanace a opětovné využití tohoto území je velkým projektem svého druhu a dokonalou ukázkou řešení celosvětového problému brownfields.

### Úvod

Brownfields je terminus technicus pro opuštěná, ladem ležící nebo jinak nevyužitá průmyslová a komerční území, jejichž rozvoj a opětovné využití brzdí určitý stupeň znečištění. Území zálivu Homebush (obr. 1), kde se konaly v roce 2000 letní olympijské hry, bývalo právě jedním z takových území. Jde o plochu o rozloze 660 ha, 16 km na západ od centra Sydney, kde byl proveden náročný projekt přeměny znečištěného území na multifunkční oblast s aplikací principů ekologicky udržitelného rozvoje. Tento projekt, který byl zahájen v roce 1993, je jedním z největších projektů řešení brownfields v Austrálii.



Obr. 1. Letecký pohled na záliv Homebush

### Projekt

V červnu 1995 byla založena organizace OCA (Olympic Coordination Authority – Orgán pro koordinaci olympijských her), která měla na starosti mimo jiné přípravu olympijských a paralympijských her v Sydney. Jedním z jejích úkolů byl projekt nového urbanistického rozvoje,

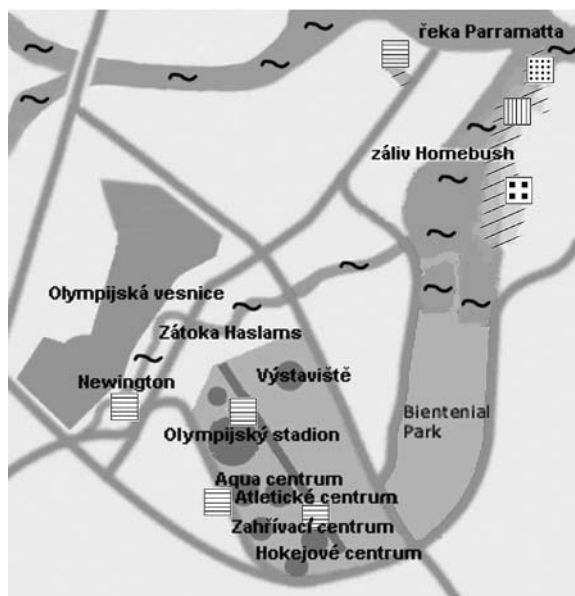
který by poskytl zázemí pro sportovce, a současně se podílel na městském rozvoji. Projekt byl proveden právě v oblasti zátoky Homebush a probíhal ve třech hlavních fázích [1]:

- průzkum a analýza oblasti,
- asanace znečištění,
- výstavba nového předměstí Sydney s kombinovanou funkcí – sportovní a komerční využití, bytová a rekreační funkce a v neposlední řadě zeřízení.

Principy plánování, řízení a provádění projektu rozvoje byly vytvořeny komisí z odborníků, v níž byli výrazně zastoupeni experti na životní prostředí. Komise pracovala na základě principů ESD (Ecologically Sustainable Development, tj. ekologicky udržitelný rozvoj). Šlo především o dodržování směrnic k šetření s energií a vodou, minimalizaci odpadu, ochraně životního prostředí a záruku, že nedojde ke zhoršení kvality vody a půdy na daném území. OCA si byla vědoma důležitosti splnění těchto závazků a cílů, které zveřejnila ve své strategii pro životní prostředí.

### Asanace brownfields

Ještě před osídlením byla oblast zálivu Homebush označena za zalesněnou přílivovou mokřinu. V letech 1948 až 1960 byla z oblasti těžena půda a po tomto drastickém zásahu do krajiny bylo území používáno pro různé účely včetně jatek, cihelny, vojenského skladiště a nekontrolované skládky odpadu. Úplně nejhroším využitím však byla skládka průmyslového odpadu (obr. 2).



Obr. 2. Mapa toxického znečištění

- ▨ kontaminovaný materiál, převážně dioxiny
- ▧ dřívější továrna Union Carbide, kde se vyráběla chemikálie „Agent Orange“
- ▩ 69 prorezivělých nádob obsahujících odpad s dioxiny
- ▣ dřívější továrna ICI, petrochemický průmysl
- /// oblasti s vysokou kontaminací – dioxiny, DDT a těžké kovy
- ~ vodní plochy



Tato využití měla za následek katastrofické znečištění a znehodnocení celé oblasti. Během průzkumu v roce 1997 bylo v odebraných vzorcích vody a půdy zjištěno až sedmdesát druhů různých znečišťujících látek a sloučenin [1]. Bylo odhadnuto, že v oblasti je na ploše 220 ha zhruba 9 mil. m<sup>3</sup> znečištěný obsahující hnilobný odpad, těžké kovy, oleje, azbest, pesticidy a jiné průmyslové odpady. Byly zde objeveny průsaky dehtu do půdy a spodních vod. Průzkumy dále odhalily vysokou hladinu dioxinu, související s dřívější výrobou herbicidů a s ukládáním průmyslového odpadu [1].

Na základě těchto výsledků byl stanoven plán asanace. Byly identifikovány oblasti se zamořením, navrhována opatření pro ošetření oblasti a opatření, která by zabránila dalším průsakům nebezpečných látek do okolních vrstev. Asanace byla provedena na základě těchto principů [1]:

- kontaminované půdy byly sloučeny a shromážděny do čtyř hlavních oblastí (skládek), a tím byla vytvořena maximální plocha s neomezeným využitím;
- tyto byly vytěženy a materiál byl umístěn na skládku nebo byl na místě bezpečně uložen;
- kontaminovaná půda byla uložena 5 až 9 m pod úroveň terénu a zavezena vrstvou nezamořené půdy tloušťky nejméně 1 m. Nad ní bylo vybudováno podzemní podlaží stavby;
- skládky byly zavezeny čistou nezamořenou půdou, pokud možno z té samé oblasti;
- byly vybudovány drenážní jednotky na sběr průsaků a sbírané filtráty jsou následně ošetřovány v přílehlé kanalizační čistírně;
- skládková tělesa byla citlivě zasazena do stávající krajiny a osázena místními rostlinami a stromy, čímž bylo rovněž omezeno vsakování dešťových srážek do skládek;
- byla vynaložena snaha na vybudování polopřirozeného prostředí.

Asanace byla rozložena do několika fází, přičemž v době olympijských her byla dokončena asanace území v okolí sportovního centra a část území v zátoce Haslams. Celkové náklady činily 137 mil. australských dolarů (cca 2,6 mld. Kč). V současnosti se program asanace soustředí na oblast Newington.

Na celé ploše projektu probíhá nepřetržitě monitorování stavu podzemní vody a vzduchu. Součástí je také sledování odtékajících filtrátů ze skládkových těles. Monitorování zahrnuje i porovnávání záznamů v určitých obdobích. Přehledy o společenstvech ryb a bezobratlých v přílehlých vodních plochách jsou rovněž důležitou součástí projektu [1].

### Udržitelná výstavba

Výstavba v oblasti zátoky Homebush byla plánována a provedena s přihlédnutím k principům ESD. Dvěma primárními principy, aplikovanými při výstavbě, bylo snížení spotřeby vody a energie. Užívání vody na všech místech bylo minimalizováno instalováním účinných a vodou šetřících přístrojů a vybavení. Kromě toho byly terénní svahy navrženy tak, aby se maximálně využívalo dešťových srážek a navržená zeleň nemusela být uměle zavlažována. V projektu byly rovněž použity rostliny, které pocházejí z Austrálie a jsou na vodu nenáročné. Koloběh vody v infrastruktuře byl navržen tak, aby docházelo ke sběru dešťové vody, která je následně distribuována pro

umělé zavlažování a splachování toalet. Tímto bylo dosaženo 50% snížení spotřeby vody. Systém rozvodu vody má dva okruhy – pitný a užitkový.

Budovy a další zařízení v místě sportovišť byly navrženy tak, aby se minimalizovala spotřeba energie. Úspora bylo dosaženo [1]:

- efektivním designem budov a jejich správnou orientací ke světovým stranám;
- použitím efektivního elektrického vybavení a zařízení;
- maximálním využitím přirozeného osvětlení, a tím redukcí potřeby pro umělé osvětlení;
- instalováním slunečních kolektorů;
- recyklací energie.

Odhaduje se, že tato opatření snížila spotřebu energie až o 60 % v porovnání s tradičními systémy.

### Nezávislý posudek

Vzhledem k tomu, že šlo o velmi náročný projekt, OCA požádala o pomoc nadnárodní ekologickou organizaci Earth Council (založenou jako výsledek celosvětového ekologického fóra Earth Summit, který se konal v Rio de Janeiro v roce 1992) [2], aby provedla posudek na navrhovaný projekt ještě před jeho realizací. Posudek v podstatě vyjádřil velké uznání celému projektu, ale vytkl i některé nedostatky. Pochvala byla udělena za plánované činnosti, např. [1]:

- likvidaci nebezpečného odpadu s ohledem na životní prostředí;
- použití recyklovaného stavebního materiálu a materiálu, který nebude zatěžovat životní prostředí, v celém projektu;
- užití inovačních technologií;
- kladení důrazu na budoucí využití veřejné dopravy.

Na druhé straně se však posudek vyjádřil k tomu, že projekt zanedbal některé skutečnosti, např. [1]:

- názory a návrhy konzultujících specialistů nebyly optimálně zapracovány do plánu na tvorbu a ochranu životního prostředí;
- nebyly dodrženy závazky k minimálnímu použití plastů, a to hlavně tam, kde byla i jiná varianta.

### Závěr

Asanace a opětovné využití brownfields v zátoce Homebush je velkým projektem svého druhu a dokonalou ukázkou řešení tohoto celosvětového problému. Projekt byl započat před sedmi lety, převážná část byla dokončena v roce 2000 a dokončení je plánováno v roce 2005. Málokdo z televizních diváků Olympijských her 2000 by tehdy tušil, že sleduje místo, kde ještě nedávno byly skládky a kontaminovaná půda.

### Literatura

- [1] EPA, 2000, [www.epa.gov/region04/sustain/susgo.htm](http://www.epa.gov/region04/sustain/susgo.htm)  
 [2] Corbit, R. A.: Standard Handbook of Environmental Engineering. New York, McGraw-Hill 1998.

### Šílová, K.: The Homebush Bay – An Illustrative Example of the Solution of Brownfields

The Homebush Bay site in Sydney occupies the area of 660 ha. This area was redeveloped with a commitment to application of ecologically sustainable development principles. The decontamination and redevelopment of this area is a large project of its kind and a brilliant example of handling the worldwide problem of brownfields.

### Šílová, K.: Die Homebush-Bucht, ein anschauliches Beispiel für die Lösung kontaminierter Gebiete

Das betrachtete Gebiet der Homebush Bay in Sydney hat eine Fläche von 660 ha, auf der ein aufwendiges Projekt der Umwandlung eines verunreinigten Gebiets in ein multifunktionelles Gebiet unter Anwendung ökologisch nachhaltiger Entwicklungsprinzipien durchgeführt wurde. Die Dekontamination und Sanierung dieser Fläche ist ein beachtliches Unterfangen und ein brillantes Beispiel für den Umgang mit dem weltweiten Problem der Altlasten.

## • dizertace



### Únavová pevnost nosníků s vlnitou stojinou

Ing. Michal Tůma

Dizertační práce je zaměřena na únavové chování nosníků s tenkou vlnitou stojinou. V experimentální části je na reálných nosnících ověřena únosnost při cyklickém zatížení a z výsledků je statisticky stanovena návrhová únosnost, použitelná zejména v oblasti návrhu jeřábových nosníků. Teoretická část práce je věnována numerickému modelování v programu ANSYS. Výsledkem je podrobné nelineární vyšetření nosníků při statickém a pohyblivém lokálním zatížení vedoucí k možnosti zjednodušeného analytického posouzení nosníků na únavu.

### Tepelně vlhkostní bilance dřevostaveb

Ing. Jan Kirschner

Práce se zabývá stavebně fyzikální problematikou dřevostaveb určených pro bytovou výstavbu. Teoreticky vyhodnocuje řadu variant uspořádání obvodové stěny dřevěného objektu a výsledky porovnává s poznatky z měření. Je navržena optimální skladba stěny a definují se odlišnosti tohoto druhu staveb od staveb masivních.

### Termofyzikální parametry kompozitních stavebních materiálů na bázi cementu v oblasti vysokých teplot

Ing. Jitka Poděbradská

Autorka se zaměřila na experimentální určení tepelně fyzikálních parametrů vyztužených kompozitů s cementovou maticí, zejména teplotní a tepelnou vodivost, měrnou tepelnou kapacitu a teplotní roztažnost těchto materiálů. Zabývá se i vlivem mikrovýztuže, plastifikátorů, vodního součinitele atd.

## • zpráva

### Duhový dům

Město Praha má další zajímavý stavební unikát. Proměnil se v něj bývalý palác Kodaňská, dříve sídlo zkrachovalé společnosti Chemapol. Komplex budov postavila na konci šedesátých let italská společnost Feal. Na architektonickém návrhu tehdy velmi moderní budovy se podílela Ing. arch. Zdenka Nováková, která i dnes na projektu částečně spolupracuje.

Rekonstrukce a provoz 4D CENTER – PRAGUE, jak se nové business centrum nazývá, je společným podnikem dvou zahraničních investorů – B. S. R. Europe Ltd. a Breccia holding, kteří budovu koupili v roce 2002 a investovali do ní celkem 3,5 mil. euro. Nově vybavené budovy nabízejí celkem 42 tis. m<sup>2</sup> kancelářských ploch a luxusně vybavených veřejných prostor. Změna je patrná na první pohled i na plášti vyzdobeném výrazným designem francouzsko-izraelského umělce Yaacova Agama. Vzhledem k počtu použitých odstínů barev bude současný provozovatel budovy – společnost Kodaňská Office Center žádat o zápis do Guinnessovy knihy rekordů.



Umělec Yaacov Agam je považován za otce „kinetického umění“. Od jeho první samostatné výstavy v Paříži v roce 1953, kdy poprvé v historii moderního umění měla představená díla čtvrtý rozměr – času a změny integrované do umělecké formy, se zformovalo mezinárodní hnutí s tímto názvem. Agamovy práce byly představeny na samostatných výstavách v různých zemích a jeho díla jsou zastoupena v mnoha muzeích. Vytvořil také řadu dalších „malovaných“ fasád v mnoha zemích. Za svůj novátorský příspěvek k vizuálnímu vyjádření obdržel od UNESCO v roce 1996 medaili Jana Amose Komenského.

Na návrhu fasády 4D CENTER – PRAGUE pracoval ve svém pařížském ateliéru od začátku roku 2003 a použil více než 300 různých odstínů. Konceptu harmonicky splývajících barev, které vytvářejí světelný efekt a vyznačují energii z celé budovy, věnoval několik měsíců. Budova na severní straně evokuje teplými barvami pocit a energii léta, budova na zimní straně zachycuje pocit zimy plynulým přechodem chladných modrých odstínů. Hlavní budova představuje krásu a magii jara a jeho skrytou energii. Vršek budovy – „koruna“ – zpodobňuje ve výrazu kinetického umění měnící se formy a krásu a magii stálých změn v životě. Vysoce kvalitní barvy včetně každého ze tří set odstínů byly vyrobeny ve Finsku, schváleny v Paříži a namíchany v Praze.

Tisková informace

Čtenářům našeho časopisu můžeme nabídnout, bohužel, jen černobílý snímek, a proto nezbývá, než zavřít oči a představit si to nejpůsobivější barevné spektrum, které si lze představit. Je pravda, že umístění natrvalo na budově je pro nás poněkud nezvyklé, ale proč ne, zvláště když je autor vytvořil, podle vlastního vyznání, z lásky k našemu hlavnímu městu a na základě jedinečné barevnosti jeho budov.

–MK–

# Komplexní pohled na problematiku bezpečnosti

RNDr. Dana PROCHÁZKOVÁ, DrSc.  
CITYPLAN, spol. s. r. o.  
Praha

Základní funkcí státu je zajistit trvalý rozvoj lidské společnosti, což není možné bez zajištění bezpečného prostoru, ve kterém žije. Hlavním cílem významných mezinárodních organizací (např. OSN, OECD, EU), vlád, veřejné správy (správních úřadů, regionálních a místních úřadů) je vytvořit bezpečný prostor pro 21. století. V této snaze se však neobejdou bez účasti právnických a fyzických osob i občanů.

## Současný stav

Je třeba si uvědomit, že pojetí bezpečného prostoru se teprve vytváří. Až po velkých teroristických útocích si lidstvo plně uvědomilo, co pro něj a pro jeho rozvoj bezpečnost znamená. Zásady a způsoby jeho vytvoření musí vycházet jak z výsledků výzkumu, tak ze zkušeností z praxe. Důležité jsou oba nástroje, nelze je oddělit a spolehnout se jen na jeden z nich. Pro nepřijatelné časové zpoždění nelze čekat na výsledky specializovaného výzkumu. Získání výsledků výzkumu vyžaduje určitý čas a je skutečností, že je třeba propracovat nový přístup k problematice bezpečnosti v komplexním pojetí. Přitom je pravdou, že úroveň bezpečnosti, kterou stát může zaručit, závisí na mnoha faktorech, zejména:

- pochopení problému v souvislostech a konkrétních podmínkách,
- správných cílech řízení činností,
- technických a kybernetických prostředcích,
- finančních prostředcích,
- organizační struktury schopné realizovat opatření v přijatelném čase,
- specifické výchově a vzdělání řídicích pracovníků i občanů.

Proto musí být již dnes přijata jednoduchá opatření získaná na základě praktických zkušeností s tím, že budou postupně nahrazována sofistikovanými zásadami, jejichž účinnost bude vyšší, protože budou vytvořena a ověřena výzkumem.

## Úkoly managementu

Při tvorbě bezpečného prostoru má velký význam úroveň řízení (managementu). Musí být pro-aktivní a musí vycházet ze sofistikovaných podkladů, odpovídat konkrétním podmínkám a být srozumitelné všem zúčastněným subjektům. Vrcholový management si musí být vědom, že bezpečnost není něco předem daného, ale že je nutno ji vytvářet usměrněnými a provázanými systémovými opatřeními a zásahy, což z hlediska teorie znamená bezpečnost řídit [1]–[4]. Z hlediska společnosti je zřejmé, že je nutno ji zvyšovat. Aby se postupovalo cíleně, za pomoci přiměřených zdrojů, je nutné, aby orgány státu pro rozhodování používaly kvalifikované metody zpracování podkladů a respektovaly názory odborníků a jejich hodnocení trendů v čase. Ve vyspělých zemích již managementy používají

monitoring parametrů základních procesů a systematicky posuzují bezpečnost podle indikátorů [1], [5], které měří její úroveň v čase.

Situace ve světě i v jednotlivých územích se stále mění, a proto se musí systematicky vytvářet nová kultura bezpečnosti, zahrnující aktuální poznatky i zkušenosti. Pro její prosazování v praxi je však nezbytné jak cílené řízení, tak široká účast státních orgánů, právnických a fyzických osob i občanů. Vede k přiřazení vyšší priority plánování a řízení bezpečnosti a také k pochopení potřeby bezpečnosti všemi účastníky [5]. Pro zajištění bezpečného prostoru je tedy nutné:

- zvyšovat informovanost o očekávaných rizicích v území, koncepcích, ochraně, praxi, opatřeních a postupech ke zvládnutí rizik a také o těch, která je ještě třeba přijmout a realizovat;
- zvyšovat důvěru občanů v to, že cílem veřejné správy je skutečně zajištění bezpečného prostoru;
- vytvářet vzdělávací systém, který úředníkům, zaměstnancům právnických a fyzických osob i občanům umožní porozumět otázkám bezpečnosti;
- prosazovat spolupráci a koordinaci úkolů a vzájemné sdílení informací.

Na základě nejvyšších právních dokumentů [9], [10] jsou v České republice deklarovanými chráněnými zájmy životy a zdraví lidí, majetek, životní prostředí a bezpečnost. K majetku bezesporu patří i životy a zdraví domácích zvířat a další důležité položky. Zdravá populace potřebuje k uspokojivému rozvoji více než nezávadné jídlo a pití, je závislá na pocitu bezpečí a veřejného blaha, a proto jsou tyto aspekty stále zdůrazňovány a hledají se nástroje a prostředky k jejich zajištění. Při volbě strategií pro zajištění bezpečnosti je nutno brát v úvahu rovněž široký soubor pohrom, do něhož je nutné zahrnout pohromy:

- **přírodní**, tj. laviny, horké vlhké letní dny, sucho, protržení hrází, povodně, tsunami, zemětřesení, sopečné erupce, sesuvy svahů, řícení skal, lesní požáry, vichřice, tornáda, nadměrné dešťové nebo sněhové srážky, výrony plynů ze zemského nitra;

- **technologické**, tj. nehody v chemickém a dalším průmyslu, indukovaná zemětřesení (důlní či horské otřesy, otřesy indukované přehradami, injekcemi tekutin do zemského nitra nebo čerpáním tekutin z něj, umělými explozemi), havárie při dopravě a skladování chemických materiálů, dopravní nebo radiační havárie, velká znečištění životního prostředí;

- **přímo narušující rovnováhu lidské společnosti**, tj. defekty:

- v životním prostředí, zejména hromadné nákazy polních kultur nebo zvířat,
- v lidské populaci epidemie a pandemie,
- v lidské společnosti, zejména ve veřejné bezpečnosti a pořádku, ekonomické sféře, v územní a společenské infrastruktuře, v informačních technologiích, komunikacích, energetice, peněžnictví, dále války, ozbrojené konflikty, kriminalita, terorismus atd.

Z analýzy světových dat z 19. a 20. století vyplývá, že pohromy v ekonomické sféře, v územní a společenské infrastruktuře, v informačních technologiích, komunikacích, energetice a peněžnictví jsou pro lidstvo často tíživější než pohromy přírodní nebo technologické (viz světová hospodářská krize v r. 1929, ropná krize v sedmdesátých letech dvacátého století aj.). Jejich zákeřnost spočívá v tom, že kromě dopadů přímých a bezprostředních je jich řada zprostředkovaných složitou sítí vazeb, které jsou v čase různě posunuty. Pro zajištění bezpečnosti je nutno věnovat pozornost právě těmto dopadům, protože ty často působí plíživě a skrytě a jsou iniciačními příčinami krizí.

Na základě analýz a šetření mohou některé z jmenovaných pohrom vyvolat i na našem území situace, při kterých bude třeba vyhlásit krizovou situaci [6]. Závažný může být sofistikovaný teroristický útok na kritickou infrastrukturu, resp. na její specifické části. Dopad na chráněné zájmy může být jak přímý, tak zprostředkovaný přes složitou strukturu vazeb a toků, a může působit bezprostředně, nebo s časovým zpožděním. Z analýz [1] vyplývá, že teroristické útoky se soustřeďují na rozrušení kritické infrastruktury stále častěji, protože takto ovlivní ve svém důsledku životy a zdraví lidí i stát silněji než „obyčejný“ pumový útok.

V zájmu přežití a zajištění trvalého rozvoje lidského rodu je třeba pohromám předcházet (u přírodních to většinou nejde), odstranit příčiny jejich vzniku, zmírnit dopady preventivními opatřeními, připraveností, optimálním zvládnutím jejich dopadů a jimi vyvolaných kritických situací (tj. vlastně zkrácením nouzové situace na přijatelnou míru), zajistit obnovu a umožnit další rozvoj.

### Nástroje managementu a jejich vývoj

Řízení bezpečnosti je nástroj k zajištění trvale udržitelného rozvoje společnosti, území a státu. Jako takové je to řízení především strategické, se kterým je úzce spojena riziková analýza. Pro jeho potřeby se identifikují řetězce dopadů a určuje se, v jakých souvislostech působí, zda jsou orientovány na politické, ekonomické, technické, personální a jiné prostředí, a jaká opatření lze přijmout k odstranění, popř. redukci, ovlivnitelných rizik.

Krizové řízení se soustřeďuje na identifikaci, diagnostikování a zvládnutí kritických situací, jejichž výskyt má rozumnou pravděpodobnost. To mimo jiné znamená, že řízení bezpečnosti postihuje podstatně širší okruh a rozsah otázek než krizové řízení. Podle použitých nástrojů rozlišujeme řízení nouzové a vlastní krizové [1]. Je třeba si uvědomit, že u nás je právně kodifikováno jen krizové řízení a z nouzového jen vybrané části, tj. řízení požárů, dopravních, vybraných chemických a jaderných havárií, ochrana před povodněmi a znečištěním vodních toků, ropné nouze a nouze v dodávkách elektrické energie. Z odborného hlediska se nouzové řízení opírá o nouzové plánování (v případě havárií mluvíme o havarijním plánování). Jeho specifickou částí je řízení ve smyslu zvládnutí nouzových situací, tj. dopadů pohrom. Cílem je správa státu, která zaručí, že zvládne dopady pohrom (v běžné řeči se používají pojmy jako poruchy, nehody, havárie, kalamity či katastrofy) pomocí standardních výkonných složek, standardních prostředků a zdrojů s přijatelnými ztrátami. Opatření pro prevenci, připravenost, odezvu a obnovu mají některým z nich zabránit nebo je alespoň zmírnit, aby byly ochráněny životy a zdraví lidí, majetek a životní prostředí [1].

Vlastní krizové řízení se opírá o krizové a nouzové plánování. Jeho cílem je správa státu, která zaručí, že stát

zvládne nouzové situace kategorie 5 [1] tím, že v případě potřeby upraví vazby ve společnosti tak, aby zvládl dopady pohrom, při kterých jsou ohroženy prioritní hodnoty, zájmy nebo cíle státu pomocí nadstandardních výkonných složek, nadstandardních prostředků a zdrojů a dočasného omezení lidských práv a svobod. Opatření pro prevenci, připravenost, odezvu a obnovu mají jejich vzniku zabránit nebo je alespoň zmírnit s cílem ochránit životy a zdraví lidí, majetek, životní prostředí a lidskou společnost [1].

Současná filozofie i nástroje řízení bezpečnosti se v čase postupně vyvíjely přibližně od sedmdesátých let minulého století. Dnešní pojetí, které zahrnuje i jiné pohromy než atomovou válku, nastává ve vyspělých zemích až po roce 1970. Od konce sedmdesátých let krizové řízení sleduje čtyři provázané oblasti – prevenci, připravenost, odezvu a obnovu. Stále častěji se však zdůrazňuje nutnost prevence, protože správně provedená technická opatření dokáží předejít vážným důsledkům pohrom ze 60 až 80 % [1].

Například v USA: 50. léta – civilní obrana jako ochrana před jaderným útokem, 60. léta – ochrana před přírodními katastrofami (po velkém zemětřesení na Aljašce a velkých povodních), 70. léta – tvorba protipovodňových plánů, r. 1977 – zahájen výzkum na snížení dopadů zemětřesení, r. 1978 – ustanovena agentura FEMA (Federal Emergency Management Agency) a zpracována ochrana proti pohromám a krizím přírodním, technologickým a z oblasti civilní obrany (včetně války), r. 1985 – zahájeno sestavování plánů odezvy na pohromy na všech administrativních úrovních státu, r. 1992 – reorganizace FEMA (po hurikánu Hugo a zemětřesení Loma Prieta) a zavedení prevence a opatření ke zmírnění dopadů pohrom. Po zkušenostech ze zvládnutí nouzových situací velkého rozsahu prosadila FEMA, že nouzové plánování, odezva a obnova jsou věcí všech resortů a ona plní jen koordinační funkci. Byly stanoveny funkce území a služby (emergency support functions), které musí být zabezpečeny pro zvládnutí odezvy a zahájení dalšího rozvoje území. Jejich počet se pohybuje mezi 12 a 22 a jejich zajištění je součástí plánů odezvy jak celých USA, tak jednotlivých států [1].

Vedle výše uvedených aktivit se nezávisle rozvíjely další činnosti:

- ochrana životního prostředí, opírající se o hodnocení dopadů na životní prostředí (EIA – 1970), snažící se o jeho trvale udržitelný rozvoj a prosazující princip opatrnosti, zastřešená vládní agenturou EPA (Environmental Protection Agency). Obdobný vývoj proběhl v Evropské unii a později i u nás [12];
- zajištění technologického rozvoje, opírající se o hodnocení techniky, zaštitěná agenturou Kongresu OTA (Office for Technology Assessment, 1972–1996): Obdobný vývoj proběhl v Evropské unii (příslušná direktiva je z r. 1986, [11]).

Ke vzájemnému propojení aktivit dochází od konce osmdesátých let minulého století (viz aktivity OSN a dalších národních a mezinárodních organizací) [1].

Postupem doby se ochrana proti pohromám a útokům sjednotila a odlišily se pojmy riziko a hrozba [1], [7]. Riziko (risk) je míra vyjadřující skutečnost, že vznikne nebo může s určitou pravděpodobností vzniknout nežádoucí událost nebo soubor nežádoucích událostí vyvolaných pohromou (riziko = ohrožení × zranitelnost). Hrozba (threat) je míra vyjadřující skutečnost, že vznikne nebo může s určitou pravděpodobností vzniknout nežádoucí událost nebo soubor nežádoucích událostí vyvolaných teroristickým či vojenským útokem (hrozba = schopnost útočnicka × zranitelnost × úmysl útočnicka).

### Kritická infrastruktura

Rychlý vývoj hierarchie prioritních opatření, prováděných v rámci krizového řízení především na úseku nouzového plánování, vyústil na konci devadesátých let ve specifikaci kritické infrastruktury. Po teroristickém útoku v Atlantě v r. 1995 jsou v modelech výše zmíněných funkcí území energetické zásobovací systémy uváděny na předním místě, protože energie je pro zajištění odezvy na pohromu, zajištění ochrany obyvatel i pro obnovu a další rozvoj území a společnosti nezbytná. Závěry analýz potvrdily účinnost výše uvedených přístupů a zdůraznily nutnost prevence a připravenosti [1], [8]. Stejný byl závěr hodnocení po teroristickém útoku v Madridu v březnu 2004.

V roce 1998 byla v USA zřízena komise, která během dvou let zpracovala strategický materiál, z něhož vyplývají základní přístupy ke kritické infrastruktuře, a zvláště k energetice. Po 11. září 2001 bylo stanoveno provést analýzu zranitelnosti vůči možným pohromám i útokům a zapojit do systému právnické a fyzické osoby i občany. Bylo stanoveno zpracovat plán na odstranění největších zranitelností, zajistit systém detekce pohrom a útoků (jejich možné scénáře), plán na realizaci odezvy (její možné scénáře, prostředky pro její provedení), plán obnovy, zajistit výchovu a uvědomění, výzkum a vývoj, zpravodajské analýzy; mezinárodní spolupráci, legislativní a finanční požadavky. Role FBI v nouzovém plánování a krizovém řízení byla stanovena nařízením prezidenta. Ustanovený výbor specialistů přímo úkoluje agenturu FEMA nebo v případě potřeby údajů od zpravodajských služeb zadá úkol FBI, která stanoví úkol pro FEMA. Vývoj pojetí v USA určil vývoj v Kanadě, Velké Británii a některých zemích EU.

Z výše uvedených skutečností vyplývá, že řízení bezpečnosti navazuje na inteligentní a logicky rozpracované nástroje, zejména hodnocení ohrožení (hazard assessment) a rizik (risk assesment) a řízení rizik (risk management) [1], [7]. Ve vyspělých státech je používá management státu, regionů, obcí, podniků i různých společností [1].

Vývoj po velkých teroristických útocích ukázal, že je třeba speciálně ochraňovat tu část infrastruktury, bez níž nelze zvládnout ani krizové situace, ani větší nouzové situace. Pojmem kritická infrastruktura rozumíme fyzické a kybernetické systémy nutné pro zajištění minimálního chodu ekonomiky a správy státu (vlády). To znamená, že dopady každé pohromy je třeba posuzovat z hlediska vlivu na životy a zdraví lidí, majetek, životní prostředí, pocit bezpečí lidí, kritickou infrastrukturu a veřejné blaho. Na základě dokumentů přijatých Bezpečnostní radou a vládou České republiky v r. 2002 zahrnuje kritická infrastruktura systémy dodávky energií (především elektřiny) a dodávky vody, kanalizační systém, přepravní síť, komunikační a informační systémy, bankovní a finanční sektor, nouzové služby (policii, hasičskou záchrannou službu, zdravotnictví), základní služby (zásobování potravinami, likvidaci odpadu, sociální služby, pohřební služby), průmysl a zemědělství, státní správu a samosprávu.

### Řízení bezpečnosti

Tento komplexní systémový nástroj zajišťuje bezpečnost státu, regionu, obce, podniku, objektu, organizace apod. a umožňuje jejich rozvoj. Působí v dynamicky proměnném okolí, systematicky zajišťuje stabilitu (předcházením krizí) a vytváří podmínky pro další rozvoj. Opírá se o monitorování, diagnostiku situací, sofistikovanou analýzu a hodnocení procesů, predikci dalšího vývoje procesů, aplikaci preven-

tivních a zmírňujících opatření před zahájením činností a v jejich průběhu, přípravu opatření na korekci nebo zvládnutí nežádoucího vývoje procesů a na zajištění obnovy apod. Všechny dílčí nástroje jsou vzájemně provázané a uspořádané tak, aby docházelo k synergickému efektu.

Management každého státu, regionu, obce, podniku, objektu, organizace apod. má řadu dílčích nástrojů k řízení, např. právní normy, systém QA (quality assurance – zajištění jakosti), havarijný plán, povodňový plán, tj. obecně nouzové plány různého druhu, organizační řád, systém odpovědnosti apod. Tam, kde se důsledně neprosazuje moderní sofistikované řízení, známé pod pojmem řízení bezpečnosti, tam jsou dosud jednotlivé nástroje používány odděleně, a tudíž se synergický efekt neprojevuje a chybějí postupy, jak řešit rozpory v případech, že jednotlivé nástroje nabízejí odlišné a protichůdné činnosti či opatření.

### Závěr

V Evropské unii byl zahájen rozsáhlý výzkumný program zaměřený na možnost vybudování bezpečného prostoru v Evropě. Po událostech v Madridu předseda Evropské komise rozhodl o programu „Research for Secure Europe“ na léta 2007–2013 a o přípravném programu PASR (Preparatory Action on Security Research) na léta 2004–2006. Program se opírá o řízení bezpečnosti v komplexním pojetí. Pro zajištění udržitelného rozvoje České republiky je nutné, aby se k aktivitám EU velmi rychle připojila a modernizovala pojetí bezpečnosti podle současného chápání. Veřejná správa, právnické a fyzické podnikající osoby by měly znát pojetí komplexní bezpečnosti, aby při rozhodování vycházely z odborných principů jejího řízení a re-aktivní přístupy nahradily pro-aktivními.

### Literatura

- [1] Procházková, D. – Říha, J. a kol.: Krizové řízení. MV – GŘ HSZ ČR, Praha, 2004, 222 s. (v tisku).
- [2] Global Blueprints for Change – Summaries of the Recommendations for: Theme A – Living with the Potential for Natural and Environmental Disasters; Theme B – Building to Withstand the Disaster Agents of Natural and Environmental Hazards; Theme C – Learning from and Sharing the Knowledge Gained from Natural and Environmental Disasters. ASCE, Washington 2001.
- [3] Kofi, A.: Natural Disasters and Sustainable Development: Understanding the Links between Development, Environment and Natural Disasters. UN, Dept. of Economic and Social Affairs, DESA/DSD/PC2/PB5/2002.
- [4] Agenda for Information Day – Preparatory Action on Security Research (PASR-2004). Research Directorate General, Directorate H: Space and Transport. Brussels, 2004.
- [5] Směrnice OECD pro indikátory plnění bezpečnosti. Překlad draftu. VÚBP, Praha 2004, 202 s.
- [6] Typové plány pro možné krizové situace v ČR. MV-GŘ HSZ ČR. Praha, 2004.
- [7] Procházková, D.: Metody hodnocení rizik pro potřeby krizového řízení a související problémy. In: Krizový management. Vojenská akademie v Brně, 2004, s. 291–297.
- [8] Procházková, D.: Podklady pro hodnocení kritické infrastruktury. In: Krizový management. Vojenská akademie v Brně, 2004, s. 298–306.
- [9] Zákon č. 1/1993 Sb., Ústava České republiky.
- [10] Zákon č. 110/1998 Sb., o bezpečnosti České republiky.
- [11] Směrnice 96/82/EC z 9. prosince 1996 – Seveso.
- [12] Zákon č. 244/1992 Sb., o posuzování vlivů rozvojových koncepcí a programů na životní prostředí.

Procházková, D.: A Complex Approach to the Safety Issue

The basic function of the state is to guarantee the development of human society, which is impossible without ensuring a safe space to live in. Therefore, the highest goal of major international institutions (e.g. UNO, OECD, EU), governments, public administration (administration agencies, regional and local authorities) is to create a safe space for the 21<sup>st</sup> century. The institutions mentioned above cannot guarantee the achievement of this goal without participation of corporate and physical bodies, as well as the citizens.

Procházková, D.: Komplexe Betrachtung der Sicherheitsproblematik

Eine grundlegende Funktion des Staates ist es, die dauerhafte Entwicklung der menschlichen Gesellschaft zu sichern, was ohne Gewährleistung eines Sicherheitsraums, in dem wir leben, nicht möglich ist. Deshalb besteht das gegenwärtig höchste Ziel bedeutender internationaler Organisationen (z.B. UNO, OECD, EU), der Regierungen und der öffentlichen Verwaltung (Verwaltungsbehörden, regionale und lokale Behörden) darin, einen Sicherheitsraum für das 21. Jahrhundert zu schaffen. Dieses Ziel können die genannten Organisationen nicht ohne Beteiligung juristischer und natürlicher Personen und ohne Beteiligung der Bürger gewährleisten.

## • dizertace



### Lehké dřevěné stáje pro skot. Navrhování a výstavba

Ing. Miluše Drmlová

V souladu se snahou o efektivnost chovu skotu v nových podmínkách po vstupu ČR do EU se v práci analyzují nároky a požadavky na vhodné stavební typy zemědělských novostaveb ze dřeva. Nepomíjejí se ani estetické požadavky na harmonii staveb s krajinou současného venkova.

### Materiálové modely a výpočtové analýzy vláknobetonových konstrukcí

Ing. Vojtěch Petřík

Dizertační práce obsahuje původní experimentální i teoretické poznatky včetně vytvoření nové metody analýzy jako výpočetního nástroje pro praxi. Výsledky jsou plně použitelné v praxi.

### Dlouhé vlny rozvoje území

Ing. Jana Frková

V dizertaci je obhájena teze o dlouhodobém cyklickém vývoji české ekonomiky a potvrzena teorie o životním cyklu technologií souvisejícím právě s jejím dlouhodobým vývojem. Práce potvrzuje, že v českém stavebnictví v souvislosti s technologickými inovacemi také dochází k cyklickému vývoji.

## • zpráva

### Impulsů pro rozvoj solární energetiky u nás přibývá

Počátkem září proběhla na pražské ČVUT – poprvé v „nových“ zemích EU – prestižní vzdělávací akce mezinárodní společnosti pro solární energii Solární akademie ISES SOTERE 2004. Přední evropské odborníci zde během devítidenního semináře seznamovali studenty a další profesionální zájemce s nejnovějšími trendy a inovacemi ve využití sluneční energie ve stavebnictví a architektuře, zejména moderní nízkoenergetické. Mezinárodní fórum, nad nímž převzal záštitu ministr životního prostředí, doplnily exkurze na stavby se solárními prvky a Den otevřených dveří na Fakultě stavební.

Solární akademie ISES seznamují zájemce s metodami rozvíjenými v zahraničí, s příklady vhodného uplatnění solární architektury a techniky jak při navrhování nových staveb, tak při renovaci a rekonstrukcích starších, a to obvykle v rámci demonstračních projektů v zemích EU.



Akademie rovněž objasňují energetické koncepce a přístupy k využití obnovitelných zdrojů ve stavebnictví a v souvisejících oborech. Cílem je podpořit integrovaný a odpovědný přístup při navrhování a hodnocení energetiky budov vycházející z klimatických podmínek a snahy o maximální přínos pasivního i aktivního využití obnovitelných zdrojů energie, zejména energie Slunce.

V rámci SOTERE 2004 (Solární technologie pro renovaci budov) zpracovávali studenti v malých interdisciplinárních týmech zadání projektů na vybraných bytových objektech určených k renovaci a energetické rekonstrukci. Týkala se obytných panelových staveb v Chomutově, zděných bytoven z padesátých let, tzv. dvouletkových domů, a dále pražských bytových domů ze třicátých let. Pracovní metoda měla řešitelům mj. umožnit mezioborovou spolupráci, prověřit jejich schopnost týmové práce a umožnit jim navázat odborné a společenské kontakty. Řešené projekty budou po vyhodnocení poskytnuty institucím k využití.

Tisková informace

## ● zprávy

### Rekonstrukce a dostavba Barrandovských teras

Barrandovské terasy, funkcionalistickou dominantu Prahy ze třicátých let minulého století, čeká v roce 2005 začátek rozsáhlé rekonstrukce a dostavba za více než 500 mil. Kč. Společnost Barrandovské terasy, a. s., která je vlastníkem objektu, plánuje jeho zpřístupnění pro veřejnost na konci roku 2006. Dostavba a rekonstrukce areálu zahrnuje především generální opravu původní restaurace a vyhlídkové věže Barrandovské terasy, která bude v maximální míře přístupná veřejnosti. Sály na ploše 500 m<sup>2</sup> by měly navozovat atmosféru třicátých let, kdy byl objekt vyhledávanou turistickou atrakcí nejen pro Pražany. Významným prvkem bude také výstavba dvou hotelových objektů s kapacitou 170 lůžek.

Původní i nové objekty areálu poskytnou zajímavé prostory pro kongresy, konference, kulturní a společenské akce. Dostavba nových objektů a rekonstrukce původní restaurace budou probíhat současně. V první fázi bude vybudován podzemní objekt s technickou infrastrukturou a parkovacími místy, z restaurace budou odstraněny dodatečné poválečné zásahy, např. portikus nad vchodem či kabřinec na fasádě. Podle zmocněnce společnosti bylo věnováno značné úsilí přípravě celkového záměru již na úrovni studií. V současné době je připraven projekt pro územní řízení na dostavbu, oprava a rekonstrukce původního objektu je na úrovni rozpracovaného projektu pro stavební povolení. Komplex Barrandovských teras by se v budoucnu měl stát nejen architektonickým solitérem, ale také organickou součástí Prahy.

Návaznost na architektonickou, společenskou a estetickou kvalitu místa a stávající architektury Barrandovských teras byla jedním z hlavních úkolů architektonické studie, kterou zpracovali členové projekčního týmu brněnské kanceláře Kuba & Pilař – architekti. Stěžejním problémem projektu je hmotová návaznost nových ubytovacích objektů na stavbu architekta Maxe Urbana ze třicátých let, která je v těžišti areálu a jejíž vyhlídková věž tvoří jeho dominantu. Architektonický návrh na tuto skutečnost reaguje vytvořením dvou hmot, které jsou záměrně odlišně tvarově pojednány. Obě hmoty respektují úroveň římsy prvního nadzemního podlaží stávající budovy restaurace a dominantní vyznění vyhlídkové věže je tak plně zachováno. Zásadní změna areálu spočívá především v nové funkční náplni, tedy ve vybudování ubytovacích kapacit. Na jižní straně areálu – nad venkovními terasami – je navrženo dvoupodlažní, esovitě prohnuté podélné těleso s apartmány, které svým tvarem i výškou sleduje křivku současného oplocení venkovních teras. V místě původního baru Trilobit je hmota zvýšena o další podlaží. Tímto způsobem autoři studie reagují na původní kompozici architekta Urbana. Vztah nově navržené hmoty vytváří s dominantou věže analogickou kompozici jako původní venkovní terasy zakončené barem Trilobit.



Čelní, východní strana je odlehčena linií teras s výhledem na údolí Vltavy. Naopak stavba v severním cípu areálu je tvarována kontrastně s ostrými návaznostmi stěn, a tím je zdůrazněn vztah objektu ke skalnímu podloží, nad nímž se uplatňuje jako plovoucí konzolovitě přesahující těleso. Výška této třípodlažní stavby také respektuje římsu nad prvním nadzemním podlažím restauračního objektu, čímž je zachována a zdůrazněna dominantní role stávajícího objektu a vyhlídkové věže. Bar Trilobit již neexistuje, v nedávné minulosti vyhořel, a s jeho znovuvybudováním návrh nepočítá. Bazén pod Barrandovskými terasami má jiného majitele, a proto zatím nelze uvažovat o jeho zapojení do areálu.

Myšlenka výstavby Barrandovských teras, jednoho z nejvýznamnějších příkladů funkcionalistické architektury, vznikla v roce 1924 po návratu V. M. Havla z Ameriky, kde jej inspiroval restaurační pavilon Cliff House v San Francisku na skále nad Tichým oceánem. Autorem projektu se stal architekt Max Urban, který rovněž navrhl podobu nedalekých filmových ateliérů a vilové čtvrti Barrandov. Stavbě dominuje štíhlá věž restauračního pavilonu, která ostře kontrastuje se skalním masívem nad tokem Vltavy. Ve skále vznikly terasy s restauračním provozem a barem Trilobit. Celý komplex byl koncem třicátých let zařízen podle návrhu architekta Vladimíra Grégra. Pod terasami byl vybudován plavecký bazén s impozantní skokanskou věží. Podle architekta Zdeňka Lukeše jde o jednu z prvních staveb, které posunuly vývoj moderní evropské architektury od „bílého funkcionalismu“ k architektuře „funkcionalismu emocionálního“.

Barrandovské terasy, výletní společenské středisko pro tři tisíce lidí, byly otevřeny 4. října 1929 a hned od počátku svého provozu se setkaly s obrovským zájmem návštěvníků. V den zahájení komplexem prošlo téměř padesát tisíc lidí, během následujících nedělí pak areál pravidelně navštěvovaly až tři tisíce návštěvníků. Areál byl přístupný i lidem bez automobilů, V. M. Havel sem nechal zřídit bezplatnou tramvajovou linku ze středu Prahy. Terasy se staly vyhledávaným místem večírků pražské smetánky. V průběhu let sem zavítal také T. G. Masaryk či Edvard Beneš.

Druhá světová válka Barrandovské terasy vážněji nepoznamenala. Od padesátých let, kdy byly znárodněny, se datuje začátek jejich pozvolného úpadku, který se nejdříve dotkl plaveckého areálu. V padesátých letech se nad bazénem uvolnila část skalního masívu a výrazně jej poškodila. Následovalo střídání majitelů a uživatelů komplexu, kteří nedokázali devastaci zastavit. V roce 1992 se památkově chráněný objekt dostal v rámci restitucí zpět do rukou potomků původního majitele. Následovalo hledání investora, resp. nového majitele. Tím se v roce 2001 stala společnost Barrandovské terasy, a. s., která v současné době připravuje rozsáhlou rekonstrukci.

## ● zpráva

### Co nového v BB Centru?

Běžnou praxí na domácím i světovém realitním trhu je, že developer postaví dům, pronajme jej, prodá, a poté přesune svou pozornost na jiný projekt. Passerinvest Group je však česká firma, pro níž je rozvoj BB Centra hlavní náplní. Věnuje se mu od roku 1992, přičemž potenciál má tato lokalita nejméně do roku 2011. Předpokladem úspěšného rozvoje jsou pravidelné průzkumy spokojenosti nájemců a jejich zaměstnanců, které Passerinvest Group – jako jediný developer na českém trhu – provádí.

BB Centrum nyní prochází další etapou svého vývoje. Ve výstavbě je budova BETA, která po dokončení na jaře příštího roku nabídne k pronájmu přibližně 18 tis. m<sup>2</sup> ploch.



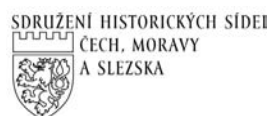
Ještě na konec tohoto roku je plánován začátek výstavby budovy GAMMA přímo u dálnice D1. Objekt o třech podzemních a deseti nadzemních podlažích se stane skutečnou dominantou. V budově bude k dispozici přibližně 30 tis. m<sup>2</sup> pronajmutelných ploch, převážně kancelářských. Přímo u nájezdové rampy na magistrálu směrem do centra Prahy vyrostě kancelářská budova E s přibližně 13 tis. m<sup>2</sup> ploch. V přízemí jsou plánovány obchodní jednotky a konferenční centrum, které bude určeno nejen pro nájemce BB Centra. Chystá se i celková přestavba Brumlovky v unikátní sportovní centrum nové generace.

*Tisková informace*

## ● konference

### Města se dočkají kvalitnější architektury

K tomuto optimistickému výhledu dospěli účastníci dvoudenní konference Sdružení historických sídel Čech, Moravy a Slezska na téma „Nová výstavba v památkových rezervacích a zónách“, která proběhla v říjnu v pražském Kongresovém Centru. Přednášející z řad nejen architektů a projektantů, ale i zástupců památkové péče diskutovali o možnostech rekonstrukce a obnovy památek mimořádné kulturní hodnoty i o podmínkách a regulativech nové výstavby v urbanisticky výjimečném prostředí památkových rezervací a zón. Polemiky byly vedeny převážně o rozdílu mezi napodobivou, tedy kontextuální architekturou, a architekturou, která je v materiálech a výrazu zcela svébytná. Diskuze dospěly k přesvědčení o nezastupitelnosti památkové péče, zároveň však zazněly požadavky na vyšší odbornost památkářů a na stanovení mantinelů zásahů do procesu architektonické tvorby. Na adresu architektů byly vysloveny požadavky na vysokou kvalitu architektonických a urbanistických návrhů. K orgánům státní správy byl směřován apel na tvorbu regulačních plánů.



Sdružení historických sídel Čech, Moravy a Slezska je dobrovolná, zájmová, nestranická a nevládní organizace sdružující především historické obce nebo jejich části, na jejichž území jsou zachovány významné kulturní hodnoty, zejména nemovitě památky. Jeho metodické působení spočívá v pořádání odborných seminářů a konferencí. Kromě zcela odborných témat se v posledních letech soustřeďuje na propojení okruhů památkové ochrany a ekonomického rozvoje jak historických měst, tak celé ČR. Mezi nejvýznamnější činnosti a aktivity patří péče o „Program regenerace městských památkových rezervací a zón“ a organizování „Dnů evropského dědictví“, jehož je národním garantem.

*Tisková informace*



---

# STAVEBNÍ OBZOR

ročník 13 – 2004

---

## OBSAH



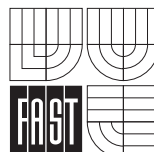
Fakulta stavební  
ČVUT Praha



Česká komora  
autorizovaných inženýrů  
a techniků



Český svaz stavebních  
inženýrů



Fakulta stavební  
VUT Brno



Fakulta stavební  
VŠB TU – Ostrava

---

## ABECEDNÍ REJSTŘÍK 2004

I

- Adámková, M. – Neumann, G.:* Ověřovací zkoušky totální stanice Leica, 5/155
- Albert, D. – Rohon, P.:* Vztah mezi obvodem u paty kmene a obvodem ve výčetní výšce, 2/35
- Baláz, I.:* Vzperné dĺžky stĺpov rámov v ČSN 73 1401, 1/23
- Beran, V.:* Udržitelný rozvoj a dlouhodobě udržitelné hodnoty investičního díla, 9/274
- Broža, V.:* Netradiční technologické postupy při výstavbě hrází malých vodních nádrží, 6/161
- K devadesátinám prof. Ing. Alexandra Danilevského, DrSc., h.c., 1/29
- Bubeníček, M. – Záleský, J.:* Přístroje a příklady sledování svahových pohybů, 9/279
- Cikrle, P. – Witzany, J. – Čejka, T. – Wasserbauer, R. – Gregerová, M. – Pospíšil, P.:* Teoretický a experimentální výzkum Karlova mostu, 4/97
- Čepička, D. – Macháček, J.:* Smykové diafragma v plášťovém chování vaznicové střechy, 1/1
- Černý, R. – Drchalová, J. – Tesárek, P. – Rovnaníková, P. – Kolísko, P.:* Mechanické, tepelné a vlhkostní vlastnosti nemodifikované energosádry
- 1. část, 5/138
- 2. část, 8/242
- Černý, R. – Gazdo, M. – Tesárek, P. – Pavlík, Z.:* Porovnání fyzikálních a tepelných vlastností různých typů tepelně izolačních materiálů, 8/231
- Černý, R. – Tydlitát, V. – Kunca, A. – Drchalová, J. – Jiříčková, M. – Rovnaníková, P.:* Mechanické, vlhkostní a tepelné vlastnosti vápenných omítek s pucolánovými přísadami, 2/38
- Dlesek, V.:* Zemřel doc. Ing. Jindřich Šmejcký, CSc., 5/131
- Doležel, T. – Jandeková, D. – Konvalinka, P.:* Vliv cyklů zmrazování–rozmrazování na materiálové charakteristiky betonu, 5/143
- Drchalová, J. – Tydlitát, V. – Kunca, A. – Jiříčková, M. – Černý, R. – Rovnaníková, P.:* Mechanické, vlhkostní a tepelné vlastnosti vápenných omítek s pucolánovými přísadami, 2/38
- Fajman, P. – Šejnoha, J.:* Vliv změny aktivní hloubky na průběh konsolidace podloží pod základovými deskami, 6/176
- Ficker, T. – Podešvová, Z.:* Neizotermická difúze vodních par v obvodových konstrukcích – odvození neizotermických modelů
- 1. část, 1/19
- 2. část, 5/146
- 3. část, 7/214
- Florian, A. – Žák, J. – Hradil, P.:* Využití metody Updated Latin Hypercube Sampling při optimalizaci parametrických studií, 1/15
- Gazdo, M. – Tesárek, P. – Pavlík, Z. – Černý, R.:* Porovnání fyzikálních a tepelných vlastností různých typů tepelně izolačních materiálů, 8/231
- Gramblička, M. – Šejnoha, M. – Pruška, J.:* Numerické modelování tunelu v programu GEO MKP, 9/265
- Gregerová, M. – Witzany, J. – Čejka, T. – Wasserbauer, R. – Pospíšil, P. – Cikrle, P.:* Teoretický a experimentální výzkum Karlova mostu, 4/97
- Háša, P. – Vácha, J.:* Oprava havarované konstrukce střechy kotelny v Elektrárně Opatovice, 3/71

- Hodač, J.:* Návrh koncepce prostorového informačního systému památkového objektu, 2/45
- Holický, M.:* Pravděpodobnostní základy metody dílčích součinitelů v Eurokódech, 8/225
- Hradil, P. – Florian, A. – Žák, J.:* Využití metody Updated Latin Hypercube Sampling při optimalizaci parametrických studií, 1/15
- Chovanec, J.:* Oceňovací podklady v Německu, 4/121
- Janata, V.:* Ocelová konstrukce střechy pro Sazka Arenu, 3/65
- Jandeková, D. – Doležel, T. – Konvalinka, P.:* Vliv cyklů zmrazování–rozmrazování na materiálové charakteristiky betonu, 5/143
- Jiříčková, M. – Tydlitát, V. – Kunca, A. – Drchalová, J. – Černý, R. – Rovnaníková, P.:* Mechanické, vlhkostní a tepelné vlastnosti vápenných omítek s pucolánovými přísadami, 2/38
- Jokl, M.:* Mikroklimatické parametry pro návrh vytápění s inteligentním řízením, 3/80
- Kohoutková, A. – Křístek, V.:* Význam smykových deformací při zkouškách betonových trámů, 2/33
- Konvalinka, P. – Doležel, T. – Jandeková, D.:* Vliv cyklů zmrazování–rozmrazování na materiálové charakteristiky betonu, 5/143
- Kopáčková, M. – Kuklík, P.:* Porovnání řešení pružné vrstvy s Boussinesqovým řešením pružného poloprostoru, 6/171
- Koska, B. – Štroner, M. – Pospíšil, J.:* Algoritmus určování rovnice obecné roviny pro laserové skenování včetně rozborů přesnosti, 2/55
- Košatka, P.:* Navrhování zděných stěn s výztuží v ložných spárách, 3/75
- Králík, J. – Králík, J. jr.:* Výpočet teplot v transparentních dvojitých fasádách budov s tienidlem, 1/12
- Křístek, V. – Kohoutková, A.:* Význam smykových deformací při zkouškách betonových trámů, 2/33
- Křivý, V. – Marek, P.:* Posudek spolehlivosti polotuhých styčnicků ocelových konstrukcí, 5/132
- Kuda, F. – Mihola, M.:* Ohrožení železničních staveb povodňovými průtoky, 8/235
- Kuklík, P.:* Prof. Ing. Jiří Šejnoha, DrSc. – 65 let, 9/261
- Kuklík, P. – Kopáčková, M.:* Porovnání řešení pružné vrstvy s Boussinesqovým řešením pružného poloprostoru, 6/171
- Kuklík, P. – Masopust, J. – Mühl, J. – Sehnoutek, L.:* Statické zatěžovací zkoušky základové půdy tuhou deskou v hlubokých jamách, 9/257
- Kunca, A. – Drchalová, J. – Jiříčková, M. – Černý, R. – Rovnaníková, P. – Tydlitát, V.:* Mechanické, vlhkostní a tepelné vlastnosti vápenných omítek s pucolánovými přísadami, 2/38
- Kuneš, P.:* Konstrukční lehké betony, 1/7
- Lamboj, L.:* Několik poznámek ke stanovení charakteristické hodnoty geotechnického parametru základové půdy a návrhové hodnoty odolnosti základové půdy podle EC 7-1 (ČSN EN 1997-1-1), 2/61
- Lehovec, F.:* Zemřel doc. Ing. Miroslav Kaun, CSc., 9/288
- Lemák, D. – Studnička, J.:* Vliv obvodových výtuh na působení ocelové válcové skořepiny, 4/112
- Línková, L. – Suchá, J.:* Sledování svislých posunů na objektech čerpacích stanic, 8/246
- Lízal, P. – Schmid, P.:* Kontrola dodatečného zateplení obvodových plášťů panelových budov, 5/129
- Macháček, J. – Čepička, D.:* Smykové diafragma v plášťovém chování vaznicové střechy, 1/1
- Makovička, D. – Makovička, D. jr.:* Dynamická odezva stropní konstrukce na účinky nové technologie, 7/193
- Makýš, P.:* Automatizácia časového plánovania výstavby, 8/251
- Marek, P. – Křivý, V.:* Posudek spolehlivosti polotuhých styčnicků ocelových konstrukcí, 5/132
- Masopust, J. – Mühl, J. – Sehnoutek, L. – Kuklík, P.:* Statické zatěžovací zkoušky základové půdy tuhou deskou v hlubokých jamách, 9/257
- Mihola, M. – Kuda, F.:* Ohrožení železničních staveb povodňovými průtoky, 8/235
- Mühl, J. – Kuklík, P. – Masopust, J. – Sehnoutek, L.:* Statické zatěžovací zkoušky základové půdy tuhou deskou v hlubokých jamách, 9/257
- Neumann, G. – Adámková, M.:* Ověřovací zkoušky totální stanice Leica, 5/155
- Novotný, R.:* Přímé kruhové válcové skořepiny se šroubovicově anizotropním strukturováním materiálu pláště za membránové působnosti, 7/208
- Pašek, J. – Svoboda, J.:* Fyzikální aspekty použití nekontaktní termografie při analýze obvodových plášťů budov, 3/82
- Pavlík, Z. – Gazdo, M. – Tesárek, P. – Černý, R.:* Porovnání fyzikálních a tepelných vlastností různých typů tepelně izolačních materiálů, 8/231
- Pletnická, J.:* Některé problémy trvale udržitelného rozvoje průmyslového města, 2/51
- Podešvová, Z. – Ficker, T.:* Neizotermická difúze vodních par v obvodových konstrukcích – odvození neizotermických modelů  
– 1. část, 1/19  
– 2. část, 5/146  
– 3. část, 7/214
- Pospíšil, J. – Koska, B. – Štroner, M.:* Algoritmus určování rovnice obecné roviny pro laserové skenování včetně rozborů přesnosti, 2/55
- Pospíšil, J. – Štroner, M.:* Inovace a rozvoj laboratoří pro výuku stavební geodézie, 1/30  
– Příspěvek k posuzování přesnosti technické nivelace, 8/248
- Pospíšil, P. – Witzany, J. – Čejka, T. – Wasserbauer, R. – Gregerová, M. – Cikrle, P.:* Teoretický a experimentální výzkum Karlova mostu, 4/97
- Procházková, D.:* Komplexní pohled na problematiku bezpečnosti, 10/309
- Pruška, J. – Gramblička, M. – Šejnoha, M.:* Numerické modelování tunelu v programu GEO MKP, 9/265
- Rohon, P. – Albert, D.:* Vztah mezi obvodem u paty kmene a obvodem ve výčetní výšce, 2/35
- Rovnaníková, P. – Černý, R. – Drchalová, J. – Tesárek, P. – Kolísko, P.:* Mechanické, tepelné a vlhkostní vlastnosti nemoifikované energosádry  
– 1. část, 5/138  
– 2. část, 8/242

- Rovnaníková, P. – Tydlitát, V. – Kunca, A. – Drchalová, J. – Jiříčková, M. – Černý, R.: Mechanické, vlhkostní a tepelné vlastnosti vápenných omítek s pucolánovými přísadami, 2/38
- Samec, J. – Studnička, J.: Model chování spřahovací lišty při statickém namáhání, 6/165
- Sehnoutek, L. – Kuklík, P. – Masopust, J. – Mühl, J.: Statické zatěžovací zkoušky základové půdy tuhou deskou v hlubokých jamách, 9/257
- Semerák, P. – Vodák, F. – Vrána, T.: Metoda měření délky indukční periody tuhnutí cementové pasty, 9/272
- Schmid, P. – Lízal, P.: Kontrola dodatečného zateplení obvodových plášťů panelových budov, 5/129
- Sklenář, V.: Metodika zpracování programů regenerace prefabrikovaných objektů, 7/200
- Somolová, A. – Zeman, J.: Homogenizace prizmatické konzoly, 9/282
- Struhár, F. – Tomica, V.: Poruchy mostů po povodních, 6/181
- Studnička, J.: Metropolitan Habitats and Infrastructure, 1/29
- Studnička, J. – Lemák, D.: Vliv obvodových výztuh na působení ocelové válcové skořepiny, 4/112
- Studnička, J. – Samec, J.: Model chování spřahovací lišty při statickém namáhání, 6/165
- Studničková, M.: Zatížení budov sněhem, 10/291
- Suchá, J. – Línková, L.: Sledování svislých posunů na objektech čerpacích stanic, 8/246
- Svoboda, J. – Pašek, J.: Fyzikální aspekty použití nekontaktní termografie při analýze obvodových plášťů budov, 3/82
- Šejnoha, J. – Fajman, P.: Vliv změny aktivní hloubky na průběh konsolidace podloží pod základovými deskami, 6/176
- Šejnoha, M. – Gramblička, M. – Pruška, J.: Numerické modelování tunelu v programu GEO MKP, 9/265
- Šílová, K.: Záliv Homebush – názorný příklad řešení brownfields, 10/306
- Štíbing, J.: Hydraulický výpočet drenážních odtoků vnitřních skládkových vod řízené skládky TKO Osečná, 5/150
- Štroner, M. – Pospíšil, J.: Příspěvek k posuzování přesnosti technické nivelace, 8/248
- Štroner, M. – Pospíšil, J. – Koska, B.: Algoritmus určování rovnice obecné roviny pro laserové skenování včetně rozborů přesnosti, 2/55
- Štronerová, J.: Vlastnosti svazku laserového dálkoměru a jeho odrazu na různě umístěných plochách, 3/92
- Tesárek, P. – Černý, R. – Drchalová, J. – Rovnaníková, P. – Kolísko, P.: Mechanické, tepelné a vlhkostní vlastnosti nemodifikované ergosádry  
– 1. část, 5/138  
– 2. část, 8/242
- Tesárek, P. – Gazdo, M. – Pavlík, Z. – Černý, R.: Porovnání fyzikálních a tepelných vlastností různých typů tepelné izolačních materiálů, 8/231
- Tomica, V. – Struhár, F.: Poruchy mostů po povodních, 6/181
- Trgala, K.: Možnosti využití dřevní hmoty ve stavebnictví, 7/218
- Tydlitát, V. – Kunca, A. – Drchalová, J. – Jiříčková, M. – Černý, R. – Rovnaníková, P.: Mechanické, vlhkostní a tepelné vlastnosti vápenných omítek s pucolánovými přísadami, 2/38
- Vácha, J.: Rekonstrukce střechy strojovny a mezistrojovny v Elektrárně Opatovice, 4/118
- Vácha, J. – Háša, P.: Oprava havarované konstrukce střechy kotelny v Elektrárně Opatovice, 3/71
- Valentová, J. – Valenta, P. – Kazda, I.: Stanovení vlivu přestavby nádraží v Bratislavě na režim podzemní vody, 10/300
- Vaněk, T.: Zbytečné snižování spolehlivosti betonových staveb, 9/262  
– Zajímavá přestavba objektu k jinému účelu, 10/289
- Varga, T.: Vplyv kameniva na mechanické vlastnosti betonov ovplyvnených vysokými teplotami, 6/187
- Vodák, F. – Vrána, T. – Semerák, P.: Metoda měření délky indukční periody tuhnutí cementové pasty, 9/272
- Voštová, V.: Kašpar, M. a kol.: Laserové skenovací systémy ve stavebnictví (rec.), 4/128
- Wasserbauer, R.: Salinita a mikroflóra povrchových vrstev kamenných mostů, 10/296
- Witzany, J. – Čejka, T. – Wasserbauer, R. – Gregerová, M. – Pospíšil, P. – Cikrle, P.: Teoretický a experimentální výzkum Karlova mostu, 4/97
- Záleský, J. – Bubeníček, M.: Přístroje a příklady sledování svahových pohybů, 9/279
- Zeman, J. – Somolová, A.: Homogenizace prizmatické konzoly, 9/282
- Žák, J. – Florian, A. – Hradil, P.: Využití metody Updated Latin Hypercube Sampling při optimalizaci parametrických studií, 1/15

## VĚCNÝ REJSTŘÍK

### ■ matematika

Využití metody Updated Latin Hypercube Sampling při optimalizaci parametrických studií (Florian, A. – Žák, J. – Hradil, P.), 1/15

Algoritmus určování rovnice obecné roviny pro laserové skenování včetně rozborů přesnosti (Koska, B. – Štroner, M. – Pospíšil, J.), 2/55

### ■ fyzika

Neizotermická difúze vodních par v obvodových konstrukcích – odvození neizotermických modelů (Ficker, T. – Podešvová, Z.)

– 1. část, 1/19

– 2. část, 5/146

– 3. část, 7/214

### ■ technologie staveb

Metodika zpracování programů regenerace prefabrikovaných objektů (Sklenář, V.), 7/200

### ■ stavební hmoty

Mechanické, vlhkostní a tepelné vlastnosti vápenných omítek s pucolánovými přísadami (Tydlitát, V. – Kunca, A. – Drchalová, J. – Jiříčková, M. – Černý, R. – Rovnaníková, P.), 2/38

Mechanické, tepelné a vlhkostní vlastnosti nemodifikované energosádky (Tesárek, P. – Černý, R. – Drchalová, J. – Rovnaníková, P. – Kolísko, J.)  
– 1. část, 5/138  
– 2. část, 8/242

Možnosti využití dřevní hmoty ve stavebnictví (Trgala, K.), 7/218

Porovnání fyzikálních a tepelných vlastností různých typů tepelně izolačních materiálů (Gazdo, M. – Tesárek, P. – Pavlík, Z. – Černý, R.), 8/231

Metoda měření délky indukční periody tuhnutí cementové pasty (Semerák, P. – Vodák, F. – Vrána, T.), 9/272

Salinita a mikroflóra povrchových vrstev kamenných mostů (Wasserbauer, R.), 10/296

### ■ konstrukce pozemních staveb

Výpočet teplot v transparentních dvojitých fasádách budov s tienidlom (Králik, J. – Králik, J. jr.), 1/12

Neizotermická difúze vodních par v obvodových konstrukcích – odvození neizotermických modelů (Ficker, T. – Podešvová, Z.)  
– 1. část, 1/19  
– 2. část, 5/146  
– 3. část, 7/214

Fyzikální aspekty použití nekontaktní termografie při analýze obvodových plášťů budov (Pašek, J. – Svoboda, J.), 3/82

Kontrola dodatečného zateplení obvodových plášťů panelových budov (Lízal, P. – Schmid, P.), 5/129

Zatížení budov sněhem (Studničková, M.), 10/291

### ■ technická zařízení budov

Mikroklimatické parametry pro návrh vytápění s inteligentním řízením (Jokl, M.), 3/80

### ■ ekonomika a řízení ve stavebnictví

Oceňovací podklady v Německu (Chovanec, J.), 4/121

Automatizácia časového plánovania výstavby (Makyš, P.), 8/251

Udržitelný rozvoj a dlouhodobě udržitelné hodnoty investičního díla (Beran, V.), 9/274

### ■ inženýrská informatika

Některé problémy trvale udržitelného rozvoje průmyslového města (Pletnická, J.), 2/51

Komplexní pohled na problematiku bezpečnosti (Procházková, D.), 10/309

### ■ stavební mechanika

Dynamická odezva stropní konstrukce na účinky nové technologie (Makovička, D. – Makovička, D. jr.), 7/193

Přímé kruhové válcové skořepiny se šroubovicově anizotropním strukturovaním materiálu pláště za membránové působnosti (Novotný, R.), 7/208

Pravděpodobnostní základy metody dílčích součinitelů v Eurokódech (Holický, M.), 8/225

Homogenizace prizmatické konzoly (Somolová, A. – Zeman, J.), 9/282

### ■ betonové konstrukce a mosty

Konstrukční lehké betony (Kuneš, P.), 1/7

Význam smykových deformací při zkouškách betonových trámů (Kohoutková, A. – Křístek, V.), 2/33

Navrhování zděných stěn s výztuží v ložných spárách (Kořatka, P.), 3/75

Teoretický a experimentální výzkum Karlova mostu (Witzany, J. – Čejka, T. – Wasserbauer, R. – Gregerová, M. – Pospíšil, P. – Cikrle, P.), 4/97

Vliv cyklů zmrazování–rozmrazování na materiálové charakteristiky betonu (Doležel, T. – Jandeková, D. – Konvalinka, P.), 5/143

Model chování spřahovací lišty při statickém namáhání (Samec, J. – Studnička, J.), 6/165

Poruchy mostů po povodních (Tomica, V. – Struhár, F.), 6/181

Vplyv kameniva na mechanické vlastnosti betónov ovplyvnených vysokými teplotami (Varga, T.), 6/187

Zbytečné snižování spolehlivosti betonových staveb (Vaněk, T.), 9/262

Zajímavá přestavba objektu k jinému účelu (Vaněk, T.), 10/289

### ■ ocelové konstrukce

Smykové diafragma v plášťovém chování vaznicové střechy (Čepička, D. – Macháček, J.), 1/1

Vzperné dílky stílpov rámov v ČSN 73 1401 (Baláž, I.), 1/23

Ocelová konstrukce střechy pro Sazka Arenu (Janata, V.), 3/65

Oprava havarované konstrukce střechy kotelny v Elektrárně Opatovice (Vácha, J. – Háša, P.), 3/71

Vliv obvodových výztuh na působení ocelové válcové skořepiny (Lemák, D. – Studnička, J.), 4/112

Rekonstrukce střechy strojovny a mezistrojovny v Elektrárně Opatovice (Vácha, J.), 4/118

Posudek spolehlivosti polotuhých styčnicků ocelových konstrukcí (Křivý, V. – Marek, P.), 5/132

### ■ geotechnika

Několik poznámek ke stanovení charakteristické hodnoty geotechnického parametru základové půdy a návrhové hodnoty odolnosti základové půdy podle EC 7-1 (ČSN EN 1997-1:?) (Lamboj, L.), 2/61

Statické zatěžovací zkoušky základové půdy tuhou deskou v hlubokých jamách (Kuklík, P. – Masopust, J. – Mühl, J. – Sehnoutek, L.), 9/257

Numerické modelování tunelu v programu GEO MKP (Gramblička, M. – Šejnoha, M. – Pruška, J.), 9/265

Přístroje a příklady sledování svahových pohybů (Záleský, J. – Bubeníček, M.), 9/279

Záliv Homebush – názorný příklad řešení brownfields (Šilová, K.), 10/306

### ■ silniční stavby

Porovnání řešení pružné vrstvy s Boussinesqovým řešením pružného poloprostoru (Kuklík, P. – Kopáčková, M.), 6/171

Vliv změny aktivní hloubky na průběh konsolidace podloží pod základovými deskami (Fajman, P. – Šejnoha, J.), 6/176

### ■ železniční stavby

Ohrožení železničních staveb povodňovými průtoky (*Kuda, F. – Míhola, M.*), 8/235

### ■ hydraulika a hydrologie

Hydraulický výpočet drenážních odtoků vnitřních skládkových vod řízené skládky TKO Osečná (*Štibinger, J.*), 5/150

### ■ hydrotechnika

Netradiční technologické postupy při výstavbě hrází malých vodních nádrží (*Broža, V.*), 6/161

### ■ hydromeliorace a krajinné inženýrství

Vztah mezi obvodem u paty kmene a obvodem ve výčetní výšce (*Albert, D. – Rohon, P.*), 2/35

Stanovení vlivu přestavby nádraží v Bratislavě na režim podzemní vody (*Valentová, J. – Valenta, P. – Kazda, I.*), 10/300

### ■ geodzie a pozemkové úpravy

Vlastnosti svazku laserového dálkoměru a jeho odrazu na různě umístěných plochách (*Štronerová, J.*), 3/92

Ověřovací zkoušky totální stanice Leica (*Adámková, M. – Neumann, G.*), 5/155

Sledování svislých posunů na objektech čerpacích stanic (*Línková, L. – Suchá, J.*), 8/246

Příspěvek k posuzování přesnosti technické nivelace (*Pospíšil, J. – Štroner, M.*), 8/248

### ■ software

Návrh koncepce prostorového informačního systému památkového objektu (*Hodač, J.*), 2/45

### ■ dizertace

2/34, 5/145, 5/157, 6/164, 6/175, 8/230, 10/308, 10/312

### ■ ČVUT

Workshop 2004 (*–r–*), 5/149

Vyhlášení architektonické soutěže na zpracování návrhu nové budovy architektury (*–r–*), 5/160

40 let Vydavatelství ČVUT (*–r–*), 8/192

Sportovní centrum Juliska (*–r–*), 8/234

Odhalení památníku R. Thákura (*–r–*), 8/241

### ■ Fakulta stavební ČVUT

Inovace a rozvoj laboratoří pro výuku stavební geodézie (*Pospíšil, J. – Štroner, M.*), 1/30

Ideové řešení rekonstrukce obvodového pláště budov fakulty (*–r–*), 1/32

Student-asistent roku 2003 (*–r–*), 6/180

### ■ konference

Techsta 2004 (*–r–*), 2/63

Spolehlivost konstrukcí (*–r–*), 3/81

EACWE 4, 4/127, 8/256

Železnice jako součást integrovaného dopravního systému (*–r–*), 5/157

Dřevostavby a inovace (*–r–*), 6/186

Vyztužené plasty 2005 (*–r–*), 6/191, 10/VI

FIEC – Evropská federace stavebního průmyslu (*–r–*), 7/213

Experiment – významný zdroj poznání a verifikace metod navrhování nosných stavebních konstrukcí (*–r–*), 7/222, 8/241

Silniční konference (*–r–*), 8/245

Fórum českého stavebnictví 2004 (*–r–*), 8/245

Sanace a rekonstrukce staveb (*–r–*), 8/255

Města se dočkají kvalitnější architektury (*–r–*), 10/314

### ■ kurzy

Numerické modelování v geotechnice (*–r–*), 7/222

### ■ literatura

Tradice Rochlových tabulek pokračuje (*–r–*), 3/74

Hába, J. – Janas, T. – Švancarová, Š.: Slovník definic a výklad některých vybraných pojmů stavebního práva (*–r–*), 3/91

Průcha, P. – Marek, K.: Stavební právo v praxi (*–r–*), 3/95

Všeobecné obchodní podmínky pro stavby a dokumentaci staveb (*–r–*), 3/96

Studie o technice v českých zemích 1945–1992 (*–r–*), 4/124

Technický slovník naučný

M–O (*–r–*), 4/125

P–Q (*–r–*), 8/247

Všeobecné obchodní podmínky pro inženýrskou činnost ve výstavbě (*–r–*), 5/142

Česká architektura 2002–2003 (*–r–*), 6/175

Beinhauer, P.: Atlas standardních detailů (*–r–*), 9/278

### ■ osobní zprávy

Zemřel doc. Ing. Jindřich Šmejcký, CSc. (*Dlesek, V.*), 5/131

Zemřel doc. Ing. Miroslav Kaun, CSc. (*Lehovec, F.*), 9/288

### ■ recenze

Kašpar, M. a kol.: Laserové skenovací systémy ve stavebnictví (*Voštová, V.*), 4/128

### ■ soutěže

Energetický projekt 2003 (*–r–*), 1/28

Ideové řešení rekonstrukce obvodového pláště budov fakulty (*–r–*), 1/32

Česká hlava (*–r–*), 2/63

Rekonstrukce Žižkových kasáren v Jihlavě (*–r–*), 2/64

O nejlepší cihlový dům z cihlového systému POROTHERM 2004 (*–r–*), 5/154

Vyhlášení architektonické soutěže na zpracování návrhu nové budovy architektury (*–r–*), 5/160

Brick Award 2004 (*–r–*), 7/223

Technické dílo roku 2004 (*–r–*), 8/245

### ■ sympozia

Metropolitan Habitats and Infrastructure (*Studnička, J.*), 1/29

Mosty 2004 (*–r–*), 4/117

### ■ technologie

Města se mohou včas připravit na povodně (*–r–*), 5/160

### ■ veletrhy

bauma mining (*–r–*), 1/11

bautec – Oborové setkání ve spojení s novými tematickými veletrhy (*–r–*), 1/22

Nový veletrh ELEKTRO – koncept inteligentních budov (*–r–*), 1/28

Veletrhy udržitelného stavění (-r-), 2/44  
 I. H. M. – Řemesla pro všechny obory (-r-), 2/50  
 Hannover Messe (-r-), 2/62  
 IFH/Intherm (-r-), 4/124  
 Stavební veletrhy Brno 2004 (-r-), 4/125  
 DACH+WAND 2004 (-r-), 5/157  
 Brno – Předběžná bilance (-r-), 8/191  
 BAU (-r-), 10/295  
 Rakouské stavební veletrhy 2005 (-r-), 10/299

#### ■ výročí

K devadesátinám prof. Ing. Alexandra Danilevského, DrSc.  
 h. c. (*Broža, V.*), 1/29  
 Prof. Ing. Jiří Šejnoha, DrSc. – 65 let (*Kuklík, P.*), 9/261

#### ■ zprávy

BB Centrum se dále rozrůstá (-r-), 1/31  
 Austis mění svou právní formu (-r-), 1/31  
 Unikátní ocelový most mezi Norskem a Švédskem (-r-),  
 1/32  
 Spálená 14 – moderní budova s geniem loci (-r-), 2/60  
 Nile House – další budova projektu River City Prague (-r-),  
 3/79  
 Nový hotel na Senovážném náměstí (-r-), 3/96

Český statistický úřad převzal nové sídlo (-r-), 5/158  
 Bratislava bude svědkem unikátní montáže silničního mostu  
 (-r-), 5/158  
 Stav evropské dopravní sítě brání celoevropskému obchodu  
 (-PWC-), 5/159  
 Budějovická alej (-r-), 6/180  
 Pod jednou střechou (-r-), 6/186  
 Značka Caterpillar je na českém a slovenském trhu již 35 let  
 (-r-), 7/199  
 Stavba Centra Chodov zahájena (-r-), 7/207  
 Nová dominanta Holešovic – Lighthouse (-r-), 7/223  
 Fata morgana otevřena pro veřejnost (-r-), 7/224  
 Na Míčankách vyroste justiční areál (-r-), 8/230  
 Zlatá medaile pro Schiedel KERASTAR (-r-), 8/250  
 Pachtův palác (-r-), 9/287  
 Autostrade chce v Česku vybudovat systém elektronického  
 mýtného (-r-), 9/288  
 Projekt EUropa – nový terminál pražského letiště (-r-),  
 10/305  
 Duhový dům (-r-), 10/308  
 Impulsů pro rozvoj solární energetiky u nás přibývá (-r-),  
 10/312  
 Rekonstrukce a dostavba Barrandovských teras (-r-),  
 10/313  
 Co nového v BB Centru (-r-), 10/314

Dům techniky Plzeň, s. r. o.  
 Sdružení výrobců kompozitů ČR  
 spolu s odbornými organizacemi  
 pořádají

### XXIII. mezinárodní konferenci **VYZTUŽENÉ PLASTY 2005**

**24. – 26. května 2005**  
**Karlovy Vary**

Cílem konference je seznámit účastníky s nejnovejšími poznatky z oblasti výzkumu, vývoje, zpracování a aplikací.

#### Tematické zaměření:

- epoxidové systémy a kompozity
- vyztužené termoplasty – materiály, technologie, aplikace
- kompozity ve stavebnictví a infrastruktuře – stavební dílce, polymerbeton apod.
- kompozity v transportní technice
- nové postupy dimenzování a zkoušení konstrukčních prvků
- ekologická problematika při zpracování a použití

Zvláštní sekci budou tvořit firemní prezentace. Jednacími jazyky jsou čeština, slovenština, angličtina, němčina – simultánní překlad zajištěn. V rámci konference bude uspořádána technická výstava surovin (pryskyřice, vyztuže a pomocné materiály), zpracovatelských strojů, zkušebních zařízení a výrobků.

#### Informace:

Dům techniky Plzeň, s. r. o., paní Věra Budárková, sady Pětatřicátníků 6,  
 303 40 Plzeň, tel.: 377 224 816, fax: 377 237 115, e-mail: dumtech@mybox.cz