

# STAVEBNÍ OBZOR

## ROČNÍK 11 ČÍSLO 1/2002

[Navigace v dokumentu](#)

### OBSAH

<i>Úvodník</i>	1
Fřýba, L. <b>Únava betonových železničních mostů</b>	3
Florian, A. <b>Parametrická studie náhodného chování ohýbaných průřezů z recyklovaného betonu</b>	7
Pavlík, J. – Tydlitát, V. – Černý, R. – Klečka, T. – Bouška, P. – Rovnaníková, P. <b>Monitorování obsahu volné vody v raném stadiu hydratace cementové pasty pomocí mikrovlnné impulsní metody</b>	11
Králik, J. <b>Délka dob tepelných tokov cez energetické fasády</b>	16
Beran, V. <b>Péče o svěřené území a jeho objekty</b>	19
Tomek, A. <b>Standardní procedury jako neopomenutelný nástroj v řízení stavebního podniku</b>	24
Kočandrlová, M. <b>Konvexní mnohostěny ve vyrovnání prostorových sítí</b>	27

1 • 2002

ročník 11

# 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**

<b>Úvodník</b> .....	1
Frýba, L. <b>Únava betonových železničních mostů</b> .....	3
Florian, A. <b>Parametrická studie náhodného chování ohýbaných průřezů z recyklovaného betonu</b> .....	7
Pavlík, J. – Tydlitát, V. – Černý, R. – Klečka, T. – Bouška, P. – Rovnaníková, P. <b>Monitorování obsahu volné vody v raném stadiu hydratace cementové pasty pomocí mikrovlnné impulsní metody</b> .....	11
Králik, J. <b>Délka dob tepelných tokův cez energetické fasády</b> .....	16
Beran, V. <b>Péče o svěřené území a jeho objekty</b> .....	19
Tomek, A. <b>Standardní procedury jako neopomenutelný nástroj v řízení stavebního podniku</b> .....	24
Kočandrová, M. <b>Konvexní mnohostěny ve vyrovnání prostorových sítí</b> .....	27

**CONTENTS**

<b>Editorial</b> .....	1
Frýba, L. <b>Fatigue of Concrete Railway Bridges</b> .....	3
Florian, A. <b>Statistical Analysis of Reinforced Cross-Sections from Recycled Concrete – A Parametric Study</b> .....	7
Pavlík, J. – Tydlitát, V. – Černý, R. – Klečka, T. – Bouška, P. – Rovnaníková, P. <b>Monitoring Free Water Content in Early Hydration Stages of Cement Paste Using a Microwave Impulse Method</b> .....	11
Králik, J. <b>Duration of Periods of Thermal Flux Through Energetic Facades</b> .....	16
Beran, V. <b>Protection of Assigned Regions and Their Buildings</b> .....	19
Tomek, A. <b>Standard Procedures As an Essential Tool in Management of Construction Companies</b> .....	24
Kočandrová, M. <b>Convex Polyhedra in the Adjustment of Space Grids</b> .....	27

**INHALT**

<b>Leitartikel</b> .....	1
Frýba, L. <b>Ermüdung von Eisenbahnbrücken aus Beton</b> .....	3
Florian, A. <b>Parameterstudie des zufälligen Verhaltens gekrümmter Querschnitte aus Recycling – Beton</b> .....	7
Pavlík, J. – Tydlitát, V. – Černý, R. – Klečka, T. – Bouška, P. – Rovnaníková, P. <b>Aufzeichnung des Gehalts an freiem Wasser im Frühstadium des Abbindens des Zementbreis mit Hilfe des Mikrowellenimpulsverfahrens</b> .....	11
Králik, J. <b>Zeitdauer thermischer Strömungen durch energetische Fassaden</b> .....	16
Beran, V. <b>Pflege eines anvertrauten Gebiets und seiner Objekte</b> .....	19
Tomek, A. <b>Standardprozeduren als ein unerlässliches Instrument bei der Leitung eines Unternehmens</b> .....	24
Kočandrová, M. <b>Konvexe Polyeder beim Ausgleich räumlicher Netze</b> .....	27

Toto číslo bylo vydáno za podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR (projekt LP 0002).

**REDAKČNÍ RADA****Předseda:**

prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.

**Místopředseda:**

doc. Ing. O. GARTNER, CSc.

**Tajemníci:**

doc. Ing. Milan KAŠPAR, CSc.

doc. Ing. Jindřich ŠMEJČEK, CSc.

doc. Ing. Jiří VÁŠKA, CSc.

**Členové:**

Ing. Miroslav BAJER, CSc.

doc. Ing. Pavel HÁNEK, CSc.

Ing. Jiří HIRŠ

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.

prof. Ing. Adolf PATERA, DrSc.

doc. Ing. Miloslav PAVLÍK, CSc.

Ing. Petr PLICHTA, CSc.

prof. Ing. J. PROCHÁZKA, CSc.

Ing. Jaroslav SOLAŘ

Ing. Václav SOUKUP

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: 02/2435 4596, 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, Borovská 3388, 143 00 Praha 4, tel./fax: 02/4021298, 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 27. 11. 2001. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

# STAVEBNÍ OBZOR

ROČNÍK 11

ČÍSLO 1/2002



## *Vážení čtenáři časopisu Stavební obzor,*

v příštím roce uplyne deset let od vydání prvního čísla časopisu Stavební obzor. Odborné časopisy jsou zdrojem nejnovějších informací o výsledcích a pokroku v oblasti výzkumu i v praxi dosažených v posledním období. Vznik prvních technických časopisů spadá do období průmyslové revoluce v 19. století, kdy dochází k bouřlivému rozvoji technických oborů a hromadění nových poznatků, o jejichž všeobecné rozšíření měli technici zájem.

K nejstarším časopisům patří Zprávy spolku architektů a inženýrů v království Českém, založené v roce 1861. Koncem devatenáctého století, v roce 1893, vydává Spolek architektů a inženýrů časopis zaměřený na stavebnictví Technický obzor. V tomto časopise bylo publikováno velké množství odborných a teoretických stať z oblasti teorie stavebních materiálů a konstrukcí, stavební mechaniky, inženýrských staveb, geotechniky a dalších oborů. Současně s rozpuštěním Spolku architektů a inženýrů v roce 1950 jako nežádoucí stavovské organizace bylo zastaveno i vydávání časopisu Technický obzor.

Postupně po roce 1950 začíná vycházet řada časopisů zaměřených na dílčí obory z oblasti stavebnictví. Po roce 1990

dochází k ekonomickému tlaku na vydávání mnoha převážně dotovaných technických časopisů. Některé časopisy zanikají a místo nich se objevují nové, v řadě případů komerčně zaměřené.

Navázat na tradici časopisu Technický obzor, popř. následných odborně zaměřených časopisů, jejichž vydávání bylo počátkem devadesátých let zastaveno, a potřeba nového časopisu výrazně odborně zaměřeného na šíření nových poznatků a technický pokrok v oblasti stavebnictví, to byly hlavní důvody pro zahájení vydávání časopisu Stavební obzor v roce 1992.

Rád bych při tomto významném výročí popřál časopisu hodně kvalitních článků, které svým obsahem zaujmou trvale narůstající počet čtenářů, aby i v dalších letech byl významným a vyhledávaným zdrojem nových teoretických a technických poznatků v oblasti stavebnictví a stal se nepostradatelnou pomůckou celoživotního vzdělávání stavebních inženýrů.

*prof. Ing. Jiří Witzany, DrSc.  
rektor ČVUT*





## Vážení čtenáři,

časopis tímto číslem zahajuje druhou dekádu své existence, a zdá se tedy, že je vhodné se zamyslet nad minulými deseti roky snahy vydávat univerzální odborný a lektorovaný časopis pro všechny oblasti stavebnictví.

Stavební obzor vznikl na jaře roku 1992, kdy bylo jasné, že po zániku většiny časopisů podporovaných státní administrativou nebude v České republice dále vycházet žádné odborné periodikum pokrývající mnohostrannou tematiku stavebnictví. Mluvíme přitom o časopise, v němž budou publikovány lektorované původní práce vycházející z vlastního výzkumu či bádání, případně popisující unikátní konstrukční řešení nebo realizované stavby.

Všeobecně se ví, že Stavební obzor zahájil svou existenci z iniciativy nynějšího rektora ČVUT prof. Ing. Jiřího Witzanyho, DrSc., který jako děkan Fakulty stavební ČVUT v roce 1992 umožnil vznik časopisu, jenž měl navázat na tradice nejstaršího českého technického periodika nazývaného Technický obzor (vycházel od roku 1938 do roku 1950). Ke spolupráci na vydávání se tehdy přihlásil i Český svaz stavebních inženýrů a časopis záhy získal 1 200 předplatitelů, zejména právě z řad členů ČSSI. Přesto byl tento náklad určitým zklamáním, protože zejména představitelé inženýrského svazu věřili, že všichni jeho členové si časopis předplatí.

Vydavatelská krize v prohlubující se ztrátovosti časopisu byla částečně zažehnána v roce 1994, kdy k původním vydavatelům přistoupila ještě Stavební fakulta VUT Brno a Česká komora inženýrů a techniků činných ve výstavbě a společně se nyní podílejí na hospodaření časopisu. V roce 1999 se k vydavatelům připojila ještě nově vzniklá Stavební fakulta VŠB-TU

Ostrava. Od tohoto roku navíc podporuje vydávání časopisu tříletý grant Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR, který vydavatelé získali v rámci projektu na rozšiřování výsledků vědy a výzkumu do praxe.

Časopis řídí redakční rada složená z odborníků nominovaných všemi pěti spoluvydavateli. Za dosavadní dobu vydávání časopisu prošlo redakcí a následně časopisem téměř 1 200 článků ze všech oborů stavebnictví. Připomeňme jen, že zde čtenáři najdou publikace z betonových konstrukcí a mostů, ekonomiky a řízení stavebnictví, fyziky, geodézie a pozemkových úprav, geotechniky, hydrauliky a hydrologie, hydromelioreací a životního prostředí, hydrotechniky, inženýrské informatiky, konstrukcí pozemních staveb, matematiky, ocelových konstrukcí, silničních staveb, software, stavebních hmot, stavební mechaniky, technických zařízení budov, technologie staveb, zdravotního inženýrství a železničních staveb. Všechny články jsou pečlivě lektorovány a uveřejněny jen po všeobecném souhlasu redakční rady s obsahem i formou. To ovšem neznamená, že by redakční rada za obsah článků přebírala odbornou či jinou odpovědnost.

Časopis v pravidelných rubrikách informuje o obhájených vědeckých pracích na všech stavebních fakultách v ČR, uveřejňuje recenze domácích i zahraničních publikací spjatých se stavebnictvím, informuje o odborných konferencích a seminářích, seznamuje s výsledky soutěží atd.

Časopis má svou internetovou stránku přístupnou přes portály ČVUT a stavební fakulty, na níž jsou k dispozici stručné výtahy z jednotlivých článků, rejstřík článků podle oborů, pokyny pro autory, údaje o předplatném, inzerci atd.

Menší zájem čtenářů o časopis je mnohdy vysvětlován přílišnou odborností, nebo dokonce vědeckostí jeho obsahu. K tomu se redakční rada několikrát vracela na svých jednáních a přes různé náměty na oživení časopisu nakonec nemůže než konstatovat, že časopis netiskne nic jiného, než co je k otištění nabídnuto. A skutečností je, že autoři se rekrutují dosud převážně z vysokých škol a tematika a její podání tedy odpovídají jejich profesi. To, že inženýři z praxe nemají potřebu své poznatky publikovat, je diskutováno znovu a znovu (a příčiny se hledají všemožně), nové autory však tato diskuse neobstará. Nejčastější domněnkou je, že aktivní inženýři nemají čas na zdoluhavé vypracovávání publikace, jiní si myslí, že je nechuť svěřovat své know how zdarma kolegům, nebo že autoři nestojí o lektorský pohled na svou publikaci, atd. Určitě také nelze přehlédnout, že během deseti let vznikly nové stavební časopisy, bohatě vybavené, s barevným tiskem, možná lákavěji uspořádaným obsahem a určitě nesrovnatelnou čtenářskou obcí. Již ze samotného naturelu těchto časopisů však vyplývá, že hranice mezi odborným nezaujatým sdělením a komerčním laděním článku je mnohdy nezřetelná.

Přes všechny potíže však Stavební obzor vychází, má za sebou deset ročníků a je zrcadlem odborné stránky českého stavebnictví. Věřím, že je stále dostatek prostoru ke zlepšování obsahu našeho časopisu a že tyto možnosti autoři využijí. Přispějí-li i čtenáři svým zájmem a případně i přestupem mezi autory, má náš časopis naději přiblížit se kvalitě a tradici Technického obzoru.

*prof. Ing. Jiří Studnička, DrSc.  
předseda redakční rady*

# Únava betonových železničních mostů

prof. Ing. Ladislav FRÝBA, DrSc.  
Ústav teoretické a aplikované mechaniky  
Akademie věd ČR  
Praha

Evropský výzkumný ústav železniční (ERRI) připravil nový předpis Mezinárodní unie železniční (UIC) pro návrh a posuzování železobetonových a předpjatých železničních mostů na únavu. V článku jsou vysvětleny nejdůležitější zásady výpočtů výztuže a betonu na únavu, jakož i konstrukční opatření, která vylepšují chování mostů při dynamickém a únavovém zatížení.

## 1. Úvod

Výbor znalců Evropského výzkumného ústavu železničního (ERRI) zkoumal v posledních letech za vedení autora článku chování železobetonových a předpjatých železničních mostů na únavu [1]. Na výzkumu se podílelo patnáct odborníků z devíti zemí, experimenty se prováděly v ÚTAM Praha, EPFL Lausanne, LUT Luleå a SNCF Paříž.

Experimentálně se na únavu zkoušely železobetonové desky v Lausanne a spolupůsobení desek s trámy v Praze ve zmenšeném měřítku. V měřítku 1 : 1 se na únavu ověřovaly švédské mosty malého rozpětí v Luleå a francouzský prefabrikovaný předpjatý spojitý nosník v Paříži. Výsledky jsou uveřejněny ve zprávách [2], [3] a [4].

Z výzkumu vyplynula řada poznatků o chování železobetonových mostů a jejich prvků při mnohokrát opakovaném dynamickém zatížení [5]. To vyústilo v zásady pro navrhování a posuzování betonových mostů na únavu [6]. Všechny poznatky pak byly shrnuty do návrhu nového předpisu Mezinárodní unie železniční (Leaflet UIC 774.1), který byl zveřejněn v závěrečné zprávě [7] a jež bude sloužit k revizi Eurocode 2.

Účelem článku je zpřístupnit českým odborníkům novou metodiku navrhování a posuzování betonových mostů na únavu a připravit je tak na evropské poměry v tomto oboru.

## 2. Chování betonových mostů při opakovaném dynamickém zatížení

Je-li mostní konstrukce namáhána mnohokrát opakovaným dynamickým zatížením (např. provozním zatížením od vozidel), mohou se objevit poškození, trhliny apod. jak ve výztuži, tak v betonu, a to i v případě, že dosahovaná napětí jsou nižší než statická. Tento jev se nazývá **únava**.

Pro chování jednotlivých prvků, tj. výztuže a betonu, jakož i celé konstrukce, je při cyklickém namáhání typický poměrně rychlý růst deformací nebo poškození v první fázi, ve druhé pomalý spojitý růst a ve třetí fázi porušení, která jsou způsobena trhlínami výztužné oceli, taženého betonu a drcením betonu v tlačené zóně. Porušení začínají obvykle v místech koncentrace napětí.

Na výztužné oceli lze pozorovat tyto zvláštnosti z hlediska únavy:

- rozkmit napětí (tj. rozdíl lokálních maxim a minim,  $\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$ ) je hlavním faktorem, který ovlivňuje únavu výztužné oceli. Vliv středního napětí je překryt ostatními faktory. To je obdobné jako u ocelových konstrukcí;

- zakřivení betonářského prutu zmenšuje únavu až o 68 % při malém poměru křivosti prutu k jeho průměru;
- únavové namáhání prutu slabě klesá se vzrůstajícím průměrem prutu;
- přepřátované spoje prutů mají malý vliv, pokud délka přepřátování je větší než dvacet průměrů prutu. Svařované spoje zmenšují únosnost až na polovinu;
- předpínací výztuž není příliš citlivá na únavu při relativně malých změnách napětí při provozu;
- ořetrová únava se objevuje při dotyku předpínacích kabelů s ochrannými trubkami. Tento jev je horší u ocelových trubek než u plastových;
- koroze je nebezpečná, jestliže je koncentrována. Slabá stejnoměrná koroze příliš nevede.

Zvláštnosti betonu z hlediska únavy:

- absolutní hodnoty napětí ovlivňují únavu betonu;
- modul pružnosti betonu při únavovém zatížení klesá až na 60 % počáteční hodnoty;
- při čistém tlaku rychle vzrůstají mikrotrhliny v poslední fázi;
- je-li beton namáhán tahem, vznikající trhliny obnažují výztužnou ocel, která zde rezaví. Tento jev je velmi závažný;
- beton namáhán tahem i tlakem zhoršuje své vlastnosti při opakovaném zatížení, protože nastává interakce různě orientovaných trhlín;
- únava betonu není zdaleka tak podrobně prozkoumána jako únava oceli. To platí zvláště pro únavu betonu při intenzivním smykovém namáhání.

Únava železobetonových konstrukcí, ve kterých spolupůsobí výztužná ocel s betonem, se projevuje zhoršením soudržnosti mezi ocelí a betonem, trhlínami výztuže spolu s trhlínami okolního betonu, odprýskáváním betonu nebo jeho drcením v tlačené zóně. To vše vyúsťuje ve větší průhyby konstrukce.

Na nosnících bez smykové výztuže se objevují smykové trhliny po několika málo cyklech zatížení. Nosníky se smykovou výztuží mívají únavová poškození trmínků nebo odprýskává beton kolem nich. Na deskách se může objevit i propíchnutí, protože kola vozidel způsobují změnu znaménka napětí, a tím i zhoršení únavy.

Mezi železobetonovými a předpjatými konstrukcemi není výraznější kvalitativní rozdíl při únavovém zatížení. U předpjatých mostů se ovšem vyskytují malé rozkmity napětí způsobené provozním zatížením, které zvyšují jejich únavovou odolnost.

## 3. Zásady navrhování betonových mostů na únavu

Dále uvedená metoda výpočtu mostů na únavu se uplatňuje při mnohocyklové únavě, kdy počet cyklů napětí přesahuje asi padesát tisíc. To je u železničních mostů s životností kolem sta let mnohokrát překročeno. Mohou se tak posuzovat mosty nové i stávající konstrukce a účelem výpočtu je zajistit bezpečnost mostu po celou dobu jeho životnosti.

Únava mostů je způsobena především užitným pohyblivým zatížením a pro výpočet vnitřních sil a napětí se uvažuje

jí síly podle norem, tj. u železničních mostů zatěžovací model UIC 71 včetně normového dynamického součinitele. Počítá se s lineárním modelem konstrukce v pružné oblasti, ale tahová napětí v betonu se neuvažují.

Pokud předpínací výztuž je soudržná, pak je nutné uvažovat vliv rozdílného chování betonářské a předpínací výztuže. U nesoudržné předpínací výztuže se napětí počítá iterativně.

Na únavu se posuzuje zvlášť výztuž v tahu a zvlášť beton v tlaku. Nemusí se posuzovat mostní prvky, u kterých není třeba počítat s normovým dynamickým součinitelem. Toto ustanovení platí např. pro konstrukce s přesypávkou, pro základy, pilíře a opěry, pokud nejsou pevně spojeny s nosnou konstrukcí.

Na únavu se uvažuje kombinace zatížení

$$S_{d,fat} = G_k + P_k + a \cdot Q_k + b \cdot T_k, \quad (1)$$

kde  $G_k$ ,  $P_k$ ,  $Q_k$ ,  $T_k$  jsou charakteristické hodnoty postupně stálého zatížení, předpětí, pohyblivého zatížení a teploty. Koeficienty  $a = 0,8$  (1,0),  $b = 0,6$  (0,8) se uplatňují při zjednodušeném posouzení podle rovnice (7), popř. (11), nebo při obecném posouzení podle (8), popř. [9] (pro posledně jmenovaný případ jsou hodnoty  $a$ ,  $b$  uvedeny v závorkách).

Rovnice (1) platí jak pro posuzování oceli, kde však hodnoty  $G_k$ ,  $P_k$ ,  $T_k$  se vyruší při výpočtu  $\Delta\sigma$  podle (4), (7), (8), tak i pro posuzování betonu, kde se tyto hodnoty uplatní při výpočtu  $\sigma_{max}$ ,  $\sigma_{min}$ , viz rovnice (11) až (14).

Vliv rozdílného působení soudržné betonářské výztuže a předpínací výztuže se vystihuje zvětšením napětí v betonářské oceli součinitelem

$$\eta = \frac{A_s + A_p}{A_s + A_p \sqrt{\xi \varnothing_s / \varnothing_p}}, \quad (2)$$

kde  $A_s$ ,  $A_p$  je plocha betonářské, popř. předpínací oceli,  $\varnothing_s$ ,  $\varnothing_p$  – průměr betonářské, popř. ekvivalentní předpínací výztuže,  
 $\varnothing_p = 1,6 \sqrt{A_p}$  pro svazky,  
 $\varnothing_p = 1,75 \phi_{wire}$  pro pramence do 7 drátů,  
 $\varnothing_p = 1,20 \phi_{wire}$  pro pramence do 3 drátů,  
 $\xi$  – poměr namáhání předpínací a betonářské oceli (tab. 1).

Pro určení sil ve výztuži i betonu v prvcích se smykovou výztuží se má použít příhradový model. Sklon tlačené vzpěry  $\Theta_{fat}$  má být

$$\tan \Theta_{fat} = \sqrt{\tan \Theta} \leq 1, \quad (3)$$

kde  $\Theta$  je úhel mezi tlačnou vzpěrou a osou nosníku.

Tab. 1. Poměr namáhání předpínací a obyčejné výztuže při jejich spolupůsobení

Předpínací výztuž	$\xi$	
	předem předpjatá	dodatečně předpjatá
přímé pruty, dráty	–	0,3
kabely	0,6	0,5
hřebínková ocel	0,7	0,6
rýhovaná ocel	0,8	0,7

#### 4. Posouzení výztuže

Únavová pevnost betonářské i předpínací výztuže je zajištěna podmínkou

$$S_{d,fat} = \Delta\sigma_s(Q_{fat}) \leq \frac{\Delta\sigma_{Rsk}(N^*)}{\gamma_{s,fat}} = R_{d,fat}, \quad (4)$$

kde  $S_{d,fat}$  je výpočtová hodnota při únavovém zatížení,  
 $\Delta\sigma_s(Q_{fat})$  – rozkmit napětí v oceli při únavovém zatížení,  
 $\Delta\sigma_{Rsk}(N^*)$  – rozkmit napětí při  $N^*$  cyklů na Wöhlerově křivce (tab. 2),  
 $R_{d,fat}$  – návrhová hodnota namáhání při únavě,  
 $\gamma_{s,fat}$  = 1,15 faktor spolehlivosti oceli.

Mezní rozkmit napětí  $\Delta\sigma_{Rsk}$  jsou předepsány v tab. 2 pro betonářské oceli a předpínací výztuž, jakož i pro jejich stykování. Je to kategorizace betonářské a předpínací výztuže obdobná kategorizaci detailů ocelových konstrukcí.

Wöhlerova  $S - N$  křivka se uvažuje v této formě

$$(\Delta\sigma_{Rsk})^m = N, \quad (5)$$

kde  $m = k_1$  pro  $N < N^*$  a  $m = k_2$  pro  $N > N^*$ .

Únavové namáhání ohýbaných prutů se redukuje  $\zeta \Delta\sigma_{Rsk}$ , jestliže je  $D < 25\phi$ , kde  $D$  je průměr ohýbacího válce,  $\phi$  je průměr prutu a redukční součinitel

$$\zeta = 0,35 + 0,026 D/\phi. \quad (6)$$

Předpis [7] umožňuje jednoduché ověření únavové pevnosti výztuže

$$\Delta\sigma_s(Q_{fat}) \leq \sqrt[m]{\frac{N^*}{N_D} \frac{\Delta\sigma_{Rsk}(N^*)}{\gamma_{s,fat}}}, \quad (7)$$

kde  $m$  je sklon Wöhlerovy křivky:  $m = 5$  pro všechny typy výztuže s výjimkou svařovaných a jiných spojů, kde je  $m = 3$ ,

$$N_D = 5 \cdot 10^6.$$

Jestliže výztuž nevyhovuje podmínce (7), pak se použije **obecnější** podmínka s korekčním faktorem  $\lambda$  (součinitel provozního zatížení na únavu [8])

$$\Delta\sigma_{s, equ} \leq \frac{\Delta\sigma_{Rsk}(N^*)}{\gamma_f \cdot \gamma_{sd} \cdot \gamma_{s, fat}}, \quad (8)$$

kde ekvivalentní rozkmit napětí

$$\Delta\sigma_{s, equ} = \lambda_s \cdot \Delta\sigma_s(Q_{fat}) \quad (9)$$

a korekční faktor

$$\lambda_s = \lambda_{s1} \cdot \lambda_{s2} \cdot \lambda_{s3} \cdot \lambda_{s4} \quad (10)$$

závisí na (viz [8], [9]):

- $\lambda_{s1}$  – rozpětí prvku a typu provozního zatížení [8],
- $\lambda_{s2}$  – ročním objemu přepravy,
- $\lambda_{s3}$  – očekávané nebo plánované době životnosti konstrukce,
- $\lambda_{s4}$  – počtu kolejí na mostě.

V rovnici (8) se dále používá  $\gamma_f = 1$  a  $\gamma_{sd} = 1,1$ .

## 5. Posouzení betonu

Pro beton v tlaku je únavu závislá na úrovni napětí, tj.  $\sigma_{\max}$ , popř.  $\sigma_{\min}$ . **Jednoduché** ověření se provede podle podmínky

$$\frac{\sigma_{c,\max}}{f_{cd}} \leq 0,5 + 0,45 \frac{\sigma_{c,\min}}{f_{cd}} \leq 0,9, \quad (11)$$

kde  $\sigma_{c,\max}$ , popř.  $\sigma_{c,\min}$ , je maximální, popř. minimální napětí betonu v tlaku při kombinaci zatížení (1),

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c, \text{ kde } \gamma_c = 1,5.$$

V praxi často postačí **velmi jednoduchá** podmínka pro únavu

$$\sigma_{c,\max} \leq 0,5 f_{cd}, \quad (12)$$

kde  $f_{cd}$  je nominální pevnost betonu v tlaku. Vzrůst pevnosti betonu v tlaku s časem lze vzít do úvahy podle [9]. V případě, že beton na únavu nevyhovuje podmínce (11), musí se postupovat podle [9].

V mostních prvcích bez smykové výztuže se nemusí ověřovat beton ve smyku, pokud jsou splněny podmínky

$$\left| \frac{\tau_{\max}}{\tau_{Rd}} \right| \leq 0,5 + 0,45 \left| \frac{\tau_{\min}}{\tau_{Rd}} \right| \leq 0,9 \quad \text{pro} \quad \frac{\tau_{\min}}{\tau_{\max}} \geq 0, \quad (13)$$

$$\left| \frac{\tau_{\max}}{\tau_{Rd}} \right| \leq 0,5 - \left| \frac{\tau_{\min}}{\tau_{Rd}} \right| \quad \text{pro} \quad \frac{\tau_{\min}}{\tau_{\max}} < 0, \quad (14)$$

kde  $\tau_{\max}$ , popř.  $\tau_{\min}$ , je maximální, popř. minimální napětí ve smyku při obvyklé kombinaci zatížení (v průřezu, kde se vyskytuje  $\tau_{\max}$ ),

$$\tau_{Rd} = V_{Rd} / (b_w \cdot d) \text{ je smykové napětí podle [9].}$$

V případě smyku při propíchnutí musí maximální a minimální smyková napětí vyhovovat podmínkám (13) a (14). Jestliže podmínky (13) a (14) nejsou splněny, je nutné podrobné ověření únavy betonu ve smyku.

## 6. Konstrukční opatření

Kategorizace napětí  $\Delta\sigma_{Rsk}$  v tab. 2 dovoluje rozeznat místa s malou únavovou pevností již v návrhu konstrukce. Když tato místa nemohou být odstraněna, doporučuje se umístit je do oblastí s malými rozkmity napětí. Dále se doporučují tato opatření:

- svařovat předpínací výztuž je zakázáno;
- rovněž svařování obyčejné výztuže včetně sítí by se mělo omezit, protože význačně snižuje únavovou pevnost;
- při stykování se může výztuž svařovat na tupo (je-li to nezbytné), nikoli stehovat;
- při mechanickém stykování výztuže nebo při svařování na tupo se únavová pevnost styků ověřuje experimentem;
- všechny mostní prvky, a zvláště desky mostovky se smykovou výztuží, musí mít hlavní výztuž a třmínky obaleny dostatečně silnou vrstvou betonu;
- poloměry křivosti prutů musí být větší než minimální hodnoty předepsané v normách (v rozích rámců apod.);
- kotvení a spojky předpínací výztuže mají být umístěny v místech s malým rozkmitem napětí;

- není-li předpínací výztuž soudržná s betonem, je kotvení rozhodujícím faktorem pro únavu;
- při ukládání a zpracování betonu se nesmí poškozovat výztuž ani její umístění.

Tab. 2. Mezní rozkmity napětí v betonářské a předpínací výztuži

Výztuž	$N^*$	Exponent		$\Delta\sigma_{Rsk} (N^*)$ [MPa] při $N^*$
		$k_1$	$k_2$	
betonářská ocel				
přímé a zakřivené pruty	$10^6$	5	9	162,5
pruty svařované na tupo	$10^7$	3	5	58,5
spojky	$10^7$	3	5	35
předem předpínaná ocel	$10^6$	5	9	185
dodatečně předpínaná ocel				
kabely v plastových trubkách	$10^6$	5	9	185
zakřivené kabely:				
– v plastových trubkách	$10^6$	5	10	150
– v ocelových trubkách	$10^6$	3	7	120
spojky	$10^6$	3	5	80

## 7. Závěry

Provozní zatížení mostů způsobuje v některých případech únavou poškození. Projevují se zmenšením soudržnosti mezi betonem a výztuží, trhlinami v tažené výztuži a okolního betonu, drcením tlačeného betonu nebo jeho odprýskáváním v tlačené zóně. Únavová pevnost výztuže je přibližně stejná jako únavová pevnost holých prutů. Smykové namáhání nepříznivě ovlivňuje únavu konstrukcí. Plně předpjaté konstrukce nejsou příliš citlivé na únavu, protože mají malé rozkmity napětí.

Příspěvek zveřejňuje návrh Mezinárodní unie železniční výpočtu betonových železničních mostů na únavu. Zavádí se zvlášť posouzení výztuže a zvlášť betonu ve dvou stupních – jednodušším a obecnějším. K obecnějším ověření se přistupuje pouze tehdy, není-li splněna jednodušší podmínka. Tímto způsobem se šetří čas i náklady na projekt nebo posouzení.

Vhodná konstrukční opatření omezují pravděpodobnost únavových poruch a zajišťují tak vyhovující chování mostů při dlouhodobě opakovaném provozním zatížení.

## Označení

V článku se užívá běžné označení podle Eurocode 2 [9], zvláště:

- $Q$  – užitná síla
- $R$  – namáhání
- $S$  – vnitřní síla
- $\Delta\sigma$  – rozkmit napětí

$$\gamma_{fat} = 1,15 \text{ – bezpečnostní součinitel při únavě}$$

## Indexy

- $c$  – beton
- $d$  – návrh
- $fat$  – únavu
- $k$  – charakteristika
- $p$  – předpětí
- $s$  – ocel

Příspěvek vznikl za podpory ERRI a grantů č. 103/01/0243 GA ČR a č. A 2071103 GA AV ČR.



**Literatura**

- [1] Frýba, L. – Bousquet, Ch. – Brühwiler, E. – Elfgren, L. – Mancel, F.: Fatigue Investigations of Concrete Railway Bridges. 16<sup>th</sup> Congress of IABSE, Luzerne. Congress Report IABSE, Zürich, 2000, pp. 296 – 297 + disketa.
- [2] Frýba, L. – Schläfli, M.: Fatigue Tests on Elements of Reinforced Concrete Bridges. [Výzkumná zpráva ERRI D 216/RP 2], Utrecht, 2000.
- [3] Thun, H. – Ohlsson, U. – Elfgren, L.: Fatigue Capacity of Small Railway Concrete Bridges. [Technický dokument ERRI D 216/RP 384], Utrecht, 1999.
- [4] de Chefdebien, A. – Bousquet, Ch.: Comportement à la fatigue de poutres industrielles précontraintes pour tablier de ponts-rails. [Technický dokument ERRI D 216/DT 377], Utrecht, 1999.
- [5] Frýba, L.: Chování železobetonových mostů a jejich elementů při dynamickém a únavovém zatížení. [Sborník], 6. konference „Železniční mosty – správa a výstavba“, SUDOP, ČD, Praha 2001, s. 54 – 58 + disketa.
- [6] Frýba, L.: Zásady pro navrhování a posuzování betonových mostů na únavu. [Sborník], konference „Mosty 2001“, Brno, 2001, s. 179 – 183.
- [7] Frýba, L. – Bousquet, Ch. – Brühwiler, E.: Fatigue of Concrete Railway Bridges. Final Report. [Výzkumná zpráva ERRI D 216/RP 3]. Utrecht, 2002.
- [8] Frýba, L.: Dynamika železničních mostů. Praha, Academia 1992.
- [9] Eurocode 2, ENV 1992-2, Appendix F 106.

**Frýba, L.: Fatigue of Concrete Railway Bridges**

The European Rail Research Institute (ERRI) prepared a new leaflet for the International Union of Railways (IUR) on the design and verification of reinforced and prestressed concrete railway bridges regarding fatigue. The most important principles of the assessment of both the reinforcement and concrete regarding fatigue are explained in the paper. The recommended right detailing could improve the dynamic and fatigue behaviour of bridges.

**Frýba, L.: Ermüdung von Eisenbahnbrücken aus Beton**

Das Europäische Eisenbahnforschungsinstitut (ERRI) hat eine neue Vorschrift des Internationalen Eisenbahnverbandes (IUR) für den Entwurf und den Nachweis von Eisenbahnbrücken aus Stahlbeton und Spannbeton auf Ermüdung vorbereitet. Im Artikel werden die wichtigsten Grundsätze für die Berechnung der Bewehrung und des Betons auf Ermüdung sowie auch konstruktive Maßnahmen behandelt, die das Verhalten der Brücken bei dynamischer und Ermüdungsbelastung verbessern.

**● recenze****Hancock, G.J. – Murray, T.M. – Ellifritt, D.S.****Cold-Formed Steel Structures to the AISI Specification**

Marcel Dekker, Inc., New York, Basel, 2001, 1. vydání, 398 s., cena 165 USD, ISBN 0-8247-9294-7

Profesor Dr. G. Hancock (University of Sydney) napsal a v minulosti úspěšně v Austrálii vydal stejnojmennou knihu (v několika vydáních) o ocelových za studena tvarovaných konstrukcích, což je obor, v němž mnoho let bádá. Pro americké čtenáře nyní připravil, ve spolupráci se dvěma americkými profesory (autory kap. 1 a kap. 10), nové vydání upravené na poněkud jiné poměry. Pro české čtenáře je sice nepřijemné, že se vrátil k imperiálním jednotkám, jde však o modernizované vydání zachycující poslední poznatky v oboru a navazující na americké Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members z roku 2000.

První kapitola je úvodem do problematiky a vysvětluje, jak postupovat podle v Americe nové metodiky mezních stavů (LRFD) i podle tradičních dovolených namáhání (ASD). Druhá kapitola se věnuje materiálu pro tenkostěnné konstrukce a třetí pojednává o stabilitě tlačených prutů. Zde se nejvíce uplatňují Hancockovy práce z posledních dvaceti let, v nichž zkoumá metodou konečných pásů chování prutů s velmi štíhlými a výrazně nesouměrnými průřezy, kde se uplatní všechny možné tvary vybočení včetně těch, při nichž dochází k přetvoření příčného řezu. Čtvrtá kapitola se zabývá lokálním boulením vyztužených i nevyztužených prvků. V páté kapitole se řeší pruty ohýbané, které také mohou ztratit (globálně i místně) stabilitu. Šestá kapitola se věnuje stěnám s otvory i bez otvorů a v sedmé kapitole se mluví o praktickém návrhu tlačených prutů. Kombinace tlaku s ohybem je naplní osmé kapitoly a devátá kapitola se zabývá spojováním tenkostěnných prvků. V desáté kapitole se řeší střešní a stěnové systémy, v nichž tenkostěnné prvky spolupracují s rovněž tenkostěnným pláštěm. Jedenáctá kapitola se věnuje dnes často uplatňovaným regálovým konstrukcím a systémům. Poslední dvanáctá kapitola naznačuje, jak lze kvalitativně jiným způsobem, bez uplatnění koncepce efektivních šířek, řešit tlačené tenkostěnné prvky.

Všechny kapitoly jsou doplněny odkazy na další literaturu a většina i číselnými příklady dokumentujícími předchozí výklad. Pro omezený rozsah knihy se však neopakují ustanovení ze "specifikací", a proto je k plynulému pochopení nutné tento americký předpis mít při ruce.

Knihu lze doporučit všem, kteří se zabývají o tuto část oboru ocelových konstrukcí a mají co do činění s americkým prostředím. Její uplatnění lze kromě oblasti bezprostředních producentů tenkostěnných konstrukcí vidět zejména ve specializovaných kurzech vysokých škol a v postgraduálním studiu.

Jiří Studnička

**Technický slovník naučný – 1. svazek**

Encyklopedický dům, s.r.o., Praha, 2001, formát A5, 500 s., cena 390 Kč, ISBN 80-86044-17-3

Koncem září letošního roku se na knihkupeckých pultech objevily výtisky prvního svazku nově vydávaného slovníku pro technickou veřejnost. Autorské práce, zahájené v září 1998, průběžně pokračují a vyústí v postupné vydání dalších svazků. Poslední, osmý svazek, by měl vyjít v prosinci 2004. Kolektiv autorů zpracoval v rámci tohoto účtyhodného projektu na 42 tisíc hesel. Každý svazek má barevnou přílohu v rozsahu 8 až 16 stran, kromě toho je ve všech dohromady na tři tisíce černobílých ilustrací.

–klí–

# Parametrická studie náhodného chování ohýbaných průřezů z recyklovaného betonu – 1. část

Ing. Aleš FLORIAN, CSc.  
VUT – Fakulta stavební  
Brno

Je provedena statistická analýza mezního momentu únosnosti ohýbaných průřezů vyrobených z betonů s příměsí recyklovaných složek a vyztužených betonářskou ocelí. V parametrické studii se sleduje vliv měnící se šířky a výšky průřezu, podílu vyztužení a vlastností betonu různé kvality a množství příměsí recyklovaných složek na některé statistiky mezního momentu. Pro výpočet mezního momentu je použit výpočetní model vycházející z ČSN P ENV 1992-1-1 [1]. Výsledky jsou porovnány se standardním betonem a s normovými hodnotami. Celkem je analyzováno 1 550 různých průřezů. Jako náhodné vstupní veličiny jsou zvoleny pevnost betonu v tlaku, pevnost betonářské výztuže, modul její pružnosti, výška a šířka průřezu a poloha této výztuže. Pro potřeby statistické analýzy je použita metoda Monte Carlo (Simple Random Sampling).

## 1. Úvod

Pozornost je věnována statistické analýze mezního momentu únosnosti obdélníkového betonového průřezu z recyklovaného betonu vyztuženého betonářskou výztuží a namáhaného na prostý ohyb. Parametrická studie je provedena v závislosti na měnící se šířce a výšce průřezu pokrývající celé spektrum vyráběných prvků, vyztužení od minimální do maximální přípustné hodnoty, a konečně v závislosti na vlastnostech betonu různé kvality a množství příměsí recyklovaných složek. Cílem je posoudit vliv přítomnosti betonu vyrobeného z recyklovaných příměsí na základní statistiky momentu únosnosti a na spolehlivost průřezu navrženého podle ČSN P ENV 1992-1-1 [1]. Pro výpočet mezního momentu únosnosti je použit deterministický model vycházející z [1]. V příspěvku jsou publikovány výsledky pro střední hodnotu a výběrové rozpětí mezního momentu. V navazující části budou diskutovány výsledky pro další statistiky, mj. směrodatnou odchylku, variační koeficient, šikmost apod. [2].

## 2. Popis studie

Předpokládá se, že průřezy jsou vyrobeny z betonu třídy C20/25 a betonářské oceli S500. Průřez je zpevněn vrstvou výztuže v tažené oblasti a je namáhan prostým ohybem. Nominální vzdálenost těžiště výztuže od spodního okraje průřezu je 0,03 m. Parametry, jejichž vliv na výsledek analýzy se sleduje, jsou šířka průřezu  $B$ , výška průřezu  $H$ , podíl vyztužení  $\rho$  a vlastnosti betonu s příměsí recyklovaných složek.

Šířka průřezu se mění v intervalu 0,1 až 2,0 m a výška v intervalu 0,1 až 1,0 m. Rozměry jsou zvoleny tak, aby pokrývaly všechny rozměrové typy prvků, které přicházejí v praxi v úvahu (analyzováno je celkem 31 různých rozměrů).

Vyztužení je voleno tak, aby pokrývalo všechny hypotetické hodnoty. Minimální hodnota  $\rho_{\min}$  je rovna 0,15 %, maximální  $\rho_{\max}$  je 4,0 %, přičemž vyšší hodnoty jsou zavedeny pouze pro posouzení možných trendů. Další mezilehlé hod-

noty jsou 0,2, 0,3, 0,5, 0,8, 1,1, 1,5, 2,0 a 2,8 %. Celkem se tedy analýza pro každý průřez provádí pro deset různých možností vyztužení.

Jsou uvažovány čtyři typy betonu odpovídající třídě C20/25 (typ 1 – 4) s příměsí recyklovaných složek:

- typ 1 – kvalitní beton obsahující pouze hrubý betonový recyklát;
- typ 2 – kvalitní beton obsahující hrubý i jemný betonový recyklát v poměru cca 8 : 1;
- typ 3 – méně kvalitní beton obsahující hrubý i jemný betonový recyklát v poměru cca 3 : 1;
- typ 4 – nejméně kvalitní beton obsahující hrubý i jemný betonový recyklát v poměru cca 1 : 1, popř. další recyklované příměsí (např. zbytky zdíva).

Pro porovnání výsledků vlivu recyklátu v betonu na výsledky statistické analýzy je zvolen standardní beton třídy C20/25, který je označen jako typ 0. Dále je určována hodnota normového mezního momentu podle [1] získaného s uvažováním charakteristických hodnot a dílčích součinitelů materiálu. Jde o hodnotu mezního momentu, která se uplatňuje v příslušných dimenzačních podmínkách jako odpor (bariéra) konstrukce. Tato hodnota je pochopitelně pro dané vyztužení pouze jedna, neboť stávající předpisy nerozlišují vlastnosti betonu podle přítomnosti recyklátu v betonu, a tedy pro normovou hodnotu mezního momentu je rozhodující pouze zařazení betonu do příslušné třídy. Statistická analýza se vždy provádí pro každý rozměr průřezu, každý typ vyztužení i betonu. Celkem je tedy analyzováno 1 550 různých variant betonového průřezu.

Pro statistickou analýzu je využita jednoduchá metoda Monte Carlo (Simple Random Sampling). Ve studii se používá 5 000 simulací, tj. vyčíslení výpočtového modelu se opakuje 5 000krát s náhodně generovanými realizacemi vstupních veličin, které splňují dané požadavky na rozdělení pravděpodobnosti a statistické parametry. Simulací získaný soubor mezních momentů únosnosti  $\{M\}$  se statisticky vyhodnocuje, přičemž dostaneme střední hodnotu  $\mu_M$ , směrodatnou odchylku  $\sigma_M$ , variační koeficient  $v_M$ , šikmost  $\alpha_M$ , minimální a maximální hodnotu v souboru  $\min_M$ , resp.  $\max_M$ , vhodné rozdělení pravděpodobnosti, popř. další statistiky.

## 3. Deterministický výpočtový model

Ke zjištění mezního momentu únosnosti betonového průřezu vyztuženého betonářskou výztuží a namáhaného na prostý ohyb je zvolen deterministický výpočetní model vycházející z [1]. Model je založen na těchto předpokladech:

- poměrné přetvoření jednotlivých vláken průřezu je přímo úměrné jejich vzdálenosti od neutrální osy průřezu;
- beton v tahu nepůsobí;
- v tlacené části průřezu je v betonu napětí rovné pevnosti betonu v tlaku rovnoměrně rozděleno až do vzdálenosti rovné 0,8násobku vzdálenosti neutrální osy od krajního tlaceného vlákna;
- pracovní diagram betonářské oceli je bilineární s konstantní plastickou částí a je symetrický v tahu a tlaku;

– mezní únosnosti průřezu je dosaženo v okamžiku, kdy poměrné přetvoření jednotlivých materiálů dosáhne alespoň v jednom případě mezní hodnoty, která je pro beton  $\varepsilon_c = 0,0035$  a pro betonářskou výztuž  $\varepsilon_s = 0,02$ ;

– průřez je symetrický podél svislé osy a je namáhán na prostý ohyb působící ve svislé rovině procházející osou symetrie;

– poloha neutrální osy se určuje iterativně za splnění podmínek kompatibility a podmínek rovnováhy průřezu.

#### 4. Náhodné vstupní veličiny

Za náhodné vstupní veličiny, jejichž vliv na náhodnou proměnlivost mezního momentu únosnosti sledujeme v závislosti na zmíněných parametrech, jsou zvoleny pevnost betonu v tlaku  $f_c$ , pevnost betonářské výztuže  $f_y$ , modul pružnosti betonářské výztuže  $E_s$ , výška průřezu  $H$ , šířka průřezu  $B$  a poloha těžiště betonářské výztuže v průřezu měřená od spodního taženého okraje  $x_s$ . O všech těchto veličinách se předpokládá, že jsou popsány normálním rozdělením pravděpodobnosti a jsou vzájemně statisticky nezávislé.

U pevnosti betonu jsou statistické parametry významně ovlivněny přítomností, vlastnostmi a poměrem jednotlivých složek recyklátu. V současné době teprve začíná systematictější výzkum v této oblasti [3], a proto reprezentativní výsledky nejsou zatím k dispozici. Přesto první publikované informace umožňují definovat tyto obecné závěry:

- přítomnost recyklátu snižuje střední hodnotu pevnosti a zvyšuje jeho náhodnou proměnlivost v porovnání se standardním betonem bez recyklátu;
- nepříznivější důsledky má přítomnost jemných frakcí recyklátu a snižování jejich poměru k frakcím hrubým.

Základní statistické parametry standardního betonu třídy C20/25 jsou uvedeny v normě [1] – charakteristická hodnota  $f_{ck} = 20$  MPa a střední hodnota  $\bar{f}_c = 28$  MPa, čemuž odpovídá variační koeficient  $v_c = 0,1739$  a směrodatná odchylka  $\sigma_c = 4,87$  MPa. Protože o statistických parametrech betonů s příměsí recyklátu neexistují reprezentativní informace, byly s uvažováním výše uvedených faktů a s přihlédnutím k prvním experimentálním výsledkům odpovědně odhadnuty. Přitom se pro každý typ betonu s recyklátem (typ 1 až 4) statistiky vztahovaly ke statistikám standardního betonu (typ 0) jako určitý násobek jeho střední hodnoty a variačního koeficientu. Tyto násobky se uvažovaly svou konzervativní hodnotou, tj. na straně bezpečnosti. Násobky a odpovídající statistiky použité v analýze pro jednotlivé typy betonu jsou uvedeny v tab. 1.

Tab. 1. Násobky a statistické parametry pevnosti betonu

Beton	Násobitel		Statistické parametry [MPa]		
	střední hodnota	variační koeficient	střední hodnota	variační koeficient	směrodatná odchylka
typ 0	1	1	28	0,1739	4,87
typ 1	min 0,95	max 1,15	26,6	0,2000	5,32
typ 2	min 0,90	max 1,20	25,2	0,2087	5,26
typ 3	min 0,85	max 1,25	23,8	0,2172	5,17
typ 4	min 0,75	max 1,30	21	0,2262	4,75

Statistické parametry zbývajících vstupních veličin jsou uvedeny v tab. 2, odpovídají průměrné úrovni výroby a kontroly kvality [4]. Pro betonářskou ocel je uvažována charakteristická hodnota  $f_{yk} = 500$  MPa. Veličiny  $k_H$ ,  $k_B$  a  $k_x$  jsou

jako pomocné veličiny určeny k popisu náhodné proměnlivosti výšky  $H$ , šířky  $B$  a polohy výztuže  $x_s$  podle vztahů

$$\begin{aligned} H &= H_{\text{nom}} + k_H, \\ B &= B_{\text{nom}} + k_B, \\ x &= x_{\text{nom}} + k_x, \end{aligned} \quad (1)$$

kde  $H_{\text{nom}}$ ,  $B_{\text{nom}}$ ,  $x_{\text{nom}}$  jsou nominální hodnoty příslušných veličin a  $k_H$ ,  $k_B$ ,  $k_x$  jsou náhodné veličiny se střední hodnotou rovnou nule a příslušnou směrodatnou odchylkou.

Tab. 2. Statistické parametry vstupních náhodných veličin

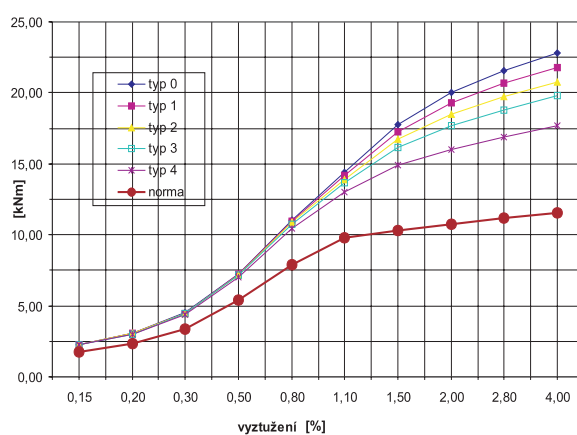
Náhodná veličina	Statistické parametry		
	střední hodnota	variační koeficient	směrodatná odchylka
$f_y$ [MPa]	560	0,0536	30
$E_s$ [Gpa]	200	0,05	4
$k_H$ [m]	0	–	0,006
$k_B$ [m]	0	–	0,004
$k_x$ [m]	0	–	0,009

#### 5. Výsledky studie

Z výsledků statistické analýzy byla k diskusi vybrána střední hodnota popisující průměrné trendy mezního momentu únosnosti a výběrové rozpětí, ve kterém se moment únosnosti může vyskytovat. Z velkého množství graficky zpracovaných výsledků jsou uvedeny pouze reprezentativní obr. 1 až obr. 6.

##### 5.1. Střední hodnota

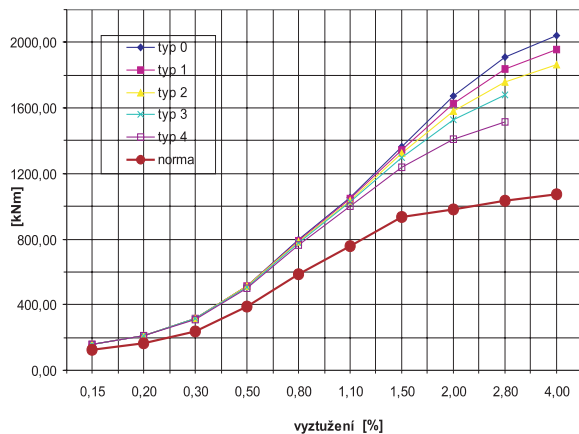
V obrázcích 1 a 2 jsou uvedeny pro daný rozměr průřezu v závislosti na měnícím se vyztužení průběhy střední hodnoty mezního momentu únosnosti pro jednotlivé analyzované typy betonu (značení "typ 0 – 4"). Dále je zde uveden normový mezní moment získaný podle [1] s uvažováním charakteristických hodnot a dílčích součinitelů materiálu (značení "norma").



Obr. 1. Střední hodnota momentu únosnosti průřezu rozměru  $B = 0,4$  m,  $H = 0,1$  m

Přítomnost recyklátu v betonu se projevuje poklesem střední hodnoty. Do vyztužení cca 0,8 až 1 % je velmi malý, v podstatě zanedbatelný, není významnější rozdíl mezi jednotlivými betony, a proto se přítomnost recyklátu významně neprojevuje. Při větším vyztužení dochází k diferenciaci jednotlivých betonů a pokles je významný – činí až 20 % v porovnání se standardním betonem. Pokles střední hodnoty

ty není ovlivněn šířkou ani výškou průřezu, ale pouze přítomností, charakteristikou a kvalitou recyklátu v betonu.

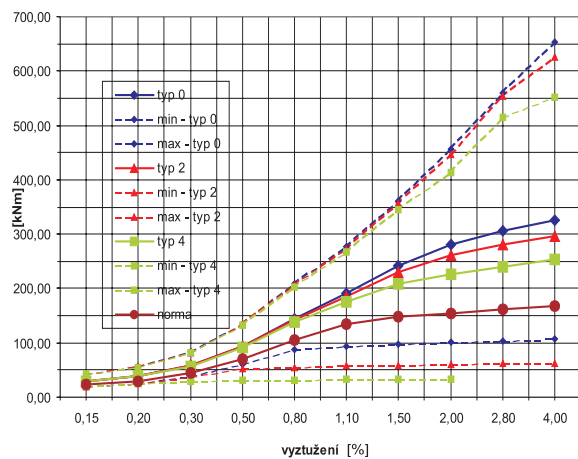


Obr. 2. Střední hodnota momentu únosnosti průřezu rozměru  $B = 0,2 \text{ m}$ ,  $H = 1,0 \text{ m}$

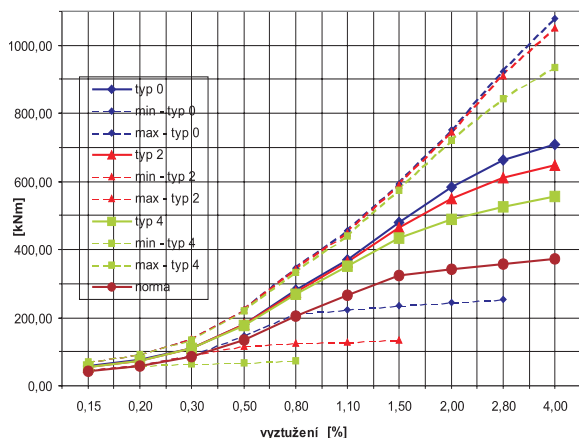
## 5.2. Výběrové rozpětí

Výběrové rozpětí je interval mezi maximální a minimální hodnotou momentu únosnosti, které byly získány během 5 000 opakování výpočtu. Tato veličina poskytuje odhad intervalu, v němž se moment únosnosti může vyskytovat v reálné konstrukci a dává také představu o jeho náhodné proměnlivosti. Čím větší je rozpětí, tím je obecně větší náhodná proměnlivost.

Na obrázcích 3 a 4 je uveden pro daný průřez průběh střední, minimální a maximální hodnoty mezního momentu únos-



Obr. 3. Intervaly a střední hodnoty momentu únosnosti průřezu rozměru  $B = 2,0 \text{ m}$ ,  $H = 0,15 \text{ m}$



Obr. 4. Intervaly a střední hodnoty momentu únosnosti průřezu rozměru  $B = 0,2 \text{ m}$ ,  $H = 0,6 \text{ m}$

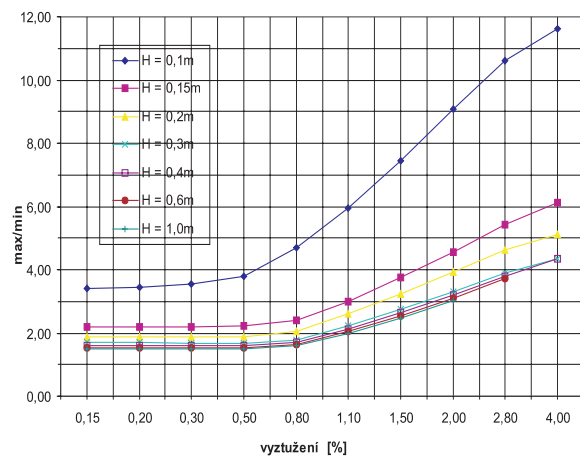
nosti v závislosti na měnícím se vyztužení. Výsledky pro typy 0, 2 a 4 reprezentují beton s příměsí recyklátu ve vynikající kvalitě (blížíci se vlastnostmi betonu standardnímu bez recyklátu), průměrné kvalitě, a konečně velmi nízké kvality. V obrázcích je uveden i průběh normového mezního momentu.

Rozpětí se zvyšuje s podílem vyztužení, klesající kvalitou betonu a relativně se snižující se výškou průřezu. Průběh minimálních a maximálních hodnot je zcela odlišný. Maximální hodnoty plynule rostou s podílem vyztužení, přičemž trend tohoto růstu je po grafické stránce v podstatě totožný pro všechny průřezy bez přihlídnutí k jejich výšce nebo šířce. Přítomnost recyklátu v betonu se projevuje poklesem maximálních hodnot, přičemž rozdíl mezi jednotlivými typy betonu je výraznější až pro silné vyztužení.

V průběhu minimálních hodnot se na rozdíl od maximálních projevuje nejen vliv podílu vyztužení, ale i výrazný vliv kvality betonu a výšky průřezu. Přítomnost recyklátu v betonu se projevuje poklesem minimálních hodnot, přičemž tento vliv je mnohem výraznější než na maximální hodnoty. Výrazný rozdíl mezi jednotlivými typy je již u nepatrného vyztužení, s rostoucí výškou se dále prohlubuje. Minimální hodnoty plynule a pomalu rostou s vyztužením do 0,5 až 0,8 %, potom rostou téměř nezřetelně k určité hraniční hodnotě vyztužení, a nakonec mohou klesat limitně až k nule. Hraniční hodnota je v jednotlivých grafech označena jeho ukončením.

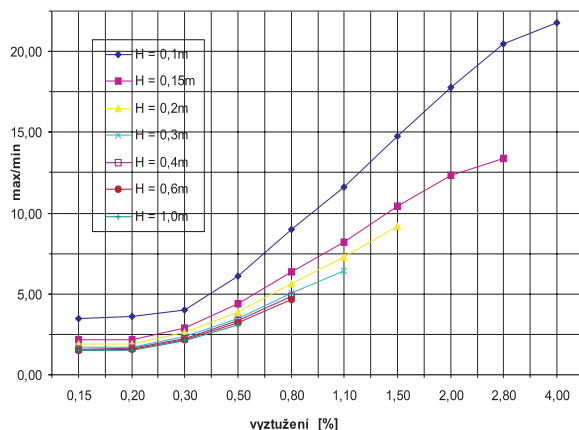
Hraniční hodnota vyztužení závisí na kvalitě betonu a výšce průřezu, přičemž klesá s klesající kvalitou betonu a rostoucí výškou průřezu. U kvalitního betonu (typu 0) se hraniční hodnota projevuje od průřezu většího než 0,4 m, u průměrného betonu (typu 2) již u průřezů větších než 0,15 m a u betonu nízké kvality (typu 4) u průřezů všech výšek. Existence hraniční hodnoty, po jejímž překročení mohou klesat minimální hodnoty limitně k nule, je vysvětlitelná a má fyzikální podstatu. Pro určité kombinace velmi nízké kvality betonu (nízké pevnosti) a relativně velkého množství (nad hraniční hodnotu) relativně kvalitní oceli je nutná k dosažení rovnováhy značná tlačná oblast betonu. Tím ovšem klesá rameno sil, a tím může dojít k poklesu minimálních hodnot, i když vyztužení vzrostlo. Limitně může dojít až k tomu, že betonářská výztuž by měla ležet v tlačné části, což není možné, a proto moment únosnosti může limitně mířit k nule. Pravděpodobnost, že pevnost betonu bude velmi nízká, přitom roste s klesající kvalitou betonu a absolutní změna rameno sil je výraznější pro vyšší průřezy.

V obrázcích 4 a 5 je uveden poměr  $\max_M/\min_M$ , tj. veličina udávající, kolikrát je maximální hodnota větší než minimální. Tento poměr je znázorněn pro betony typu 0 a 4 v závislosti na výšce průřezu a opět v závislosti na měnícím se



Obr. 5. Poměr  $\max/\min$  momentu únosnosti pro beton typ 0

vyztužení. Existují extrémní rozdíly mezi maximálním a minimálním momentem únosnosti, které v důsledku náhodné proměnlivosti vstupních veličin mohou jinak nominálně identické průřezy vykazovat. Zvětšují se s rostoucím vyztužením, klesající výškou průřezu a s klesající kvalitou betonu v důsledku přítomnosti recyklátu.



Obr. 6. Poměr max/min momentu únosnosti pro beton typu 4

Normová hodnota momentu únosnosti je vždy větší než získané minimální hodnoty, s výjimkou průřezů z kvalitního betonu vyšších než 0,2 m a vyztužených do cca 0,8 %, kdy jsou normové a minimální hodnoty v podstatě totožné. Znamená to, že pro většinu případů existuje reálná možnost, že moment únosnosti průřezu může být menší než hodnota stanovená normou. Přitom čím menší je minimální hodnota v porovnání s normovou, tím menší spolehlivost norma zaručuje, neboť můžeme očekávat větší pravděpodobnost podkročení normové hodnoty.

## Závěr

Jak vyplývá z výsledků statistické analýzy, vliv recyklátu v betonu se nepříznivě projevuje na mezním momentu únosnosti. Se snižující se kvalitou betonu klesá střední hodnota mezního momentu a zvětšuje se interval, ve kterém se moment únosnosti může vyskytovat. Tento trend je přitom ovlivněn podílem vyztužení a výškou průřezu a nezávisí na šířce. Nepříznivé důsledky se projevují především u nízkých průřezů do cca 0,2 m a průřezů vyztužených nad cca 0,8 %.

Normová hodnota mezního momentu je jednotlivými analyzovanými typy betonu zaručena s různou spolehlivostí. Je totiž možné ji definovat jako určitý kvantil rozdělení pravděpodobnosti mezního momentu. Protože se pro jednotlivé typy betonu od sebe odlišují, mimo jiné, střední hodnoty a náhodná proměnlivost, bude se jistě odlišovat i pravděpodobnost, s jakou bude normová hodnota zaručena. Nejméně příznivý stav je pro beton typu 4. Obecně samozřejmě nejde o nic neočekávaného, či dokonce závadného, neboť normové předpisy založené na metodě parciálních součinitelů spolehlivosti vše stanoví pouze s určitou spolehlivostí kvantifikovanou pravděpodobností porušení či indexem spolehlivosti. Problém je v tom, že ačkoli normové předpisy by měly zaručit (pokud samozřejmě není řečeno jinak) stejnou spolehlivost všech průřezů bez ohledu na rozměry, kvalitu betonu, podíl vyztužení a přítomnost recyklátu v betonu, v realitě tomu tak není a tato spolehlivost bude vždy u betonu s příměsí recyklátu menší než u standardního betonu bez příměsí recyklátu. Samozřejmě to neznamená, že průřezy vyrobené z recyklovaného betonu jsou nespolehlivé – stále mohou předpisům vyhovovat a podmínky spolehlivosti

splňovat. Důležité ovšem je, že současné normy vliv přítomnosti recyklátu na spolehlivost průřezu namáhaného na prostý ohyb nepostihují, a tím neposkytují oporu při jejich navrhování.

**Práce, jejíž výsledky jsou publikovány v tomto příspěvku, vznikla v rámci výzkumného záměru CEZ J22/98:261100008, VUT FAST Brno.**

## Literatura

- [1] ČSN P ENV 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí, Část 1.1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. ČSN, 1994.
- [2] Florian, A.: Statistická analýza náhodného chování obdélníkového průřezu z recyklovaného betonu namáhaného prostým ohybem – parametrická studie. Projekt CEZ J22/98:261100008, Ústav stavební mechaniky, VUT Brno, 2000.
- [3] Grubl, P. – Ruhl, M. – Nealen, A. – Muller, C.: Betontechnik bei Beton mit rezykliertem Zuschlag, Beton mit rezykliertem Zuschlag für Konstruktionen nach DIN 1045-1, DafStb-Forschungskolloquium, Berlin, 1999.
- [4] Florian, A. – Navrátil, J. – Stráský, J.: Moderní metody analýzy mostních konstrukcí. Fond rozvoje VŠ 95, projekt č. 685/95, VUT Brno, 1994.

## Florian, A.: Statistical Analysis of Reinforced Cross-Sections from Recycled Concrete – A Parametric Study

The influence of recycled concrete on the ultimate capacity of reinforced cross-sections is analyzed taking into account random properties of input variables. Statistical analysis is performed in the form of a parametric study with respect to different dimensions of cross-sections, different amounts of mild steel, and a different number and quality of recycled components. The following input variables are supposed to be random - strength of concrete, strength and modulus of mild steel, width and depth of the cross-section, and position of mild steel in cross-section. Totally, 1,550 different reinforced cross-sections are statistically analyzed. Simple Random Sampling is used for the statistical analysis. Results are compared with standard concrete and with design values from ESN P ENV 1992-1-1 (Eurocode).

## Florian, A.: Parameterstudie des zufälligen Verhaltens gekrümmter Querschnitte aus Recycling – Beton

Es wird eine statistische Analyse des Grenzmoments der Tragfähigkeit von gekrümmten Querschnitten vorgenommen, die aus Betonen mit Beimischung rezyklierter Bestandteile und mit Betonstahl bewehrt hergestellt sind. In einer Parameterstudie wird der Einfluss der sich verändernden Breite und Höhe des Querschnitts, des Prozentsatzes der Bewehrung und der Eigenschaften des Betons mit unterschiedlicher Qualität und Menge der Beimischungen rezyklierter Bestandteile auf einige Statistiken des Grenzmoments verfolgt. Für die Berechnung des Grenzmoments wird ein von der Norm ČSN P ENV 1992-1-1 (1994) ausgehendes Modell verwendet. Die Ergebnisse werden mit Standardbeton und den Normwerten verglichen. Im Ganzen werden 1550 verschiedene Querschnitte analysiert. Als Zufalls-Eingangsgrößen werden die Druckfestigkeit des Betons, die Festigkeit der Bewehrung, das Elastizitätsmodul der Bewehrung, die Höhe und Breite des Querschnitts und die Lage der Bewehrung gewählt. Für die Bedürfnisse der statistischen Analyse wird die Monte-Carlo-Methode (Simple Random Sampling) verwendet.

# Monitorování obsahu volné vody v raném stadiu hydratace cementové pasty pomocí mikrovlnné impulsní metody

*Ing. Jaroslav PAVLÍK*

*RNDr. Vratislav TYDLITÁT, CSc.*

*prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.*

*ČVUT – Fakulta stavební, Praha*

*doc. Ing. Tomáš KLEČKA, CSc.*

*Ing. Petr BOUŠKA, CSc.*

*ČVUT – Kloknerův ústav, Praha*

*doc. Ing. Pavla ROVNANÍKOVÁ, CSc.*

*VUT – Fakulta stavební, Brno*

V článku je prezentována mikrovlnná impulsní metoda měření vlhkosti a její aplikace při monitorování obsahu volné vody v raném stadiu hydratace cementové pasty. Pro porovnání jsou provedeny doplňkové experimenty spočívající v určení začátku a konce tuhnutí a průběhu pevnosti v ohybu, pevnosti v tlaku, Youngova modulu pružnosti a vývoje hydratačního tepla v raném stadiu hydratace. Výsledky těchto experimentů ukazují, že nejrychlejší pokles obsahu volné vody je pozorován v období mezi koncem tuhnutí, určeným Vicatovou zkouškou, a začátkem tvrdnutí, tedy okamžikem, kdy jsou získány první měřitelné hodnoty mechanických parametrů.

## 1. Úvod

V průběhu hydratačního procesu přechází cementová pasta z tixotropní formy kapalného skupenství do "jílovité" formy, a nakonec do ztvrdlého stavu. Během "jílovité" fáze je beton relativně tvarově stálý, ale nemá dostatečnou pevnost. Vystavení betonového prvku mechanickému zatížení během tohoto stavu může vést k jeho destrukci. Přechod z "jílovité" fáze do ztvrdlého stavu také není příliš rychlý a není jednoduché určit přesnou dobu, kdy může být materiál považován za opravdu ztvrdlý. Ze stavebního hlediska jsou tedy potřebné spolehlivé informace o vývoji materiálových vlastností během procesu tvrdnutí.

V laboratorních podmínkách se pro monitorování hydratace cementu používají jako nejvíce spolehlivé a uznávané metody difrakce rentgenového záření, elektronové mikroskopie a tepelné analýzy (viz [1] až [3]), které jsou schopny určit koncentraci produktů chemických reakcí. Nejsou to však metody kontinuální a nejsou vhodné pro výzkum hydratačních procesů in situ.

Další způsob, jak určit průběh hydratačních procesů, je monitorování obsahu volné vody. Voda reaguje se všemi složkami portlandského cementu, což má za následek vznik různých hydrátů. Množství vody, potřebné k těmto reakcím, je relativně vysoké, takže změny obsahu volné vody v hydratující směsi je možné dobře pozorovat.

Metody, založené na měření obsahu vody, byly použity k monitorování průběhu hydratace cementu během posledních desetiletí v řadě případů. Nejpoužívanější z nich byly elektrické metody, založené na měření elektrické vodivosti nebo dielektrických vlastností hydratujících směsí, protože

jsou kontinuální a v principu je lze použít pro monitorování hydratačních procesů nejen v laboratoři, ale i na stavbách. Příkladem úspěšného použití dielektrické metody pracující v oblasti 60 MHz jsou práce [4], [5].

Reboul [6] byl pravděpodobně první, kdo použil mikrovlnnou metodu pro monitorování hydratace v čerstvé cementové pastě. Určil komplexní permitivitu čerstvé cementové pasty rezonanční metodou při frekvenci 3 GHz. Metodu dále vyvíjeli např. Gorur a kol. [7], Moukwa a kol. [8], Zhang a kol. [9], [10], Thompson [11], kteří zjistili, že mikrovlnná metoda je pro sledování hydratace cementu citlivější než kalorimetrická metoda a vhodnější pro studium velmi rané hydratace.

Metody z prací [6] až [11] využívají kontinuální mikrovlny. Další možností, jak určit obsah vlhkosti užitím mikrovln, je měření doby průchodu a absorpce krátkých (cca 100 ps) mikrovlnných impulsů ve vzorku materiálu známé tloušťky [12]. Výhodou takové metody je, že měření jsou zcela ne-destruktivní a mohou se rychle snímat velké povrchy.

V tomto článku je použita pro monitorování obsahu vlhkosti v počátečních hydratačních stadiích cementové pasty mikrovlnná impulsní metoda analogická experimentálnímu uspořádání z práce [12]. Průběh úbytku obsahu volné vody ve vzorcích cementové pasty je porovnán s měřením začátku a konce tuhnutí, pevnosti v ohybu, pevnosti v tlaku, Youngova modulu pružnosti a produkce hydratačního tepla během raného stadia hydratace.

## 2. Konstrukce mikrovlnného vlhkoměru

Mikrovlnný vlhkoměr byl zkonstruován v laboratoři transportních procesů v materiálech na Fakultě stavební ČVUT ve spolupráci s firmou Radan, s.r.o. Při návrhu mikrovlnného vlhkoměru jsme definovali tyto základní požadavky na zařízení:

- a) mělo by být schopné vykonávat laboratorní i polní měření,
- b) mělo umožnit měření jak na speciálně upravených vzorcích, tak na skutečných stavebních prvcích,
- c) finanční náklady měly být přijatelné, ovšem při zachování potřebné přesnosti zařízení.

Aplikace mikrovlnné impulsní techniky z [12] může být považována za přijatelný kompromis mezi cenou a nezbytnou přesností (body a) i b) je vcelku jednoduché splnit). Nejdražšími částmi při sestavování takového experimentálního zařízení jsou osciloskop a impulsní generátor. Jestliže však není požadováno špičkové zařízení, cena je o mnoho nižší a přesnost je stále přijatelná. Již zmíněné důvody

společně s hlavními výhodami impulsní techniky, zejména nedestruktivní charakter, vedou k sestavení experimentálního zařízení založeného na pulsních radarových principech.

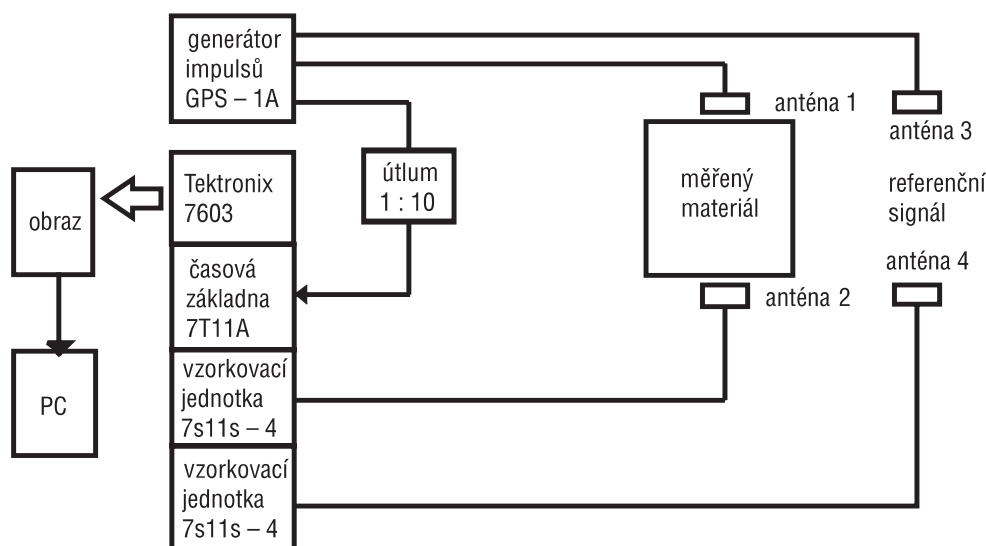
Nejdůležitější částí každé pulsní radarové metody je impulsní generátor. Musí být schopen vytvořit velmi krátké impulsy přibližně trojúhelníkového tvaru, s amplitudou minimálně několik voltů. Na druhé straně nesmí být výkon generátoru příliš vysoký, aby jeho používání neohrozilo bezpečnost pracovníků, kteří s ním pracují. Šířka impulsu má také určitá omezení. Vysílací a přijímací antény jsou v principu tvořeny přechodem koaxiál/vlnovod a trychtýřem pro přenos mikrovlnné energie do volného prostoru a z něj. Vlnovod je z hlediska přenosu mikrovlnné energie horní frekvenční propust, celý přechod je obvykle upravený pro určité pásmo. Proto sama anténa může být považována za určitý filtr. Pro naše měřicí zařízení jsme vybrali pásmo frekvence 7 až 8 GHz, podobně jako v úspěšné realizaci podobného zařízení od Maierhofer a Wöstmann [12], a použili vlnovod R84. Podle pravidel harmonické analýzy by měla být šířka impulsu 150 až 250 ps. Podobný typ impulsního generátoru ovšem není běžně dostupný, proto byl vyvinut pro tento účel firmou Radan, s.r.o.

Další nevyhnutelnou součástí experimentálního zařízení je vzorkovací osciloskop s postačující citlivostí (okolo 1 mV), šířkou pásma vstupních obvodů (nejméně 9 až 10 GHz) a rozlišením časové základny (nejméně 50 až 100 ps). Klasický displej osciloskopu by měl být dostačující za předpokladu, že signál se snímá digitálním fotoaparátem nebo videokamerou. Toto jednoduché řešení přináší podstatnou úsporu finančních prostředků v porovnání s digitálním vzorkovacím osciloskopem při zachování přijatelné přesnosti.

Spojení trychtýřových antén s generátorem a osciloskopem je zajištěno koaxiálními kabely. Jejich délka musí být zvolena podle dvou faktorů působících proti sobě, a to mechanické dosažitelnosti vzorku a ztrát v kabelu. Přijatelný kompromis zachovávající dostatečnou přesnost systému je okolo 2 až 3 m.

### 3. Experimentální zařízení

Měřicí systém je relativně kompaktní a skládá se ze tří částí (viz obr. 1) – impulsního generátoru, aplikátoru a vzorkovacího osciloskopu. Generátor GPSI-1a (Radan, s.r.o.)



Obr. 1. Experimentální uspořádání mikrovlnné impulsní metody pro měření vlhkosti

produkuje trojúhelníkové impulsy šířky 250 ps a amplitudy 2 V s frekvencí 1 kHz. Energie jednoho pulsu je maximálně  $0,75 \cdot 10^{-11}$  J, takže maximální výkon je  $0,75 \cdot 10^{-8}$  W. Generátor zahrnuje samotný impulsní generátor, jeho napájecí obvody, ovládací a kontrolní zařízení, pomocné a ochranné obvody. Výstup energie je proveden třemi koaxiálními konektory SMA. Tyto signály umožňují určit měřenou pozici impulsu a synchronizaci vzorkovacího osciloskopu.

Aplikátor spojený s výstupy generátoru zajišťuje nezbytnou orientaci měřených a referenčních vzorků. Zahrnuje dva páry vysílacích a přijímacích antén tvořených přechodem koaxiál/vlnovod a trychtýřem. Páry antén jsou upevněny paralelně v oddělených držácích zajišťujících definovanou pozici a stabilitu a reprodukovatelnost měření. Vzorky zkoušených materiálů jsou vloženy do aplikátoru mezi měřicí antény. Tloušťky vzorků jsou mechanicky limitovány do cca 100 mm, z elektrického hlediska jsou omezeny útlumem v měřeném materiálu a citlivostí osciloskopu. Dynamika signálu je přes 20 dB.

Vzorkovací osciloskop Tektronix 7603 analyzuje impulsní signály. Kromě jiného obsahuje vzorkovací časovou základnu 7T11A a dvě vzorkovací jednotky se vzorkovacími hlavami S-4. Časové rozlišení osciloskopu je okolo 10 ps a citlivost 2 mV. Frekvenční pásmo je až do 14 GHz. Signál se z displeje osciloskopu snímá digitálním fotoaparátem a zpracovává na počítači.

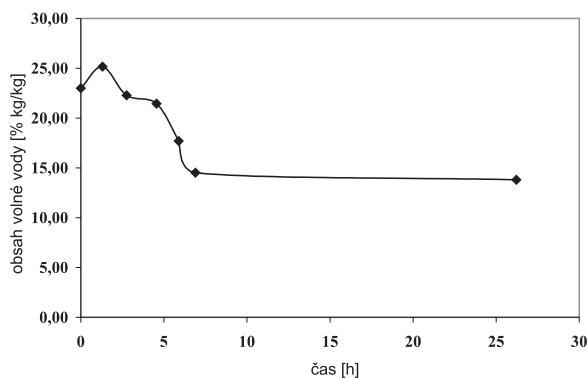
### 4. Použité vzorky

Cementová pasta byla zhotovena z portlandského cementu CEM I 42,5 R (ENV 197-1) (Králov Dvůr, CZ) a vody. Vodní součinitel směsi byl určen  $w = 0,3$ . Vzorky byly uloženy v obdélníkové formě, jejich tloušťka byla 23 mm.

### 5. Výsledky a diskuse

Na obrázku 2 je obsah volné vody v hydratující cementové pastě definován jako hmotnost volné vody ve směsi během hydratačních procesů dělený součtem počáteční hmotnosti cementu a vody v závislosti na době hydratačního procesu během prvního dne. Na obrázku je uveden charakteristický průběh mezi pěti měřeními vzorky. Je zde vidět, že počáteční část křivky, přibližně do pěti hodin od začátku hydratačních procesů, vykazuje velmi malé změny v obsahu vody. Hlavní pokles obsahu volné vody nastává v době od

5 do 7 hodin. Poté obsah volné vody zůstává přibližně konstantní až do 26 hodin.



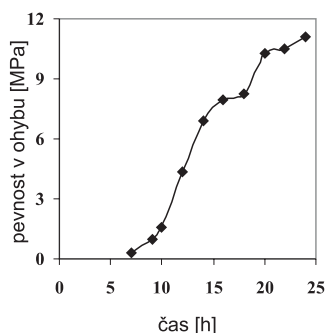
Obr. 2. Závislost obsahu volné vody v hydratující cementové pastě na čase během hydratační reakce určené mikrovlnnou metodou za časový interval 1 den od začátku hydratačního procesu

Mírné zvýšení obsahu volné vody v počáteční fázi (cca do dvou hodin od počátku hydratace) není reálné, jde pravděpodobně o vliv nepřesností při interpretaci výsledků měření způsobených např. změnami dielektrických vlastností hydratačních produktů v této fázi hydratace. Obdobné výsledky získali pro tuto počáteční fázi Kuráž a kol. [5], kteří přisoudili nepravidelnosti v časovém průběhu naměřených dat zejména změnám teploty ve vzorku cementové pasty v důsledku uvolňování hydratačního tepla.

Pro zjištění vztahu mezi vývojem obsahu naměřené volné vody a vývojem dalších významných parametrů charakterizujících rané stadium hydratace cementové pasty jsme provedli doplňkové experimenty. Měřili jsme čas počátku a konce tuhnutí a průběh pevnosti v ohybu, pevnosti v tlaku, Youngova modulu pružnosti a produkce hydratačního tepla během raného stadia hydratace. Počátek a konec tuhnutí byl určen pomocí Vicatova přístroje. Podle Vicatovy zkoušky začal proces tuhnutí po 170 minutách a skončil po 300 minutách.

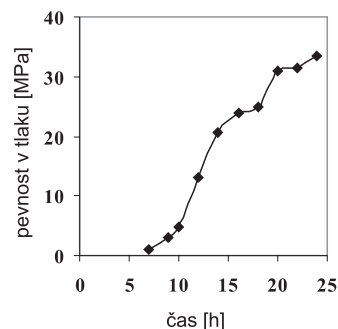
Pevnost v ohybu se určovala podle standardní tříbodové zkoušky v ohybu na měřicím zařízení MTS 500 kN. Vzorky byly prizmatického tvaru s rozměry 40 x 40 x 160 mm. Výsledky měření jsou prezentovány na obr. 3. První měřitelná hodnota pevnosti v ohybu byla zjištěna okolo 7 hodin po začátku hydratačního procesu a po 25 hodinách již dosáhla hodnoty 12 MPa.

Kvalitativně podobné výsledky jako u pevnosti v ohybu byly pozorovány u pevnosti v tlaku a u Youngova modulu

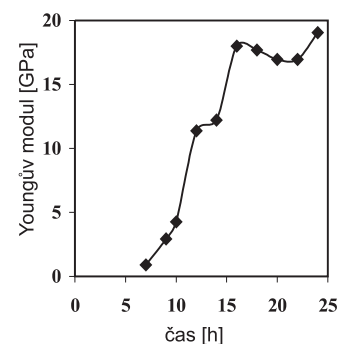


Obr. 3. Závislost pevnosti v ohybu hydratující cementové pasty na čase během hydratační reakce za časový interval do 25 hodin od začátku hydratačního procesu

pružnosti. Ty jsou znázorněny na obr. 4 a obr. 5. Pevnost v tlaku byla určena tlakovou zkouškou na zařízení MTS 500 kN na částech vzorků použitých při zkouškách pevnosti v ohybu. Stlačovaná plocha vzorků byla 2 500 mm<sup>2</sup>. Na obrázku 4 je vidět, že první měřitelná hodnota pevnosti v tlaku byla zjištěna po 7 hodinách a po 25 hodinách již byla pevnost v tlaku okolo 35 MPa.



Obr. 4. Závislost pevnosti v tlaku hydratující cementové pasty na čase během hydratační reakce za časový interval do 25 hodin od začátku hydratačního procesu



Obr. 5. Závislost Youngova modulu pružnosti hydratující cementové pasty na čase během hydratační reakce za časový interval do 25 hodin od začátku hydratačního procesu

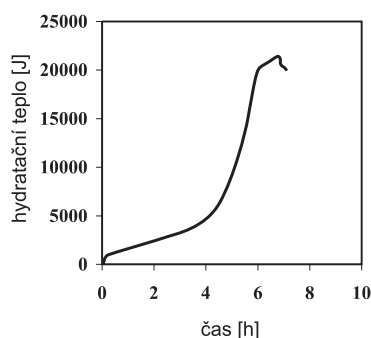
Při zkouškách Youngova modulu byly vzorky vybaveny zařízením pro záznam relativních délkových změn s měřicím délkou 50 mm. Zařízení bylo vybaveno dvěma senzory LVDT PEEKEL Instruments s pracovním rozpětím  $\pm 1$  mm. Senzory se zařízením byly upevněny ve střední části testovacího hranolu. Senzory registrovaly podélné deformace až do patrného poškození vzorku. Tlakové zkoušky byly znovu provedeny na zařízení MTS 500 kN, míra zatížení byla zvolena 0,02 mm/s. Hodnoty Youngova modulu byly odvozeny z měřených deformací a odpovídajícího použitého tlaku. První měřitelná hodnota byla zjištěna okolo 7 hodin po začátku hydratačních procesů a po 16 hodinách dosáhla hodnota Youngova modulu téměř konstanty okolo 18 GPa.

Časový vývin hydratačního tepla se měřil adiabatickým kalorimetrem. Tím je možné pozorovat vývoj teploty během hydratačních procesů v cementové pastě. Měřicí jednotkou je reakční nádoba z tvrdého polystyrenu v kovové nádobě s elektrickými topnými spirálami na stěně. Nádoby jsou tepelně izolovány pěnovým polystyrenem. Teplotní změny v reagujícím vzorku jsou indikovány odporovým Pt-sen-



zorem, umístěným přímo v cementové pastě. Teplotu vně reakční nádoby indikuje senzor umístěný na kovové nádobě. Regulační jednotka udržuje mezi měřeným vzorkem a vzduchem vně reakční nádoby v kalorimetru teplotu 0 °C. To znamená, že teplotní ztráty z reakční nádoby jsou přibližně rovny nule, protože jsou kompenzovány elektrickou topnou spirálou. Na začátku experimentu byl měřicí systém nastaven na počáteční teplotu cementu. Poté byla rychle přidána voda stejné teploty, směs vložena do reakční nádoby pokryté inertním olejem a uzavřena tepelně izolačním obalem.

Křivka produkce hydratačního tepla v cementové pastě je znázorněna na obr. 6. Jak je vidět, po relativně velmi pomalém nárůstu vytvořeného hydratačního tepla v prvních několika hodinách je hlavní hydratační proces započat po přibližně 4 hodinách.



Obr. 6. Křivka produkce hydratačního tepla za časový interval do 7 hodin od začátku hydratačního procesu

Porovnáním výsledků měření obsahu vlhkosti během hydratačních procesů v obr. 2 s výsledky mechanických zkoušek lze říci, že v počáteční fázi se obojí výsledky dobře shodují. Po počáteční fázi bez jakýchkoli podstatných změn se vlhkost rychle sníží mezi 5 a 7 hodinami. To je čas mezi koncem procesu tuhnutí a momentem, kdy jsou zjištěny první měřitelné hodnoty pevnosti v ohybu, pevnosti v tlaku a Youngova modulu pružnosti.

Porovnání s měřením vývoje hydratačního tepla také ukazuje přijatelnou shodu. Kvalitativní charakter změn křivek vývoje hydratačního tepla a ztráty volné vody v důsledku hydratace je velmi podobný, pouze náhlé změny na křivce vývinu hydratačního tepla začínají o něco dříve, 4 hodiny po začátku hydratačního procesu. Zřejmým důvodem je, že hydratační procesy v adiabatickém kalorimetru jsou rychlejší než v podmínkách našeho experimentu pro měření vlhkosti, protože probíhají za zvýšené teploty. Zatímco maximální teplota vzorku cementové pasty během měření vlhkosti byla okolo 40 °C, teplota v adiabatickém kalorimetru byla již po 6 hodinách okolo 90 °C.

Článek vznikl za podpory grantu č. 103/99/0024 GA ČR.

Pavlík, J. – Tydlitát, V. – Černý, R. – Klečka, T. – Bouška, P. – Rovnaníková, P.: **Monitoring Free Water Content in Early Hydration Stages of Cement Paste Using a Microwave Impulse Method**

A microwave impulse method is employed in the monitoring of residual moisture content in early hydration stages of cement paste. Additional experiments consisting in determination of the times of

## 6. Závěr

Mikrovlnná impulsní metoda byla úspěšně použita pro monitorování obsahu volné vody v raných stádiích hydratace cementové pasty. Porovnání měření vlhkostních změn s vývojem základních mechanických parametrů cementové pasty ukazuje, že doba nejrychlejšího poklesu vlhkosti od 5 do 7 hodin po začátku hydratační reakce je identická s dobou mezi koncem procesu tuhnutí a začátkem procesu tvrdnutí, charakterizovaným získáním prvních měřitelných parametrů pevnosti v ohybu, pevnosti v tlaku a Youngova modulu pružnosti. Vývoj hydratačního tepla vykazuje kvalitativně podobné rysy, ale rychlé zvýšení produkce hydratačního tepla je pozorováno trochu dříve, po 4 hodinách. Tento časový rozdíl je zřejmě důsledkem vyšší teploty při měření hydratačního tepla.

## Literatura

- [1] Pratt, P.L.: Physical Methods for Identification of Microstructures. *Materials and Structures* 21 (1988), pp. 106 – 117.
- [2] Menetrier, D. – Jawed, I. – Sun, T.S. – Skalny, J.: ESCA and SEM Studies on Early C3S Hydration. *Cem. Conc. Res.* 9 (1979), pp. 473 – 480.
- [3] Ben-Dor, L. – Perez, D.: Hydration of Cement Minerals with Various Admixtures Studied by Differential Thermal Analysis and Infrared Spectrometry. *Thermochimica Acta* 12 (1975), pp. 81 – 89.
- [4] Kuráž, V. – Matoušek, J. – Litoš, J.: Měření vlhkosti betonových vzorků dielektrickou metodou. *Stavební obzor* 8, 2000, č. 2, s. 51 – 54.
- [5] Kuráž, V. – Matoušek, J. – Litoš, J.: Vliv teploty na měření vlhkosti betonových vzorků dielektrickou metodou. *Stavební obzor* 9, 2001, s. 141 – 144.
- [6] Rebol, J.P.: The Hydraulic Reaction of Tricalcium Silicate Observed by Microwave Dielectric Measurements. *Revue de Physique Appliquee*, 13 (1978), pp. 383 – 386.
- [7] Gorur, K. – Smit, M.K. – Wittmann, F.H.: Microwave Study of Hydrating Cement Paste at Early Age. *Cem. Con. Res.* 12 (1982), pp. 447 – 454.
- [8] Moukwa, M. – Brodwin, M. – Christo, S. – Chang, J. – Shah, S.P.: The Influence of the Hydration Process upon Microwave Properties of Cements. *Cem. Con. Res.* 21 (1991), pp. 863 – 872.
- [9] Zhang, X. – Ding, X.Z. – Lim, T.H. – Ong, C.K. – Tan, B.T.G. – Yang, J.: Microwave Study of Hydration of Slag Cement Blends in Early Period. *Cem. Con. Res.* 25 (1995), pp. 1 086 – 1 094.
- [10] Zhang, X. – Yang, Y. – Ong, C.K.: Study of Early Hydration of OPC-HAC Blends by Microwave and Calorimetry Technique. *Cem. Con. Res.* 27 (1997), pp. 1 419 – 1 428.
- [11] Thompson, F.: Measurement of Moisture and Permittivity in Concrete Samples During Curing using Microwave open Transmission Line Techniques. *Proc. of Non-Destructive Testing in Civil Engineering*, J.H. Bungey (ed.), pp. 287 – 301. Northampton, The British Institute of NDT 1997.
- [12] Maierhofer, Ch. – Wöstmann, J.: Investigation of Dielectric Properties of Brick Materials as a Function of Moisture and Salt Content Using a Microwave Impulse Technique at very High Frequencies. *Proc. of Non-Destructive Testing in Civil Engineering*, J.H. Bungey (ed.), pp. 743 – 754. Northampton, The British Institute of NDT 1997.

Pavlík, J. – Tydlitát, V. – Černý, R. – Klečka, T. – Bouška, P. – Rovnaníková, P.: **Aufzeichnung des Gehalts an freiem Wasser im Frühstadium des Abbindens des Zementbreis mit Hilfe des Mikrowellenimpulsverfahrens**

Im Artikel wird das Mikrowellenimpulsverfahren zur Feuchtigkeitsmessung und dessen Anwendung bei der Aufzeichnung des Gehalts an freiem Wasser im Frühstadium des Abbindens des Zementbreis

beginning and end of setting, and of the course of bending strength, compression strength, Young's modulus and hydration heat production during the early hydration period are performed in order to find a possible correlation between the measured moisture changes, development of mechanical parameters and hydration heat release. It is observed that the fastest decrease of residual moisture content coincides with the early stages of the hardening process, i.e. with the time period between the end of setting and the moment when the first measurable values of mechanical parameters are obtained.

vorgestellt. Zum Vergleich werden zusätzliche Experimente durchgeführt, die in der Bestimmung des Erhärtungsbeginns und -endes und des Verlaufs der Biegefestigkeit, der Druckfestigkeit, des Youngschen Elastizitätsmoduls und der Entwicklung der Hydratationswärme im Frühstadium des Abbindens bestehen. Die Ergebnisse dieser Experimente zeigen, dass die schnellste Abnahme des Gehalts an freiem Wasser im Zeitraum zwischen dem durch eine Vicat-Prüfung festgestellten Erhärtungsende und dem Erhärtungsbeginn, also dem Augenblick, in dem die ersten messbaren Werte der mechanischen Parameter gewonnen werden, zu beobachten ist.

## ● zprávy

### Výstavba BB Centra pokračuje

Ukazuje se, že výstavba nových administrativních center v Praze, stejně jako nová bytová výstavba jsou perspektivní obory s velkým rozvojovým potenciálem. Úspěch v této oblasti úzce souvisí s poptávkou po nových, kvalitních kancelářských plochách a dále také s makroekonomickou situací celé ekonomiky. Motto „jste na dobré adrese“ provází výstavbu komplexu BB Centra, jehož architektem je Jan Aulík z Ateliero A. V dopravně nejlépe dostupné části Prahy 4 – na křižovatce dálnice D1 a Vyskočilovy třídy, nedaleko Jižní spojky, roste nová dominanta. V konečné podobě bude představovat reprezentativní moderní evropskou administrativní čtvrť s širokou nabídkou obchodů, služeb, sportovních a relaxačních aktivit, ve které najde práci v příjemném pracovním prostředí nejméně patnáct tisíc lidí.

V červnu 1998 dokončená budova C získala hlavní cenu v soutěži „Best of Reality“ mezi kancelářskými objekty postavenými po roce 1989 na území České republiky. Hlavními nájemci zde jsou společnosti Hewlett-Packard, 3M Česko, Radiomobil a Trane.

Jižní plášť budovy B, dokončené na podzim 1999, je opatřen dvojitou fasádou s vnějšími žaluziemi. Tento prvek, v České republice zatím ojedinělý, přináší maximální komfort při práci lidí vzhledem k možností přirozeného větrání, elektrického ovládní žaluzií a zajištění optimálních podmínek pro funkci počítačové techniky. Hlavním nájemcem v této budově je společnost GE Capital Bank, zbývající část je rozdělena mezi společnosti REGUS, Provident Financial a Goodyear.

Lokalita umožňuje další rozsáhlý vývoj. V roce 2000 byla zahájena stavba kancelářské budovy A. Na pronájem této budovy o ploše 21 300 m<sup>2</sup> kancelářských ploch a 410 parkovacích stání má již podepsanou smlouvu o smlouvě budoucí společnost Eurotel, spol. s r. o. Současně byly zahájeny i zemní práce pro budovu D, která bude mít šest nadzemních a dvě podzemní podlaží. Objekt má jedno komunikační jádro se schodištěm a výtahem a je mimořádně technologicky vybaven. I v budově D o celkové ploše přibližně 3 800 m<sup>2</sup> bude hlavním nájemcem společnost Eurotel, která využila opční právo na tento objekt. Plánované dokončení je v prvním čtvrtletí roku 2002.

V září 2000 byla zahájena výstavba Office Parku, který sestává ze dvou domů spojených společným přízemím s obytným blokem Residence BB Centrum. Celkem bude pro nájemce k dispozici 7 500 m<sup>2</sup> kancelářských ploch v šesti nadzemních podlažích. V podzemních garážích bude 250 parkovacích stání.

Nyní dochází k významnému obohacení funkčního rozpětí BB Centra o prvek nadstandardního bydlení. Luxusní vila Rezidence BB Centrum je situována v klidové části areálu za obchodně administrativními budovami, které ji chrání před ruchem Vyskočilovy třídy i magistrály. Z druhé strany přímo navazuje na plánované zelené plochy s parkovou úpravou. Stavba této etapy bude dokončena v březnu 2002.

Zeleň a parková úprava na střeších garáží v meziblocích navazuje na bezprostřední okolí a oživuje areál. Díky výhodné poloze je v nedalekém okolí veškerá občanská vybavenost (obchody, služby, škola, poliklinika). Výborná je i dopravní dostupnost jak do centra města, tak i na dálniční tah do Brna a na vnější pražský okruh ve směrech Plzeň, Hradec Králové a Teplice. Tím bude ukončena první etapa výstavby areálu. Budou dobudovány inženýrské sítě a povrchové komunikace včetně křižovatek. Celkové investiční náklady na budovy A, D, Office Park a Residence BB Centrum jsou plánovány na 1,65 mld. Kč, přičemž náklady na samotnou budovu A přesáhnou 1 mld. Kč.

V současné době se připravují projekty administrativních objektů Alpha, Beta a Gamma. Budova Alpha je objekt o třech podzemních a osmi nadzemních podlažích v pohledově exponované poloze celého areálu. Expresivní severní fasáda se stane protipólem objektů A a B. Vnitřní atrium se skleněným světlíkem má navodit příjemnou atmosféru. Zakřivená jihozápadní fasáda umožní umístění ojedinělých log na kovových obkladech objektu. Budova Beta, umístěná naproti budovy EuroTelu, se třemi podzemními a osmi nadzemními podlažími bude vybavena netradičními atrii, z nichž jedno je uzavřené, se zasklením střešní roviny, a druhé otevřené umožní kontakt s venkovním prostředím. Objekt bude umístěn mezi plochu městského parku

a klidovou pěší zónu areálu, v přízemí budou umístěny různé typy restaurací. Největší z budov v komplexu BB Centra – Gamma – s polohou přímo u dálnice, má netradiční a vysoce efektivní architektonické a dispoziční řešení. Objekt o třech podzemních a deseti nadzemních podlažích je komponován do jakéhosi novodobého bloku organického tvaru s vlastním chráněným prostředím zeleně a vodních prvků uvnitř struktury. Velikosti a významu objektu odpovídá i velkorysost prosklené dvorany s komunikačním a společenským zázemím objektu. Fasády objektu mají navrženy speciální stínící systémy a obklady.

*Tisková informace*



# Dĺžka dôb tepelných tokov cez energetické fasády

Ing. Ján KRÁLIK  
STU – Stavebná fakulta  
Bratislava

V článku sú uvedené výpočtové vzťahy na určenie podmienok nulového tepelného toku ako medznej hodnoty pre smerovanie tepelných tokov cez obalové konštrukcie s vetranou vzduchovou vrstvou a transparentným alebo netransparentným vonkajším plášťom.

## 1. Úvod

Množstvo tepelnej energie transportovanej cez obalový plášť budovy, ak uvažujeme obdobie roka, sa skladá z tepelného toku z vnútra budovy do exteriéru – tepelná strata a z tepelného toku z exteriéru do vnútra budovy – tepelný zisk.

Kvantitatívne tepelné straty a zisky závisia priamo úmerne od doby trvania tepelných tokov. Doba trvania tepelných tokov závisí od okrajových podmienok, ktoré predstavuje materiálová a rozmerová skladba vlastnej obalovej konštrukcie, a od teplotných podmienok okolitého prostredia.

Suma množstiev transportovanej energie jedným a druhým smerom môže predstavovať energetickú efektívnosť obalovej konštrukcie.

## 2. Výpočtové vzťahy pre určenie podmienok nulového tepelného toku

Pre špecifické tepelné toky cez obalové konštrukcie podľa obr. 1 až obr. 4 a pre jednoplášť platia vzťahy:

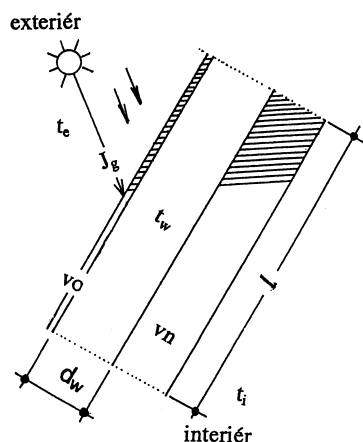
- *jednoplášťová konštrukcia*

$$q = (t_i - t_{e,ekv}) \cdot k \quad (1)$$

$$t_{e,ekv} = t_e + \frac{J_g \cdot A}{a_e} \quad (2)$$

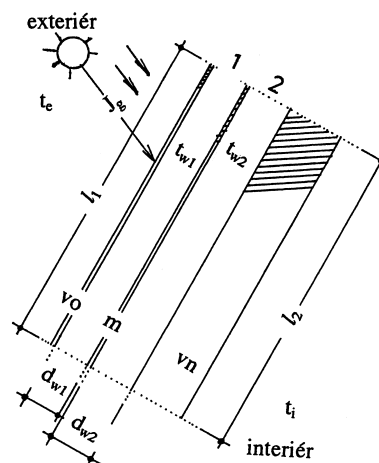
- *dvojplášťová konštrukcia – netransparentný plášť (obr. 1)*

$$q = (t_i - t_w) \cdot k_{vn} \quad (3)$$



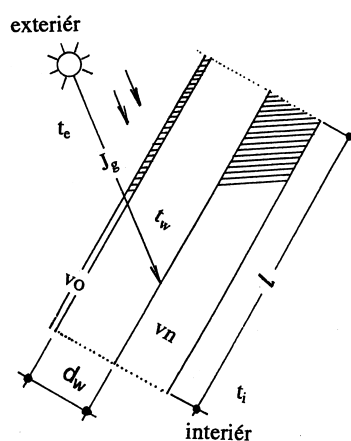
- *konštrukcia s dvoma vzduchovými vrstvami – netransparentný plášť (obr. 2)*

$$q = (t_i - t_{w,2}) \cdot k_{vn} \quad (4)$$



- *dvojplášťová konštrukcia – transparentný vonkajší plášť (obr. 3)*

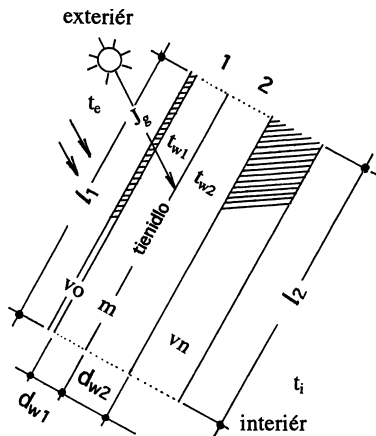
$$q = (t_i - t_{w,i}) \cdot k'_{vn} \quad (5)$$



- *konštrukcia s dvoma vzduchovými vrstvami – transparentný vonkajší plášť (obr. 4)*

$$q = (t_i - t_{w,2}) \cdot k_{vn} \quad (6)$$

Kedže hodnoty  $t_{e,ekv}$ ,  $t_w$ ,  $t_{w,i}$ ,  $t_{w,2}$  sú, za inak rovnakých teplotných a niektorých konštrukčných okrajových podmienok, vzájomne rozdielne, budú aj hodnoty špecifických tepelných tokov rozdielne. Ak budeme uvažovať taký teplotný



režim v obalovej konštrukcii, že z interiéru alebo do interiéru cez obalový plášť nebude transport tepla, treba povedať okrem iného, kedy sa tak stane.

**2. Výpočtové vzťahy na určenie podmienok nulového tepelného toku**

Základným predpokladom nulového tepelného toku je, aby

$$t_i = \text{akceptovateľnej teploty za obalovým plášťom.} \quad (7)$$

Akceptovateľná teplota je taká, ktorú treba uvažovať na odvrátenej strane od interiéru pri transporte tepla cez vnútorný plášť budovy. Dosadením do vzťahu (7) dostaneme vzťahy (8) až (21) vyjadrujúce také hodnoty závisle premenných  $J_g$  a nezávisle premenných  $t_e$ , keď tepelný tok z interiéru do exteriéru sa rovná nule. Z takto vypočítaných hodnôt možno prostredníctvom meteorologických údajov určiť dátumy, kedy sa tak stane. Ďalšie podmienky uvažované pri odvodnení:

- ustálený tepelný tok;
- vyhovujúca dosiahnutá presnosť;
- teplota vzduchu vstupujúceho do vzduchových vrstiev je rovná teplote vonkajšieho vzduchu;
- tepelný odpor tienidla  $R$  je veľmi malý.

Jednoplášťová konštrukcia

$$J_g = (t_i - t_e) \cdot \alpha_e \cdot \frac{1}{A} \quad (8)$$

Dvojplášťová konštrukcia podľa obr. 1.

$$J_g \frac{A_{vo}}{\alpha_e} = B \frac{t_i - t_e}{k_{vo}} + t_i - t_e \quad (9)$$

Trojplášťová konštrukcia podľa obr. 2.

$$J_g \frac{A_{vo}}{\alpha_e} k_{vo} = t_i [(k_{vo} + B_1) (k_m + B_2) k_m^{-1} + B_2] - t_e [k_{vo} + B_1 + B_2 + B_2 \frac{k_{vo} + B_1}{k_m}] \quad (10)$$

Dvojplášťová konštrukcia s transparentným vonkajším plášťom podľa obr. 3.

$$J_g \left( \frac{T \cdot A_{wi}}{\alpha_{wi}} + \frac{k_{vo} \cdot A_{vo}}{\alpha_e \cdot K2} \right) = t_i \left( K1 - \frac{k'_{vn}}{\alpha_{wi}} \right) - t_e \left( \frac{k_{vo} + B}{K2} \right) \quad (11)$$

$$K1 = 1 + \frac{k'_{vn}}{\alpha_{wi}} - \frac{\alpha_{wi}}{k_{vo} + B + \alpha_{wi}} \quad (12)$$

$$K2 = k_{vo} + B + \alpha_{wi} \quad (13)$$

Konštrukcia s transparentným vonkajším plášťom a tienidlom vo vzduchovej vrstve podľa obr. 4

$$J_g \left( T + \frac{A_{vo} \cdot k_{vo} \cdot \alpha_{w1,i}}{\alpha_e \cdot K3} \right) = \frac{K5}{\alpha_{w2,e}} (t_i \cdot K4 - t_e \cdot k_{vn} - t_e \cdot B_2) - \frac{t_i \cdot k_{vn} \cdot \alpha_{w2,e}}{K4} - t_e \left( \frac{B_2 \cdot \alpha_{w2,e}}{K4} + \frac{k_{vo} \cdot \alpha_{w1,i}}{K3} + \frac{B_1 \cdot \alpha_{w1,i}}{K3} \right) \quad (14)$$

$$K3 = k_{vo} + B_1 + \alpha_{w1,e} \quad (15)$$

$$K4 = k_{vn} + B_2 + \alpha_{w2,e} \quad (16)$$

$$K5 = \alpha_{w1,i} + \alpha_{w2,e} - \frac{\alpha_{w1,i} \cdot \alpha_{w2,e}}{K4} - \frac{(\alpha_{w1,i})^2}{K3} \quad (17)$$

Pre vzťahy (8) až (17) platia vzťahy:

$$B = \rho_v \cdot c \cdot d_w \cdot c_v \cdot l^{-1} \quad (18)$$

$$t_{e,ekv} = t_e + J_A \cdot \alpha_e^{-1} \quad (19)$$

$$k'_{vo} = [R_{o,vo} - \alpha_e^{-1}]^{-1} \quad (20)$$

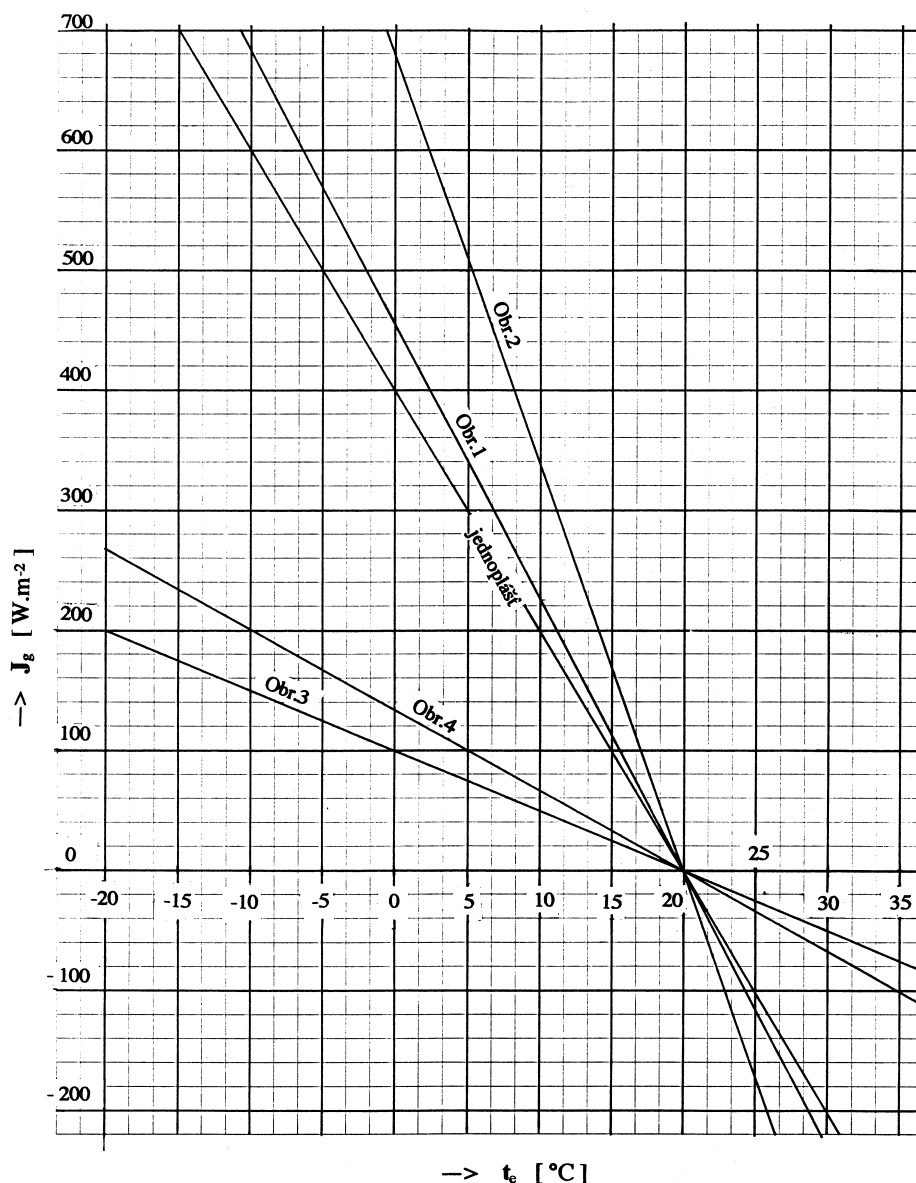
$$k'_{vn} = [R_{o,vn} - \alpha_{wi}^{-1}]^{-1} \quad (21)$$

**Označenia**

- $\alpha$  – súčiniteľ prestupu tepla [ $Wm^{-2}K^{-1}$ ]
- $A$  – činiteľ pohltivosti slnečného tepelného žiarenia [–]
- $c$  – špecifické teplo [ $Jkg^{-1}K^{-1}$ ]
- $c_v$  – rýchlosť pohybu vzduchu vo vzduchovej vrstve [ $ms^{-1}$ ]
- $d_w$  – hrúbka vzduchovej vrstvy [m]
- $J$  – intenzita slnečného tepelného žiarenia [ $Wm^{-2}$ ]
- $k$  – súčiniteľ prechodu tepla [ $Wm^{-2}K^{-1}$ ]
- $l$  – dĺžka vzduchovej vrstvy v smere prúdenia vetrajúceho vzduchu [m]
- $\rho_v$  – objemová hmotnosť vzduchu [ $kg m^{-3}$ ]
- $R_o$  – tepelný odpor prechodu [ $m^2KW^{-1}$ ]
- $R$  – činiteľ odrazu slnečného žiarenia
- $t$  – teplota [ $^{\circ}C$ ]
- $t_{e,ekv}$  – celková teplota vonkajšieho vzduchu [ $^{\circ}C$ ]
- $t_{w,0}$  – teplota vzduchu pri vstupe do vzduchovej vrstvy [ $^{\circ}C$ ]
- $T$  – činiteľ priepustnosti slnečného tepelného žiarenia

**Indexy**

- $e$  – vzťahujúce sa na exteriér
- $i$  – vzťahujúce sa na interiér
- $w$  – vzťahujúce sa na vzduchovú vrstvu
- $vo$  – vzťahujúce sa na vonkajší plášť
- $vn$  – vzťahujúce sa na vnútorný plášť
- $w,e$  – vzťahujúce sa na vonkajší povrch vzduchovej vrstvy
- $w,i$  – vzťahujúce sa na vnútorný povrch vzduchovej vrstvy
- $g$  – globálne
- $m$  – vzťahujúce sa na konštrukciu medzi vonkajším a vnútorným plášťom
- $A$  – vzťahujúce sa na absorbciu slnečného tepelného žiarenia
- $T$  – vzťahujúce sa na priepustnosť slnečného tepelného žiarenia
- 1 – vzťahujúce sa na prvú vzduchovú vrstvu
- 2 – vzťahujúce sa na druhú vzduchovú vrstvu



Obr. 5.

### Príklad

Uvažujme konštrukcie podľa obr. 1 až obr. 4. Parametre obalových konštrukcií podľa týchto obrázkov a jednoplášťovej konštrukcie, ktorá má  $k = 0,5 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ ,  $A = 1$ ,  $\alpha_e = 20 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ :

- obr. 1  $k_{vo} = 7,15 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ ,  $k_{vn} = 0,5 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ ,  $B = 1 \text{ J m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ,  $A_{vo} = 1$ ,  $\alpha_e = 20 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ ,  $t_i = 20 \text{ °C}$ ;
- obr. 2  $k_{vo} = k_m = 7,15 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ ,  $k_{vn} = 0,5 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ ,  $B_1 = B_2 = 1 \text{ J}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ,  $A_{vo} = 1$ ,  $\alpha_e = 20 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ ,  $t_i = 20 \text{ °C}$ ;
- obr. 3  $k_{vo} = 7,15 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ ,  $k_{vn} = 0,5 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ ,  $B = 1 \text{ J m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ,  $T = 0,9$ ,  $A_{vo} = 0,04$ ,  $A_{w,i} = 1$ ,  $\alpha_e = 20 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ ,  $\alpha_{w,e} = \alpha_{w,i} = 10 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ ,  $t_i = 20 \text{ °C}$ ;
- obr. 4  $B_1 = B_2 = 1 \text{ J}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ,  $A_{w1,i} = 1$ ,  $\alpha_{w1,e} = \alpha_{w1,i} = \alpha_{w2,e} = \alpha_{w2,i} = 10 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ , ostatné parametre sú rovnaké ako pre konštrukciu podľa obr. 3.

Ak sa uspokojíme s nie presným výpočtom, môžeme dostať použitím vzťahov (8) až (21) závislosť  $J_g$  a  $t_e$ , ktorá je znázornená na obr. 5. Tento obrázok umožňuje konštatovať, že najmenšie nároky na intenzitu slnečného žiarenia pri nulovom tepelnom toku, keď  $t_e < 20 \text{ °C}$ , má konštrukcia podľa obr. 3. Najväčšie má konštrukcia podľa obr. 2.

### Králik, J.: Duration of Periods of Thermal Flux Through Energetic Facades

The article presents computational relationships for determination of thermal null flux conditions. These conditions serve as the limiting values to direct thermal fluxes. Thermal flux crosses the building through the sheathing with an aerated layer, and with a transparent or non-transparent external encasement.

### Králik, J.: Zeitdauer thermischer Strömungen durch energetische Fassaden.

Der Artikel enthält Berechnungsbeziehungen zur Bestimmung der Bedingungen des Nullwärmeflusses als Grenzwerte für die Leitwegsteuerung der Wärmeflüsse durch Umhüllungskonstruktionen mit Hinterlüftungsschicht und einer transparenten oder nicht transparenten Außenhülle.

## Péče o svěřené území a jeho objekty

doc. Ing. Václav BERAN, DrSc.  
 ČVUT – Fakulta stavební  
 Praha

Stavební substance bytových domů je oceňována Českým statistickým úřadem na 5 025,6 mld. Kč (bez zastavených pozemků). Jde o hodnotu vytvořenou generacemi. Jen pro její prostou údržbu bychom potřebovali 1/100 až 2/100 uvedené částky ročně. Na zlepšení věkové struktury a užitečných vlastností pak bychom museli uvedenou částku navýšit mnohonásobně. Chceme-li zlepšit existující stavební substanci jen bytových domů v průběhu jedné generace (~ 20 let), jde o enormní požadavek na nové stavební práce a konstrukce. Veřejnost na takový krok není připravena. Znamená to, že generace v produktivním věku budou v budoucnosti muset změnit strukturu svých výdajů. Spotřební koš občana ČR v tomto věku se bude muset přiblížit spotřebnímu koši občana EU, který vydává namnoze větší polovinu svých spotřebních výdajů na bydlení a ubytování.

Evropská unie má v mnoha svých programech<sup>1)</sup> včleněnu snahu podporovat rozvoj měst a obcí a sleduje **udržitelost** pozitivního rozvoje urbanizovaných území. Nejde o náhodnou nebo krátkodobou snahu. Město, obec a území mají důležitou funkci na spojnici ekonomického rozvoje a rozvoje kvality života a životního prostředí. Již v roce 1987 byl v tzv. Brundlandské zprávě zdůrazněn význam měst a životního prostředí. Spojené národy zaměřily svou pozornost k této otázce na konferenci UNCED<sup>2)</sup>, kde bylo zdůrazněno zásadní spojení mezi městem a životním prostředím. Vznikla komponenta **Agenda 21**. **Local Agenda 21** byla formulována na *První evropské konferenci udržitelných měst a obcí*<sup>3)</sup>. Výsledkem bylo vydání **Aalborgské charty** v roce 1994. Charta se zaměřuje na roli evropských měst a municipalit, stanovuje směrnice o způsobech jejich udržitelnosti. Jde o dlouhodobou strategii ochrany a upoutání pozornosti k problematice osídlení. Myšlenka upevnování udržitelného, dlouhodobého zdravého rozvoje v místních a regionálních podmínkách byla předmětem druhé a třetí konference *European Sustainable Cities and Towns* (Lisabon, 1996 a Hanover, 2000)<sup>4)</sup>.

Tolik na úvod ke zdůraznění **podstatných** souvislostí. Jakkoli je budeme zdůrazňovat, tak v konečném důsledku je obraz obce i města vytvářen tím, s jakou péčí jsou spravovány a udržovány jeho domy. Domy ve starém i novém českém městě trpí společným neduhem – **nedostatečnou údržbou**, mnohdy předstíranou péčí o jejich stavební substanci. Vzetelná příznání k péči o globální problémy mají konkrétní naplnění v lokálních detailech údržby a obnovy domů, péči o veřejné a soukromé objekty, prostranství a plochy. Výzva ke globálnímu myšlení a lokálnímu jednání je manifestem racionálnosti. Detail oplechování parapetů oken, balkonů, lodžii či způsob umístění nádob na odpadky manifestují lokální pokrokovost, nebo její opak, více, než si dokážeme připustit.

Péče o svěřené hodnoty je vizitkou státní správy stejně jako samosprávy nebo fyzické osoby. Je vizitkou schopnosti podnikatelských subjektů a obcí udržet svěřený majetek v produktivním stavu. Péče o stavební substanci majetek je dokonce součástí povinností ukládaných **stavebním zákonem**. Fyzický stav každého stavebního objektu je technickým a ekonomickým dokladem toho, jak byla litera stavebního zákona v uplynulých desetiletích naplňována.

Je nesporné, že existuje mnoho bytových a občanských staveb, u nichž je na první pohled patrné, že prostředky na údržbu, ať byly jakkoliv úsporně kalkulovány a regulovány, nebyly vždy do stavební substance objektu vráceny.

### Jak velké mají být zdroje použité na údržbu?

Stanovit jednoduché pravidlo pro rozsah údržby pro území nebo stavební objekt se na první pohled může zdát složitou a neprůhlednou úlohou. Složitě otázky mají jistě i jednoduché odpovědi. Jednou takovou je odpověď z hlediska udržitelného rozvoje. Hospodaříme-li se zdroji, které nechceme vyčerpat, a území (město, obec), stavební objekt a jeho majetek takovým zdrojem jistě je, pak platí, že do stavební podstaty, kterou užíváme, by mělo být vráceno alespoň tolik zdrojů, aby nedocházelo k jejímu znehodnocování v průběhu životnosti. Jinými slovy, je třeba formou údržby a obnovy vracet tolik zdrojů, aby hmotný majetek setrval alespoň na úrovni výchozího stavu. Pokud se tak neděje, je technickoekonomická podstata znehodnocována – hospodaření na úkor podstaty je kriticky označováno za vybydlování, tunelování, žití na úkor budoucích generací.

Z ekonomických důvodů se tak jistě v některých případech i stane. Likvidace a odstranění je také součástí ekonomiky území nebo ekonomiky stavebního objektu. Mělo by se tak dít plánovitě a s průkazem, že získané hodnoty budou použity účelně jiným způsobem. Doklad o tom, že se tak děje, by měl být evidentní a běžně dostupný. Majetek města, družstva, sdružení vlastníků, fyzických osob lze zhodnocovat mnoha způsoby. Doložení, že se tak děje kvalifikovaně, by mělo patřit ke kultuře správy věcí veřejných i soukromých.

Odpověď na otázku, jak velké mají být zdroje použité na údržbu, je jednoduchá. Spravuje-li obec nebo fyzická osoba majetek (území), jehož hodnota je 1 000 mil. Kč, a jeho životnost má skladbu např. podle *tab. 1*, pak hrubým odhadem činí jeho roční spotřeba 39,7 mil. Kč.

Tab. 1. Životnost objektu

Majetek	Životnost [roky]	Hodnota	Roční spotřeba
		[mil. Kč]	
funkční části životnosti:	10	200	20,00
– krátkodobé (technická zařízení apod.)	30	500	16,67
– střednědobé (mosty, komunikace, byty apod.)			
– dlouhodobé (konstrukční části mostů, komunikací, bytů apod.)	100	300	3,00
<b>celkem (průměrná životnost, hodnota, spotřeba)</b>	<b>47,00</b>	<b>1000</b>	<b>9,67</b>

<sup>1)</sup> akcí, iniciativ, ale i doporučením k daňovým opatřením (např. dani z nemovitostí)

<sup>2)</sup> United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro (1992)

<sup>3)</sup> First European Sustainable Cities and Towns Conference

<sup>4)</sup> další regionální konference se konaly v Turku (1998), Sofii (1998), Seville (1999), Haagu (1999) a Torinu (2000)

Velmi rychle zjistíme, že uvedený majetek se nedá provozovat (užívat), jestliže jeho opotřebení klesne pod určitou hranici<sup>5)</sup>, např. 50 % jeho výchozího stavu (technické provozní a bezpečnostní požadavky, tržní mechanismus nabídky a poptávky apod.). Potřeba nahrazení ročního opotřebení<sup>6)</sup> tak může stoupnout až na dvojnásobek (cca 80 mil. Kč<sup>7)</sup>.

Stanovením prostředků na údržbu, obnovu<sup>8)</sup> dostává správa majetku konkrétní formu. Udržitelnost nabývá konkrétních forem. Základní myšlenka může být jednoduše ilustrována na příkladu stavebního objektu. Vztahy, které lze v mikroúrovni ilustrovat na stavebním objektu, platí v souhrnu i v makroúrovni obce, města nebo územního celku.

### Údržba a obnova stavebního objektu – Business Plan

Předpokládáme, že vlastník při údržbě a obnově svěřeného stavebního objektu diferencuje údržbu společných ploch a konstrukcí a individuálně užívaných ploch a konstrukcí. Výpočet prognózy **kumulovaných nákladů** na údržbu společných prostor a konstrukcí představuje významnou informaci o **ekonomické udržitelnosti objektu**. Obdobně lze postupovat i při stanovení ekonomické udržitelnosti městských částí, průmyslových zón, revitalizačních projektů apod.

Pro ilustrační výpočet budeme předpokládat, že objekt se skládá z dílčích funkčních prvků, které mají být udržovány a obnovovány z prostředků vlastníka. Jsou jimi zejména plášť objektu a společné prostory (včetně schodišť, kotelen, sušáren apod.). Členění funkčních prvků pro zvolený objekt příkladu je uvedeno v *tab. 2*.

Tab. 2. Členění funkčních prvků pro zvolený objekt

Funkční prvek	Doba užívání [roky]						
	1	5	10	15	20	25	30
fasáda							
okna							
dveře a zárubně							
schodiště							
vertikální rozvody (voda, plyn)							
společné prostory							

Pro jednotlivé funkční prvky objektu jsou navrženy cykly údržby v rocích a náklad na údržbu je vyjádřen v procentu z pořizovací hodnoty (aktuální pořizovací hodnoty)<sup>9)</sup>. Cykly a procenta údržby jsou uvedeny v *tab. 3*.

Tab. 3. Cykly a hodnota údržby

Funkční prvek	Pořízení [tis. Kč]	Údržba		Životnost prvku [roky]
		cyklus	[%]	
fasáda	400	10	10	25
okna	200	10	5	25
dveře a zárubně	100	5	3	25
schodiště	150	5	10	30
vertikální rozvody (voda, plyn)	175	5	6	30
společné prostory	100	5	20	30
<b>celkem</b>	<b>1 125</b>	–	–	–

Je třeba uvést, že cykly údržby i procenta k nim uvedená závisí na tom, jaký uživatelský standard má být vytvořen. V tomto ohledu je každý stavební objekt více než individuální. Byl navržen s jinou architektonickou, konstrukční a realizační erudicí. Kvalitní provedení a kvalitní architektonická a konstrukční řešení prodlužují cykly obnovy a snižují náročnost údržby. Individualita stavebního objektu se projevuje nejen při zpracování jeho technické dokumentace a jeho realizaci, ale i při jeho užívání. Rozvrh údržby a obnovy, zejména pak jejich skloubení, je znázorněno v *tab. 4*. Jednotlivé cykly údržby a obnovy se mohou vzájemně prolínat. Věcné technické znalosti jsou proto žádoucí<sup>10)</sup>.

Propočtení s finančními údaji uvádí *tab. 5*. Ke každé tabulce je doplněn součet potřeb finančních prostředků v jednotlivých letech a součtové čáry finančních potřeb pro prvních třicet let užívání. V předpokladech rozvrhu nákladů na údržbu byla zvolena pouze ta část konstrukcí a ploch objektu, která se týká společného užívání. Nebylo zahrnuto vybavení bytů a individuálně užívaných ploch. Uvedená situace odpovídá skutečnosti u většiny bytů dlouhodobě pronajímaných nebo předaných do trvalého užívání vlastníky bytů v obecních či družstevních bytových objektech.

Pro potřebu ilustrace výnosů z pronajatých ploch objektu je uvedena *tab. 6*. Jsou z ní patrné příjmy pro potřebu údržby a obnovy objektu. Nezahrnuje provozní náklady, z nichž jsou hrazeny poruchy a poškození vzniklá při provozu objektu v běžném roce. U údržby a obnovy je tomu zcela jinak. Využívá část nájemného adresně pro potřeby údržby a obnovy. Prostředky na údržbu se kumulují v rámci jednotlivých cyklů údržby (běžně 5 až 10 let). Obnova se kumuluje často i několik desetiletí (viz uvedený příklad). Z hlediska financování údržby a obnovy vzniká finanční efekt dlouhodobého uložení finančních prostředků.

Nebudeme pro transparentnost příkladu zavádět úročení kumulovaných výnosů ani index růstu cen stavebních prací a služeb. Předpokládáme, že se oba trendy v průběhu zvoleného období vyrovnávají. Pro doplnění si však uvedme typickou situaci mnoha objektů, a to odstranění zanedbané údržby a obnovy. Podle *obrázku 1* je v prvním roce užívání vynaložena částka 4 000 tis. Kč na odstranění závad vzniklých zanedbáním údržby objektu. Výnosy z objektu s navrženým programem údržby stačí na to, aby uvedená částka byla splacena v průběhu deseti až patnácti let. Stanovení rozsahu obnovy objektu je záležitostí vlastníka. Je vhodné propočítat ekonomickou udržitelnost zadaného rozsahu zanedbané údržby a obnovy pomocí samostatné studie proveditelnosti. Není správné revitalizovat stavební objekt bez stanovení ekonomického limitu, do jehož výše ještě lze náklady na obnovu objektu akceptovat. Ve výpočtu podle *tab. 5* jde o stanovení (maximální) částky, kterou lze akceptovat pro vložení do součtů v prvním (výchozím) roce.

Situace propočtená v *tab. 5* a graficky znázorněná na *obr. 1* platí zcela pro údržbu a obnovu. Bylo by nesprávné do této úvahy zahrnovat úvahy o ceně pozemku. Renta tohoto druhu patří do kategorie běžných ročních nákladů, popř. výnosů. Ve většině případů však jde o případy, kdy cena pozemku je relativně zanedbatelná (např. nejde o exponovanou polohu družstevních objektů na pozemcích zvýhodněných státem, ale o vysokopodlažní objekty se zanedbatelným podílem

<sup>5)</sup> Dosavadní legislativní opatření stanovovala minimální (nepřekročitelné) hodnoty při oceňování nemovitostí, např. rodinného domku, max. 80 %. Současná vyhláška č. 279/1997 Sb. doporučuje analytický postup (členění do jednotlivých funkčních dílů, viz *tab. 4* a *tab. 5*).

<sup>6)</sup> fyzické, morální

<sup>7)</sup> Přesné stanovení částky z makroekonomické úvahy není možné, zde je patrně hlavním důvod, proč je třeba přikročit k podrobnějším výpočtům.

<sup>8)</sup> Vedle těchto prostředků je nezbytné disponovat zdroji na provoz (tj. na běžné provozní opravy a poruchy, které nemají charakter plánované cyklické údržby a obnovy).

<sup>9)</sup> reprodukční hodnoty

<sup>10)</sup> Účelně vypouštíme nebo redukuje údržbu tam, kde se ve stejném (popř. bezprostředně následném) období provádí obnova.

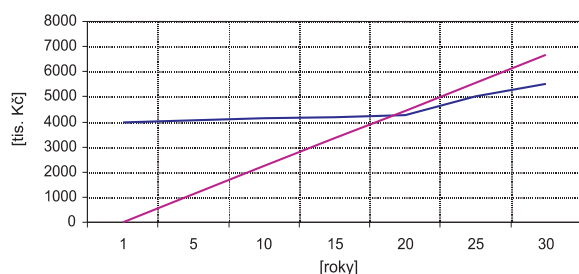
Tab. 4. Rozvrh údržby a obnovy v období 30 let

Funkční prvek	Doba užívání [roky]						
	1	5	10	15	20	25	30
fasáda							
okna							
dveře a zárubně							
schodiště							
vertikální rozvody (voda, plyn)							
společné prostory							
<b>údržba</b>							
Funkční prvek	Doba užívání [roky]						
	1	5	10	15	20	25	30
fasáda							
okna							
dveře a zárubně							
schodiště							
vertikální rozvody (voda, plyn)							
společné prostory							
<b>obnova</b>							
Funkční prvek	Doba užívání [roky]						
	1	5	10	15	20	25	30
fasáda							
okna							
dveře a zárubně							
schodiště							
vertikální rozvody (voda, plyn)							
společné prostory							
<b>údržba</b>		<b>obnova</b>			<b>údržba + obnova</b>		

Tab. 5. Výpočet s finančními údaji

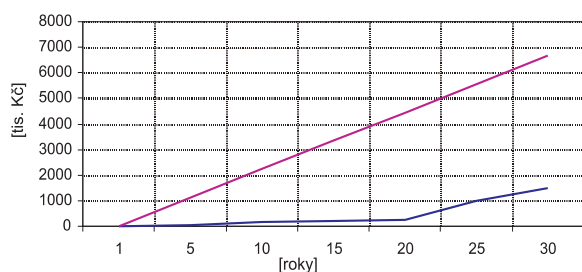
Údržba	Pořízení [tis. Kč]	Údržba		Životnost prvku [roky]	Doba užívání [roky]							
		cyklus	[%]		1	5	10	15	20	25	30	
fasáda	400	10	10	25			40		20			40
okna	200	10	5	25			10		5			10
dveře a zárubně	100	5	3	25			3	3	3	1,5		3
schodiště	150	5	10	30			15	15	15	15	15	
vertikální rozvody (voda, plyn)	175	5	6	30			10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
společné prostory	100	5	20	30			20	20	20	20	20	
<b>celkem</b>	<b>1 125</b>				<b>0</b>	<b>48,5</b>	<b>98,5</b>	<b>48,5</b>	<b>72</b>	<b>45,5</b>	<b>63,5</b>	<b>63,5</b>
					<b>0</b>	<b>48,5</b>	<b>147</b>	<b>195,5</b>	<b>267,5</b>	<b>313</b>	<b>376,5</b>	<b>376,5</b>
Obnova	Pořízení [tis. Kč]	Údržba		Životnost prvku [roky]	Doba užívání [roky]							
		cyklus	[%]		1	5	10	15	20	25	30	
fasáda	400	10	10	25							400	
okna	200	10	5	25							200	
dveře a zárubně	100	5	3	25							100	
schodiště	150	5	10	30								150
vertikální rozvody (voda, plyn)	175	5	6	30								175
společné prostory	100	5	20	30								100
<b>celkem</b>	<b>1 125</b>				<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>700</b>	<b>425</b>
					<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>700</b>	<b>1125</b>
Údržba + obnova	Pořízení [tis. Kč]	Údržba		Životnost prvku [roky]	Doba užívání [roky]							
		cyklus	[%]		1	5	10	15	20	25	30	
fasáda	400	10	10	25			40		20		400	40
okna	200	10	5	25			10		5		200	10
dveře a zárubně	100	5	3	25			3	3	3	1,5	100	3
schodiště	150	5	10	30			15	15	15	15	150	
vertikální rozvody (voda, plyn)	175	5	6	30			10,5	10,5	10,5	10,5	185,5	
společné prostory	100	5	20	30			20	20	20	20	100	
<b>celkem</b>	<b>1 125</b>				<b>0</b>	<b>48,5</b>	<b>98,5</b>	<b>48,5</b>	<b>72</b>	<b>745,5</b>	<b>488,5</b>	<b>488,5</b>
					<b>0</b>	<b>48,5</b>	<b>147</b>	<b>195,5</b>	<b>267,5</b>	<b>1013</b>	<b>1501,5</b>	<b>1501,5</b>





Obr. 1. Součtová čára nákladů (na údržbu a obnovu) a výnosů za 30 let užívání (stálé ceny)

úhrad za cenu pozemku. V mnoha případech bude nutné vzdát se uvedeného podílu, má-li být objekt vůbec majetkově zachráněn. Špatně stanovené vstupní zadání na rozsah obnovy objektu (staré objekty) nebo na maximální náklady na pořízení nového objektu má vážné ekonomické důsledky ve lhůtě splacení takových vstupních investic. Důsledkem je finanční neschopnost realizovat řádnou údržbu a obnovu v průběhu užívání. Nesprávné je také pomínout zanedbanou údržbu a s objektem pracovat jako se zdravým objektem. Takovou situaci znázorňuje obr. 2. Dlouhodobě nelze počítat s udržitelností příjmů z pronájmu uvedených v tab. 6.



Obr. 2. Objekt bez odstranění zanedbané údržby

Tab. 6. Rozpis údržby a obnovy v nájemném

Nájemné	Výnos [Kč]		Doba užívání [roky]							
	měsíčně	ročně	1	5	10	15	20	25	30	
Novák I.	0,25	3	0	15	15	15	15	15	15	
Neuman J.	0,6	7,2	0	36	36	36	36	36	36	
Norbert K.	0,3	3,6	0	18	18	18	18	18	18	
Nosek L.	0,4	4,8	0	24	24	24	24	24	24	
obchod	17	204	0	1 020	1 020	1 020	1 020	1 020	1 020	
celkem	18,55	222,6	0	1 113	1 113	1 113	1 113	1 113	1 113	
kumulovaný výnos celkem			0	1 113	2 226	3 339	4 452	5 565	6 678	

## Závěr

Existuje mnoho strategií, jak maximalizovat výsledný efekt z hospodaření se svěřenými nemovitostmi a z nich plynoucích hodnot. Existuje snaha o maximalizaci užítka u uživatelů a výsledných ekonomických efektů u vlastníků. Aplikovaná rozhodovací kritéria preferují různým způsobem dlouhodobé, střednědobé nebo dlouhodobé záměry. Ve všech případech však je nezbytné zhodnotit výchozí stav svěřeného majetku a jeho technickoekonomické vyhlídky do budoucnosti. Propočty analytického typu, jak je článek uvádí, napomáhají kvantifikovat a standardizovat celý přístup.

Příspěvek vznikl jako dílčí část výzkumného záměru MSM: 210000006 "Management udržitelného rozvoje životního cyklu staveb, stavebních podniků a území", financovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy ČR.

## Literatura

- [1] Kupilík, V.: Závady a životnost staveb. Praha, Grada 1999.
- [2] Beran, V. – Dlask, P.: Revitalizace. ČVUT Praha / COST ČR, 1997.
- [3] Winter, Z.: Dějiny řemesel a obchodu v Čechách v XVI. století. Praha, Česká akademie císaře Františka Josefa pro vědy, slovesnost a umění 1906.
- [4] Beran, V.: Problematika bytové politiky – prognóza potřeby bytové výstavby v ČR. Praha, Národní informační centrum ČR 1995.
- [5] Beran, V.: Trh bytů – peníze vložené do jistoty. Ekonom 39, 1995, č. 41, s. 25 – 26.
- [6] Beran, V. – Macek, D.: Programové vybavení Balance Sensitivity. Praha, 1998,
- [7] Beran, V. – Macek, D.: Programové vybavení Simulations. Praha, 1999.
- [8] Anton, P. – Goller, S.: Byty a bytové domy – provoz, údržba a opravy. Průvodce pro majitele, provozovatele a uživatele. Praha, Svoboda 2000, 120 s.
- [9] Kupilík, V.: Modernizace bytového fondu. Eurostav 1, 1995, č. 1, s. 4 – 7.
- [10] Kupilík, V.: Poruchy plochých střech III. Stavba 6, 1999, č. 2, s. 22 – 28.
- [11] Beran, V.: Beispiel für dynamisches Entwurfsmanagement der Live-Cycle für ein Hotelgebäude. [RP] : Příklad pro dynamický management návrhu nákladů životního cyklu pro objekt hotelu. Bauplanung und Bautechnik 26, 1991, No. 8, pp. 363 – 367.
- [12] <http://vvvs.cvut.cz/pub/>

## Beran, V.: Protection of Assigned Regions and Their Buildings

The building substance of apartment buildings in the Czech Republic is estimated by the Czech Statistical Office to be 5 025.6 milliard Kč (not including the built-up land). This value has been created by entire generations. For its mere maintenance, 1/100 to 2/100 of the above amount would be needed yearly. In order to improve the age structure and useful properties of the buildings, the amount would have to be multiplied. If the current building substance of apartment buildings only is to be improved during the life of a single generation (i.e. approximately 20 years), an enormous bulk of new construction works and building structures will be required. The public is not prepared for this step, however. It means that productive generations will have to change their expense structure. The consumer basket of a Czech citizen of the productive age will have to look more like that of an EU citizen, who spends a much greater part of his consumer expenses on housing.

## Beran, V.: Pflege eines anvertrauten Gebiets und seiner Objekte

Die Bausubstanz von Wohnhäusern in der ČR wird durch das Statistische Amt der ČR auf 5025,6 Milliarden

Kč (ohne Grundstücke) geschätzt. Es handelt sich um einen Wert, der durch Generationen geschaffen worden ist. Nur für die bloße Unterhaltung würde man jährlich eine Summe benötigen, die 1/100 bis 2/100 des genannten Wertes beträgt. Für die Aufbesserung der Altersstruktur und der Nutzungseigenschaften wäre die Summe um ein Mehrfaches zu erhöhen. Wenn wir die bestehende Bausubstanz nur der Wohnhäuser selbst während einer Generation (~ 20 Jahre) verbessern wollen, handelt es sich um einen enormen Bedarf an Bauleistungen. Die Öffentlichkeit ist auf so einen Schritt nicht vorbereitet. Das bedeutet, dass die produktiven Generationen in Zukunft die Struktur ihrer Ausgaben verändern müssen. Der Verbrauchskorb eines Bürgers der ČR im produktiven Alter wird sich dem Verbrauchskorb eines Bürgers der EU-Länder annähern müssen, der vielfach über die Hälfte der privaten Haushaltsausgaben für Wohnen und Unterbringung ausbildet.

## • dizertace



### **Kontaktní problémy kompozitních materiálů**

*Ing. Martin Válek*

Dizertace je zaměřena na studium kontaktních problémů na rozhraní vlákna a matrice a jejich řešení pomocí Uzawova algoritmu. Byl vypracován aparát umožňující lokální homogenizaci se zahrnutím nepružných efektů včetně odtržení vláknů od matrice. Práce je aplikována na problémy klasických kompozitů i zemin.

### **Analýza konfliktů při integraci systémů**

*Ing. Marek Kalika*

Práce se zabývá požadavkem praxe projektování systémů. Účinně kombinuje metody a přístupy soft a hard. Identifikují se tři základní typy úloh a u dvou je navržen algoritmus řešení. Výsledky jsou aplikovatelné zejména na ekonomické a sociální systémy.

## • zprávy

### **Palác Flora**

Moderní palác v centru města se stává evropským tématem. Jako historický archetyp sloužil městský palác jako administrativní a obytné místo zároveň. Dnes se využívá k nejrůznějším veřejným účelům. Podobně jako v Paříži nebo v Londýně se i pražské paláce změnilly v nákupní centra a tvoří teď specifickou část města. Jsou považovány za jedinečný typ budov. Již počátkem 20. století se v pražských palácích objevovaly první obchody, kanceláře, různé služby, zábavní centra, kina, taneční sály a nahrávací studia.

V Praze má tento typ stavby již tradici. Češi ho považují za místo, kde kvalitně nakoupí, pobaví se a najdou mnohé jiné zajímavosti. Pražské moderní paláce, jako Dunaj, Atlas, Lucerna, nebo paláce na Vinohradech, jako Radiopalác, Maceška a další, byly významnými centry po celá desetiletí.

V Paláci Flora se tým návrhářů zaměřil na moderní pražský palác odrážející současný způsob života, nakupování, zábavy a moderních trendů jako takových, a tím vytvořil paradigma nynějšího a snad i budoucího městského života. Projekt se nachází na strategicky významném místě, téměř v centru města, a je obklopen spoustou zajímavých obytných budov. Samotný palác se nachází přímo nad stanicí metra.

Budova sestává z podzemní garáže a čtyř pater nákupních ploch s multikinem. Ve třetím a čtvrtém patře budou na ploše 80 tis. m<sup>2</sup> kanceláře typu A. Je členěna do několika křídel tak, aby ladila s okolními budovami, a zároveň aby sloužila danému účelu a poskytla dostatečné soukromí všem, kteří budou v budově sídlit.

Park s javory, lavičkami a kašnami má sloužit k relaxaci. Veškerá zeleň na střechách a podél budovy má zapadat do konceptu zeleně v parku kolem Olšanských hřbitovů. Zeleň má být nedílnou součástí komplexu, a tím vyzvednout jméno této pražské čtvrti, tedy Flory.

Jako materiál pro stavbu bude sloužit sklo, matné sklo a český pískovec. Fasády budovy budou kombinací skleněné a kamenné závěsové stěny v přírodních barvách.

Hlavní krytý vchod do budovy bude z Vinohradské třídy, vstup umožní i dva podzemní vchody z vestibulu metra. Jakmile návštěvník vstoupí do budovy, nepřehlédne vchod do nákupního centra. Prostor bude rozjasněn světlíky a obchody budou umístěny po obou stranách hlavní pasáže centra, která povede až k oválu s jezdícími schody, vedoucími do dalších pater, v nichž návštěvníci naleznou nejrůznější zábavní aktivity.

Centrum jako takové bude vypadat trochu jako skleněný

dóm. Právě díky tomuto architektonickému řešení bude orientace poměrně jednoduchá. Ve druhém patře jsou umístěny restaurace a stánky s rychlým občerstvením. Bude zde i vchod do multikina.

Palác Flora je unikátní multifunkční projekt společnosti AFRICA-ISRAEL INVESTMENTS. Generálním dodavatelem stavby je společnost Metrostav. Dokončení obchodního centra je plánováno na konec roku 2002, administrativní část bude dokončena v červnu 2003.



## Standardní procedury jako neopomenutelný nástroj v řízení stavebního podniku

Ing. Aleš TOMEK, CSc.  
 ČVUT – Fakulta stavební  
 Praha

Obecně nízká účinnost podnikových organizačních norem je překážkou uplatnění stejnorodé úrovně řídicích činností v celém stavebním podniku – tuto skutečnost posiluje značná prostorová rozptýlenost stavebních jednotek a jejich přirozeně decentralizované fungování. K řešení tohoto problému se navrhuje široké zavedení standardních rozhodovacích procedur a postupů ve formě kontrolních seznamů (checklistů), které zaručí snížení rizika z nekomplexního rozhodování jak v úrovni podniku, tak jednotlivých projektů (staveb). Takovéto procedury umožňují lepší informovanost jednotlivých řídicích stupňů a zaručují respektování často draze získaných zkušeností z minulého fungování firmy.

### Pojetí stavebního podniku a decentralizace rozhodování

Velké stavební firmy, obdobně jako velké průmyslové podniky, často produkují složité finální výrobky – stavby, charakterizované mimořádnými nároky na koordinaci velkého množství řízených subjektů, zejména z hlediska časové posloupnosti a dodržení technologických návazností. Při usměrňování jednotlivých dílčích zakázek, tj. staveb, vznikají, vzhledem k prostorové vzdálenosti od řídicího centra podniku, značné problémy. Z hlediska rozsahu, času reakce podřízených subjektů a typu přijímaných řešení ve stavebnictví jsou vcelku nesrovnatelné s jinými odvětvími.

Stavební podnik je, na rozdíl od tradiční organizační struktury průmyslového podniku, možné popsat jako **souhrn jednotlivých, vcelku autonomních zakázek – staveb, a je obsluhující a jim sloužící řídicí nadstavby**. Většina přijímaných rozhodnutí musí být z výše uvedených důvodů flexibility řízení realizována na nižších úrovních, tj. na úrovni divize nebo spíše přímo v úrovni projektového manažera dané stavby. Takto pojímaný systém řízení je charakterizován značnou **decentralizací rozhodování**. Navíc je zde vždy značné riziko spjaté s novostí a individualitou každé stavby – tato situace musí být řešena delegováním mimořádných pravomocí na vedoucího projektu nebo stavbyvedoucího, umožňujících bez zbytečného otálení a konzultací s centrálou podniku většinu podnikatelských situací řešit.

Je zřejmé, že tato základní okolnost musí najít vyjádření i v organizační struktuře, tj. stanovit odpovídající postavení vedoucího projektu (projektového manažera) a jeho napojení na liniové štábní struktury nadřízené divize nebo závodu. Pro realizaci takto chápaného systému řízení je třeba disponovat kvalitním managementem, a to i v úrovni projektů – staveb. Takový management je pak nositelem podnikového know how, nabytého za dobu trvání podniku, a je jeho nejcennějším aktivem.

### Nutnost zavedení systému řízení rizika

Pro průměrný stavební podnik je charakteristická nízká kapitálová náročnost a relativně malá vybavenost investič-

ním majetkem, což umožňuje dosahovat i poměrně velkého obrátu při relativně malé kapitálové přiměřenosti, a tedy i malých finančních rezervách. Celková úroveň podnikového rizika je za těchto podmínek relativně vysoká. Při takové finanční pozici podniku je značně pravděpodobné, že několik, nebo dokonce i jen jedna zakázka, může zruinovat daný podnik. Řešením uvedených problémů je zavedení systému řízení rizika, jenž musí být, vzhledem ke specifitě stavebního podnikání, orientován na potřeby stavebního podniku. Takový systém je pro podnik významný tím, že poskytuje:

- vyšší uvědomění podnikových pracovníků v oblasti důsledků rizik;
- možnost zavedení propracovaného a standardního postupu v čelení riziku;
- předávání a sdílení informací o riziku mezi odpovědnými pracovníky;
- snížení výdajů spojených s rizikem na jednotlivých stávkách – projektech.

Je třeba říci, že systémy řízení pro rizikové situace jsou v podstatě vždy jen zrcadlovým obrazem "normálního" systému řízení. Je totiž možné uvažovat, že zatímco onen standardní systém řízení se zaměřuje na výběr a realizaci příležitostí nebo aktivit přinášejících podniku zisk z hlediska realizace výrobní nebo jiné podnikatelské činnosti, systém řízení rizika se naopak zaměřuje na vyhledávání příležitostí a situací, kdy podnik může utrpět ztrátu nebo zbytečné výdaje ve svém cash flow.

### Nedostatky ve využívání norem

Oba systémy, tj. systém podnikového řízení na úrovni vedení podniku nebo závodu a na úrovni staveb (projektů, zakázek) a systém řízení rizik (jde spíše o subsystém v rámci podnikového systému řízení), popisuje **podniková soustava organizačních norem** (příkazů, směrnic, pravidel apod.). Proti původní papírové podobě s rozdělovníky pro jednotlivé příjemce se nyní publikuje na vnitropodnikové počítačové síti (intranetu) s různými přístupovými právy. Hlavním nedostatkem takto realizovaného systému je malá přehlednost i úroveň procesních informací. Typickým znakem je pak neposkytování výčtu (seznamu) činností, které mají být bezpodmínečně zajištěny nebo provedeny pro realizaci ziskových příležitostí, popř. zamezení možným rizikům. Vynutitelnost dodržování osvědčených podnikových postupů, jež jsou součástí podnikové organizační kultury vyjádřené normami, je bez náročného kontrolního systému velmi nízká.

V této souvislosti je třeba zdůraznit, že nositelem podnikového know how, získaného v průběhu podnikatelské činnosti podniku, jsou jeho pracovníci všech úrovní. Jeho písemná i technická realizace je představována organizačními, ekonomickými, popř. technickými normami a postupy. Jejich plnění, např. sledováním v rámci podnikové informační soustavy na intranetu, lze kontrolovat pouze omezeně. Toto hledisko je zvláště významné v podnikovém systému založeném na značné decentralizaci a prostorové nebo dislokační vzdálenosti organizačních jednotek – staveb.

### Metody dosažení vyšší účinnosti

V odborné literatuře existuje řada metod, jak přenést zkušenosti vedoucích pracovníků získané v průběhu jednotlivých projektů (staveb) a podnikatelské činnosti stavební firmy stejně jako poznatky z porovnávání (benchmarkingu) okolních stavebních podniků. Tyto poznatky jsou v rámci podniku shromážděny v **operačním manuálu** (Operations Manual of Policies and Procedures). V podmínkách našich podniků jde o obdobnou normu – pravidla vnitropodnikového řízení, zpracovávaná v našem stavebnictví již od dvacátých let (Baťa – stavební oddělení, Konstruktiva). Mezi jednoduché, a tudíž snadno použitelné metody, patří:

- metoda kontrolních seznamů (checklist),
- metoda vývojových diagramů,
- metoda analýzy rozhodovacích stromů,
- metoda organizačních schémat.

Výhody i nedostatky těchto metody jsou vcelku známy.

**Metoda vývojových diagramů** umožňuje dobře identifikovat jednotlivé fáze rozhodování a řešit situace typu „*co se stane, když?*“ (objasnit předem pravděpodobné příčiny a důsledky daných situací včetně optimalizace vlivu na zisk či ztrátu firmy). Zřejmou nevýhodou je časová náročnost vyhodnocování jednotlivých případů. **Metoda analýzy rozhodovacích stromů** je použitelná zejména při vyhodnocování potenciálních rizik, je výborným nástrojem pro popis složitých struktur a jejich rizik. Je opět relativně pracná pro větší počet případů. **Metoda organizačních schémat** pomůže odhalit duplicity, neprovázanost činností a neuzavřenost stejně jako nepokrytí některých oblastí v rámci podnikové dělby práce (pravomoci a odpovědnosti). Z těchto charakteristik je zřejmé, že jde převážně o metody, které postihují jen část podnikových rozhodovacích situací.

### Metoda kontrolních seznamů (Operation Checklists)

Ve stavebnictví může najít maximální a vcelku univerzální použití, a to jak na úrovni rozhodovacích procesů podnikového centra, tak přímo při řízení jednotlivých etap stavební zakázky (v současném americkém stavebnictví našla maximální uplatnění). Princip spočívá ve vytvoření seznamu otázek, jejichž plnění se kontroluje v průběhu jednotlivých etap daného rozhodovacího (ekonomického, výrobního či jiného) procesu. Výběr otázek je výsledkem dobrých i špatných zkušeností ze závěrečného posuzování stavby – zakázky. Teprve po nalezení uspokojivých odpovědí je možné přijmout rozhodnutí či přikročit k akci.

Typickým příkladem je (i když z jiné oblasti) kontrolní seznamy pro přípravu letadla ke startu, prováděná povinně piloty podle kontrolního seznamu otázek a zaznamenávaná do palubních dokumentů. Teprve na základě stoprocentního výsledku mohou pokračovat ve startu. Obdobným příkladem je předložení nabídky na uzavření kontraktu, kterou ve stavební firmě vzhledem k ekonomické závažnosti většinou podepisuje generální ředitel podniku. Kontrolní seznam pak může obsahovat i více než sto otázek, které musí zodpovědět jednotliví vedoucí pracovníci. Stupeň splnění nemusí být jen na bázi ano/ne, může být vyznačen i stupeň jistoty (pravděpodobnost) naplnění dané podmínky. Odpovědní pracovníci ručí i do budoucna za to, že kontrakt dosáhne daných parametrů a že všechna vytipovaná rizika jsou smluvně, cenově, technicky i organizačně vyloučena, popř. omezena. Je přirozené, že výsledky kontroly podstatně ovlivní konečné rozhodnutí ředitele podniku jako jediné osoby

zmocněné k podpisu kontraktu. Obecně lze navrhnout čtyři typy kontrolních seznamů:

- **jednoduchý** (zaškrťovací) umožňuje kontrolu splnění nebo existence dané položky seznamu. Příkladem může být zjištění, zda bylo při tvorbě nabídky přihlédnuto ke geologickým podmínkám staveniště, ke klimatickým podmínkám, obecnému vybavení okolní infrastrukturou. Takový seznam však nedá odpověď na stupeň existujícího či latentního rizika;

- typu **ano / ne / akce**, což je seznam otázek, které umožňují odpověď ano/ne, popř. ukládají konkrétní postup, tj. akci. Jasná odpověď zajišťuje větší odpovědnost a závazek hodnotitele než pouhé odškrtnutí položky v seznamu, současně jej předem daná akce zavazuje k neprodlenému přijetí opatření, což svým podpisem potvrdí. Příkladem může být seznam pro vyhodnocení poddodavatelů zpracovávaný projektovým manažerem, který obsahuje otázky typu „*aplikuje poddodavatel systém kontroly jakosti?*“ (ano/ne), „*poskytuje poddodavatel řádné vstupy pro výpočet a aktualizaci časového plánu stavby?*“ (ano/ne) ... atd.;

- **popisný**, který klade otázky a poskytuje možné odpovědi, např. „*jsou plněna kritéria bezpečnosti práce při svářecích pracích poddodavatelů?*“ (občas/většinou/vždy), „*efektivnost nákupu materiálu*“ (dobrá / průměrná / malá);

- pro **provedení předem definovaných činností** definuje množinu činností v určité situaci. Jako příklad lze uvést typ zaškrťovací pro případ, že se podmínky staveniště liší od podmínek z nabídky a kontraktu:

- *prostudujte příslušná ustanovení smlouvy a postupujte podle ní;*
- *pošlete neprodleně psané oznámení investorovi a žádejte instrukce;*
- *pořiďte dokumentaci – zákres a fotografie.*

Metoda kontrolních seznamů by měla být použita v maximální míře na obou úrovních podnikového řízení, tj. jak na úrovni podnikového vedení, tak zejména na úrovni projektů – staveb. Vedení podniku (divize) může využívat kontrolní seznamy při přípravě strategických rozhodnutí, např. pro určení postavení firmy na trhu nebo stanovení schopností a jeho konkurenčních výhod. Podobné dokumenty je výhodné zpracovávat pravidelně a provádět následnou srovnávací (meziroční) analýzu. Mohou se stát určitým rozpracováním známých analýz typu **strengths and weaknesses**. Další vhodné aplikace mohou být v oblasti pravidelného personálního hodnocení pracovníků, následně snadno zpracovatelné výpočetní technikou. Dané hodnocení může být předem definováno např. takto: *vyhovuje své pozici / potřebuje zlepšit svůj výkon / přesahuje svými schopnostmi danou funkci / nelze hodnotit.*

V úrovni stavby (zakázky) je možné kontrolní seznamy hromadně používat ve všech etapách zakázky – od nabídky až po předání a závěrečné vypořádání stavby. Typické jsou seznamy pro předložení nabídky, pro řízení poddodavatelů, pro zamezení nejčastějších chyb řízení projektu, pro výběr ze skupiny poddodavatelů, pro zpracování smlouvy s poddodavatelem apod.

Velmi významnou částí souboru mohou být specializované kontrolní seznamy pro změny projektu, zpoždění nebo urychlení stavby, které mohou vést k častým arbitrážím či soudům.

Konkrétní aplikace metody kontrolních seznamů je velmi účinný, konzistentní a jednoduchý nástroj řízení, který umožňuje vyrovnat úroveň řízení na všech rozhodovacích místech a produkčních jednotkách. Její zavádění je výlučně

týmovou záležitostí, přičemž lze převzít některé zkušenosti, zejména z amerického stavebnictví, a aplikovat je na naše podmínky. V naší republice zatím neexistuje v žádném stavebním podniku ucelenější systém využívání kontrolních seznamů.

### Webové stránky projektu

Informačně vyspělé podniky provozují vnitropodnikovou síť (Corporate Intranet), která pomáhá překonávat hlavní problém decentralizovaného řízení stavební firmy, jímž je nedostatečná komunikace mezi jejími složkami, úrovněmi a útvary. Novinkou vnitropodnikových informačních systémů stavební firmy jsou **webové stránky projektu**. Obsahují informace specifické pro daný projekt ve všech jeho etapách. Jsou přístupné podle uživatelského oprávnění – přednostně zaměstnancům, výjimečně investorovi, dodavatelům nebo projektantům. Od původních se liší tím, že obsahují (kromě dříve uváděných fotografií a e-mailových adres) aktualizované časové plány, termíny porad týmu a řadu dalších komunikačních nástrojů (v americkém stavebnictví je to např. e-Builder firmy MP Interactive Corp., více informací a demo <http://www.e-builder.net>).

Jednou z aplikací pro vedení podniku, divize nebo projektu je sledování a pravidelné vyhodnocování předepsaných kontrolních seznamů, které vyplňují podřízené útvary. Metodou řízení podle odchylek se lze pak velmi snadno soustředit jen na problémové úseky, tzn. tam, kde software signalizuje větší podíl neurčitých či negativních odpovědí.

### Závěr

■ Přínosem uplatnění kontrolních seznamů ve stavební firmě je překonání často rozdílné úrovně a rozdílných přístupů ke zpracování základních dokumentů a postupů v základních rozhodovacích situacích pomocí standardních procedur. Tvoří základ podnikového operačního manuálu (tj. pravidel vnitropodnikového řízení či pravidel řízení projektů).

■ Značná neúčinnost ve využívání běžných organizačních norem (příkazů, směrnic, pravidel atp.), daná mimo jiné jejich obtížnou informační uchopitelností ze strany běžných podnikových pracovníků, je řešena vytvořením standardních procedur, jež jsou samy nosičem informačního obsahu podnikových norem a expertní zkušenosti podnikových manažerů.

■ Kontrolní seznamy představují rozumný a finančně nenáročný přístup k předávání informací mezi různými podnikovými úrovněmi, metoda umožňuje meziroční porovnávání úrovně rozhodování ve vazbě na hospodářské výsledky firmy, podmínkou je kompletní nasazení ve všech útvarech podniku.

■ Metoda se vyznačuje značnou pružností ke změnám, neboť většina kontrolních seznamů je pro uživatele přístupná na vnitropodnikové síti (intranetu) a webových stránkách projektu. Tato skutečnost rovněž zakládá možnost centrální kontroly využívání seznamů a sledování jednotlivých rozhodovacích procesů na konkrétních pracovištích a stavbách.

■ Zaváděné standardní procedury zajišťují komplexní přístup k problémům na všech úrovních, veškeré dříve získané zkušenosti z neúspěšných projektů či ekonomického řízení v úrovni firmy se ihned promítnou do standardních postupů a stanou se součástí know how a podnikové kultury.

■ Kontrolní seznamy tvoří užitečný základ dokumentace systému řízení kvality, systému řízení rizik stejně jako řízení průběhu projektů (zakázek) z hlediska všech fází jejich přípravy, realizace a vypořádání.

### Literatura

- [1] Hillebrandt, P. – Cannon, J.: The Management of Construction Firms. London, Macmillan 1992.
- [2] Flanagan, R. – Norman, G.: Risk Management and Construction. Oxford, Blackwell Science 1997.
- [3] Edwards, L.: Practical Risk Management in the Construction Industry. London, Telford Publications 1995.
- [4] Levy, S.: Project Management in Construction. New York, McGrawHill 2000.
- [5] Civitello, M.: Construction Operations Manual of Policies and Procedures. New York, McGrawHill 2000.

### Tomek, A.: Standard Procedures As an Essential Tool in Management of Construction Companies

**The generally low effectiveness of company organization standards hampers implementation of a homogeneous level of management activities in the entire construction firm. A considerable spatial dispersion of construction units and their naturally decentralized functioning makes this fact even worse. For the solution of this problem, introduction of standard decision making procedures in the format of checklists is suggested. The checklists will guarantee the reduction of risks resulting from non-complex decision making on the company as well as project levels. Such procedures will enable to improve the quality of informing of all management levels and ensure that experience gained during the past operation of the firm and dearly paid for will be respected.**

### Tomek, A.: Standardprozeduren als ein unerlässliches Instrument bei der Leitung eines Unternehmens

**Die allgemein geringe Wirksamkeit von unternehmensinternen Organisationsnormen ist ein Hindernis für die Geltendmachung eines gleichartigen Niveaus der Leitungstätigkeiten im gesamten Bauunternehmen. Dieser Sachverhalt wird durch die erhebliche räumliche Streuung der Baukapazitäten und deren natürlicherweise dezentralisiertes Funktionieren verstärkt. Zur Lösung dieses Problems wird die breite Einführung standardisierter Entscheidungsprozeduren und -verfahren in Form von Pflichtenheften vorgeschlagen, welche die Reduzierung der Risiken infolge nicht komplexer Entscheidungstätigkeit sowohl auf Unternehmensebene, als auch auf der Ebene einzelner Projekte (Bauvorhaben) garantieren. Derartige Prozeduren gewähren eine bessere Informiertheit der einzelnen Leitungsebenen und garantieren die Berücksichtigung von oft teuer erworbenen Erfahrungen aus dem Betrieb der Firma in der Vergangenheit.**

# Konvexní mnohostěny ve vyrovnání prostorových sítí

doc. RNDr. Milada KOČANDRLOVÁ, CSc.  
 ČVUT – Fakulta stavební  
 Praha

V příspěvku je provedena klasifikace konvexních obalů (konvexních mnohostěňů) pětičky a šestičky bodů v  $E_3$  podle počtu simplexů (čtyřstěňů), na které lze jejich konvexní obal rozložit.

## 1. Úvod

Nejdříve připomeneme některé základní pojmy z teorie konvexních množin a konvexních mnohostěňů, které budeme dále používat.

## 2. Konvexní obal konečné množiny bodů v $E_3$

Konvexním obalem množiny bodů  $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$  z  $E_3$  rozumíme průnik  $K(A_1, A_2, \dots, A_n)$  všech konvexních množin, které tyto body obsahují. Tento obal nazýváme konvexním mnohostěňem. Bod  $X$  je vrcholem mnohostěně  $M$ , jestliže existuje opěrná rovina množiny  $M$  tak, že její průnik s mnohostěňem  $M$  je právě bod  $X$ .

Konvexní množina  $M$  je  $k$ -rozměrná, jestliže existuje podprostor  $E_k$  prostoru  $E_3$  takový, že  $M$  je podmnožinou množiny  $E_k$  a není podmnožinou prostoru dimenze  $k - 1$ . Dvojrůzná podmnožina konvexního mnohostěně  $M$ , která leží v opěrné rovině mnohostěně  $M$ , se nazývá stěna. Jednorozměrné stěny se nazývají hrany.

Spojnicí dvou vrcholů mnohostěně, která není jeho hranou, nazýváme vnitřní hranou mnohostěně. Tedy vnitřní hrana je taková spojnice dvou vrcholů, na které leží aspoň jeden vnitřní bod mnohostěně.

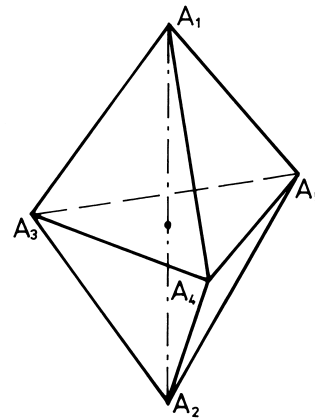
## 3. Konvexní obal pětičky bodů v $E_3$

Pětička bodů  $\{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5\}$  z  $E_3$  je zřejmě lineárně závislá. Existuje tudíž nenulová pětička  $(a_1, a_2, a_3, a_4, a_5)$  reálných čísel taková, že  $a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 = 0$  a  $a_1A_1 + a_2A_2 + a_3A_3 + a_4A_4 + a_5A_5 = 0$ . Můžeme předpokládat, že počet záporných koeficientů z  $a_i$ ,  $i = 1, \dots, 5$ , je menší nebo roven počtu koeficientů kladných. Potom pětička daných bodů je typu:

- 0, jestliže všech pět bodů leží v jedné rovině;
- 1, jestliže její konvexní obal je jeden simplex;
- 2, jestliže její konvexní obal tvoří dva simplexu se společnou stěnou.

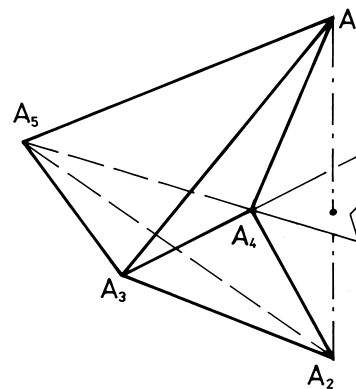
Typ 0 jsme vyloučili a typ 1 je triviální. Konvexní obaly bodů typu 2 dále můžeme rozdělit do tří tříd podle polohy průsečíku vnitřní hrany a společné stěny obou simplexů. Vnitřní hranu označíme  $A_1A_2$ , pak pro třídy  $P1$ ,  $P2$ ,  $P3$  platí:

■  $P1$  – průsečík vnitřní hrany  $A_1A_2$  s rovinou  $A_3A_4A_5$  je vnitřním bodem trojúhelníku  $A_3A_4A_5$ . Potom konvexní obal  $K(A_1A_2A_3A_4A_5)$  je sjednocením tří simplexů  $A_1A_2A_3A_4$ ,  $A_1A_2A_4A_5$ ,  $A_1A_2A_3A_5$  se společnou hranou  $A_1A_2$ .



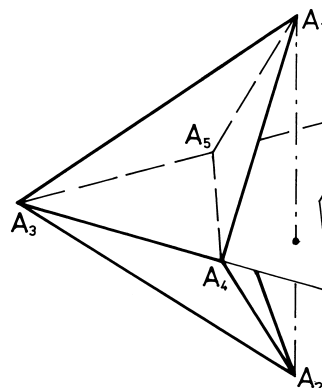
Obr. P1

■  $P2$  – průsečík vnitřní hrany  $A_1A_2$  s rovinou  $A_3A_4A_5$  je ve vrcholovém úhlu k úhlu  $A_3A_4A_5$ , resp.  $A_4A_3A_5$ , resp.  $A_4A_5A_3$ . Potom konvexní obal  $K(A_1A_2A_3A_4A_5)$  je simplex  $A_1A_2A_3A_5$ , resp.  $A_1A_2A_4A_5$ , resp.  $A_1A_2A_3A_4$ , který lze určit jako sjednocení čtyř simplexů  $A_1A_2A_4A_5$ ,  $A_1A_3A_4A_5$ ,  $A_2A_3A_4A_5$ ,  $A_1A_2A_3A_4$  (analogicky pro zbývající dva případy).



Obr. P2

■  $P3$  – průsečík vnitřní hrany  $A_1A_2$  s rovinou  $A_3A_4A_5$  je v úhlu  $A_4A_3A_5$ , resp.  $A_4A_5A_3$ , resp.  $A_3A_4A_5$ , vně trojúhelníku  $A_4A_3A_5$ . Potom konvexní obal  $K(A_1A_2A_3A_4A_5)$  tvoří dva simplexu  $A_1A_2A_3A_5$  a  $A_1A_2A_3A_4$  nebo tři simplexu  $A_1A_3A_4A_5$ ,  $A_2A_3A_4A_5$ ,  $A_1A_2A_4A_5$  (analogicky pro zbývající dva případy).



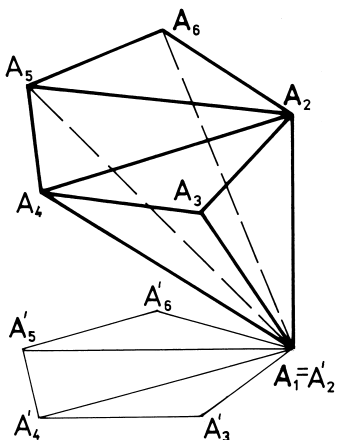
Obr. P3

#### 4. Konvexní obal šestice bodů v $E_3$

Jestliže je konvexní obal šestice bodů  $\{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6\}$  v  $E_3$  konvexním mnohostěnem s vrcholy  $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6$ , potom existuje aspoň jedna jeho vnitřní hrana. Zřejmě jedním vrcholem procházejí nejvýše dvě vnitřní hrany. Podle počtu vnitřních hran můžeme tyto mnohostěny rozdělit do tříd:

- $T1$  – mnohostěny, jejichž aspoň jedním vrcholem procházejí dvě různé vnitřní hrany;
- $T2$  – mnohostěny, jejichž každým vrcholem prochází nejvýše jedna vnitřní hrana.

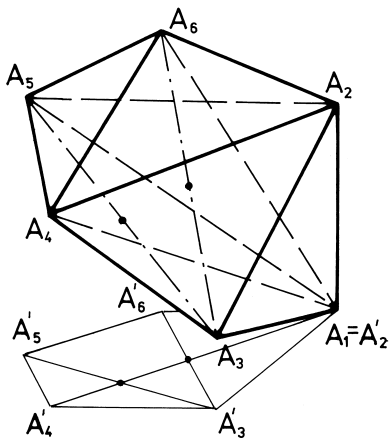
Mnohostěny třídy  $T1$  lze rozložit na tři simplexu se společnou hranou, např.  $A_1A_2$  tak, že vždy dva sousední mají společnou stěnu. To snadno nahlédneme, promítneme-li tento mnohostěn kolmo ve směru společné hrany  $A_1A_2$  do libovolné roviny. Průmětem mnohostěnu  $A_1A_2A_3A_4A_5A_6$  je pětúhelník  $A'_2A'_3A'_4A'_5A'_6$ . Dále vidíme, že vrcholem  $A_3$ , resp.  $A_6$ , mnohostěnu procházejí právě dvě vnitřní hrany  $A_3A_5, A_3A_6$ , resp.  $A_6A_3, A_6A_4$ , a že daný mnohostěn lze rozložit na tři simplexu  $A_1A_2A_3A_4, A_1A_2A_4A_5, A_1A_2A_5A_6$ .



Obr. T1

Mnohostěny třídy  $T1$  můžeme rozdělit do pěti (nikoli nutně disjunktních) podtříd:

$T1I$  – hrany  $A_3A_5, A_4A_6$  jsou mimoběžné a buď vnitřní hrany  $A_3A_6, A_3A_5$  protínají trojúhelník  $A_1A_2A_4$ , nebo vnitřní hrany  $A_3A_6, A_4A_6$  protínají trojúhelník  $A_1A_2A_5$ , ve vnitřních bodech trojúhelníku. Mnohostěny třídy  $T1I$  lze rozložit právě jedním způsobem na tři simplexu se společnou hranou  $A_1A_2$ , a to  $A_1A_2A_3A_4, A_1A_2A_4A_5, A_1A_2A_5A_6$ .

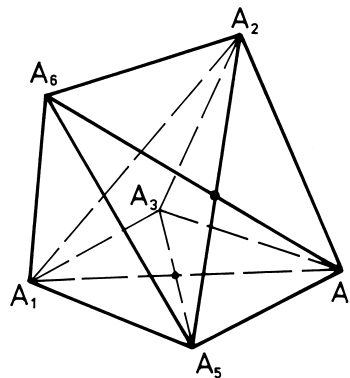


Obr. T1I

$T12$  – hrany  $A_3A_5, A_4A_6$  jsou různoběžné a rovina  $A_3A_4A_5A_6$  protíná hranu  $A_1A_2$  v jejím vnitřním bodě. Potom daný mnohostěn lze rozložit právě jedním způsobem na tři simplexu se společnou hranou  $A_1A_2$ , a to  $A_1A_2A_5A_6, A_1A_2A_4A_5, A_1A_2A_3A_4$ .

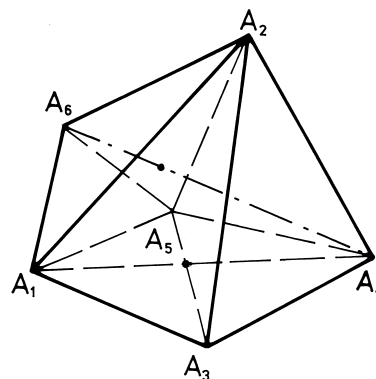
$T13$  – hrany  $A_3A_5, A_4A_6$  jsou různoběžné a v rovině  $A_3A_4A_5A_6$  leží jeden z krajních bodů hrany  $A_1A_2$ . Potom daný mnohostěn je pětibokým jehlanem s vrcholem  $A_1$  (nebo  $A_2$ ) a lze jej rozložit pěti různými způsoby na tři simplexu se společnou hranou  $A_1A_2$ , resp.  $A_1A_3$ , resp.  $A_1A_4$ , resp.  $A_1A_5$ , resp.  $A_1A_6$ .

$T14$  – hrany  $A_1A_4, A_3A_5$  i hrany  $A_2A_5, A_4A_6$  jsou různoběžné. Mnohostěn je tvořen čtyřbokým jehlanem  $A_2A_1A_5A_4A_3$ , k jehož jedné stěně ( $A_1A_2A_5$ ) je přidán simplex  $A_1A_5A_2A_6$ . Lze jej rozložit právě třemi různými způsoby na tři simplexu se společnou hranou  $A_1A_2$ , resp.  $A_2A_5$ , resp.  $A_1A_4$ , a to  $A_1A_2A_5A_6, A_1A_2A_4A_5, A_1A_2A_3A_4$ , resp.  $A_2A_5A_1A_6, A_2A_5A_1A_3, A_2A_5A_3A_4$ , resp.  $A_1A_4A_2A_6, A_1A_4A_2A_3, A_1A_4A_5A_6$ .



Obr. T14

$T15$  – hrany  $A_1A_4, A_3A_5$  jsou různoběžné a hrana  $A_4A_6$  protíná trojúhelník  $A_1A_2A_5$  v jeho vnitřním bodě. Mnohostěn je čtyřbokým jehlanem  $A_2A_1A_3A_4A_5$ , k jehož jedné stěně ( $A_1A_2A_5$ ) je přidán čtyřstěn  $A_1A_2A_5A_6$ . Pak jej můžeme rozložit právě dvěma způsoby na tři simplexu, a to se společnou hranou  $A_1A_2$  na  $A_1A_2A_5A_6, A_1A_2A_3A_4, A_1A_2A_4A_5$  a se společnou hranou  $A_2A_5$  na  $A_2A_5A_1A_6, A_2A_5A_3A_4, A_2A_5A_1A_3$ .



Obr. T15

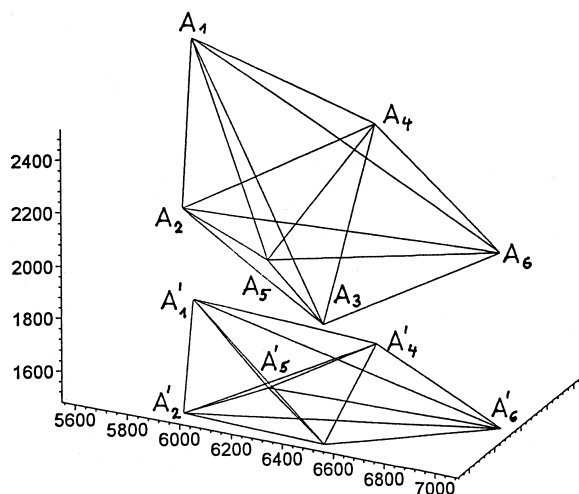
Každým vrcholem mnohostěnu třídy  $T2$  prochází nejvýše jedna vnitřní hrana (příkladem takového mnohostěnu je pravidelný osmistěn). Pak každý z takových mnohostěnu lze složit třemi různými způsoby ze čtyř simplexů se společnou hranou tak, že každé dva sousední mají společnou stěnu.

Mnohostěny třídy  $T2$  můžeme dále rodělit do čtyř podtříd, pro které platí:

- $T21$  – každé dvě ze tří vnitřních hran jsou mimoběžné;
- $T22$  – všechny tři vnitřní hrany se protínají v jediném bodě;
- $T23$  – existuje vnitřní hrana, která protíná zbývající dvě vnitřní hrany v různých bodech;
- $T24$  – dvě vnitřní hrany jsou různoběžné a třetí hrana je s nimi mimoběžná.

## 5. Příklad

Zadání je převzato z článku [2]. Uvažujeme šest bodů  $A_1, \dots, A_6$ , z nichž body  $A_3, A_5, A_6$  jsou pevné body trilaterální sítě. Souřadnice těchto bodů jsou známé a je třeba určit souřadnice zbývajících tří bodů, tj. devět údajů. Všechny šest bodů určuje patnáct vzdáleností, z nich tři jsou známé. Dvanáct vzdáleností je měřeno. Na vyrovnání případných chyb měření potřebujeme tedy tři podmínky. K jejich určení využijeme rozklad konvexního obalu  $K(A_1A_2A_3A_4A_5A_6)$ .



Podle obrázku patří mnohostěn do třídy  $T1$  a můžeme ho rozložit na sjednocení tří simplexů  $A_2A_5A_3A_6$ ,  $A_2A_5A_6A_4$ ,  $A_2A_5A_4A_1$  se společnou hranou  $A_2A_5$ , nebo  $A_5A_6A_1A_4$ ,  $A_5A_6A_1A_2$ ,  $A_5A_6A_2A_3$  se společnou hranou  $A_5A_6$ , nebo  $A_5A_1A_2A_3$ ,  $A_5A_1A_6A_3$ ,  $A_5A_1A_6A_4$  se společnou hranou  $A_4A_1$ .

Objem  $V$  čtyřstěnu  $ABCD$  je potom dán jako funkce jeho hran  $a, b, c, d, e, f$  [1]

$$288V^2 = \begin{vmatrix} 0 & a^2 & b^2 & c^2 & 1 \\ a^2 & 0 & d^2 & e^2 & 1 \\ b^2 & d^2 & 0 & f^2 & 1 \\ c^2 & e^2 & f^2 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{vmatrix}$$

## 6. Závěr

V článku [2] je objemová podmínka pro vyrovnání navržena z náhodného výběru pětice bodů z daných šesti bodů, tj. šest možností. Z těchto šesti možností jsou náhodně vybírány tři pětice bodů. Tedy celkem dvacet možností bez uvedení kritéria výběru.

Ve třetím oddílu tohoto příspěvku je pro úplnost uvedena klasifikace konvexních obalů pětice bodů. Podstatná je však

klasifikace konvexních obalů celé šestice bodů, jak je uvedena v oddílu čtvrtém. Ta byla původně použita jako pomocný aparát k řešení izoperimetrického problému pro lomené čáry [3]. Tedy čistě teoretická otázka pro řešení teoretického problému. Po úpravě a doplnění se úplná klasifikace stává jednoznačným kritériem pro hodnocení šestice libovolně vybraných bodů v prostorových sítích při geodetických měřeních.

Příspěvek byl vypracován v rámci výzkumného záměru č. J04/98/21000010.

## Literatura

- [1] Bydžovský, B.: Základy teorie determinantů a matic a jejich užití. Praha, JČMF 1930.
- [2] Kabeláč, J.: O "objemové" podmínce při vyrovnání trilaterální sítě v třírozměrném prostoru. Geodetický a kartografický obzor, 39/81, 1993, č. 4, s. 67 – 70.
- [3] Kočandrová, M.: Izoperimetrická nerovnost pro prostorový pětiúhelník a šestiúhelník. [Kandidátská dizertační práce], FJFI CVUT, Praha, 1981.

## Kočandrová, M.: Convex Polyhedra in the Adjustment of Space Grids

This paper presents a full classification of convex hulls of five or six points in space. The classification is made according to the number of simplexes in a decomposition of convex hulls. A volume of a convex hull can be used as a volume condition for adjustment of length in a space grid.

## Kočandrová, M.: Konvexe Polyeder beim Ausgleich räumlicher Netze

Im Beitrag wird eine Klassifizierung konvexer Hüllen (konvexer Polyeder) eines Pentaeders und eines Sextaeders in  $E3$  nach der Zahl der Simplexe (Tetraeder), in die ihre konvexe Hülle zerlegt werden kann, vorgenommen.



## Stavební veletrhy Brno 2002 23. – 27.4.2002

Na jaře příštího roku se na brněnském výstavišti uskuteční projekt Stavební veletrhy Brno 2002, který je spojením tří špičkových odborných veletrhů z oblasti stavebnictví a investic, tj. stavebního veletrhu IBF, veletrhu sanitární, vytápěcí a klimatizační techniky SHK Brno a veletrhu investičních příležitostí URBIS. Nosným tématem je "Dřevo – stavební materiál 3. tisíciletí". Brno se díky tomuto projektu stane centrem obchodu, místem setkání špičkových odborníků a investorů. Nově koncipovaný veletrh URBIS obohatil celý projekt o oblast financí a investic. Po úspěšné premiéře Fóra investičních příležitostí v rámci veletrhu URBIS je zřejmé, že se na příští ročník Stavebních veletrhů Brno již dnes chystá řada významných investičních společností, odborných svazů a asociací, řada developerských firem a finančních institucí. Díky stále se zvyšující atraktivnosti České republiky pro zahraniční investory se dá očekávat, že Stavební veletrhy Brno 2002 nabídnou vše, co naše stavební firmy, ale také obce a města potřebují.

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



## • zprávy

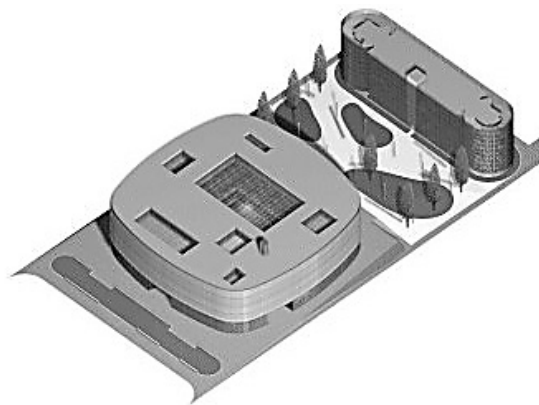
### Národní technická knihovna

Česká republika nezbytně potřebuje celorepublikové informační pracoviště schopné koordinovat a koncentrovat kapacity informační infrastruktury výzkumu a vývoje, terciárního vzdělávání a hospodářsko-průmyslové sféry, kromě toho areál technických vysokých škol v Dejvicích dodnes postrádá centrální knihovnu. Tyto činnosti není schopna Státní technická knihovna (dále jen STK) ve stávajících prostorách zajišťovat.

Dlouholeté diskuse o výstavbě národní technické knihovny jako uzlu informační infrastruktury výzkumu a vývoje, vzdělávání a veřejných informačních služeb vyústily v projekt výstavby Národní technické knihovny (dále jen NTK). Projekt řeší zásadním způsobem informační zabezpečení oblastí výzkumu a vývoje, vzdělávání a veřejných informačních služeb, vymezené vědními a praktickými obory technickými.

Na základě investičního záměru schváleného MŠMT vyhlásila STK jako investor regionální architektonicko-urbanistickou soutěž na budovu NTK. Soutěž probíhala od května 2000 do ledna 2001 za účasti 44 soutěžících týmů. Vítězem se stalo studio AK ARCHITEKTI (Roman Brychta, Adam Halíř, Václav Králíček, Petr Lešek), tým HŠH architekti získal třetí cenu, pro čtyři týmy porota určila sníženou třetí cenu a třem návrhům přiznala odměnu.

Stavební parcela, která byla předmětem řešení, se nachází v ohnisku střetu téměř všech stavebních epoch této části města. Určitá rozporuplnost a neuchopitelnost místa vedla architektky k přijetí vcelku konzervativní podoby respektující dejvický blokový koncept. Monoblok NTK bude umístěn k hlavní ose areálu ČVUT. Směrem k Flemingovu náměstí je umístěn dlouhý soliterní objem parkingů. Oddechový charakter náměstí je reflektován fasádou ve formě trelážového nosiče popínavé zeleně. Fasáda knihovny je naopak neprodyšně, i když průsvitně uzavřena obíhajícím skleněným pláštěm.



V přízemním pásu je plášť průhledný a ze čtyř stran prolomený vstupními trychtýři. Tak bude budova ve svém parteru zcela přístupná a umožní volný průchod.

Tvar hranolu na půdorysu sférického čtverce zvolili architekti pro jeho charakter osově orientované centrály. Je to tvar, který navozuje pocit ochrany a soustředění, pro knihovnu velice důležitý. Orientace uvnitř budovy je podpořena vložením podélné dvorany s horním osvětlením. Na dně dvorany, která sestupuje do úrovně mezipatra přízemí vstupní haly, je umístěna hala služeb, veřejnosti přístupná přes jediný kontrolní bod v přízemí. Tři střední patra jsou věnována především oddělením volného výběru a studovněm. Poslední patro nad prosklenou střechou dvorany dává možnost pobytu s knihou na venkovním vzduchu v prostoru několika atrií. Na tomto patře jsou soustředěny individuální studovny.

Část budovy přivrácená do vnitrobloku je věnována služební části NTK a je obsluhována samostatnou vertikální komunikací se schodištěm a výtahy. Tato část se projeví prolomením okenních pásů v průsvitné skleněné fasádě. Pro veřejnost jsou určeny dva výtahy za kontrolním bodem a otevřená schodiště koncipovaná podle předpokládaného pohybu návštěvníka. Uzavřená schodiště slouží především jako požární únikové cesty.

V jediném podzemním podlaží jsou umístěny sklady knih, dílny, šatny personálu a další technická zařízení knihovny. Do úrovně tohoto podlaží sjíždí průjezdnou jednosměrnou rampou zásobovací komunikace. Po technické stránce by měla být budova NTK jakousi stavební příručkou prezentující současné technologické trendy stavebnictví. Protože stále aktuálnějším tématem stavebnictví je ekologie, a především energetická úspornost, tvarovali autoři budovu záměrně tak, aby její objem měl co nejmenší povrch, a tím i minimální tepelné ztráty a zisky. Neprůhlednou část fasády navíc koncipovali jako dvojitou se žaluziovým stíněním v meziprostoru. Sluncem ohřátý vzduch je možné v tomto prostoru přesouvat jak vertikálně samotíž, tak horizontálně axiálními nehluknými ventilátory. I přes ochranu budovy bude nutné opatřit vzduchotechnický systém zdrojem chladu. Uvažuje se o absorpčním zdroji,



který spotřebovává lacinou letní páru z místní teplárny, a navíc pracuje bezhlučně.

Po konstrukčně statické stránce se využívá v nadzemních podlažích možnost dodatečně křížem předepínaného železobetonu. Dosažené rozpony 14,40 x 14,40 m jsou ověřeny statickým posouzením.

Vítězný soutěžní návrh objektu NTK přichází s tvarováním objemu a hmot budovy, které vykazuje nezvykle nízkou, a tím i velmi příznivou geometrickou charakteristiku (blížíci se ideálu tvaru koule). Díky tomu budova z hlediska parametrů tepelné ochrany splňuje požadovanou, a dokonce s rezervou i doporučenou normovou tepelnou charakteristiku, tedy parametr hovořící o budoucích energetických nárocích budovy.



Dalších výrazných úspor budoucích provozních nákladů na vytápění a klimatizaci bude dosaženo aktivním využíváním "inteligentního" pláště budovy, který nebude plnit pouze funkci vymezení hranice vnitřního a vnějšího prostředí, ale svým aktivním působením přispěje k tomu, aby požadovaných parametrů vnitřního prostředí v budově bylo za všech klimatických podmínek dosahováno s minimálními nároky na prvotní energetické vstupy.

Z dopravního hlediska návrh akceptuje dnešní orientaci hlavního příjezdu Velflíkovou ulicí od třídy Jugoslávských partyzánů. Ve výhledu je druhý možný napojovací bod Thákurovou dvoualejí od Evropské třídy. Předpokládá se zásadní vyřešení prostoru před Fakultou architektury ČVUT a dokončení duální komunikace Thákurova až po Flemingovo náměstí. Toto napojení by ostatně důstojně rehabilitovalo původní regulační záměr Antonína Engla.

Zřízením NTK se spojí funkce transformované STK s funkcemi ústředních knihoven Českého vysokého učení technického a Vysoké školy chemicko-technologické, čímž by se měla zajistit vysoká úroveň uspokojování informačních a knihovnických potřeb veřejnosti a obou veřejných vysokých škol. Podle rámcové bilance se předpokládají náklady na výstavbu objektu ve výši 1,5 mld. Kč. Plánované zahájení realizace stavby je polovina roku 2002, dokončení na jaře 2005.

*Marcela Klímová*

*Zpracováno podle publikace "Národní technická knihovna".*



## Katedra geotechniky Fakulty stavební ČVUT v Praze

si dovoluje oznámit,  
že otevírá již III. běh speciálního kurzu

# GEOTECHNICKÉ INŽENÝRSTVÍ

Výuka v dvousemestrovém studiu formou dvoudenních soustředění (čtvrtek, pátek) bude probíhat jedenkrát za měsíc. Přijetí ke studiu bude potvrzeno na základě přihlášky. Kurz bude otevřen při minimálním počtu patnácti zájemců dne 28.3.2002. Náklady na studium hradí zájemci z vlastních zdrojů. Účastnický poplatek, stanovený podle počtu účastníků, by neměl přesáhnout 13 500 Kč (pro členy ČKAIT sleva 20 %).

Cílem výuky je prohloubení geotechnických znalostí stavebních inženýrů, seznámení s nejnovějšími poznatky a informacemi z oboru. Kurz bude ukončen vypracováním případové studie. Účastníci získají osvědčení o absolvování studia.

**Podrobnější informace: Katedra geotechniky Fakulty stavební ČVUT, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel.: 02/24354557 sekretariát pí. Picková, fax: 02/3333206, tel.: 02/24354542 doc. Jettmar, 02/24354353 ing. Reiser, e-mail: jettmar@fsv.cvut.cz, reiser@mat.fsv.cvut.cz**

## ● recenze

Říha, J.

### **Posuzování vlivů na životní prostředí – metody pro předběžnou rozhodovací analýzu EIA**

Kniha poskytuje ucelený přehled o teoretických základech a metodologii posuzování vlivů staveb na životní prostředí ve smyslu procesu EIA (Environmental Impact Assessment). Aktuálně zobecňuje mezinárodní poznatky a zahrnuje četné příklady používaných formalizovaných pracovních postupů opomíjených v domácí praxi. Rozvíjí pomocné nástroje axiologie jako nauky o hodnotě a oceňování v procesu rozhodování o kvalitě životního prostředí.

Obsah publikace je členěn do 13 kapitol a předmluvy včetně seznamu použitých symbolů, zkratk, pojmů, rejstříku, anglického souhrnu a obsáhlého přehledu literatury. Pojetí je koncipováno na současné úrovni poznání, obohacené vlastními teoretickými a praktickými zkušenostmi. Po stránce věcného obsahu text navazuje na dřívější práce autora, které jsou aktualizovány především s ohledem na platné domácí legislativní normy a předpisy Evropské unie.

Dílo řeší teoretické i praktické možnosti včasného posouzení potenciálně možných přímých, sekundárních, terciárních a časově odložených vlivů plánovaných investic s velkým územním dosahem, ekonomickými náklady, společenskými důsledky a mírou přijatého ekologického, zdravotního a ekonomického rizika. Důraz je položen na počáteční etapu tzv. předběžného posuzování, která zahrnuje pomocné pracovní a formalizované nástroje pro rozhodovací analýzu procesu EIA. Problematika EIA v současné době splňuje čtyři požadované postuláty samostatného vědního oboru tím, že se vyznačuje vlastní teorií, terminologií, metodologií a zpětnou vazbou v podobě příkladových studií.

Monografie představuje souhrnný přehled problematiky, která se nachází na pomezí mnoha vědních oborů a praktických činností. Kapitola 1 nahrazuje formální úvod a zdůrazňuje historický význam této činnosti v rámci řízené péče o životní prostředí společně s charakteristikou celosvětového dynamického vývoje procesu EIA. Je patrné, že současný vývoj překonává původní koncepci EIA a nastává transformace celkového úsilí o přímý proces posuzování udržitelného rozvoje, jak dokládá obsah kapitoly 2. Zde jsou teoreticky doloženy strategické scénáře pro různě definovaný udržitelný rozvoj v návaznosti na funkce statků přírody a jejich exploataci. Demokratický charakter procesu EIA vyžaduje kvalifikovanou účast veřejnosti, což na podkladě mezinárodních uzancí je podrobně uvedeno v kapitole 3.

Hlavní pracovní etapy počáteční analýzy představují screening a scoping. Fundamentální a zcela vyčerpávající výklad těchto etap poskytují kapitoly 4 a 5. Kromě souhrnného přehledu používaných metod je glosován doporučený postup UNDP a objasněn problém zadávacích podmínek včetně způsobu určování významnosti očekávaného impaktu. Kapitola 6 pojednává o významu variant, které tvoří jádro procesu EIA. Zde autor správně přejímá a deklaruje původní myšlenku amerického zákona NEPA z roku 1970, podle které "bez variantního řešení nelze určit řešení optimální". Problematice určování potenciálního vlivu je dále věnována samostatná kapitola 7, kterou autor zpracoval v duchu anglosaského pojmu "assessing". Problematika technického způsobu posuzování impaktu je správně spojena s problematikou rizikové analýzy, ekologickým auditem a monitoringem.

Strategické posuzování vlivů na životní prostředí (SEA) je v současné době pokládáno za "druhou generaci EIA". Těto

otázce je věnována samostatná kapitola 8. Ve statí jsou specifikovány rozdíly procesů EIA a SEA a problém je vhodně doplněn případovou studií autora z aktuální praxe ČR. V díle je dále doloženo, že posuzování vlivů na životní prostředí je úzce propojeno s otázkami biodiverzity a indikátory životního prostředí (kapitola 9) a ekonomikou životního prostředí (kapitola 10).

Kapitola 11 představuje sěžejní přínos autora pro rozvoj oboru posuzování vlivů na životní prostředí. Vyčerpávajícím způsobem pojednává o obsahu, cílech a metodách rozhodovací multikriteriální analýzy pro účely procesu EIA. Objasňuje strategii rozhodování a metodologii pro analýzu komplexního systému životního prostředí včetně ekonomické aktivity a nejčastěji používaných formalizovaných pracovních postupů. Studium této statě umožní lépe pochopit axiomatickou teorii užitku a způsoby její aplikace; podrobně jsou klasifikovány hlavní modelové přístupy a způsoby využití kvalitativních a kvantitativních multiplikátorů pro rozhodovací proces.

Text zahrnuje formulaci původní graficko-analytické metody totálního ukazatele kvality prostředí (TUKP) spolu s dalšími pomocnými nástroji na podporu této metody v praxi, kterou autor vyvíjel od roku 1981 a postupně testoval na Fakultě stavební ČVUT v Praze.

Dílo uzavírají statě o metodickém materiálu EU pro následnou revizi a přezkoumání vypracovaného dokumentu z hlediska jeho úplnosti a kvality (kapitola 12) a statě se stručným kritickým zhodnocením počátku procesu EIA v ČR od roku 1992 (kapitola 13). V obou případech jsou velmi cenné prezentované výsledky případových studií z domácí praxe, na kterých se autor podílel.

Neobyčejně široké téma je zaměřeno na základní kapitoly teorie a metodologie procesu EIA. Důraz je kladen na poznání axiomatické teorie kardinálního užitku MUT (Multiattribute Utility Theory) a na systémový inženýrský přístup v aplikaci hodnotové analýzy. Úspěšná práce v této oblasti předpokládá zvládnout řadu dílčích metodických postupů a pracovních operací, které souvisejí s etapou screeningu a scopingu, posuzováním impaktu a rizika, katalogy kritérií, vyhodnocovacími funkcemi a křivkami, tvorbou a hodnocením variant, rozhodovacím procesem, prací expertů, se stykem s veřejností apod. Za neoddělitelnou součást procesu EIA je pokládána riziková analýza.

Monografie skýtá informaci o procesu posuzování vlivu stavebních záměrů a činností na životní prostředí podle platné právní úpravy na pozadí závažných předpisů Evropské unie. Aktuální domácí systém je konfrontován s praxí vedoucích zemí v problematice EIA pomocí zobecněné časové řady tohoto procesu, čímž je naznačeno kritické hodnocení dosavadní domácí praxe. Obsah textu je plně kompatibilní s domácí legislativou pro řízenou péči o životní prostředí a pro posuzování vlivu na životní prostředí v časové úrovni roku 2000. Obsáhlý přehled převážně zahraniční literatury orientuje k dalšímu hlubšímu studiu.

Studium textu přispěje ke správnému pochopení procesů určujících a ovlivňujících budoucí vývoj životního prostředí na základě poznání prvků a interakcí existujících uvnitř komplexního ekosystému člověka. Jde o rozvoj myšlení v souvislostech, které se v současné době formuje jako model ekologického myšlení příštích generací. Umožňuje individuální orientaci na hierarchii hodnot.

prof. Ing. Zdeněk Kos, DrSc.







# STAVEBNÍ OBZOR

## ROČNÍK 11 ČÍSLO 2/2002

Navigace v dokumentu

### OBSAH

Holický, M. – Marková, J. <b>Vliv alternativních postupů v EN 1990 na spolehlivost konstrukcí</b>	33
Makovička, D. – Makovička, D. ml. <b>Dynamická odezva a způsob porušování cihelných příček při výbuchu plynu uvnitř budovy</b>	37
Hýča, M. <b>Konzervativní aproximace mezní plochy vysokocyklové časované pevnosti vrubované součásti a její grafická interpretace</b>	42
Jiránek, M. <b>Vyhodnocení účinnosti systémů odvádějících radon z podloží stávajících staveb</b>	45
Jiříčková, M. – Černý, R. <b>Vlhkostní parametry materiálů pro obvodové pláště s vnitřní tepelnou izolací</b>	49
Ficker, T. – Podešvová, Z. <b>Difúze vodních par v konstrukcích podle ČSN 73 0540 a DIN 4108</b>	53
Hánek, P. – Kašpar, M. – Janžurová, I. <b>K ověření parametrů a jakosti totálních stanic</b>	55
Můčka, P. – Decký, M. <b>Dynamický model přívěsného vozíka na meranie pozdĺžnych nerovností vozovky</b>	59

2 • 2002

ročník 11

# 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. – Marková, J. <b>Vliv alternativních postupů v EN 1990 na spolehlivost konstrukcí</b> .....	33
Makovička, D. – Makovička, D. ml. <b>Dynamická odezva a způsob porušování cihelných příček při výbuchu plynu uvnitř budovy</b> .....	37
Hýča, M. <b>Konzervativní aproximace mezní plochy vysokocyklové časované pevnosti vrubované součásti a její grafická interpretace</b> .....	42
Jiránek, M. <b>Vyhodnocení účinnosti systémů odvádějících radon z podloží stávajících staveb</b> .....	45
Jiříčková, M. – Černý, R. <b>Vlhkostní parametry materiálů pro obvodové pláště s vnitřní tepelnou izolací</b> .....	49
Ficker, T. – Podešvová, Z. <b>Difúze vodních par v konstrukcích podle ČSN 73 0540 a DIN 4108</b> .....	53
Hánek, P. – Kašpar, M. – Janžurová, I. <b>K ověření parametrů a jakosti totálních stanic</b> .....	55
Můčka, P. – Decký, M. <b>Dynamický model přívěsného vozíka na meranie pozdĺžnych nerovností vozovky</b> .....	59

## CONTENTS

Holický, M. – Marková, J. <b>The Influence of Alternative Procedures in EN 1990 on Structural Reliability</b> .....	33
Makovička, D. – Makovička, D. jr. <b>Dynamic Response and a Way of Damaging Brick Partitions by Gas Explosion Inside Buildings</b> .....	37
Hýča, M. <b>Conservative Approximations of the Limit Area of High-Cycle Timed Strength of a Notched Component and its Graphic Interpretation</b> .....	42
Jiránek, M. <b>Assessment of Efficiency of Systems Eliminating Radon from Building Substructures</b> .....	45
Jiříčková, M. – Černý, R. <b>Hygric Parameters of Materials for Building Envelopes with Interior Thermal Insulation</b> .....	49
Ficker, T. – Podešvová, Z. <b>Water Vapour Diffusion in Constructions nach ČSN 73 0540 and DIN 4108</b> .....	53
Hánek, P. – Kašpar, M. – Janžurová, I. <b>On Testing of Parameters and Quality of Total Stations</b> .....	55
Můčka, P. – Decký, M. <b>The Dynamic Model of Single Wheeled Trailer for Road Unevenness Measurement</b> .....	59

## INHALT

Holický, M. – Marková, J. <b>Einfluss alternativer Verfahren in der EN 1990 auf die Zuverlässigkeit von Konstruktionen</b> .....	33
Makovička, D. – Makovička, D. jr. <b>Dynamische Resonanz und die Art und Weise der Beeinträchtigung von Ziegeltrennwänden bei einer Gasexplosion innerhalb eines Gebäudes</b> .....	37
Hýča, M. <b>Konservative Approximation der Grenzfläche der hochzyklischen zeitgesteuerten Festigkeit eines gekerbten Bauteils und ihre grafische Interpretation</b> .....	42
Jiránek, M. <b>Auswertung der Wirksamkeit von Systemen zur Ableitung von Radon aus dem Untergrund von Bauwerken</b> .....	45
Jiříčková, M. – Černý, R. <b>Feuchteparameter von Materialien für Außenwände mit innenliegender Wärmedämmung</b> .....	49
Ficker, T. – Podešvová, Z. <b>Wasserdampfdiffusion in Bauteilen nach ČSN 73 0540 und DIN 4108</b> .....	53
Hánek, P. – Kašpar, M. – Janžurová, I. <b>Zur Überprüfung der Parameter und Güte von Totalstationen</b> ..	55
Můčka, P. – Decký, M. <b>Dynamisches Model eines Anhängers für die Messung von Fahrbahnebenenheiten in Längsrichtung</b> .....	59

Toto číslo bylo vydáno za podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR (projekt LP 0002).

## REDAKČNÍ RADA

### Předseda:

prof. Ing. Jiří STUDNÍČKA, DrSc.

### Místopředseda:

doc. Ing. O. GARTNER, CSc.

### Tajemníci:

doc. Ing. Milan KAŠPAR, CSc.  
doc. Ing. Jindřich ŠMEJČKÝ, CSc.  
doc. Ing. Jiří VÁŠKA, CSc.

### Členové:

Ing. Miroslav BAJER, CSc.  
doc. Ing. Pavel HÁNEK, CSc.  
Ing. Jiří HIRŠ  
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.  
prof. Ing. Adolf PATERA, DrSc.  
doc. Ing. Miloslav PAVLÍK, CSc.  
Ing. Petr PLICHTA, CSc.  
prof. Ing. J. PROCHÁZKA, CSc.  
Ing. Jaroslav SOLAŘ  
Ing. Václav SOUKUP  
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: 02/2435 4596,  
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: 02/4021298, 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 7. 1. 2002. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

## Vliv alternativních postupů v EN 1990 na spolehlivost konstrukcí

doc. Ing. Milan HOLICKÝ, DrSc., PhD.  
Ing. Jana MARKOVÁ, PhD.  
ČVUT – Kloknerův ústav  
Praha

Základní evropská norma pro navrhování stavebních konstrukcí prEN 1990 uvádí alternativní postupy pro stanovení účinku zatížení, o nichž se má rozhodnout v národních přílohách jednotlivých členských zemí CEN. Jednou z důležitých otázek je stanovení základní kombinace zatížení a dílčích součinitelů zatížení pro trvalou i dočasnou návrhovou situaci, pro kterou se v prEN 1990 uvádějí tři alternativní postupy. Příklady železobetonové desky a ocelového táhla naznačují, že postupy doporučené v prEN 1990 vedou k rozdílným úrovním spolehlivosti konstrukcí, které jsou však většinou vyšší než spolehlivost při postupu podle současné ČSN P ENV 1991-1. Ukazuje se, že pro zpracování národní přílohy k prEN 1990 jsou nezbytné další kalibrační studie.

### 1. Úvod

Nové operativní eurokódy pro navrhování stavebních konstrukcí budou již od příštího roku postupně nahrazovat předběžné normy ENV. V současnosti jsou již dokončeny dva základní dokumenty prEN 1990 [1] a prEN 1991-1-1 [2] a probíhá transformace dalších norem. Během několika let by tedy měla téměř celá Evropa navrhovat konstrukce podle jednotných metodických předpisů. Nové eurokódy budou zavedeny s doplňujícími národními přílohami jako platné národní normy (u nás jako ČSN EN). Dosud platné předpisy, které jsou v rozporu s dokumenty CEN, se budou postupně měnit nebo rušit. Prostřednictvím národních příloh bude umožněna národní volba numerických hodnot řady ukazatelů spolehlivosti, hodnot některých druhů zatížení a také výběr z alternativních postupů výpočtu. Půjde tedy o závažná rozhodnutí, na která je třeba se dobře připravit.

V současné době se u nás i v dalších evropských zemích CEN zpracovávají podkladové materiály, na jejichž základě bude možné doporučit do národních příloh alternativní postup výpočtu a stanovit ukazatele spolehlivosti. Porovnáním spolehlivosti konstrukcí navržených podle předběžných eurokódů a kalibrací dílčích součinitelů spolehlivosti se v rozboru [3] zabývají severské země CEN. Na rozbor pak navazuje studie [4] alternativních postupů kombinace zatížení podle prEN 1990 [1].

V současné době uvádí prEN 1990 [1] tři alternativní postupy kombinace zatížení pro trvalou i dočasnou návrhovou situaci. První dva jsou převzaty z předběžné ENV 1991-1 [5],

třetí alternativa je doporučena na základě rozboru [4]. Zjednodušenou kombinaci zatížení pro budovy již prEN 1990 [1] neuvádí. V české národní příloze k prEN 1990 [1] bude tedy nutné zvolit vhodný postup kombinace stálých a nahodilých zatížení pro trvalou i dočasnou návrhovou situaci a ověřit hodnoty dílčích součinitelů spolehlivosti doporučených v [1]. Předmětem tohoto článku, který navazuje na studie [6] až [9], je ukázat vliv výběru alternativní kombinace zatížení a volby hladiny součinitelů stálých a nahodilých zatížení  $\gamma_G$  a  $\gamma_Q$  na ukazatele spolehlivosti dvou základních konstrukčních prvků, železobetonové desky a ocelového táhla.

### 2. Základní kombinace zatížení

V následujícím rozboru se uvažuje kombinace zatížení stálého  $G$ , užitého  $Q$  a větru  $W$ . Zatížení větrem se zde předpokládá jako zatížení nedominantní. Symboly  $G$ ,  $Q$  a  $W$  označují v celé studii dílčí složky účinku zatížení (např. ohybové momenty, osově síly). Konečné znění prEN 1990 [1] uvádí pro základní kombinaci těchto zatížení v trvalé i dočasné návrhové situaci tři alternativní postupy:

A. podle vztahu (6.10) v prEN 1990 [1] se návrhová hodnota  $E_d$  účinku zatížení stanoví ze vztahu

$$E_d = \gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k + \gamma_W \psi_W W_k ; \quad (1)$$

B. podle dvojice rovnic (6.10a) a (6.10b) v prEN 1990 [1] je možné alternativně použít výrazy

$$E_d = \gamma_G G_k + \gamma_Q \psi_Q Q_k + \gamma_W \psi_W W_k , \quad (2)$$

$$E_d = \xi \gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k + \gamma_W \psi_W W_k . \quad (3)$$

Při výpočtu rozhoduje méně příznivý ze vztahů (2) a (3);

C. alternativní postup se liší od postupu B pouze tím, že se v rovnici (2) uvažuje pouze stálé zatížení a zjednoduší se tedy na tvar

$$E_d = \gamma_G G_k . \quad (4)$$

Při výpočtu pak rozhoduje méně příznivý ze vztahů (3) a (4).

Jestliže by byl dominantní vítr  $W$ , pak se v rovnicích (1) a (2) zatížení větrem neredukuje a uplatní se redukce užitého zatížení  $Q$  součinitelem  $\psi_Q$ .

Pro stanovení vlivu nahodilých zatížení na spolehlivost desky a táhla jsou charakteristické hodnoty  $G_k$ ,  $Q_k$ ,  $W_k$  vyjádře-

ny prostřednictvím poměru  $\chi$  nahodilých zatížení  $Q_k + W_k$  k celkovému zatížení  $G_k + Q_k + W_k$  a poměrem nahodilých zatížení  $k$ . Tedy

$$\chi = (Q_k + W_k)/(G_k + Q_k + W_k), k = W_k/Q_k. \quad (5)$$

Pro danou hodnotu účinku návrhových hodnot zatížení  $E_d$  lze charakteristické hodnoty zatížení  $G_k, Q_k, W_k$  vyjádřit na základě veličin  $\chi$  a  $k$  ve tvaru

$$G_k = \frac{E_d}{(\xi)\gamma_G + \frac{((\psi_Q)\gamma_Q + k(\psi_W)\gamma_W)\chi}{(1+k)(1-\chi)}}, \quad (6)$$

$$Q_k = \frac{\chi G_k}{(1+k)(1-\chi)}, \quad W_k = k Q_k.$$

Veličiny v závorce se v prvním vztahu rovnice (6) uplatňují v souladu s jejich použitím v rovnicích (1) až (4) pro postupy A, B a C.

Při postupu A platí rovnice (1) v celém oboru poměru zatížení  $\chi$ ,  $0 \leq \chi \leq 1$ , zatímco při postupu B je rovnice (2) rozhodující v části intervalu  $0 \leq \chi \leq \chi_{\text{lim},B}$  a rovnice (3) v intervalu  $\chi_{\text{lim},B} \leq \chi \leq 1$ . Hodnota  $\chi_{\text{lim},B}$  vyplývá ze vztahů (2), (3) a (5) podle vzorce

$$\chi_{\text{lim},B} = \frac{\gamma_G(1-\xi)(1+k)}{\gamma_G(1-\xi)(1+k) + \gamma_Q(a-\psi_Q) + \gamma_W k(b-\psi_W)}, \quad (7)$$

kde pro poměr  $k \leq (1-\psi_Q)/(1-\psi_W)$  pomocná veličina  $a = 1$  a  $b = \psi_W$  (zatížení  $Q$  dominantní) a pro  $k > (1-\psi_Q)/(1-\psi_W)$  jsou veličiny  $a = \psi_Q$  a  $b = 1$  ( $W$  dominantní).

Rozboru spolehlivosti konstrukcí navržených postupem C ukazují, že při nižších poměrech zatížení  $\chi$  jsou výsledné hodnoty indexů spolehlivosti výrazně nižší, než je doporučená hodnota  $\beta = 3,8$ . Proto se v tomto příspěvku alternativa C neuvažuje, příklad rozboru spolehlivosti železobetonové desky a sloupu navržených postupem C je uvedený v příspěvku [9].

Tab. 1. Praviděpodobnostní modely základních veličin

Druh	Značka	Základní veličina	Rozdělení	Jednotka	Charakteristická hodnota	Průměr	Směrodatná odchylka
zatížení	$G$	stálé	N	MN/m <sup>2</sup>	$G_k$	$G_k$	0,1 $G_k$
	$Q$	užitné (50 let)	GUM	MN/m <sup>2</sup>	$Q_k$	0,6 $Q_k$	0,21 $Q_k$
	$W$	vítr (1 rok)	GUM	MN/m <sup>2</sup>	$W_k$	0,4 $W_k$	0,2 $W_k$
	$W$	vítr (50 let)	GUM	MN/m <sup>2</sup>	$W_k$	0,7 $W_k$	0,245 $W_k$
materiálové vlastnosti	$A_s$	plocha výztuže	DET	m <sup>2</sup>	nom	nom	0
	$\alpha$	součinitel	DET	-	1	1	-
	$f_c$	pevnost betonu	LN	MPa	20	30	5
	$f_y$	pevnost výztuže	LN	MPa	435	560	30
	$f_{yt}$	pevnost táhla	LN	MPa	235	280	0,08 $\mu_y$
geometrické údaje	$h$	výška desky	N	m	0,2	0,2	0,005
	$A$	průřezová plocha táhla	N	m	nom	nom	0,01 $\mu_y$
	$d_1$	osová vzdálenost výztuže	GAM	m	0,03	0,03	0,01
modelové nejistoty	$K_{E1}$	zatížení desky	N	-	1	1	0,05
	$K_{E2}$	zatížení táhla	N	-	1	1	0,1
	$K_{R1}$	odolnosti desky	N	-	1	1	0,1
	$K_{R2}$	odolnosti táhla	N	-	1	1,1	0,1

### 3. Odolnost konstrukčních prvků

Návrhová hodnota  $R_d$  odolnosti ohýbané železobetonové desky jednotkové šířky se uvažuje podle vztahu

$$R_d = A_s f_{yk} / \gamma_s [h - d_1 - 0,5 A_s (f_{yk} / \gamma_s) / (\alpha f_{ck} / \gamma_c)], \quad (8)$$

kde  $A_s$  je plocha výztuže,  $f_{yk}$  a  $f_{ck}$  charakteristické pevnosti výztuže a betonu,  $h$  výška průřezu,  $d_1$  osová vzdálenost výztuže od tažených vláken,  $\alpha$  součinitel vyjadřující nepříznivé vlivy způsobu zatížení na pevnost betonu v tlaku,  $\gamma_s$  a  $\gamma_c$  součinitele materiálových vlastností podle ČSN P ENV 1992-1-1 [10],  $\gamma_G$ ,  $\gamma_Q$  a  $\gamma_W$  součinitele zatížení  $G$ ,  $Q$  a  $W$ . Při návrhu výztuže desky se předpokládají dva poměry zatížení  $k_1 = 0$  (působí pouze stálé a užitné zatížení) a  $k_2 = 1$  (působí všechna zatížení  $G$ ,  $Q$  a  $W$ , vítr je nedominantní).

Při rozboru spolehlivosti desky se vychází z podmínky, že odolnost desky  $R$  je větší, než jsou účinky vnějších sil  $E$ , jež jsou vyjádřené součtem dílčích účinků  $G$ ,  $Q$  a  $W$ . Potom

$$K_{R1} A_s f_y [h - d_1 - 0,5 A_s f_y / (\alpha f_c)] > K_{E1} (G + Q + W), \quad (9)$$

kde  $K_{R1}$  a  $K_{E1}$  jsou součinitele modelových nejistot odolnosti  $R$  a účinku zatížení  $E$ .

Návrhovou hodnotu  $R_d$  odolnosti ocelového táhla o průřezové ploše  $A$  lze stanovit jako  $R_d = A_s f_{yk} / \gamma_s$ . Součinitel  $\gamma_s$  se uvažuje doporučenou hodnotou 1,1, resp. 1,15 podle ENV 1993-1-1 [11], resp. českého národního aplikačního dokumentu k [11]. Při rozboru spolehlivosti táhla se vychází z podmínky

$$K_{R2} A f_y > K_{E2} (G + Q + W). \quad (10)$$

Při rozboru spolehlivosti se zjišťuje pravděpodobnost poruchy  $P_f$ , že podmínky (9) a (10) nejsou splněny. Místo pravděpodobnosti  $P_f$  se však v dalším rozboru uplatňuje běžně používaný index spolehlivosti  $\beta$  definovaný na základě pravděpodobnosti  $P_f$

$$\beta = \Phi^{-1}(1 - P_f), \quad (11)$$

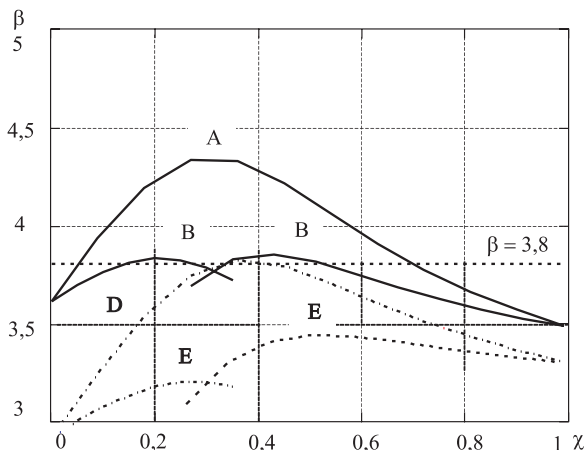
kde  $\Phi$  je distribuční funkce normálního rozdělení. Doporučená hodnota indexu spolehlivosti  $\beta = 3,8$  odpovídá pravděpodobnosti poruchy  $P_f = 7,24 \cdot 10^{-5}$ .

### 4. Modely základních veličin

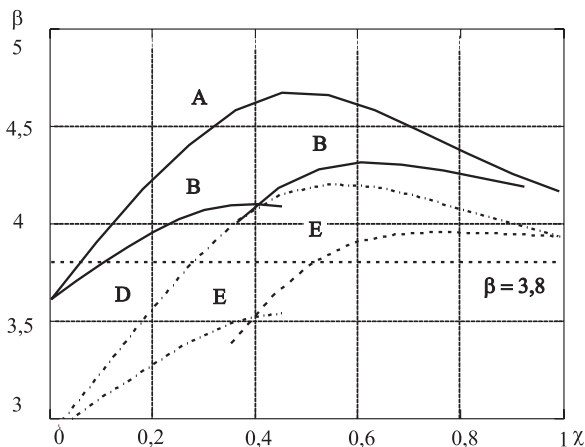
Praviděpodobnostní modely základních veličin jsou souhrnně uvedeny v tab. 1.

## 5. Výsledky rozboru spolehlivosti

Spolehlivost železobetonové desky a ocelového táhla byla stanovena na základě zjednodušených časově nezávislých modelů zatížení s využitím Turkstrova pravidla (pro užitné zatížení se uvažuje rozdělení extrémních hodnot po dobu předpokládané životnosti padesát let, pro zatížení větrem rozdělení ročních maxim). Výsledky rozboru spolehlivosti vyjádřené prostřednictvím indexu spolehlivosti  $\beta$  [11] jsou zachyceny pro železobetonovou desku na obr. 1 až obr. 3, pro ocelové táhlo na obr. 4 a obr. 5. Pro oba prvky se uvažují poměry zatížení  $k_1 = 0$  a  $k_2 = 1$ , podíl vyztužení desky  $\rho$  hodnotou 0,5 %, popř. 1 %. Na obrázcích jsou v závislosti na poměru zatížení  $\chi$  znázorněny indexy spolehlivosti  $\beta$  pro alternativní postupy A, B a pro doporučené hodnoty dílčích součinitelů  $\gamma_G = 1,35$  a  $\gamma_Q = 1,5$  podle prEN 1990 [1].



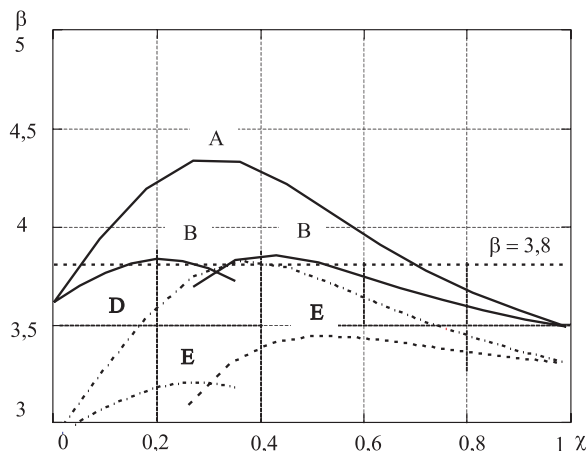
Obr. 1. Index spolehlivosti  $\beta$  pro desku ( $\rho = 1\%$ ) vzhledem k poměru zatížení  $\chi$  a pro poměr  $k_1 = 0$ ; A, B – kombinace podle prEN 1990 [1] ( $\gamma_G = 1,35$ ,  $\gamma_Q = 1,5$ ), D, E – kombinace podle ČSN P ENV 1991-1 [5] ( $\gamma_G = 1,2$ ,  $\gamma_Q = 1,4$ )



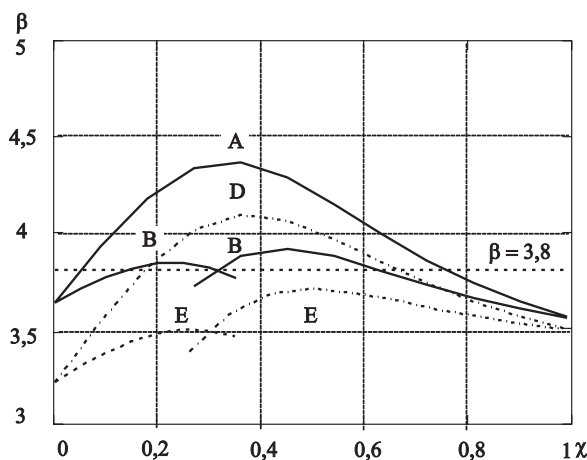
Obr. 2. Index spolehlivosti  $\beta$  pro desku ( $\rho = 1\%$ ) vzhledem k poměru zatížení  $\chi$  a pro poměr  $k_2 = 1$ ; A, B – kombinace podle prEN 1990 [1] ( $\gamma_G = 1,35$ ,  $\gamma_Q = 1,5$ ), D, E – kombinace podle ČSN P ENV 1991-1 [5] ( $\gamma_G = 1,2$ ,  $\gamma_Q = 1,4$ )

Obrázky 1 až 5 dále ukazují alternativu D odpovídající postupu A a alternativu E odpovídající postupu B, jestliže by se při návrhu uplatnilo snížené hodnoty dílčích součinitelů  $\gamma_G = 1,2$ ,  $\gamma_Q = 1,4$  podle Změny 1 k ČSN P ENV 1991-1 [5] a součinitel pro ocel  $\gamma_s = 1,15$ . Je však třeba zdůraznit, že přestože postup B (tedy i alternativa E) odpovídá pravidlům platné ČSN P ENV 1991-1 [5], není uveden v evropských normách pro navrhování betonových a ocelových konstruk-

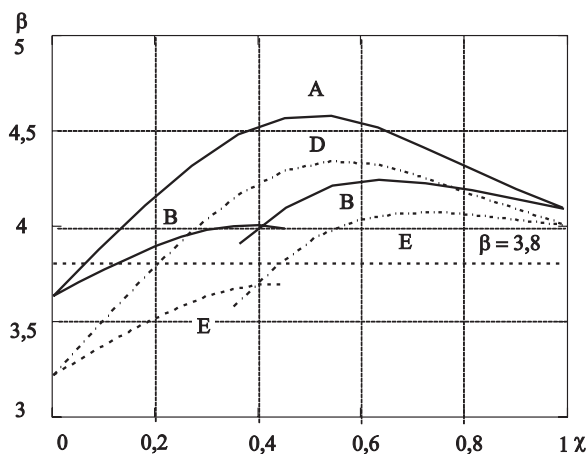
cí, které byly vydány dříve než dokument [5]. Proto ani obě uvažované české normy [10], [11] postup B neumožňují.



Obr. 3. Index spolehlivosti  $\beta$  pro desku s nižším stupněm vyztužení ( $\rho = 0,5\%$ ) vzhledem k poměru  $\chi$  a pro poměr  $k_2 = 1$ ; A, B – kombinace podle prEN 1990 [1] ( $\gamma_G = 1,35$ ,  $\gamma_Q = 1,5$ ), D, E – kombinace podle ČSN P ENV 1991-1 [5] ( $\gamma_G = 1,2$ ,  $\gamma_Q = 1,4$ )



Obr. 4. Index spolehlivosti  $\beta$  pro ocelové táhlo vzhledem k poměru zatížení  $\chi$  a pro poměr  $k_1 = 0$ ; A, B – kombinace podle prEN 1990 [1] ( $\gamma_G = 1,35$ ,  $\gamma_Q = 1,5$  a  $\gamma_s = 1,15$ ), D, E – kombinace podle ČSN P ENV 1991-1 [5] ( $\gamma_G = 1,2$ ,  $\gamma_Q = 1,4$  a  $\gamma_s = 1,15$ )



Obr. 5. Index spolehlivosti  $\beta$  pro ocelové táhlo vzhledem k poměru zatížení  $\chi$  a pro poměr  $k_2 = 1$ ; A, B – kombinace podle prEN 1990 [1] ( $\gamma_G = 1,35$ ,  $\gamma_Q = 1,5$  a  $\gamma_s = 1,1$ ), D, E – kombinace podle ČSN P ENV 1991-1 [5] ( $\gamma_G = 1,2$ ,  $\gamma_Q = 1,4$  a  $\gamma_s = 1,15$ )

Spolehlivost desky i táhla ovlivňuje poměr nahodilých a celkových zatížení  $\chi$  a poměr nahodilých zatížení  $k$ , u desky má také vliv stupeň vyztužení. Oba konstrukční prvky navržené podle alternativy A, popř. B, mají pro stejné poměry zatížení  $\chi$  a  $k$  téměř shodnou spolehlivost. Ve všech případech je spolehlivost obou prvků navržených postupem A větší než při postupu B. Postupem A lze v některých případech dosáhnout podstatně vyšších indexů spolehlivosti, než je hodnota 3,8 doporučená podle prEN 1990 [1]. Návrh konstrukce postupem A může být však v těchto případech neekonomický.

Ukazuje se, že nejvyrovnanější indexy spolehlivosti  $\beta$  pro běžné hodnoty poměru  $\chi$  (v rozmezí poměru zatížení od 0,1 do 0,6) poskytuje postup B, který je tedy vhodnější než současně zavedený postup D. Při zavedení prEN 1990 [1] do soustavy českých norem lze tedy doporučit postup B ( $\gamma_G = 1,35$ ,  $g_Q = 1,5$ ).

## 6. Závěrečná poznámka

Rozbory spolehlivosti konstrukcí navržených z různých materiálů a kalibrací ukazatelů spolehlivosti v národních normách se nyní nezabývají jen členské země CEN, avšak provádějí se i v dalších mimoevropských státech [12]. Je zřejmé, že zpracování soustavy operativních evropských norem, jež se budou používat pro navrhování konstrukcí téměř v celé Evropě, je velmi složité. Při probíhající transformaci přednorem (ENV) na operativní evropské předpisy EN se totiž uplatňují národní tradice, nové poznatky a také zájmy jednotlivých členských zemí CEN. Ukazuje se, že si bude muset každá země stanovit národní úroveň spolehlivosti konstrukcí navrhovaných podle eurokódů prostřednictvím svých národních příloh, a to na základě výběru z alternativních postupů, doporučením hodnot různých druhů zatížení a ukazatelů spolehlivosti. Dosud provedené národní i mezinárodní rozbory však naznačují, že by se hodnoty různých druhů zatížení a ukazatelů spolehlivosti, jež doporučuje nová generace eurokódů, měly národně měnit teprve po pečlivých rozbořech. Nové eurokódy totiž poskytují v mnoha případech vyšší spolehlivost konstrukcí než národní normy.

Uvedené příklady dvou prvků vyrobených z betonu a oceli potvrzují výsledky studií [7] až [9], že spolehlivost konstrukcí navržených podle EN je vyšší než spolehlivost při návrhu podle stávajících ČSN i ČSN P ENV. Očekávaný národní výběr základní kombinace zatížení, dílčích součinitelů a charakteristických hodnot některých druhů zatížení pro trvalou a dočasnou návrhovou situaci může však tuto okolnost změnit. Jde o náročné rozhodnutí, které může mít také širší obchodní a ekonomické důsledky [8]. Proto je třeba dosud provedené rozbory doplnit o další studie spolehlivosti složitějších konstrukčních prvků vyrobených z různých materiálů a získané výsledky porovnat s dostupnými mezinárodními poznatky. Cílem těchto rozbořů je připravit potřebné podklady pro zpracování národní přílohy k EN 1990 [1], jejíž zavedení do soustavy ČSN EN lze očekávat již v příštím roce.

**Tato studie vznikla jako součást řešení výzkumného záměru CEZ: J04/98:210000029 „Rizikové inženýrství a spolehlivost technických systémů“ podporovaného z prostředků MŠMT.**

## Literatura

- [1] Final Draft prEN 1990 Eurocode – Basis of Structural Design (Zásady navrhování konstrukcí). Pracovní materiál CEN/TC 250, červenec 2001.
- [2] Final Draft prEN 1991-1-1 Eurocode 1: Actions on Structures – Part 1-1: General Actions – Densities, Self-Weight, and Imposed Loads for Buildings (Objemové tíhy, vlastní tíhy a užitná zatížení budov). Pracovní materiál CEN/TC 250/SC1, červenec 2001.
- [3] NKB Committee and Work Reports. Basis of Design of Structures. Proposal for Modification of Partial Safety Factors in Eurocodes. 1999.
- [4] Basis of Design of Structures. Proposal for Modification of Partial Safety Factors in Eurocodes, SAKO; Joint Committee of NKB and INSTA-B.
- [5] ČSN P ENV 1991-1 Zásady navrhování a zatížení konstrukcí, Část 1: Zásady navrhování. ČSN, 1996 a Změna 1, 1997.
- [6] Holický, M. – Marková, J.: Spolehlivost betonových konstrukcí podle ČSN a Eurokódů. Betonářské dny, Pardubice 2000, s. 327 – 332.
- [7] Holický, M. – Holická, N.: Očekávané důsledky zavádění nových evropských předpisů v České republice. Ocelové konstrukce, 2000, č. 3, s. 30 – 32.
- [8] Holický, M.: Vliv dílčích součinitelů na spolehlivost ocelového táhla. Stavební obzor, 10, 2001, č. 2, s. 38 – 40.
- [9] Holický, M. – Marková, J.: Zásady navrhování podle nových evropských předpisů – alternativní postupy v EN 1990. Betonářské dny, Pardubice, 2001.
- [10] ČSN P ENV 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí, Část 1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. ČSN, 1994.
- [11] ČSN P ENV 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí, Část 1.1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. ČSN, 1994.
- [12] Haar, T.R. – Retief, J.V.: Development of a Methodology for Structural Code Calibration, University of Stellenbosch, 2000.

### Holický, M. – Marková, J.: The Influence of Alternative Procedures in EN 1990 on Structural Reliability

The basic European standard for the design of building structures prEN 1990 presents alternative procedures for the determination of effects of loading which should be solved in national annexes prepared by CEN member states. Determination of the basic combination of loading and partial coefficients of loading for the permanent as well as transient design situations appears to be one of the major issues. PrEN 1990 gives three alternative procedures for such situations. Examples of a reinforced concrete slab and a steel tie suggest that procedures recommended by prEN 1990 lead to differing levels of reliability of structures. They are, though, usually higher than reliability levels achieved with the use of the current ČSN P ENV 1991-1. Further calibration studies have proved to be necessary for the preparation of the national annex to prEN 1990.

### Holický, M. – Marková, J.: Einfluss alternativer Verfahren in der EN 1990 auf die Zuverlässigkeit von Konstruktionen

Die grundlegende europäische Norm für den Entwurf von Baukonstruktionen, die prEN 1990, führt alternative Verfahren für die Bestimmung der Wirkung einer Belastung an, über die in nationalen Anlagen der einzelnen Mitgliedsländer der CEN entschieden werden soll. Eine wichtige Frage ist die Bestimmung der Grundkombination der Belastung und der Teilbelastungsfaktoren für eine dauernde und auch eine zeitweilige Entwurfsituation, für die in der prEN 1990 drei alternative Verfahren angegeben sind. Die Beispiele einer Stahlbetonplatte und eines Stahlgugstabs deuten an, dass die in der prEN 1990 empfohlenen Verfahren zu unterschiedlichen Niveaus der Zuverlässigkeit der Konstruktion führen, die jedoch in den meisten Fällen höher als die Zuverlässigkeit beim Verfahren nach der gegenwärtigen ČSN P ENV 1991-1 liegen. Es erweist sich, dass für die Bearbeitung der nationalen Anlage zur prEN 1990 weitere Kalibrierungsstudien unerlässlich sind.

# Dynamická odezva a způsob porušování cihelných příček při výbuchu plynu uvnitř budovy

doc. Ing. Daniel MAKVIČKA, DrSc.

ČVUT – Kloknerův ústav

Praha

Ing. Daniel MAKVIČKA

Statika a dynamika konstrukcí

Kutná Hora

Příspěvek je zaměřen na analýzu zákonitostí odezvy cihelné příčkové konstrukce při výbuchu metanovzdušné plynné směsi za jejím rubem. Předpokládá se, že doba působení přetlaku od výbuchu plynné směsi je srovnatelná se základní vlastní periodou zatížené zděné konstrukce příčky a tlaky generované výbuchem jsou blízké mezi porušení konstrukce. Příspěvek je založen na variantních dynamických výpočtech odezvy obdélníkové konstrukce zděné příčky pro experimentální ověření její únosnosti. Jsou odvozeny principy porušování zděné konstrukce pro tento typ relativně dlouhého působení výbuchu plynovzdušných směsí v návaznosti na výsledky experimentů na zděných konstrukcích při zatížení relativně velmi krátkou rázovou vlnou.

## 1. Úvod

Při výbuchu náloží nebo plynovzdušných směsí nejrůznějšího typu jsou stavební konstrukce zatěžovány rázovou vlnou s velmi strmým čelem rázové vlny a dobou trvání řádově v milisekundách až desetinách sekundy. Tato zatížení působí na přehradní konstrukce, které jsou zatíženy dynamicky, a to buď vysoko nad mezí jejich únosnosti, jehož důsledkem je jejich havarijní destrukce, nebo pod mezí únosnosti při rozvoji pružných a trvalých deformací, popř. současně se vznikem nehavarijních poruch (trhlin). Z hlediska poznání je významná především nehavarijní odezva těchto přehradních konstrukcí, zaměřená na zefektivnění navrhování konstrukcí odolných teroristickému ohrožení, havarijním výbuchům v průmyslových objektech i v bytových konstrukcích, např. při výbuších propan-butanových směsí.

Předmětem příspěvku je analýza zákonitostí přetváření a porušování jednoduché cihelné zdi klasického formátu při výbuchu plynné metanovzdušné směsi za jejím rubem, odpovídající např. výbuchu plynu v domácnosti. Předpokládá se, že cihelné příčky budou v další etapě prací ověřovány, a to jak při výbušných přetlacích způsobujících pouze jejich pružné přetváření, tak postupně i při tlacích vedoucích až k porušení zdiva a destrukci příčky. Proto byly i rozměry v příspěvku analyzované příčkové zdi přizpůsobeny možnostem experimentálního ověření stejné příčky v další etapě prací.

V již publikovaných pracích [2], [3], [5] byla řešena především problematika zatížení zdiva účinky výbuchu pevných náloží v relativně malé (několikametrové) vzdálenosti výbuchu od přehradní konstrukce, které jsou charakterizovány velmi krátkým působením přetlaku v řádu několika milisekund. Cílem současných studií je analýza odezvy konstrukce při působení přetlaku od výbuchu plynné směsi,

jehož trvání je srovnatelné se základní vlastní periodou zatížené cihelné konstrukce příčky, tedy v desetinách, popř. setinách sekundy, a tlaky generované výbuchem jsou variantně v pružné oblasti až postupně v blízkosti meze porušení konstrukce.

Na základě variantních výpočtů jsou odvozeny závěry vedoucí k prohloubení poznání charakteristik celého jevu a parametrů odezvy jednoduché cihelné příčkové konstrukce.

## 2. Mechanické charakteristiky cihelné zdi

Pro stanovení pevnostních charakteristik zdiva byla použita ustanovení ČSN 73 1101 [7]: Cihly plné (CP): formát  $290 \times 140 \times 65$  mm, objemová hmotnost  $1\,800 \text{ kg/m}^3$ , pevnostní označení cihel P10, pevnost v tlaku 10 MPa, pevnost v tahu za ohybu 1,7 MPa. Malta vápenná značky 0,4 ~ 0,5, pevnost v tlaku po 28 dnech 0,4 ~ 0,5 MPa.

Výsledné charakteristiky zdiva:

- a) pevnost v dostředném a mimostředném tlaku při porušení ve spárách

$$R_d = 0,9 \text{ MPa};$$

- b) pevnost v tahu za ohybu v rovné spáře

$$R_{fd} = 0,02 \text{ MPa};$$

- c) pevnost ve smyku

$$R_{qd} = 0,02 \text{ MPa},$$

pro  $\alpha = 500 \dots$  podle tab. 6 ČSN 73 1101,  
 $k_m = 2,1 \dots$  podle čl. 38 ČSN 73 1101;

- d) tečnový modul přetvářnosti pro  $\sigma = R_d$  (napětí na mezi pevnosti)

$$E_{def2} = \alpha \cdot k_m \cdot R_d \cdot \left(1 - \frac{\sigma}{1,1 \cdot k_m \cdot R_d}\right) = 500 \cdot 2,1 \cdot 0,9 \cdot 0,567 = 536 \text{ MPa};$$

- e) sečnový modul přetvářnosti pro rozmezí napětí

$$0,66 \cdot k_m \cdot R_d \leq \sigma \leq k_m \cdot R_d \dots 1,25 \text{ MPa} \leq \sigma \leq 1,89 \text{ MPa},$$

$$E_{def1} = 1,2 \cdot \alpha \cdot k_m \cdot R_d \cdot \left(1 - \frac{\sigma}{1,5 \cdot k_m \cdot R_d}\right) = 1,2 \cdot 500 \cdot 2,1 \cdot 0,9 \cdot 0,683 = 774 \text{ MPa};$$

- f) modul pružnosti neporušené nové konstrukce (velmi přibližně)

$$E = (1 \sim 0,5) \cdot E_{def2} = (1 \sim 0,5) \cdot 536 = 536 \sim 268 \text{ MPa};$$

- g) modul přetvářnosti zdiva ve smyku

$$G_{def} = 0,4 \cdot E_{def2} = 0,4 \cdot 536 = 214 \text{ MPa};$$

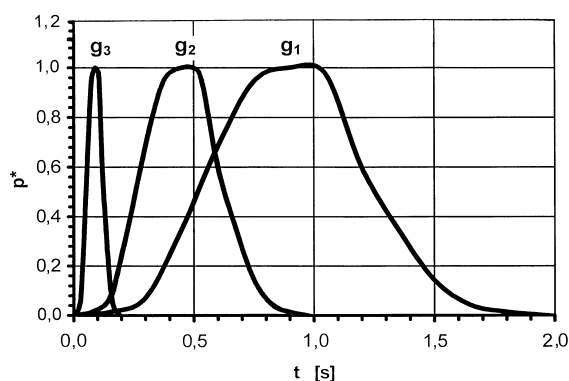
h) Poissonovo číslo

$$\nu = 0,15.$$

Rozměry cihelné přičky byly uvažovány  $2\,200 \times 2\,575 \times 140$  mm.

### 3. Zatížení

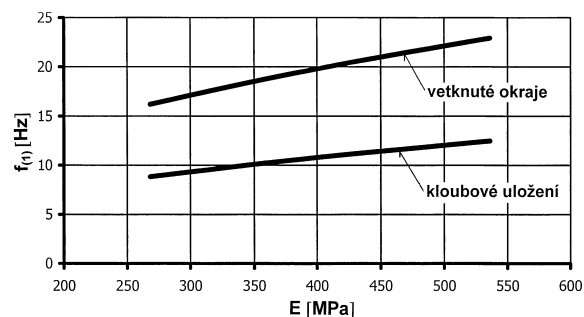
Pro geometrii místnosti (prostoru, určeného k zaplynování a odstřelu) za rubem analyzované zdi byla v rámci spolupráce na řešeném projektu výpočtem stanovena intenzita a časový průběh tlakového zatížení na rubu analyzované zdi od výbuchu metanové směsi [6]. Výbuchový tlak pro danou konfiguraci dosáhl 18,01 kPa. Časový průběh v normalizovaném tvaru je uveden na obr. 1 jako funkce  $g_1(t)$ . Pro alternativní výpočty odezvy byl použit stejný maximální přetlak 18,01 kPa, ale s časově kratším průběhem  $g_2(t)$  a  $g_3(t)$  (ve skutečnosti výsledný přetlak samozřejmě závisí nejen na konfiguraci prostoru za rubem analyzované zdi, ale také na koncentraci plyné směsi, zaplnění místnosti apod. [4]).



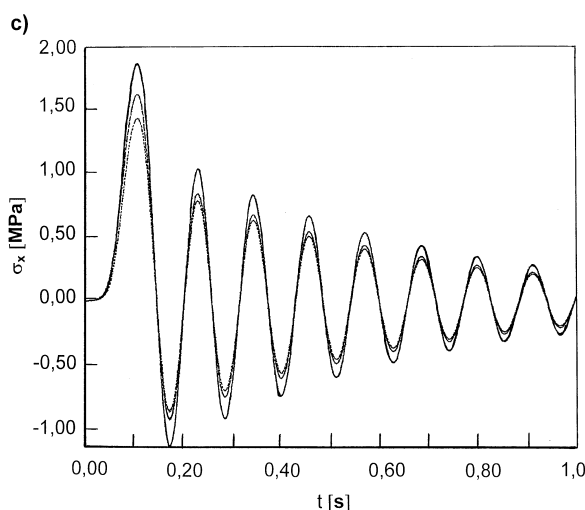
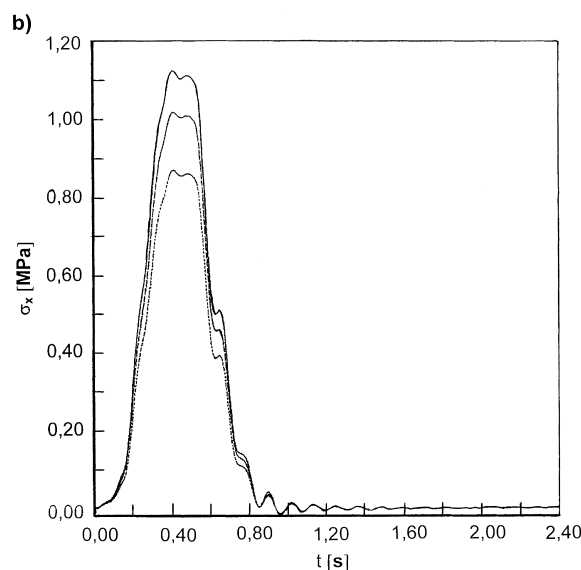
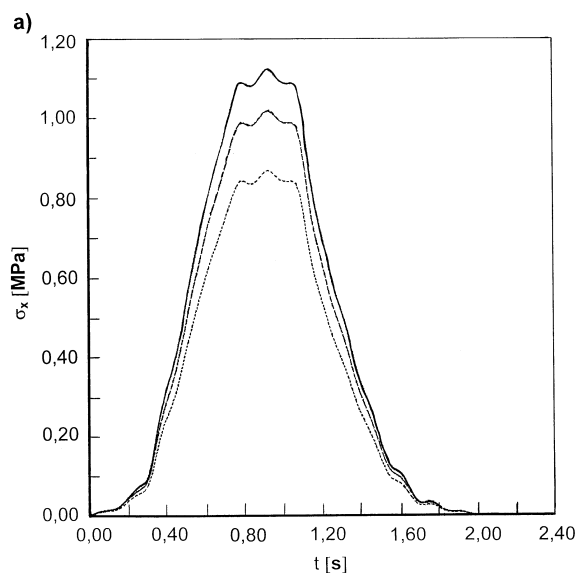
Obr. 1. Variantsní zatížení cihelné zdi – závislost normalizovaného přetlaku  $p^*$  působícího zatížení od účinků výbuchu na čase  $t$

### 4. Dynamická odezva zděné konstrukce

Při dynamickém působení zatížení kolmo na střednici deskostěnové konstrukce zděné přičky se tato konstrukce chová jako ohýbaná deskostěna. O velikosti odezvy kromě charakteristik zatížení rozhoduje tuhost konstrukce, jež je charakterizována, kromě tloušťky zdiva a ostatních rozměrů konstrukce a jejích okrajových podmínek, také velikostí modulu pružnosti  $E$  zdiva, který však podle normy pro navrhování je znám ve značně širokých mezích na rozdíl od ostatních veličin, tedy rozměrů konstrukce, jejích okrajových podmínek apod. Z tohoto důvodu byl sledován vliv modulu  $E$  na naladění konstrukce (rozložení vlastních frekvencí, zvláště nejnižší první vlastní ohybové frekvence – mísovitý tvar průhybu deskostěny) pro dva různé typy okrajových podmínek (vetknutí po celém obvodu zdi a variantsně kloubové uložení rovněž po celém obvodu zdi, viz obr. 2).



Obr. 2. Závislost první vlastní frekvence  $f_{(1)}$  na modulu pružnosti  $E$  a způsobu podepření



Obr. 3. Časový průběh odezvy v napětí  $\sigma$  deskové konstrukce cihelné zdi kloubově podepřené po celém obvodu pro vybrané tři body ve střední části zdi a maximální přetlak 18,01 kPa  
a – pro zatížení, popsané funkcí  $g_1$ , b – pro funkci zatížení  $g_2$ , c – pro funkci zatížení  $g_3$

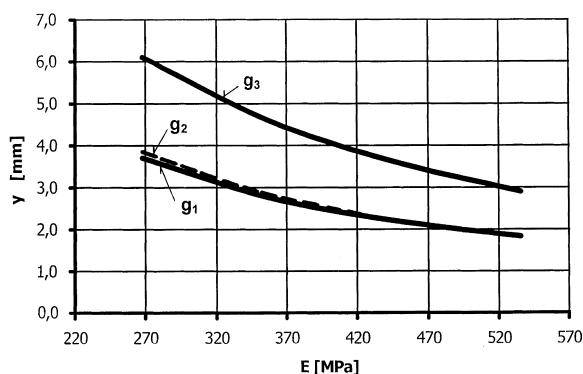
Na absolutní velikost odezvy konstrukce má vliv její útlum. I tato charakteristika bývá značně proměnlivá v závislosti na kvalitě zdiva (zejména na kvalitě vyplnění spár mezi cihlami, míře lokálních poruch, a tím i homogenitě konstrukce, apod.). V našem případě jsme uvažovali podle doporučení ČSN 73 0032 logaritmický dekrement útlumu hodnotou  $\theta = 0,12$  a variantně hodnotou poloviční  $\theta = 0,06$  pro kvalitní homogenní konstrukci.

Na obrázku 3 je vyneseno časový průběh odezvy v napětí  $\sigma_x$  pro kloubové podepření desky po celém obvodu, útlum  $\theta = 0,06$ , maximální přetlak 18,01 kPa, ale různá doba působení zatížení (podle obr. 1):

- pro funkci  $g_1$  cca 1,90 s,
- pro funkci  $g_2$  cca 0,95 s,
- pro funkci  $g_3$  cca 0,19 s.

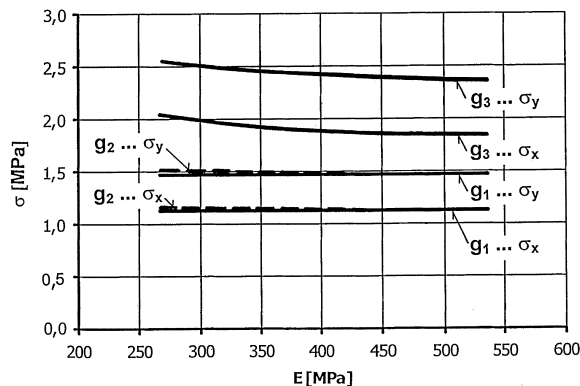
Časový průběh odezvy v napětí  $\sigma_x$  (kolmo na vodorovnou spáru mezi cihlami) je vyneseno ve střední části konstrukce (bod č. 325 je ve středu stěny, bod č. 246 v polovině výšky a levé čtvrtině šířky, bod č. 289 v dolní čtvrtině výšky a v polovině šířky).

Dominantní první vlastní frekvence pro tento model je 12,5 Hz a této frekvenci odpovídající vlastní perioda 0,08 Hz. Z porovnání doby působení zatížení s vlastní periodou je zřejmé, že pokud vlastní perioda je značně malá (proti době působení zatížení), je pro odezvu konstrukce dominantní kvazistatická složka působení zatížení kopírující časový průběh zatížení – tvar zatěžujícího impulsu [2], [3], [5]. Na tento kvazistatický průběh je superponovaná dynamická složka odpovídající svou frekvencí dominantní vlastní frekvenci konstrukce – viz vliv funkce  $g_1$ . U funkce  $g_3$  je doba působení zatížení srovnatelná s dominantní vlastní periodou konstrukce, a tak ve tvaru odezvy převládá dynamická složka odezvy právě s frekvencí této dominantní vlastní frekvence konstrukce, zatímco vliv tvaru zatěžujícího impulsu na velikost a tvar odezvy je zanedbatelný.



Obr. 4. Závislost maximální výchylky  $y$  na modulu pružnosti zdiva  $E$  pro kloubové podepření po obvodu zdi a maximální přetlak 18,01 kPa a funkce zatížení  $g_1$  až  $g_3$

Z obrázku 5 je zřejmé, že velikost odezvy konstrukce v napětí ovlivňuje především naladění konstrukce, tedy poměr vlastní periody a doby působení zatížení, vyjádřené funkcemi zatížení  $g_1$  až  $g_3$ . Vliv tuhosti konstrukce na velikost odezvy je vyneseno na obr. 5 jako závislost modulu pružnosti  $E$  na napětí ve zdivu  $\sigma_x$  a  $\sigma_y$  ( $\sigma_x$  je napětí kolmo na vodorovnou spáru mezi cihlami, tedy ve svislém směru,  $\sigma_y$  je napětí kolmo na svislé zalomené spáry mezi cihlami, tedy ve vodorovném směru). Je zřejmé, že na rozdíl od výchylky  $y$  (obr. 4) je napětí relativně nezávislé na míře přiblížení určení modulu pružnosti  $E$  (samozřejmě pro rozumné rozmezí modulů v desítkách procent).



Obr. 5. Závislost napětí  $\sigma_x$  a  $\sigma_y$  na modulu pružnosti zdiva  $E$  pro kloubové podepření po obvodu zdi a maximální přetlak 18,01 kPa a funkce zatížení  $g_1$  až  $g_3$

## 5. Porušení zdiva

Při dynamickém zatížení zděná konstrukce zakmitá v některém ze svých vlastních tvarů nebo v jejich superpozici. Pro velmi dlouhé časové průběhy zatížení je ve srovnání s nejnižší vlastní frekvencí konstrukce dominantním vlastním tvarem právě tato nejnižší frekvence.

V kolmém směru na rovinu styku vznikají ve spárách mezi jednotlivými cihlami tahová nebo tlaková napětí v důsledku ohybu konstrukce, samozřejmě s výjimkou uzlových linií příslušného tvaru kmitání. Ve směru rovin styků mezi cihlami (vodorovné i svislé) pak smyková napětí v maltě mezi cihlami. Dynamická tahová, tlaková a smyková napětí ve spárách mezi cihlami zděné přičky, způsobená účinkem tlakové vlny, jsou superponována na statické předpětí zdiva (v tlaku) tíhou nadložního zdiva, popř. dalších konstrukcí na zdivu osazených. Z oddílu 2 je zřejmé, že statická únosnost zdiva v tahu je velmi malá. Pro dynamická napětí můžeme uvažovat s vyšší dynamickou mezí pevnosti, nicméně podle závěrů již provedených experimentů je při tomto typu zatížení dynamická mez pevnosti malty v tahu nižší než 0,1 MPa. O porušení zdiva – vzniku prvních trhlin ve spárách mezi cihlami – rozhoduje hlavní tahové napětí v maltě ve spáře. Do vzniku prvních trhlin je vztah napětí/deformace téměř lineární (tato linearita byla potvrzena experimentálně v pracích [1], [2], [5]). Mezní tahové napětí, které rozhoduje o porušení konstrukce při tomto typu zatížení, je významně nižší v porovnání s únosností v tlaku, takže chyba vyplývající z možné nelinearity funkce napětí/deformace je malá (pokud je konstrukce dostatečně předepnutá velkou vlastní tíhou nadložního zdiva).

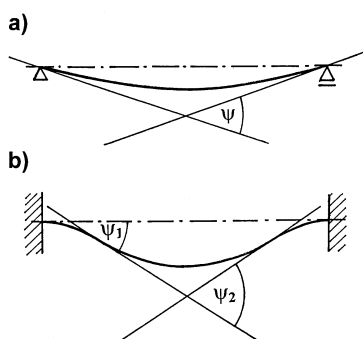
Před vznikem trhlin ve spárách je konstrukce dostatečně přesně popsána fyzikálními charakteristikami dříve zmíněnými pružným deformacím konstrukce a průhybová plocha odpovídá dominantním vlastním tvarům kmitání a jejich superpozici. Při prvních trhlinách dojde ke skokové změně velikosti vlastních frekvencí jako důsledek změny okrajových podmínek konstrukce. Dále dochází k významné změně modulu pružnosti, jeho hodnota klesne přibližně o 20 % proti počáteční hodnotě [2], [5]. Tento postup se opakuje při vzniku další série mikrotrhlin až do okamžiku kolapsu konstrukce. Díky i malému předpětí zdiva vlastní tíhou nezpůsobí zpravidla první skupiny trhlin ve spárách kolaps zděné konstrukce.

Z porovnání jednotlivých časových průběhů odezvy na obr. 3 je zřejmé, že charakter odezvy pro dlouhé versus krátké doby působení zatížení má významný vliv na okamžik porušení zdiva. Pro zdivo je nejnebezpečnější srovnatelná



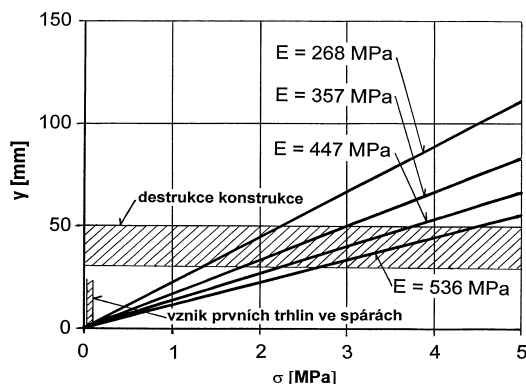
velikost doby dominantní vlastní periody konstrukce a doby působení zatížení. Při vzniku této rezonance nebo v jejím blízkém okolí dochází k rozkmitání konstrukce se střídavým tahovým a tlakovým namáháním zdiva při obou povrchích, které vede k oboustrannému rozevírání trhlin. Únosnost konstrukce při takovémto způsobu zatížení je nejmenší.

Jak již bylo řečeno, vznik prvních trhlin zpravidla nevede ke kolapsu (destrukci) zdiva. K havárii zděné konstrukce [1] dochází při dosažení nebo překročení úhlu  $\psi$  natočení ohybové čáry ve středu rozpětí nebo v blízkosti podpor (obr. 6) daného mezní hodnotou  $\psi \approx 0,6$  až 1,0. (Tento úhel je tvořen tečnami ke střednici deformované konstrukce. Pro nesymetricky působící zatížení, např. pro dlouhé stěnové příčky nebo pro vyšší tvary kmitání s kmitnami ve více bodech konstrukce, nemusí platit  $\psi_2 = 2 \psi_1$ , jak to je splněno pro první vlastní tvar kmitání pro oboustranně vetknutou krátkou konstrukci.) V našem případě při kloubovém uložení okrajů příčkové deskové konstrukce mezní úhel  $\psi$  odpovídá průhybu ve směru působícího zatížení ve středu příčkové desky 30 až 50 mm.



Obr. 6. Úhel natočení střednice příčky  $\psi$  (popř.  $\psi_1$  nebo  $\psi_2$ ) od účinku zatížení vedoucí k havárii konstrukce  
a – kloubové uložení, b – vetknutí

Na obrázku 7 je vyznačeno do lineární závislosti napětí  $\sigma$  na průhybu  $y$  a ve vztahu k modulu pružnosti konstrukce  $E$ , vyjadřující společně s tloušťkou konstrukce vliv její tuhosti, meze odpovídající vzniku prvních trhlin (podle hlavních napětí) ve spárách a mez odpovídající kolapsu konstrukce podle úhlu  $\psi$ . Údaje pro obr. 7 byly vypočítány pro pružné namáhání konstrukce – po vzniku prvních trhlin je tedy velikost napětí  $\sigma$  hodnotou pouze idealizovanou – neskutečnou, odpovídající neporušené konstrukci. Přesto však je zřejmé, že při nejistotě ve stanovení modulu pružnosti zdiva v rozmezí



Obr. 7. Závislost ohybového napětí  $\sigma$  deskové konstrukce cihelné příčky na jejím průhybu  $y$  ve středu rozpětí a modulu pružnosti  $E$  zdiva včetně zakreslení kritérií pro vznik prvních trhlin a porušení konstrukce jejím zhroutilím

268 až 536 MPa podle naší normy se zděná konstrukce příčky nezhroutí při dosažení napětí 0,1 MPa, zjištěného lineárně pružným výpočtem, ale až při napětí 2 až 5 MPa, tedy řádově vyšším. Spolehlivost výpovědi o havárii celé konstrukce tedy závisí na vlivu skutečných vlastností konstrukce, popsanych zejména modulem pružnosti zdiva  $E$ .

## 6. Závěr

Příspěvek je zaměřen na analýzu odezvy zděné cihelné konstrukce při zatížení přetlakem od výbuchu plynovzdušných směsí s dobou působení přetlaku srovnatelnou s nejnižší vlastní periodou kmitání cihelné příčkové konstrukce. Je porovnán způsob odezvy konstrukce při relativně dlouhém působení přetlaku s odezvou na krátký impuls od výbuchu pevných náloží v blízkosti zděné konstrukce. Dále je porovnán vliv okrajových podmínek a vliv přesnosti stanovení materiálových charakteristik, zejména pak modulu pružnosti zdiva na velikost průběhů napětí ve spárách cihelného zdiva a velikost průhybů. Konečně je diskutován způsob porušení, a to jak vznik prvních trhlin v konstrukci, tak kolaps celé konstrukce v závislosti na tahovém napětí ve spárách a na průhybech konstrukce. Společně s předchozími teoreticko-experimentálními pracemi je studie zaměřena na zkvalitnění poznání porušování zděných konstrukcí při rázovém zatížení účinky výbuchu.

**Práce na této problematice je podporována grantovým projektem č. 103/01/0039 GA ČR „Modelování účinků tlakových polí při havarijních výbuších plynů v uzavřených objektech na stavební konstrukce“.**

## Literatura

- [1] Koloušek, V. a kol.: Stavební konstrukce namáhané dynamickými účinkami. Bratislava, SVTL 1967.
- [2] Makovička, D.: Failure of Masonry Under Impact Load Generated by an Explosion. Acta Polytechnica, Vol. 39, No. 1/1999, pp. 63 – 91.
- [3] Makovička, D.: Shock Wave Load of Masonry Structure and Hypothesis of Its Failure. In: Transaction of 15th International Conference on SMiRT- 15 (Structural Mechanics in Reactor Technology), Volume VII, Seoul, 1999, pp. 249 – 256.
- [4] Makovička, D.: Explosion Hazard to Buildings and Design Load Parameters. In: Jones, N., Brebbia, C.A.: Structures Under Shock and Impact VI. Southampton, WIT Press 2000, pp. 373 – 382.
- [5] Makovička, D.: Failures of Masonry Structures by Explosion Effects. CTU Reports, Theoretical and Experimental Research in Structural Engineering, 2000, Vol. 4, pp. 83 – 87.
- [6] Podstawka, T. – Janovský, B. – Horkel, J. – Vejs, L.: Modelování účinků tlakových polí při výbuších plynů v uzavřených objektech na stavební konstrukce – I. etapa. In: Požární ochrana 2001, Ostrava, VŠB-TU, s. 333 – 340.
- [7] ČSN 73 1101 Navrhování zděných konstrukcí. ČSNI, 1980.

## Makovička, D. – Makovička, D. jr.: Dynamic Response and a Way of Damaging Brick Partitions by Gas Explosion Inside Buildings

This paper analyzes the laws of response of brick partition structures during explosion of methane and air mixture behind their back. The time of overpressure action after the gas mixture explosion is assumed to be comparable with the basic period of the loaded brick structure of the partition. Also, explosion-generated pressures are assumed to be close to the limit of failure of

the structure. This paper is based on alternative dynamic calculations of the response of the rectangular structure of the brick partition for testing its load-bearing capacity. Principles of damaging brick structures are derived for this type of relatively long effects of gas and air mixture explosion. Results of earlier experiments made with brick structures loaded by a relatively very short shock wave are also used.

Makovička, D. – Makovička, D. jr.: Dynamische Antwort und die Art und Weise der Beeinträchtigung von Ziegeltrennwänden bei einer Gasexplosion innerhalb eines Gebäudes

Der Beitrag ist auf die Analyse der Gesetzmäßigkeit der Antwort einer Ziegeltrennwandkonstruktion bei der Explosion eines Methan-Luft-Gemisches an deren Rückseite ausgerichtet. Es wird angenommen, dass die Einwirkungsdauer des Überdrucks ab dem Moment der Explosion des Gasgemisches mit der eigentlichen Grundperiode der Belastung der gemauerten Konstruktion der Trennwand vergleichbar ist und dass die durch die Explosion generierten Drücke nahe der Bruchgrenze der Konstruktion liegen. Der Beitrag basiert auf Varianten dynamischer Berechnungen der Antwort einer Rechteckkonstruktion der gemauerten Trennwand für die experimentelle Überprüfung ihrer Tragfähigkeit. Es werden Prinzipien der Störung der Mauerwerkskonstruktion für diesen Typ einer relativ langen Wirkung der Explosion des Gas-Luft-Gemisches in Abhängigkeit von den Ergebnissen früherer Experimente an Mauerwerkskonstruktionen bei Belastung durch eine relativ sehr kurze Stoßwelle abgeleitet.

Úspěšná mediální společnost působící v oblasti reklamy se sídlem v Praze hledá

kvalifikované kandidáty na hlavní pracovní poměr pro pozici

### KOORDINÁTORA PROJEKTŮ – VÝROBA

Náplní Vaší práce bude zejména spolupráce s projekčními kancelářemi za účelem vypracování výrobní dokumentace pro ocelové konstrukce a ostatní zařízení, vyhledávání a koordinace výrobních firem, vyjednávání smluvních podmínek, kontrola kvality a dodržování termínů a dalších podmínek výrobního procesu a instalace.

Požadujeme:

- SŠ/VŠ vzdělání technického směru
- možnost pracovat na plný pracovní úvazek
- praxe v oboru
- schopnost domluvit se v AJ
- systematický, analytický a pečlivý přístup k práci
- schopnost pracovat nezávisle, a zároveň jako součást týmu
- orientace na výsledky
- vysoké pracovní nasazení
- řídičský průkaz B

Uvítáme:

- znalost programu AutoCAD

Nabízíme:

- atraktivní finanční ohodnocení + systém bonusů na základě kvality práce
- samostatnou práci
- profesní růst závisející na Vašich schopnostech
- ocenění kvalitně odvedené práce

V případě zájmu o tuto pozici zašlete Vaše písemné nabídky doplněné strukturovaným životopisem na emailovou adresu [Koordinator.Projektu@seznam.cz](mailto:Koordinator.Projektu@seznam.cz) nebo je faxujte na číslo 02/66708112. Pro podrobnější informace kontaktujte sl. Hladkou na telefonním čísle 02/66708111.

## Ocelové konstrukce v Praze

Katedra ocelových konstrukcí Fakulty stavební ČVUT v Praze pokračuje v pořádání odborných seminářů věnovaných aktuálním tématům praxe ocelových konstrukcí. Příští **celodenní seminář** se bude konat

v úterý 4.6.2002

na Fakultě stavební ČVUT, Thákurova 7, 166 29 Praha 6

(spojení metro A, stanice Dejvická, parkoviště osobních automobilů u fakulty).

#### Program přednášek:

- Změna ČSN 73 1401
- Požadavky na celistvost konstrukcí při výbuchu
- Sprážený ocelobetonový příhradový nosník
- Stabilita při ohybu – méně běžné případy
- Styčníky ocelových konstrukcí
- Navrhování tenkých stěn podle evropské normy
- Únava a křehký lom
- Požární návrh
- Vystoupení představitele ČAOK
- Současný stav v normalizaci OK
- Diskuse s účastníky

Přednášet budou učitelé katedry ocelových konstrukcí. Seminář je zařazen do systému vzdělávání ČKAIT.

Vložené 1 500 Kč zahrnuje účast na semináři, sborník, občerstvení a oběd v menze.

Příhlášky na lze získat na adrese: [kalinova@fsv.cvut.cz](mailto:kalinova@fsv.cvut.cz)

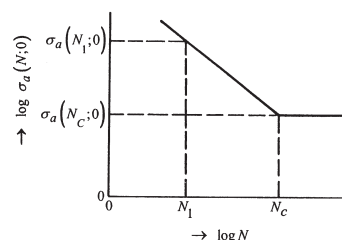
# Konzervativní aproximace mezní plochy vysokocyklové časované pevnosti vrubované součásti a její grafická interpretace

prof. Ing. Milan HÝČA, DrSc.  
ČZU – Technická fakulta  
Praha

Článek uvádí konzervativní aproximaci mezní plochy vysokocyklové časované pevnosti vrubované součásti se zřetelem k velikosti vrubového činitele a asymetrie cyklů namáhání. Vychází z klasické aproximace Wöhlerovy křivky napětí s požadovanou pravděpodobností přežití při souměrném střídavém cyklu namáhání, Goodmanovy lineární aproximace vlivu zmíněné asymetrie cyklů namáhání a z předpokladu nezávislosti vrubového činitele na počtu cyklů. Jako příklad grafické interpretace jsou uvedeny Haighovy diagramy vrubovaných součástí z ušlechtilé uhlíkové oceli, namáhaných periodickým tahem/tlakem při různé únavové životnosti a různé velikosti vrubového činitele. Navržených podkladů lze užít k rychlé analýze řady problémů v konstrukční a výpočtářské praxi, a tedy i při zajišťování vyšší inherentní spolehlivosti konstrukčních částí v oblasti vysokocyklové časované pevnosti.

$N \in \langle N_1; N_C \rangle$  je únavová životnost (počet cyklů namáhání do porušení),  
 $\sigma_m \in \langle 0; \sigma_{Kt} \rangle$  – střední napětí cyklu namáhání,  
 $\beta \geq 1$  – vrubový činitel (obecněji, redukční činitel respektující vliv vrubů, jakost povrchu a velikost součásti),  
 $\sigma_F = \zeta \cdot \sigma_{Pt}$  – fiktivní pevnost [7] (tah/tlak  $\zeta = 1$ , ohyb  $\zeta = 1,5 - 1,7$ , kroucení  $\zeta = 0,7 - 0,8$ );  
 $\sigma_{Kt}$  – mez kluzu.

Význam ostatních veličin je zřejmý z obr. 1, kde  $\sigma_a(N; 0) = \sigma_a(N; \sigma_m = 0)$  je mezní amplituda kmitu napětí hladkého



Obr. 1. Wöhlerova křivka napětí (úsek vysokocyklové časované pevnosti)

## 1. Úvod

Článek je věnován konzervativnímu výpočtu vysokocyklové časované pevnosti vrubovaných konstrukčních částí při mechanické únavě se zřetelem k asymetrii cyklů jedno- a dvou-úhlového deterministického periodického namáhání, jehož střední napětí zkracuje únavovou životnost, resp. snižuje únosnost. Výchoziskem je znalost Wöhlerovy křivky únavové životnosti s požadovanou pravděpodobností přežití při měkkém zatěžování hladkého vzorku souměrným střídavým cyklem požadovaného způsobu namáhání. Vliv asymetrie cyklů je respektován, při monolineární aproximaci příslušné části zmíněné křivky, v rámci Goodmanovy lineární aproximace a se zřetelem k citlivosti materiálu k této asymetrii, tj. zavedením fiktivní pevnosti  $\sigma_F$ . Vliv vrubů je respektován volbou konstantní velikosti vrubového činitele  $\beta$ , který je tedy zaveden stejně jako v oboru pevnosti trvalé, tj. jako  $\beta = \sigma_c / \sigma_c^*$ , kde  $\sigma_c$  je trvalá pevnost hladkého vzorku a  $\sigma_c^* =$  = trvalá pevnost konstrukční části s vruby.

## 2. Základní závislosti

Matematický model vysokocyklové časované pevnosti  $\sigma_a^*$  vrubovaných konstrukčních částí, formulovaný za uvedených zjednodušujících předpokladů, lze odvodit ve tvaru [2]

$$\sigma_a^*(N; \sigma_m) = \min \left\{ \frac{\sigma_a(N_C; 0)}{\beta} \left( 1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_F} \right) \left( \frac{N_C}{N} \right)^{1/w}; \sigma_{Kt} - \sigma_m \right\}, \quad (1)$$

kde

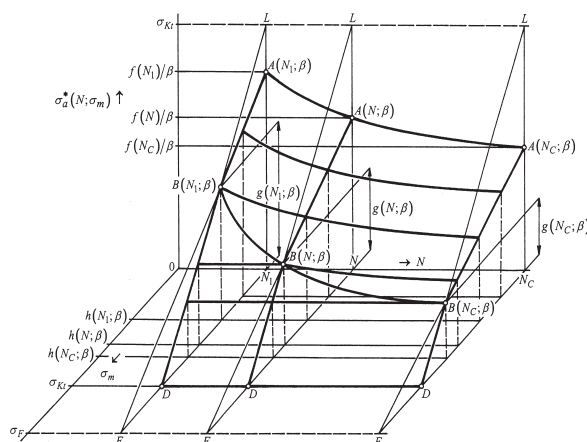
$$w = \frac{\log(N_C/N_1)}{\log\left(\frac{\sigma_a(N_1, 0)}{\sigma_a(N_C, 0)}\right)}, \quad (2)$$

vzorku materiálu při  $\sigma_m = 0$ ,  $N_1 = 10^4 \div 10^5$  a  $N_C = 10^7 \div 10^8$  je báze počtu kmitů při jedno-úhlovém deterministickém periodickém namáhání. Prostorové znázornění uvažované mezní plochy vysokocyklové časované pevnosti uvádíme v obr. 2,

kde

$$f(N) = \sigma_a(N_C, 0) \cdot \left( \frac{N_C}{N} \right)^{1/w}, \quad (3)$$

$$g(N, \beta) = \frac{\sigma_F - \sigma_{Kt}}{\beta \sigma_F - f(N)} f(N), \quad (4)$$



Obr. 2. Prostorové znázornění konzervativní aproximace (1) – (5) mezní plochy vysokocyklové časované pevnosti vrubované součásti

$$h(N, \beta) = \frac{\beta \cdot \sigma_{Kt} - f(N)}{\beta \cdot \sigma_F - f(N)} \sigma_F \quad (5)$$

Na základě matematického modelu (1) – (5) lze řešit mnoho úloh při posuzování i konzervativní predikci únavové životnosti, únosnosti a bezpečnosti vrubovaných konstrukčních částí v oblasti vysokocyklové časované pevnosti při jednostupňovém deterministickém periodickém namáhání s různou nesymetrií cyklu. Tyto úlohy lze rozdělit do několika skupin:

- parametrická analýza vlivu vstupních dat z hlediska únosnosti, životnosti a bezpečnosti,
- určení mezní velikosti charakteristik cyklů namáhání při předepsané životnosti a bezpečnosti,
- určení mezní velikosti vrubového činitele při předepsané životnosti a bezpečnosti,
- určení životnosti při předepsané bezpečnosti a dané velikosti vrubového činitele,
- určení bezpečnosti při požadované životnosti a dané velikosti vrubového činitele.

Početní řešení jednotlivých úloh poskytují rychlou rámcovou odpověď na řadu otázek ve výpočetní i konstrukční praxi a lze jich využít k zajištění vyšší inherentní spolehlivosti konstrukčních částí. Přehlednou informaci umožňuje grafická interpretace těchto řešení ve formě nomogramů.

Formulace podkladů k řešení všech uvedených úloh, resp. jejich nomografická interpretace, jsou podmíněny znalostí pouze šesti charakteristických hodnot materiálu a veličin popisujících jeho Wöhlerovu křivku při uvažovaném souměrném střídavém namáhání, a to

$$\sigma_{Kt}, \sigma_F, N_1, \sigma_a(N_1; 0), N_C, \sigma_a(N_C; 0) \quad (6)$$

V závislosti na typu úlohy je třeba dále zadat i některé z veličin

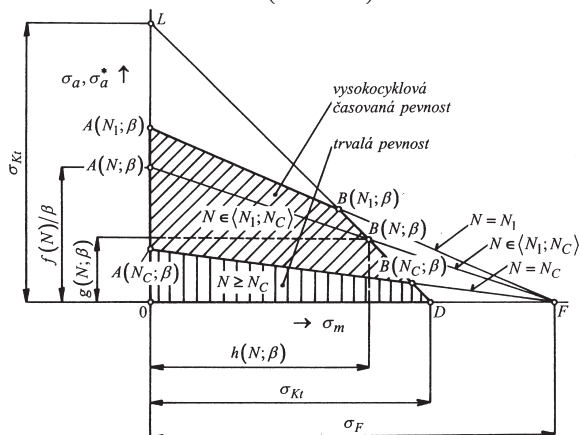
$$\sigma_m, \sigma_a, \sigma_h, \sigma_m / \sigma_a, \sigma_d / \sigma_h, \beta, N, k, \quad (7)$$

kde  $\sigma_h = \sigma_m + \sigma_a$ ,  $\sigma_d = \sigma_m - \sigma_a$  a  $k =$  bezpečnost.

### 3. Konstrukce Haighových diagramů

Dále uvedeme podklady pro konstrukci Haighových diagramů pro periodicky namáhané vrubované součásti při různé únavové životnosti  $N$  a různé velikosti vrubového činitele  $\beta$  v souřadnicích  $\sigma_m, \sigma_a$ , resp.  $\sigma_m / \sigma_a$  a  $\sigma_h$ . Pro kartézské souřadnice vrcholů  $A, B$  a  $D$  Haighova diagramu lze na základě (1) – (5) a při označení podle obr. 2 a obr. 3 odvodit

$$A(N, \beta) = A\left(0; \frac{f(N)}{\beta}\right) \quad (8)$$



Obr. 3. Haighovy diagramy při pevném  $\beta$  při  $N = N_1, N \in \langle N_1; N_C \rangle$  a  $N = N_C$  – vymezení oblasti vysokocyklové časované pevnosti a trvalé pevnosti

$$B(N, \beta) = B(h(N, \beta); g(N, \beta)), \quad (9)$$

$$D = D(\sigma_{Kt}; 0). \quad (10)$$

Jako příklad sestrojme Haighovy diagramy vrubovaných součástí z ušlechtilé uhlíkové oceli 12060.6, namáhaných periodickým tahem/tlakem, kdy pro veličiny (6) platí [8]

$$\begin{aligned} \sigma_{Kt} &= 440 \text{ MPa}, & \sigma &= 620 \text{ MPa}, \\ N_1 &= 10^5, & \sigma_a(N_1; 0) &= 260 \text{ MPa}, \\ N_C &= 10^7, & \sigma_a(N_C; 0) &= 210 \text{ MPa}. \end{aligned} \quad (11)$$

Tyto diagramy, sestrojené pro

$$N = 10^5, 10^6, 10^7, \quad (12)$$

$$\beta = 1, 1.5, 2, 3, 4 \quad (13)$$

a doplněné izoliniemi parametrů

$$\frac{\sigma_m}{\sigma_a} \in \langle 0; 20 \rangle \quad (14)$$

a

$$\sigma_h \in \langle 50; \sigma_{Kt} \rangle \quad (15)$$

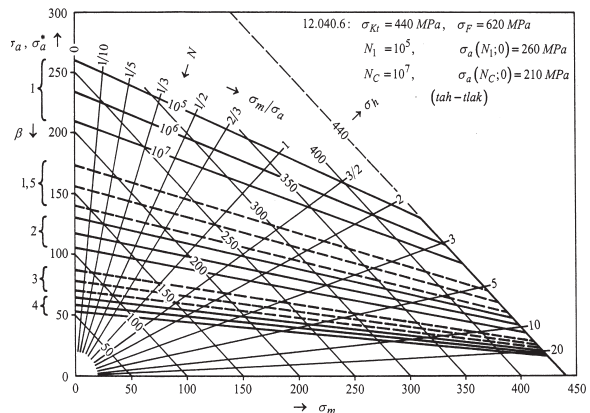
uvádíme v obr. 4. Poznamenejme, že pro poměr  $\sigma_m / \sigma_a$  platí

$$\frac{\sigma_m}{\sigma_a} = \frac{1+R}{1-R}, \quad (16)$$

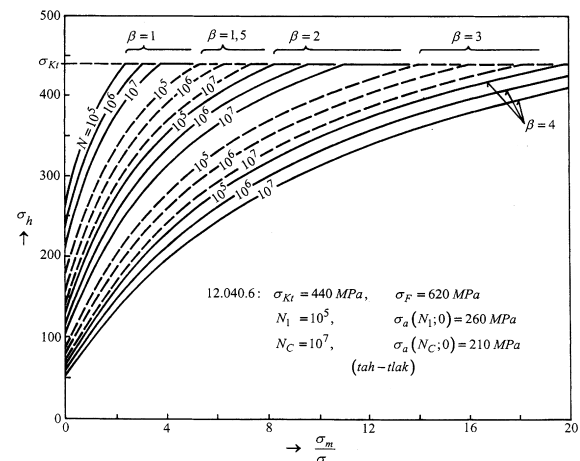
kde

$$R = \frac{\sigma_d}{\sigma_h} = \frac{\sigma_m / \sigma_a - 1}{\sigma_m / \sigma_a + 1} \in \langle -1; 0,90 \rangle \quad (17)$$

je obvykle uváděný součinitel nesymetrie cyklu namáhání.



Obr. 4. Haighovy diagramy pro  $N \in \langle N_1; N_C \rangle$  a  $\beta \in \langle 1; 4 \rangle$  a izolinie  $\sigma_m / \sigma_a$  a  $\sigma_h$  v souřadnicích  $\sigma_m, \sigma_a$



Obr. 5. Haighovy diagramy pro  $N \in \langle N_1; N_C \rangle$  a  $\beta \in \langle 1; 4 \rangle$  v souřadnicích  $\sigma_m / \sigma_a, \sigma_h$

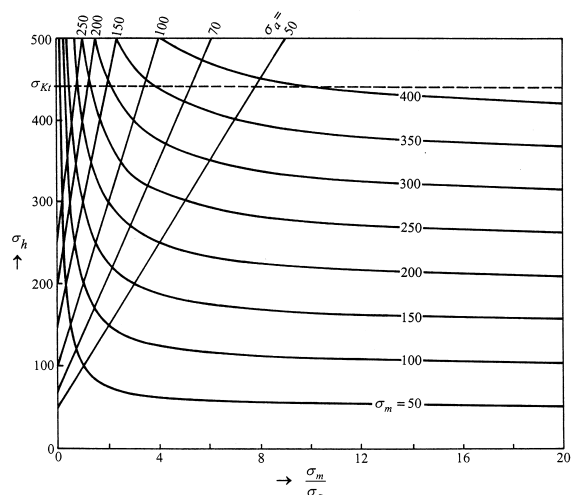
Uvedené diagramy, transformované do souřadnic (14), (15), jsou znázorněny v obr. 5. Izolinie

$$\sigma_m \in (50; 400) \quad (18)$$

a

$$\sigma_a \in (50; 250) \quad (19)$$

jsou v těchto souřadnicích znázorněny v obr. 6.



Obr. 6. Izolinie  $\sigma_a$  a  $\sigma_m$  v souřadnicích  $\sigma_m/\sigma_a$ ,  $\sigma_h$  (pro Haighovy diagramy v obr. 5)

Na základě uvedených Haighových diagramů lze provést kvalitativní i kvantitativní analýzu vysokocyklové časované pevnosti, životnosti i bezpečnosti uvažovaných konstrukčních částí z hlediska vlivu velikosti vrubového (resp. redukčního) činitele a stupně nesymetrie cyklů namáhání. Příslušné podklady i jejich nomografická interpretace budou uveřejněny v samostatných publikacích.

#### 4. Závěr

Navržené teoretické podklady umožňují rovinné grafické znázornění konzervativní aproximace mezní plochy vysoko-cyklové časované pevnosti vrubované součásti při různé velikosti vrubového, resp. redukčního činitele a různé nesymetrii cyklů namáhání. Tyto podklady lze použít k rychlé analýze řady úloh při určování únosnosti, únavové životnosti, bezpečnosti, mezní velikosti charakteristik cyklů namáhání i mezní velikosti vrubového, resp. redukčního činitele vrubovaných konstrukčních částí při jednostupňovém deterministickém namáhání s různým stupněm nesymetrie cyklu. Mohou být též východiskem k formulaci některých kvantitativních i kvalitativních závěrů, jež z Haighových diagramů přímo nevyplývají.

#### Literatura

- [1] Höschl, C.: Únava materiálu při periodickém zatěžování. Stavba strojů, 79, Strojnická společnost ČSVTS a DT ČSVTS, Praha, 1981, 125 s.
- [2] Hýčá, M.: K výpočtu životnosti konstrukčních prvků v oboru mnohocyklové únavy. In: Spolehlivost a diagnostika v dopravní technice (Dopravní stavby). Univerzita Pardubice, 2000, s. 83 – 90.
- [3] Kepka, M.: Vyhodnocování vstupních údajů o pevnosti a namáhání pro výpočty únavové životnosti ocelových konstrukcí. Inženýrské stavby, 7, 1986, s. 377 – 382.
- [4] Linhart, V.: Výpočty únavové životnosti částí při proměnlivém namáhání. In: Provoz a zkoušení strojů I, DT ČVTS Praha, 1972, s. 51 – 109.
- [5] Macháček, J. – Rotter, T.: Výběrový předmět I. Fakulta stavební ČVUT, 1991, 105 s.
- [6] Němec, J. – Puchner, O.: Tvarová pevnost kovových těles. Praha, SNTL 1971.
- [7] Růžička, M. – Hanke, M. – Rost, M.: Dynamická pevnost a životnost. Fakulta strojní ČVUT, 1989, 212 s.
- [8] Únavové vlastnosti vybraných československých ocelí. Poradenská příručka 37, TEVUH, Praha, 1985, 184 s.
- [9] Vejvoda, S. – Vlk, M.: Stavba chemických zařízení II. Praha, SNTL 1982, 175 s.

#### Hýčá, M.: Conservative Approximations of the Limit Area of High-Cycle Timed Strength of a Notched Component and its Graphic Interpretation

This article presents a conservative approximation of the limit area of high-cycle timed strength of a notched component with a focus on notch factor values and asymmetry of loading cycles. It is based on the classical approximation of Wöhler's stress curve with the required probability of survival under a symmetric intermittent loading cycle; further, it is based on Goodman's linear approximation of the effect of the asymmetry of loading cycles and the expected independence of the notch agent on the number of cycles. Haigh's diagrams of notched components made of high-quality carbon steel loaded by periodic tension/pressure with differing fatigue service life and notch agent value serve as a graphic sample interpretation. The proposed source materials may facilitate analysis of numerous problems in structural and calculation practice. They can also be used as a starting point in parametric analyses within the above simplifying assumptions.

#### Hýčá, M.: Konservativní Aproximace der Grenzfläche der hochzyklischen zeitgesteuerten Festigkeit eines gekerbten Bauteils und ihre grafische Interpretation

Der Artikel behandelt die konservative Approximation der Grenzfläche der hochzyklischen zeitgesteuerten Festigkeit eines gekerbten Bauteils unter Berücksichtigung der Größe der Kerbwirkungszahl und der Asymmetrie der Beanspruchungszyklen. Er geht von der klassischen Approximation der Wöhler-Spannungskurve mit der geforderten Wahrscheinlichkeit des Überlebens bei einem symmetrischen wechselnden Beanspruchungszyklus, der Goodmanschen linearen Approximation des Einflusses der genannten Asymmetrie der Beanspruchungszyklen und von der Annahme der Unabhängigkeit der Kerbwirkungszahl von der Anzahl der Zyklen aus. Als Beispiel einer grafischen Interpretation werden die Haighschen Diagramme gekerbter Bauteile aus veredeltem Kohlenstoffstahl angeführt, die bei unterschiedlicher Ermüdungslebensdauer und unterschiedlicher Größe der Kerbwirkungszahl durch periodischen Zug/Druck beansprucht werden. Die entworfenen Unterlagen können die Analyse vieler Probleme in der Konstruktions- und Berechnungspraxis erleichtern. Sie können auch der Ausgangspunkt für Parameteranalysen im Rahmen der genannten vereinfachenden Annahmen sein.

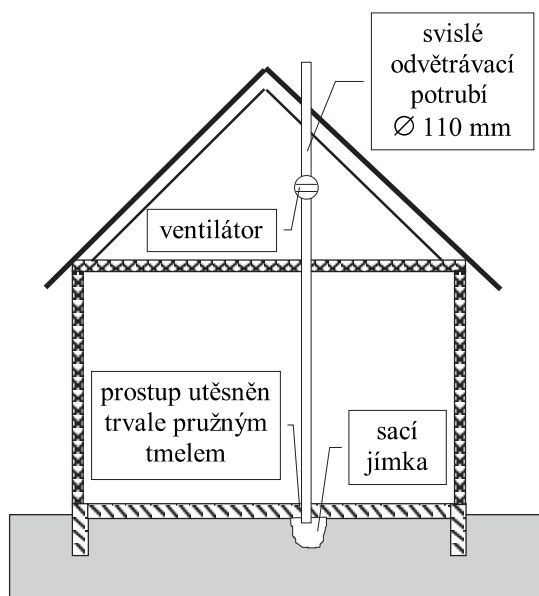
## Vyhodnocení účinnosti systémů odvádějících radon z podloží stávajících staveb

Ing. Martin JIRÁNEK, CSc.  
 ČVUT – Fakulta stavební  
 Praha

Větrací systémy podloží jsou celosvětově považovány za jedno z neúčinnějších a neefektivnějších protiradonových opatření. Jejich úkolem je snižovat koncentraci radonu pod základovou deskou a vytvářet podtlak v podloží vůči tlaku vzduchu v kontaktních podlažích. Závislost účinnosti těchto systémů na různých faktorech se zkoumala u více než šedesáti rodinných domků, do nichž byl systém instalován dodatečně. Ukázalo se, že se účinnost pohybuje mezi 70 až 98 %, což je dvakrát více, než je dosahováno při dodatečném vkládání protiradonové izolace. Účinnost je ovlivňována především vertikálním profilem plynopropustnosti podloží a těsností kontaktních konstrukcí.

### Větrací systémy ve stávajících stavbách

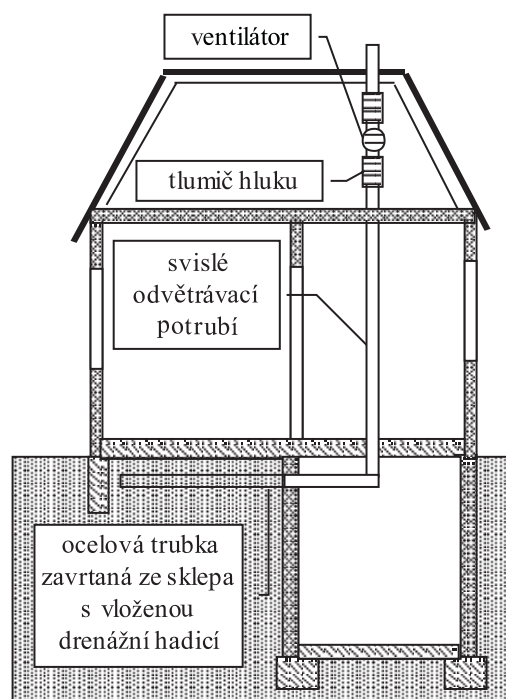
U stávajících staveb je půdní vzduch z podloží odsáván buď z odsávacích bodů (obr. 1), nebo z perforovaných trub zavrtaných pod podlahy (obr. 2) [1]. Odsávací body vzniknou tak, že se do podlahy nebo suterénní stěny zapustí odvětrávací trubka, kolem níž se vytvoří jámka ve tvaru polokoule o poloměru cca 0,3 m. Protože se podtlak v tomto případě šíří pouze z jediného bodu, dává se odsávacím bodům přednost v objektech s relativně těsnou betonovou podlahou (nemusí obsahovat hydroizolaci), která nevede k velkým ztrátám podtlaku.



Obr. 1. Odsávání půdního vzduchu z odsávacího bodu

Odvětrávací perforované trouby zajišťují lepší rozšíření podtlaku, a proto jsou použitelné i pro objekty s méně těsnými podlahami (např. prkennými na škvárovém loži). Nejčastěji se instalují zavrtáním buď z prostoru sklepa, nebo skrz sokl z vnější strany domu (je-li objekt nad terénem). U objek-

tů nepodsklepených, s podlahou na úrovni okolního terénu, lze postupovat i tak, že v centrální chodbě nebo hale se vyhloubí montážní jáma (se dnem 200 mm pod spodním lícem podlah), z níž se provedou vrty pod podlahu sousedních místností. Tato varianta je však dražší o novou podlahu v chodbě. Proto se vždy snažíme, aby bouracích prací bylo co nejméně.



Obr. 2. Odsávání půdního vzduchu prostřednictvím perforovaných trub zavrtaných ze sklepa

Délku a počet vrty volíme tak, aby pod každou obytnou místností byly, v závislosti na její velikosti, jeden až dva vrty. Zároveň na 1 m vrtu připadá plocha místnosti cca 10 m<sup>2</sup>. V rodinném domku se zastavěnou plochou kolem 100 m<sup>2</sup> vystačíme tedy s celkovou délkou vrty cca 10 m [1].

V jednom objektu je možné v závislosti na dispozičním řešení, druhu a těsnosti podlah volit různé typy odsávacích prostředků (body, zavrtané trubky), které lze zpravidla vzájemně spojit ve sběrné potrubí. To může být situováno buď ve sklepě, nebo na půdě. Nejčastějším materiálem pro konstrukci sběrného potrubí je PVC průměru 100 až 140 mm. Dimenzuje se v závislosti na množství dopravovaného vzduchu, tj. s rostoucím množstvím vzduchu se zvětšuje průměr potrubí. Do jednotlivých větví se osazují škrticí klapky k seřízení množství vzduchu odváděného z odsávacích prostředků v závislosti na propustnosti podloží, koncentraci radonu atd.

Spolehlivě účinnosti během celého roku se dosahuje osazením ventilátoru na sběrné potrubí, nejčastěji v prostoru půdy, kde neruší uživatele hlukem. Přenosu hluku do interiéru i exteriéru se předchází instalací tlumičů hluku na potrubí. Zkušenosti ukazují, že stačí ventilátory s výkonem do 70 W. Ventilátor včetně elektrické instalace musí být osazen s vědomím, že v potrubí může docházet ke kondenzaci vodní páry.

Otáčky se regulují změnou napětí elektronickými nebo transformátorovými regulátory, a to buď plynulou, nebo polohovou. Počet otáček i cyklický režim se nastaví v závislosti na koncentraci radonu v interiéru.

### Hodnocené objekty

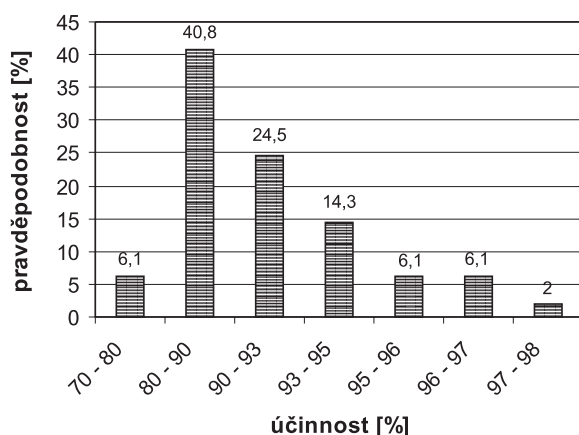
Faktory ovlivňující účinnost větracích systémů podloží byly zkoumány na 62 rodinných domcích různého stáří (100 let až 20 let). Většina domů byla postavena na pozemcích zařazených do kategorie vysokého radonového rizika (průměrná hodnota třetího kvartilu souboru hodnot koncentrace radonu v podloží je  $138 \text{ kBq/m}^3$ ). Průměrná ekvivalentní koncentrace radonu v pobytových místnostech domů před opatřením dosahovala  $738 \text{ Bq/m}^3$ . Ve výběru se nacházely všechny typy domů – nepodsklepené, částečně podsklepené i podsklepené, s podlahami prkennými, betonovými s hydroizolací i bez ní.

V objektech jsme se nespokojili jen s výsledky standardně prováděné radonové diagnostiky. Pro objektivní posouzení účinnosti bylo nutné v každém objektu provést řadu doplňkových měření. Nezbytné bylo zjištění vertikálního profilu propustnosti podloží, propustnosti vrstvy ležící pod podlahami a koncentrace radonu pod podlahami před opatřením a po něm. Propustnost se měřila přístrojem RADON-JOK.

Ve všech objektech byl realizován větrací systém podloží bez výměny podlah, tj. pomocí vrtů nebo odsávacích bodů. Až na tři výjimky je všude osazen ventilátor CK 125 pracující na třetí výkonový stupeň, tj.  $45 \text{ W}$ . Abychom omezili vliv takových faktorů, jakým je rozdílná kvalita provedených prací, pocházejí všechna opatření od stejného řešitelského týmu. Projekty vypracoval autor článku, doplňková měření zajišťovala firma RADON, v.o.s., a instalaci systémů do všech domů firma Schreyer.

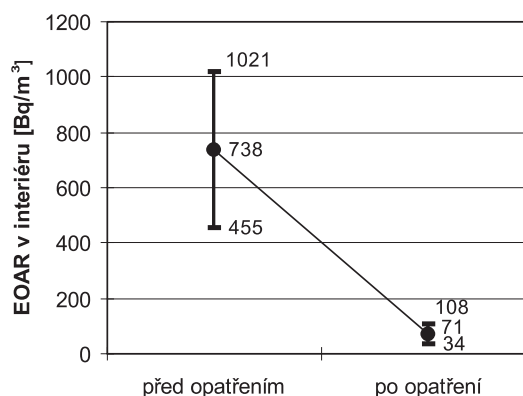
### Účinnost opatření

Účinnost opatření byla hodnocena v souladu s ČSN 73 0601 [3] procentním vyjádřením poklesu koncentrace radonu k původní hodnotě před opatřením. Pro jednotlivé objekty se účinnost pohybovala v intervalu 70 až 98 %, což znamená, že koncentrace radonu klesla na 30 až 2 % původní hodnoty. Pravděpodobnost dosažení konkrétní hodnoty je zřejmá z grafu na obr. 3. Tak například existuje téměř 41 % pravděpodobnost, že u instalovaného systému se bude účinnost pohybovat mezi 80 až 90 %. Důležité ovšem je, že ani u jednoho domu nebyla zjištěna účinnost menší než 70 %. U stávajících staveb tedy jde o neúčinnější a neefektivnější opatření proti radonu.



Obr. 3. Pravděpodobnost dosažení účinnosti

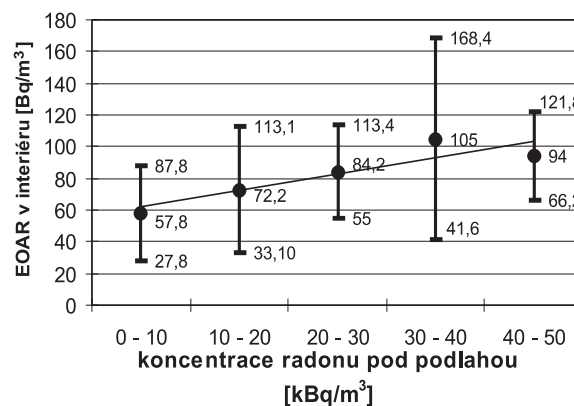
V praxi to znamená, že po instalaci větracích systémů klesla průměrná hodnota ekvivalentní koncentrace radonu před opatřením ze  $738$  na  $71 \text{ Bq/m}^3$ , což je zhruba na desetinou. Tento pokles je s příslušným rozptylem hodnot vyznačen na obr. 4, ze kterého také vyplývá, že ve všech sledovaných domech klesla ekvivalentní koncentrace radonu po opatření pod směrnou hodnotu  $200 \text{ Bq/m}^3$  danou vyhláškou 184/97 Sb. [2].



Obr. 4. Rozptyl ekvivalentní koncentrace radonu v interiéru sledovaných domů před opatřením a po něm (chybové úsečky udávají minimální, průměrnou a maximální koncentraci)

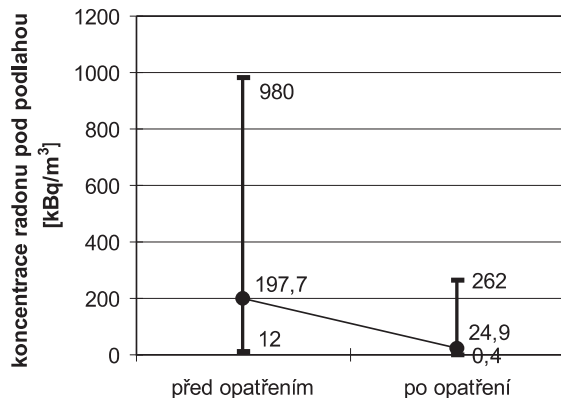
### Faktory ovlivňující účinnost opatření

Studie ukázala, že účinnost větracích systémů podloží závisí především na poklesu koncentrace radonu pod podlahou kontaktních místností a na velikosti podtlaku vytvořeného pod domem. Právě podtlak v podloží způsobuje, že koncentrace radonu pod podlahami může být poměrně vysoká, aniž by byly překročeny směrné hodnoty v interiéru. Podtlak totiž brání nasávání půdního vzduchu do domu. To je ostatně dobře patrné z obr. 5, který udává závislost ekvivalentní koncentrace radonu v interiéru na koncentraci radonu v podloží pod podlahami v době činnosti větracího systému. Z obrázku je zřejmé, že ani při koncentraci  $50 \text{ kBq/m}^3$  není překročena směrná hodnota v interiéru  $200 \text{ Bq/m}^3$ . Přitom v budovách, pod nimiž není vytvořen podtlak, bývá v závislosti na propustnosti podloží překročena směrná hodnota běžně již při koncentraci radonu v podloží 10 až  $30 \text{ kBq/m}^3$ .



Obr. 5. Závislost ekvivalentní koncentrace radonu v interiéru na koncentraci v podloží pod podlahami v době činnosti větracího systému (vynesen průměr ± směrodatná odchylka)

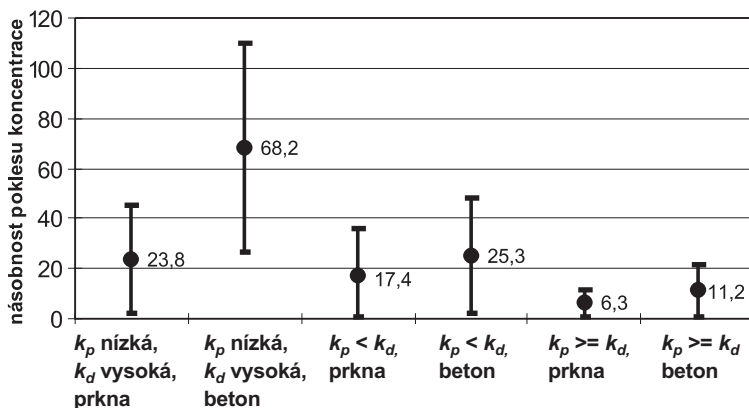
V obecné rovině dochází vlivem odsávání půdního vzduchu k velmi razantnímu snížení koncentrace radonu pod podlahami, což je velmi dobře patrné z obr. 6. Průměrná koncentrace po opatření dosahuje osminy hodnoty před opatřením, výrazně se také snižuje její rozptyl.



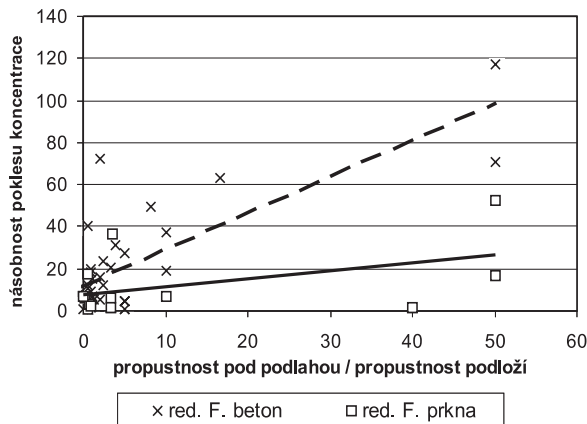
Obr. 6. Rozptyl koncentrace radonu pod podlahami sledovaných domů před opatřením a po něm (chybové úsečky udávají minimální, průměrnou a maximální koncentraci)

Pokles koncentrace radonu pod podlahou je v jednotlivých případech ovlivněn zejména poměrem propustnosti zeminy ležící bezprostředně pod podlahou  $k_d$  a propustnosti níže situovaného podloží  $k_p$ . Významný je také vliv těsnosti samotné podlahové konstrukce. S vědomím složitosti určování těsnosti podlahových konstrukcí jsme se ve studii spokojili s pouhým dělením podlah na prkenné a betonové. Vliv obou zmíněných parametrů na násobnost poklesu koncentrace radonu pod podlahami je patrný z obr. 7.

Nejvyšší násobnosti poklesu bylo dosaženo v případech, kdy pod podlahami byla vysoce propustná zemina, zatímco níže situované podloží mělo propustnost nízkou. Tuto situaci pro oba typy podlah zobrazuje první dvojice chybových úseček na obr. 7 zleva. Na druhé straně nejnižší násobnost poklesu byla zaznamenána pod domy, pod jejichž podlahami měla zemina menší propustnost, než jaká byla v následném podloží (poslední dvojice chybových úseček na obr. 7 vpravo). Zřejmé také je, že pod prkennými podlahami je dosahováno vždy nižší násobnosti poklesu než pod betonovými. Rozdíl mezi prkennou a betonovou podlahou se však snižuje s klesajícím poměrem propustností  $k_d/k_p$ . Podobná závislost, tentokrát však na poměru propustností  $k_d/k_p$ , je opět pro oba typy podlah vynesena na obr. 8.



Obr. 7. Násobnost poklesu koncentrace radonu pod podlahou v závislosti na těsnosti podlahy (prkenná, betonová) a na poměru propustnosti zeminy pod podlahou  $k_d$  a následného podloží  $k_p$  (vyneseno průměr  $\pm$  směrodatná odchylka)



Obr. 8. Násobnost poklesu koncentrace radonu pod podlahou v závislosti na těsnosti podlahy (— prkenná, - - - betonová) a na poměru propustnosti zeminy pod podlahou  $k_d$  a následného podloží  $k_p$

Vyšší hodnoty směrodatných odchylek na obr. 5 a obr. 7 jsou způsobeny tím, že každý z hodnocených objektů je jiný. Je situován v jiných povětrnostních podmínkách, spočívá na jiném podloží, má jinou těsnost podlahových konstrukcí, jinou násobnost výměny vzduchu, různý půdorysný tvar a dispoziční řešení, odlišný způsob vytápění atd. Všechny tyto parametry se ovšem na rozdíl od laboratorních zkoušek mění najednou. I přes tyto interferující faktory je však možné určit dominantní závislosti – těsnost podlahové konstrukce a poměr propustnosti vrstev pod podlahami.

Studie v tomto smyslu přinesla nové poznatky. Až dosud se totiž mělo zato, že účinnost závisí pouze na propustnosti vrstvy ležící bezprostředně pod podlahou, neboť vrstevnatost podloží se opomíjela. Nebylo tak např. možné vysvětlit, proč u dvou podobných domů, pod jejichž podlahami se nachází přibližně stejně propustná vrstva a do kterých byl instalován obdobný větrací systém, je dosahováno diametrálně odlišné účinnosti. Pochopení umožnily až výsledky současné studie, neboť jak vyplývá z výše uvedeného textu, stačí, aby např. pod prvním domem bylo podloží v celé hloubce vysoce propustné, zatímco u druhého domu bude pod vrchní propustnou vrstvou následovat podloží nepropustné. Větrací systém pod prvním domem bude mít nízkou účinnost, neboť  $k_d \approx k_p$ , zatímco pod podlahou druhého domu naměříme mnohem vyšší podtlak a nižší koncentraci radonu, protože je v tomto případě  $k_d > k_p$ .

Nepropustné podloží omezuje totiž zespolu velikost odsávaného prostoru. Čím menší je objem tohoto prostoru pod domem, tím je dosahováno vyššího podtlaku a nižší koncentrace radonu ve vrstvě pod podlahou. Mají-li vrstvy podloží pod domem přibližně stejnou propustnost, je objem odsávaného prostoru v podstatě nekonečný, a tím i výměna vzduchu pod objektem je malá (ventilátor má stále stejný výkon).

**Závěr**

Dosavadní zkušenosti z více než šedesáti realizací ukazují, že větrací systémy podloží můžeme oprávněně považovat za vůbec nejúčinnější protiradonové opatření, a to i v podmínkách ČR. Účinnost neklesá pod 70 %, běžně se pohybuje nad 90 %. Měřeno podí-



lem domů, v nichž ekvivalentní koncentrace radonu klesla po realizaci opatření pod směrnou hodnotu 200 Bq/m<sup>3</sup>, je účinnost dokonce 100 %.

Pomocí studie byly definovány faktory, které se významně podílejí na výsledné účinnosti opatření. Mezi ně patří především poměr propustnosti zeminy pod podlahou k propustnosti hlubších vrstev. Větší účinnosti a efektivnosti je dosahováno v případech, kdy vrstvy pod podlahou jsou propustnější než vrstvy níže situované. V takovém případě je možné provádět větrací systémy s menší celkovou délkou drenážních trub, či jen s odsávacími body. Postačí rovněž ventilátory nižších výkonů, a tím i s nižší spotřebou elektrické energie. V málo propustných nebo zvodnělých zeminách je však nutné počítat s menší účinností, větší hustotou drenážních trub, a tím i s větší pracností a vyšší pořizovací cenou.

Dříve než navrhne geometrii větracího systému, měli bychom proto nejprve změřit vertikální profil propustnosti podloží a propustnost vrstev ležících přímo pod podlahami. Bez znalosti těchto parametrů nelze vytvořit správný návrh systému. Při návrhu musí být přihlédnuto k těsnosti podlahových konstrukcí. Studie potvrdila, že při netěsných podlahách je nutná větší hustota drenážních trub a vyšší výkon ventilátoru.

Výsledky studie by měly přispět k větší důvěře projektantů v tuto variantu protiradonové ochrany. Nedostatečná informovanost je totiž pravděpodobně příčinou, proč nejsou u nás větrací systémy podloží uplatňovány v širším měřítku. Důsledkem je skutečnost, že ochrana stávajících staveb proti radonu se stále řeší dodatečným vkládáním protiradonové izolace, jejíž průměrná účinnost se pohybuje pouze kolem 40 % [4]. Měřeno podílem domů, v nichž koncentrace klesne po pokládce izolace pod směrnou hodnotu 200 Bq/m<sup>3</sup>, je účinnost dokonce ještě menší, a to pouhých 22 %. Příčinou je většinou netěsné napojení izolace v podlaze na stávající stěny. Po určitém čase od realizace se netěsnosti objevují téměř u všech způsobů napojení. Je to důsledek nekvalitní práce dodavatelů firem, špatné přilnavosti nových hmot k nesoudržnému pojetí starých stěn, smršnění podkladního betonu pod izolací a sednutí celé podlahy na nezhuťném podsypu.

Navíc položení nové izolace představuje poměrně značný zásah do objektu i do života jeho obyvatel. Je třeba vystěhovat uživatele, vyklidit místnosti, odstranit staré podlahy, snížit povrch zeminy, a teprve poté může následovat uložení nové podlahové konstrukce s protiradonovou izolací. Takovýto rozsah prací se v běžném rodinném domku zpravidla nestihne dříve než za tři týdny a vyžaduje minimálně 250 tis. Kč (samozřejmě bez podříznutí stěn). Přínosem jsou nové za teplené podlahy.

Naproti tomu instalace větracích systémů podloží se většinou obejde bez zásahu do podlah, a tím i bez omezení provozu v domě. Délka realizace se pohybuje mezi dvěma až čtyřmi dny. Pořizovací náklady včetně projektu a všech doplňkových měření jsou v nejjednodušších případech 60 tis. Kč a nepřesahují 150 tis. Kč. Větrací systémy podloží jsou tedy minimálně dvakrát účinnější a přinejmenším o polovinu levnější než protiradonová izolace. Nevýhodou mohou být provozní náklady, i když nejsou nijak velké. Při nepřetržitém provozu ventilátoru a při ceně 3,20 Kč/kWh jde o necelých 1 300 Kč ročně.

**Článek byl zpracován za částečné podpory výzkumného záměru MSM 210 000 005 „Aspekty životního prostředí ve stavebnictví“.**

## Literatura

- [1] Jiránek, M.: Větrací systémy podloží – efektivní ochrana proti radonu. Materiály pro stavbu, 2001, č. 5, s. 34 – 36.
- [2] Vyhláška SÚJB 184/97 Sb., o požadavcích na zajištění radiační ochrany.
- [3] ČSN 73 0601 Ochrana staveb proti radonu z podloží. ČSNI, 2000.
- [4] Fojtková, I.: Vyhodnocování efektivnosti protiradonových opatření. [Zpráva], Státní ústav radiační ochrany, Praha, 2001.

### Jiránek, M.: Assessment of Efficiency of Systems Eliminating Radon from Building Substructures

**Sub-slab depressurization systems are considered as one of the most effective and cheapest radon remedial measures for existing buildings. The influence of various factors on the effectiveness of these systems has been verified in more than 60 single-family houses. It was determined that the effectiveness varies between 70 and 98 %, which is two times more than in case of additionally applied radon-proof insulation. The effectiveness is mainly influenced by the vertical profile of soil permeability and by the air tightness of the building substructure.**

### Jiránek, M.: Auswertung der Wirksamkeit von Systemen zur Ableitung von Radon aus dem Untergrund von Bauwerken

**Entlüftungssysteme gelten weltweit als eine der wirksamsten und effektivsten Antiradonmaßnahmen. Ihre Aufgabe ist eine Verringerung der Radonkonzentration unter der Fundamentplatte und die Schaffung eines Unterdrucks im Untergrund gegenüber dem Luftdruck in den Kontaktgeschossen. Die Abhängigkeit der Wirksamkeit dieser Systeme von verschiedenen Faktoren wurde bei mehr als sechzig Einfamilienhäusern untersucht, in die das System nachträglich installiert worden war. Es stellte sich heraus, dass sich die Wirksamkeit zwischen 70 und 80 % bewegt, was zweimal mehr ist als bei einem nachträglichen Einbau einer Antiradonisolierung erreicht wird. Die Wirksamkeit wird vor allem durch das vertikale Gasdurchlässigkeitsprofil des Untergrundes und die Dichtigkeit der Kontaktbauteile beeinflusst.**

## Měď v architektuře

V polovině září uspořádala Hungarian Copper Promotion Centre (HCPC) ve spolupráci s Fakultou architektury VUT Brno v pražském hotelu Don Giovanni konferenci věnovanou možnostem využití mědi v architektuře. HCPC je maďarská organizace průmyslu mědi založená v roce 1992 a podporovaná International Copper Association. Jako člen Evropského institutu mědi se v Maďarsku, České republice a Slovenské republice zaměřuje na širší uplatnění tohoto materiálu, plánování a řízení programů napomáhajících odbornému využití měděných výrobků. Účastníci konference vyslechli přednášky odborníků z pořádajících organizací i z německého KM Europa Metal AG.

[www.hcpcinfo.org](http://www.hcpcinfo.org)

# Vlhkostní parametry materiálů pro obvodové pláště s vnitřní tepelnou izolací

Ing. Milena JIŘIČKOVÁ  
prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

Článek se zabývá experimentálním stanovením vlhkostních parametrů stavebních materiálů, které mají být použity ve vnitřních tepelně izolačních systémech. Jsou studovány různé typy kapilárně aktivních izolačních materiálů, stěrek, retardérů vodní páry a materiálů nosné konstrukce. Na základě měření je možné konstatovat, že vlastnosti všech sledovaných materiálů jsou pro daný účel vyhovující.

## 1. Úvod

Obvodové pláště s vnitřní tepelnou izolací mají vzhledem k obvyklejšímu řešení s vnější izolací svá specifika, protože v zimním období může vést nesprávný postup jejich aplikace ke kondenzaci vodní páry v původní konstrukci. Jedním z funkčních řešení může být použití parotěsné zábrany na vnitřním povrchu, což ovšem přináší riziko mechanického poškození a ztráty funkčnosti systému. Jinou možností je použití retardéru vodní páry mezi stávající konstrukcí a tepelnou izolací, jak bylo ukázáno např. v práci [1], kde byl řešen problém přenosu tepla, vody a vodní páry v tomto typu konstrukce. Podmínkou funkčnosti takového systému je ovšem použití kapilárně aktivní tepelné izolace, která zajistí rychlou redistribuci zkondenzované vody.

Pro posouzení funkčnosti systémů s vnitřní tepelnou izolací je účelné použít některý z výkonných počítačových modelů přenosu tepla a vlhkosti ve stavebních materiálech, jako je např. DELPHIN [2] či WUFI [3]. K získání dostatečně přesných výsledků je ovšem třeba zjistit některé materiálové parametry přenosu tepla a vlhkosti, zejména nových materiálů. V práci [4] byla uvedena řada výsledků měření tepelných a vlhkostních parametrů kapilárně aktivních materiálů na bázi kalcium silikátu a minerální vlny. V tomto článku se zaměříme na další materiály systémů s vnitřní tepelnou izolací, a to na další kapilárně aktivní materiály na bázi minerální vlny, materiály retardérů vodní páry, nově navržené stěrkové materiály a také na některé materiály nosných konstrukcí, u nichž je pravděpodobné, že by zde mohla být vnitřní tepelná izolace aplikována. Hlavním materiálovým parametrem, kterým se budeme v rámci této práce zabývat, bude součinitel vlhkostní vodivosti, který budeme určovat přibližným způsobem na základě měření vlhkostního absorpčního koeficientu.

## 2. Parametry přenosu kapalné vlhkosti

Nejjednodušším způsobem, jak popsat přenos kapalné vody ve stavebních materiálech, je pomocí vlhkostního absorpčního koeficientu  $A$  [ $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}^{1/2}$ ], definovaného vztahem

$$I = A t^{1/2}, \quad (1)$$

kde  $I$  je celková hmotnost vody na jednotku plochy, která je v přímém styku s vodou,  $t$  čas od počátku experimentu neboli od chvíle, kdy se měřený vzorek dostal do styku s vodou.

Absorpční koeficient ovšem dává informaci v podstatě pouze o tom, jak rychle dokáže voda do materiálu pronikat, ale neumožňuje získat přímé poznatky o vlhkostním poli v materiálu. Proto je pro popis přenosu kapalné vlhkosti vhodnější použít základní fenomenologické vztahy vyplývající z lineární nevratné termodynamiky.

Nejjednodušším vztahem, který předpokládá gradient vlhkosti jako jedinou zobecněnou termodynamickou sílu, je analogie Fickova zákona ve tvaru

$$\vec{j} = -\rho_s \kappa \nabla u, \quad (2)$$

kde  $\vec{j}$  je hustota toku vlhkosti [ $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$ ],  $\rho_s$  je objemová hmotnost pevné fáze a  $u$  je hmotnostní vlhkost,

$$u = \frac{m_v - m_s}{m_s}, \quad (3)$$

$m_v$  je hmotnost vlhkého a  $m_s$  suchého vzorku. Dosazením rovnice (2) do základní bilanční rovnice hmotnosti

$$\rho_s \frac{\partial u}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{j} = 0 \quad (4)$$

dostáváme nelineární difúzní rovnici ve tvaru

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \nabla \cdot (\kappa(u) \nabla u). \quad (5)$$

Součinitel  $\kappa$  se určuje obvykle na základě naměřeného prostorového a časového rozložení vlhkosti v daném materiálu za známých počátečních a okrajových podmínek [5], [6]. Stačí-li pouze orientační přibližná hodnota  $\kappa$ , je možné ji určit za zjednodušujících předpokladů na základě vlhkostního absorpčního koeficientu  $A$ . Nejjednodušší takovou relací [7] je

$$\kappa \approx \left( \frac{A}{w_c} \right)^2 [\text{m}^2\text{s}^{-1}], \quad (6)$$

kde  $w_c$  je obsah nasycené vlhkosti [ $\text{kgm}^{-3}$ ].

Absorpční koeficient vody se určuje přímo z přímkové počáteční závislosti kumulativního obsahu vody v materiálu [ $\text{kgm}^{-2}$ ] na odmocnině z času [ $\text{s}^{1/2}$ ].

Hodnotu obsahu nasycené vlhkosti lze spolu s dalšími materiálovými parametry získat měřením vakuové nasákovosti daného vzorku. Z hmotnosti suchého vzorku  $m_s$ , hmotnosti vodou nasyceného vzorku  $m_v$  a hmotnosti ponořeného vodou nasyceného vzorku, tzv. Archimédovy hmotnosti  $m_a$ , se vypočítá objem vzorku podle rovnice

$$V = \frac{m_v - m_a}{\rho_v} [\text{kgm}^{-3}], \quad (7)$$

kde  $\rho_v$  je hustota vody.

Základní vlastnosti, jako jsou obsah nasycené vlhkosti  $w_c$ , objemová hmotnost  $\rho$  a hustota materiálu  $\rho_{\text{mat}}$ , se určují z rovnic

$$w_c = \psi_0 \rho_v = \frac{m_v - m_s}{V} [\text{kgm}^{-3}], \quad (8)$$

kde  $\psi_0$  je otevřená porozita materiálu definovaná jako poměr objemu otevřených pórů v materiálu k celkovému objemu tohoto materiálu.

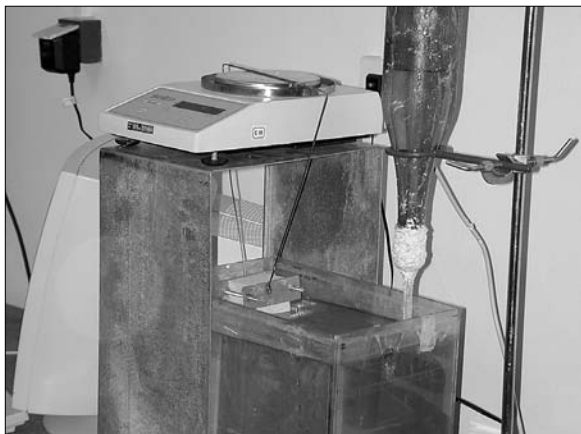
$$\rho = \frac{m_s}{V} [\text{kgm}^{-3}], \quad (9)$$

$$\rho_{\text{mat}} = \frac{m_s}{V(1-\psi_0)} [\text{kgm}^{-3}]. \quad (9)$$

### 3. Uspořádání pro měření vlhkostního absorpčního koeficientu a vakuové nasákavosti

Měřicí aparatura pro stanovení vlhkostního absorpčního koeficientu (obr. 1) sestává z nádoby na vodu, nad níž se na kovovou konstrukci zavěsí na automatickou digitální váhu vzorek s parotěsně a vodotěsně izolovanými bočními stěnami. Vzorek se ponoří 1 až 2 mm pod hladinu v nádobě. Automatické váhy připojené k počítači zaznamenávají časový průběh navlhání vzorku. Program vytvořený speciálně pro toto měření umožňuje libovolné nastavení intervalů pro odečtení aktuální hmotnosti vzorku. Ze zjištěných hodnot se sestrojí závislost kumulativního obsahu vlhkosti (na jednotku plochy) na odmocnině z času, ze které se lineární regresí přímo určí vlhkostní absorpční koeficient.

Jediným úskalím tohoto měření je udržování stálé výšky vodní hladiny v nádobě během nasákávání. Ta se udržuje pomocí „Mariottovy láhve“ (obr. 1), což je vodou naplněná láhev se zapuštěnými kapilárami. Jedna kapilára s vnitřním průměrem 2 mm dosahuje pod vodní hladinu v nádobě, druhá s vnitřním průměrem 5 mm se hladinou dotýká. Pokud klesne v nádobě vodní hladina, vnikne do kapiláry vzduchová bublina, která vytlačí druhou kapilárou množství vody dostatečné pro vzestup hladiny na původní úroveň. Tímto jednoduchým mechanismem jsou zajištěny podmínky pro zachování konstantních podmínek měření.



Obr. 1. Aparatura pro měření vlhkostního absorpčního koeficientu

Experimentální zařízení pro měření vakuové nasákavosti (obr. 2) sestává z exsikátoru připojeného hadicí na vakuovou pumpu. Vysušené vzorky jsou vloženy do exsikátoru, ten je zaplněn vodou a v průběhu tří hodin evakuován. Vzorky jsou ponechány ve vodě 24 hodin. Archimédova hmotnost

(obr. 3) se určuje vážením zcela nasycených vzorků ponořených ve vodě.



Obr. 2. Experimentální uspořádání pro měření vakuové nasákavosti



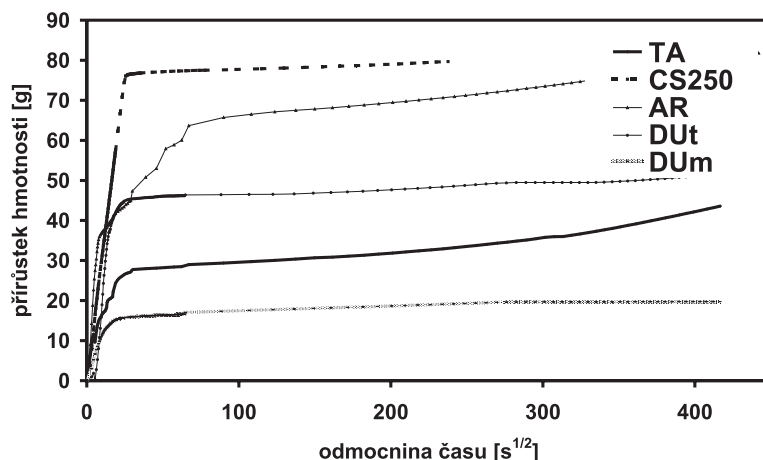
Obr. 3. Experimentální uspořádání pro měření Archimédovy hmotnosti

### 4. Použité vzorky

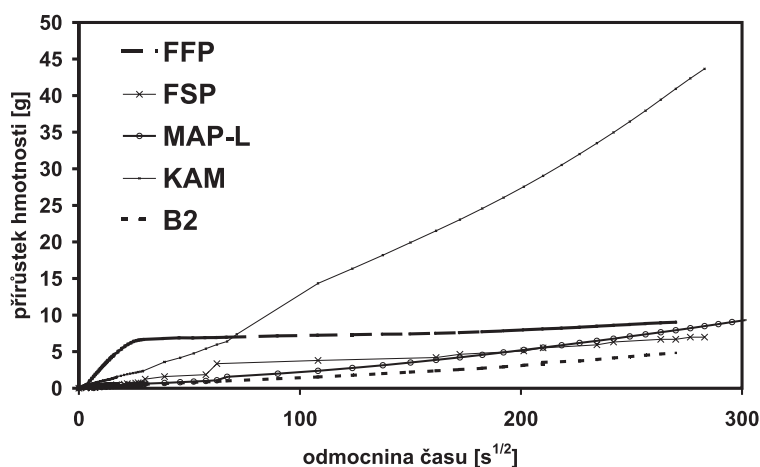
Zkoumaly se jednak vzorky materiálů, vyvinutých speciálně pro účely projektu G5RD – CT – 2000 – 00197, konkrétně kapilárně aktivních tepelně izolačních materiálů na bázi minerální vlny TA, AR a DU (fy Rockwool), tepelně izolačního materiálu CS250 na bázi kalcium silikátů (fy Calsitherm), dále různých typů omítkových materiálů (FFP, FSP, MAP-L fy Sakret) a retardérů vodní páry (KAM fy SAKRET, B2 fy Karlomix), a jednak vzorky materiálů nosné konstrukce běžně užívaných ve stavebnictví (pórobeton, cihla, opuka). Tepelně izolační materiál DU je speciální dvouvrstvý systém, kde jedna z vrstev, určená pro interiérovou stranu obvodového pláště, je mechanicky odolná a má vyšší hustotu (DU t), druhá vrstva je vlastní tepelně izolační s nižší hustotou (DU m). Proto jsme měřili obě vrstvy samostatně. Rozměry vzorků závisely na druhu materiálu a pohybovaly se mezi 20 – 50 x 20 – 50 x 8 – 40 mm<sup>3</sup>.

### 5. Výsledky a diskuse

Měření vlhkostních parametrů probíhala za konstantních podmínek v klimatizované laboratoři při 25 °C a relativní vlhkosti 35 %. Jednorozměrný přenos vlhkosti byl zaručen izolací vzorků fólií a vodovzdorným silikonovým tmelem. Jako počáteční hmotnost byla brána hmotnost vysušeného materiálu. Naměřené a vypočítané hodnoty vlhkostních a



Obr. 4. Křivky nasákavosti izolačních materiálů



Obr. 5. Křivky nasákavosti lepicích stěrky a retardérů vodní páry

základních materiálových parametrů jsou prezentovány v tab. 1. Na základě těchto údajů můžeme konstatovat, že součinitel vlhkostní vodivosti kapilárně aktivních materiálů z minerální vlny a na bázi kalcium silikátu byl velmi vysoký, na úrovni  $10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ . Tato vlastnost je pro tepelně izolační materiály, určené pro vnitřní tepelné izolace, velmi příznivá, neboť umožňuje rychlou redistribuci kapalné vody z místa vzniku.

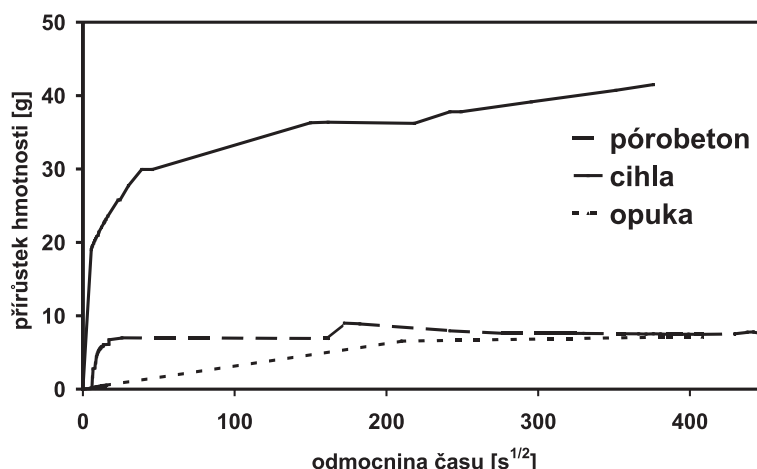
Naměřená vlhkostní vodivost u materiálů nosné konstrukce se pohybuje řádově kolem  $10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  pro cihlu a pórobeton a  $10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  pro opuku, což jsou očekávané hodnoty. Vlhkostní vlastnosti stěrky FFP se ukázaly jako dosti příznivé, zhruba na úrovni cihly, což znamená, že stěrka nebude tvořit výraznou překážku pro přenos vody oběma směry. Omítkové materiály FSP a MAP-L nemají tak příznivé vlastnosti, nicméně v systému vnitřní izolace mohou být použity. Retardéry vodní páry B2 a KAM se ukázaly jako poměrně nepropustné pro kapalnou vodu (zhruba na úrovni hutného betonu), což je pro jejich funkčnost v systému s vnitřní tepelnou izolací v zásadě dostatečné.

## 6. Závěr

Naměřené hodnoty vlhkostních vlastností sledovaných materiálů ukazují, že jejich použití v systémech s vnitřní tepelnou izolací je v zásadě možné. Před jejich použitím

Tab. 1. Naměřené a vypočítané hodnoty parametrů testovaných materiálů

Vzorek	$S$ [ $\text{m}^2$ ]	$A$ [ $\text{kg}/\text{m}^2 \text{ s}^{1/2}$ ]	$w_c$ [ $\text{kgm}^{-3}$ ]	$\kappa$ [ $\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$ ]	$\rho$ [ $\text{kgm}^{-3}$ ]	$\psi$ [%]
TA	2,39E-03	4,14E-01	9,91E+02	1,75E-07	5,40E+01	9,56E+01
AR	2,47E-03	1,40E+00	9,90E+02	2,00E-06	7,80E+01	9,56E+01
DU t	2,29E-03	3,60E+00	9,28E+02	1,51E-05	1,78E+02	9,31E+01
DU m	2,33E-03	1,33E+00	9,63E+02	1,90E-06	9,60E+01	9,63E+01
CS250	2,35E-03	1,31E+00	9,16E+02	2,04E-06	2,35E+02	8,63E+01
FFP	1,62E-03	1,94E-01	4,63E+02	1,76E-07	1,58E+03	4,63E+01
FSP	1,63E-03	1,56E-02	4,22E+02	1,37E-09	1,50E+03	4,22E+01
MAP-L	1,67E-03	1,58E-02	5,15E+02	9,43E-10	1,31E+03	5,15E+01
KAM	8,38E-03	1,77E-02	4,68E+02	1,43E-09	1,32E+03	4,68E+01
B2	1,59E-03	1,03E-02	4,28E+02	5,76E-10	2,38E+03	4,28E+01
pórobeton	1,24E-03	6,31E-01	7,46E+02	7,14E-07	4,63E+02	7,46E+01
cihla	2,67E-03	1,37E-01	3,17E+02	1,85E-07	1,78E+03	3,18E+01
opuka	6,09E-04	6,30E-02	6,30E+02	9,98E-09	2,45E+03	6,31E+01



Obr. 6. Křivky nasákavosti materiálů nosné konstrukce

v praxi je ovšem třeba provést výpočetní posouzení vlhkostních a tepelných poměrů v navržené variantě, a to zejména s přihlédnutím k materiálu nosné konstrukce. Toto posouzení může být provedeno např. využitím jednoho z výpočetních programů zmíněných v úvodní části.

#### Literatura

- [1] Černý, R. – Maděra, J.: Interior Thermal Insulation Systems in the Renovation of Historical Buildings: A Computational Analysis. Proceedings of Structural Studies, Repairs, and Maintenance of Historical Buildings VII, C.A. Brebbia (ed.), WIT Press, Southampton, 2001, pp. 405 – 414.
- [2] Grunewald, J.: DELPHIN 4.1 – Documentation, Theoretical Fundamentals. TU Dresden, 2000.
- [3] Künzel, H.M.: Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components. [PhD Thesis], Stuttgart, IRB Verlag 1995.
- [4] Jiříčková, M. – Černý, R.: Tepelné a vlhkostní parametry kapilárně aktivních materiálů na bázi kalcium silikátu a minerální vlny. Stavební obzor **10**, 2001, č. 7, s. 216 – 219.
- [5] Matano, C.: On the Relation between the Diffusion Coefficient and Concentration of Solid Metals. Jap. J. Phys. **8**, 1933, pp. 109 – 113.
- [6] Drchalová, J.: Nestacionární metoda určování součinitele vlhkostní vodivosti. [Dizertace CSc.], Praha 1983.
- [7] Kumaran, M.K.: Moisture Diffusivity of Building Materials from Water Absorption Measurements. IEA Annex 24 Report T3-CA-94/01, Ottawa 1994.

Článek vznikl částečně na základě podpory grantu páteřového rámcového programu EU G5RD – CT – 2000 – 00197 a částečně výzkumného záměru MŠMT ČR CEZ: J04/98:21000003.

#### Jiříčková, M. – Černý, R.: Hygric Parameters of Materials for Building Envelopes with Interior Thermal Insulation

Experimental determination of moisture transport parameters of building materials, which are supposed to be used in interior thermal insulation systems, is the main aim of this paper. Various types of capillary active thermal insulation materials, finish plasters, water vapour retarders and materials of the load-bearing structure are studied. On the basis of the measurements performed, it is possible to conclude that the properties of all the tested materials are suitable for their particular purpose.

#### Jiříčková, M. – Černý, R.: Feuchteparameter von Materialien für Außenwände mit innenliegender Wärmedämmung

Die Arbeit behandelt die experimentelle Bestimmung der Feuchteparameter von Baumaterialien, die in inneren Wärmedämmsystemen eingesetzt werden sollen. Es werden verschiedene Typen von kapillaraktiven Dämmstoffen, Spachtelschichten, Dampfsperren und Materialien der Tragkonstruktion studiert. Auf Grund von Messungen kann festgestellt werden, dass die Eigenschaften aller betrachteten Materialien für den gegebenen Zweck geeignet sind.

Konference

## POKROKY V TECHNOLOGII BETONU 2002

20. a 21. března 2002, Praha

www.cbz.cz

# Difúze vodních par v konstrukcích podle ČSN 73 0540 a DIN 4108

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

V příspěvku jsou diskutovány rozdílné fyzikální přístupy národních norem k problematice difúze vodních par ve stavebních konstrukcích.

## 1. Úvod

Difúze a kondenzace vodních par ve stavebních konstrukcích nepříznivě ovlivňuje tepelně izolační, mechanické a hygienické vlastnosti použitých materiálů. Tyto faktory přispívají ke zkracování celkové životnosti konstrukcí, zejména obvodových a střešních plášťů budov, a je proto třeba s nimi počítat již v projektové fázi.

Posuzováním difúzních a kondenzačních vlivů se zabývají normy většiny vyspělých zemí. Přestože se uvedené jevy řídí obecnými fyzikálními principy, v národních normách jednotlivých zemí existují jisté rozdíly v přístupu k těmto problémům. Není bez zajímavosti porovnat přístup k difúznímu jevu naší ČSN 73 0540 [1] a německé DIN 4108 [2]. Nejprve si však připomeňme některé fyzikální principy difúzního jevu.

## 2. Fickovy zákony difúze

Transport hmoty zvaný difúze, který vzniká následkem koncentračního spádu, studujeme v pevných látkách většinou odděleně od tepelného transportu. K matematicko-fyzikálnímu popisu difúze slouží dvě Fickovy rovnice, které mají ve stacionárním (ustáleném) stavu, kdy se již koncentrace  $c$  s časem  $t$  nemění, tj.  $\partial c / \partial t = 0$ , zjednodušený tvar

$$\vec{g}_d = -D \nabla c, \quad (1)$$

$$\Delta c = 0. \quad (2)$$

První z parciálních diferenciálních rovnic určuje hustotu difúzního toku  $\vec{g}_d$  [ $\text{kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ] ze spádu koncentrace  $c$  [ $\text{kgm}^{-3}$ ] a difúzní konstanty  $D$  [ $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ ], zatímco druhá rovnice určuje difúzní pole  $c(x, y, z, t)$ . Pro jednorozměrný difúzní tok, např. v jednoduché homogenní stěně, tak dostáváme

$$\vec{g}_d = -D \frac{dc}{dx}, \quad (3)$$

$$\frac{d^2c}{dx^2} = 0. \quad (4)$$

Pro difúzi plynné složky v pórovité látce bývá výhodnější používat parciální tlak  $p$  místo koncentrace  $c$ . Tuto záměnu lze uskutečnit pomocí stavové rovnice

$$pV = mrT, \quad c = \frac{m}{V}, \quad (5)$$

kde  $V$  je objem plynu,  $m$  hmotnost plynu,  $r \cong 462 \text{ Jkg}^{-2}\text{K}^{-1}$  plynová konstanta vodní páry a  $T$  absolutní teplota

$$c = \frac{1}{r} \left( \frac{p}{T} \right), \quad (6)$$

takže transportní rovnice (3) bude mít nyní tvar

$$\vec{g}_d = -\frac{D}{r} \frac{d}{dx} \left( \frac{p}{T} \right). \quad (7)$$

Pokud jsou na obou stranách stěny stejné teploty  $T_1 = T_2 = T = \text{konst}$ , lze předpokládat stejnou teplotu také uvnitř stěny  $T(x) = T = \text{konst}$  (izotermický stav) a rovnice (7) se dále zjednoduší

$$\vec{g}_d = -\frac{D}{rT} \frac{dp}{dx}, \quad \delta = \frac{D}{rT}. \quad (8)$$

Rovnice (8) tedy platí pouze pro izotermický případ, kdy teplota  $T$  není funkcí  $x$ , a lze ji proto vytknout z výrazu pro derivaci. Tím je umožněno zavedení nové difúzní „konstanty“  $\delta$  [s] zvané difúzní součinitel vodivosti, resp. součinitel difúze vodní páry s omezením rovněž jen na izotermické případy, i když v praktických (přibližných) výpočtech se často používá také pro neizotermické případy. Difúzní součinitel vodivosti  $\delta$  umožňuje zavést difúzní odpor  $R_d$  „difúzní bariéry“, tj. stěny, resp. konstrukce tloušťky  $\Delta x$ , přes kterou vodní pára difunduje vlivem tlakového rozdílu  $\Delta p$

$$\vec{g}_d \approx -\frac{\Delta p}{\Delta x} \cdot R_d = \frac{\Delta x}{\delta}. \quad (9)$$

Již dříve bylo uvedeno [3], že difúzi vodní páry pórovitými stavebními materiály lze považovat za „redukovanou“ difúzi vodní páry vrstvou vzduchu **stejně tloušťky a stejné teploty**, jako má daná stavební látka. Redukce této difúze je realizována faktorem difúzního odporu  $\mu$ , který je materiálovou konstantou charakterizující stavební **látku** a který **nezávisí na teplotě  $T_a$  a tlaku vzdušné vrstvy  $p_a$**  (tj. vzduchu vyplňujícího póry stavební látky)

$$D = \frac{D_a(p_a, T_a)}{\mu}, \quad \mu \geq 1. \quad (10)$$

**Na difúzní faktor určité látky je možné pohlížet jako na faktor, který zahrnuje znesnadněnou difúzi pórovitou strukturou pevné látky v porovnání s relativně snadnou difúzní cestou přes volnou vrstvu vzduchu. Je tedy spíše „geometrickým“ faktorem přihlížejícím ke struktuře pórů, která podle Krischerovy fyzikální koncepce téměř nezávisí na teplotě a tlaku.** Symbol  $D_a$  ve vztahu (10) představuje difúzní „konstantu“ vzdušné vrstvy závislou jak na teplotě  $T_a$ , tak na tlaku  $p_a$ . Schirmer ukázal [4], že pro  $D_a$  platí

$$D_a = D_0(p_0, T_0) \left( \frac{p_0}{p_a} \right) \left( \frac{T_a}{T_0} \right)^{1,81}, \quad (11)$$

kde „startovní“ konstanta  $D_0$  může nabývat různých hodnot [5] podle zvolených „startovních“ hodnot  $p_0, T_0$

$$D_0 = 2,169 \cdot 10^{-5} [\text{m}^2\text{s}^{-1}] \quad \text{pro} \quad p_0 = 10^5 \text{ Pa}, \quad T_0 = 273,15 \text{ K}, \quad (12)$$

$$D_0 = 2,3055 \cdot 10^{-5} [\text{m}^2\text{s}^{-1}] \quad \text{pro} \quad p_0 = 98\,066,5 \text{ Pa}, \quad T_0 = 273,15 \text{ K}. \quad (13)$$

Za izometrických podmínek tedy platí

$$\delta_a = \frac{D_a}{rT_a} = \frac{D_0}{r} \left( \frac{p_0}{p_a} \right) T_a^{0,81} T_0^{1,81} \quad (14)$$

### 3. Difúze podle DIN 4108

Německá norma DIN 4108 [2] v otázkách difúze vychází z výzkumných prací Schirmera, Krischera, Glasera a dalších známých autorů, kteří publikovali základní poznatky o difúzi a kondenzaci vodních par v pórovitých materiálech ve třicátých až padesátých letech dvacátého století. Jsou to tedy již historické práce, avšak fyzikální závislosti v nich zjištěné mají trvalejší platnost.

Norma DIN 4108 předpokládá jisté smluvní podmínky, za nichž se provádí oceňování konstrukce z hlediska difúze. Jsou jimi izotermické podmínky se smluvním tlakem<sup>1)</sup>  $p_a = p_0 = 98\,066,5$  Pa a smluvní teplota  $T_a = T_0 = 283$  K (10 °C), což je případ tlaku z rovnice (13). Pro  $\delta_a^*$  pak dostáváme

$$\delta_a^* (p_a = 98\,066,5 \text{ Pa}; T_a = 283 \text{ K}) \approx 1,88 \cdot 10^{-10} \text{ s}^{-1} = 6,775 \cdot 10^{-7} \text{ h}^{-1} \quad (15)$$

Německá norma však nepracuje s difúzním odporem  $R_d$  ve tvaru (9) využívajícím součinitel difúzní vodivosti materiálu  $\delta$ , který závisí na teplotě a tlaku vzduchu, avšak využívá faktor difúzního odporu  $\mu$ , který je podle Krischerovy koncepce čistě materiálovou konstantou

$$Z = R = \frac{\Delta x}{\delta} = \frac{\Delta x}{\delta_a^* / \mu} = \left( \frac{1}{\delta_a^*} \right) \mu \Delta x \approx 1,5 \cdot 10^6 \mu \Delta x \quad (16)$$

Pro složenou stěnu pak zobecňuje vztah (16) na tvar

$$Z = \left( \frac{1}{\delta_a^*} \right) [\mu_1 \Delta x_1 + \mu_2 \Delta x_2 + \dots + \mu_n \Delta x_n] \approx 1,5 \cdot 10^6 [\mu_1 \Delta x_1 + \mu_2 \Delta x_2 + \dots + \mu_n \Delta x_n] \quad (17)$$

kde součin difúzního faktoru  $\mu$  a tloušťky materiálové vrstvy  $\Delta x$  se nazývá difúzní tloušťka vrstvy. Německá norma tedy používá výhradně faktor  $\mu$  pro difúzní charakteristiku materiálu, a proto také mezi tabelovanými hodnotami materiálů (ve své čtvrté části) nenalezneme hodnoty  $\delta$ , ale pouze faktory difúzního odporu  $\mu$ . To plně odpovídá původní Krischerově koncepci faktoru  $\mu$  jako čistě materiálové konstanty nezávislé na tlaku a teplotě vzduchu. Tato koncepce je ustálena a němečtí stavební fyzici ji běžně používají [6].

### 4. Difúze podle ČSN 73 0540

Naše národní ČSN 73 0540 pracuje s oběma difúzními charakteristikami  $\delta$ ,  $\mu$  a pro většinu materiálů také současně obě veličiny tabeluje (viz její 3. část). Faktor difúzního odporu zavádí (Příloha J) vztahem

$$\mu = \frac{1}{N\delta} \quad (18)$$

$$N = \frac{1}{\delta_a (T_0 = 273,15 \text{ K}; p_0 = 98\,066,5 \text{ Pa})} \approx 5,25 \cdot 10^6 \frac{p_a}{T_a^{0,81}}$$

což je v podstatě poměr součinitelů difúzní vodivosti pro vzduch  $\delta_a$  a daný materiál  $\delta$

$$\mu = \frac{\delta_a}{\delta} \quad (19)$$

tedy vztah se smyslem jen pro izotermické podmínky, na rozdíl od obecnějšího vztahu (10), který platí i pro neizotermický případ.

Naše norma dává přednost součiniteli  $\delta$  před  $\mu$  tím, že jej používá ve výrazu pro difúzní odpor jednoduché

$$Z = R = \frac{\Delta x}{\delta} \quad (20)$$

i složené stěny

$$Z = R = \frac{\Delta x_1}{\delta_1} + \frac{\Delta x_2}{\delta_2} + \dots + \frac{\Delta x_n}{\delta_n} \quad (21)$$

Důvodem je pravděpodobně snaha o vytvoření analogie s tepelným odporem zavedeným rovněž jako podíl tloušťky stěny a jejího součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$ . Vzhledem k tomu, že naše národní norma pracuje s veličinami  $\delta$  i  $\mu$  a klade větší důraz na vodivost  $\delta$  (20), (21), která není pravou materiálovou konstantou, neboť navíc závisí na tlaku a teplotě vzduchu, explicitně nevyužívá výhodnou Krischerovu fyzikální koncepci čistě materiálového faktoru  $\mu$ , který nezávisí ani na teplotě, ani na tlaku vzduchu uvnitř pórovité struktury stěny.

### 5. Závěr

Porovnáním přístupů obou norem k popisu difúzního jevu v pórovitých materiálech lze dospět k hlubšímu pochopení významu fyzikálních veličin  $\mu$  a  $\delta$ , které se používají při výpočtech difúzního transportu konstrukcemi. Ačkoli jsou oba přístupy věcně správné, přístup německé DIN 4108 se zdá být blíže původnímu Krischerovu fyzikálnímu modelu difúze vodní páry stěnou jako difúze ekvivalentní vzduchovou vrstvou opravenou faktorem  $\mu$  na retardující vliv geometrické struktury pórů.

Fyzikální realita nás však poučuje, že jen málokterá konstanta zůstává "konstantní" v celém oboru měřených hodnot a v celé oblasti nutného použití. Neměnnost řady fyzikálních konstant nebývá – stručně řečeno – univerzální v celém rozsahu. Pravděpodobně tomu nebude jinak ani u faktoru  $\mu$ , avšak skutečností zůstává, že za běžných střeoevropských klimatických podmínek lze tento faktor považovat za přijatelně stabilní materiálovou konstantou.

### Literatura

- [1] ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov. ČSN, 1994.
- [2] DIN 4108 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Teil 3: Klimabedingter Feuchtschutz Anforderungen und Hinweise für Planung und Ausführung. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, 1999, p. 18.
- [3] Kirscher, O.: Grundgesetze der Feuchtigkeitsbewegung in Trockengütern. Kapillarwasserbewegung und Dampfdiffusion; Z. VDI – Beil. Verfehrstechnik, 82, 1938, pp. 373 – 380.
- [4] Schirmer, R.: Diffusionszahl von Wasserdampf-Luftgemischen und die Verdampfungsgeschwindigkeit. Z. VDI – Beil. Verfehrstechnik, 1938, H. 6, pp. 170 – 177.
- [5] Mrlik, F.: Vlhkostné problémy stavebních materiálů a konstrukcí. Bratislava, Alfa 1985.
- [6] Krus, M.: Fraunhofer Institut für Bauphysik, IPB, Holzkirchen – přímé sdělení.

### Ficker, T.: Water Vapour Diffusion in Constructions by ČSN 73 0540 and DIN 4108

In the present contribution the different physical approaches of the national standards ČSN 73 0540 and DIN 4108 to the problems of diffusion and condensation of water vapours in building structures are discussed.

### Ficker, T.: Wasserdampfdiffusion in Bauteilen nach ČSN 73 0540 und DIN 4108

In diesem Beitrag werden verschiedene physikalische Auffassungen der nationalen Normen ČSN 73 0540 und DIN 4108 zur Problematik der Wasserdampfdiffusion in Bauteilen diskutiert.

<sup>1)</sup> Tlak  $p_0 = 98\,066,5$  Pa, který odpovídá 270 m nadmořské výšce, byl zvolen pravděpodobně s ohledem na průměrnou nadmořskou výšku takových střeoevropských států, jako je Německo (nebo ČR).

# K ověření parametrů a jakosti totálních stanic

*doc. Ing. Pavel HÁNEK, CSc.  
doc. Ing. Milan KAŠPAR, CSc.  
Ing. Ilona JANŽUROVÁ  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha*

**Cílem příspěvku je seznámit čtenáře s výsledky ověřování parametrů a jakosti totálních stanic používaných v inženýrsko-průmyslové geodézii. Okrajově jsou zmíněny i další přístroje. Podkladem hodnocení je ustanovení ČSN ISO 8322 a další obvyklé postupy.**

## 1. Úvod

Elektronizace a digitalizace techniky, razantně se prosazující ve druhé polovině dvacátého století, vnesla do měřické praxe inženýrsko-průmyslové a stavební geodézie mnoho moderních přístrojů k měření a vytyčování, a současně vyvolala potřebu nových technologií. V terestrickém zeměměřičství byla tato éra zahájena koncem čtyřicátých let konstrukcí elektronických dálkoměrů a pokračovala vznikem elektronických teodolitů, popř. totálních stanic. Od sedmdesátých let jsou oblíbenou a využívanou skupinou lasery s malým výkonem v různých úpravách a použitích. Na přelomu osmdesátých a devadesátých let byla úspěšně dořešena digitalizace nivelačních kompenzátorových přístrojů.

Ověřování komponent nebo systémů v praxi věnuje pozornost řada pracovišť, mezi nimi i zaměstnanci katedry speciální geodézie Fakulty stavební ČVUT v Praze. Hlavním kritériem při ověřování jakosti je příslušná část mezinárodní normy [1].

## 2. Totální stanice

Totální stanice (též elektronický tachymetr) je univerzální přístroj, v němž je integrován elektronický teodolit pro měření vodorovných směrů (z nichž se počítají vodorovné úhly) a svislých úhlů (obvykle zenitových úhlů, u nichž jedno rameno směřuje k nadhlavníku – zenitu), elektrooptický dálkoměr a zařízení pro pořizování, ověřování, ukládání, zpracování (částečně) a přenos dat. **Čtení kruhů** je založeno na fotoelektrických metodách lišících se přesností. Je možné volit jednotky úhlového dělení (400 gon, 360°, 6 000 nebo 6 400 dílců) a smysl číslování. Zejména v konstrukcích teodolitů a stanic pro průmyslová měření se používá **dalekohled** s proměnlivým zvětšením, takže vhodný cílový znak se při pozorování z různých vzdáleností jeví stejně velký. Vliv osových chyb teodolitu je dán přesností výroby, popř. měřickým postupem. Vliv nesvislé točné osy je vyloučen jednoosým nebo dvouosým **kompenzátozem**, příslušné opravy jsou automaticky zaváděny do úhlových hodnot. Data jsou zobrazována na víceřádkové obrazovce a zaznamenávána na kalibrované paměťové karty PCMCIA s technologií SRAM (0,5 až 2,4 MB) nebo FLASH (4 až 10 MB). **Dálkoměr** je zpravidla koaxiální s optickou osou dalekohledu, zdrojem frekvenčně nebo pulsně modulovaného záření v současných konstrukcích bývá laserová dioda pracující ve viditelné červené nebo infračervené oblasti. Šikmou měřenou délkou je nutné upravit podle zjištěných fyzikálních (atmosférických) a matematických (konstant soupravy) hod-

not. To zajišťuje programové vybavení totální stanice stejně jako výpočet vodorovné délky a převýšení. **Software** nabízí i další operace, např. výpočet souřadnic stanoviska a zaměřených bodů nebo vytyčovacích polárních prvků (úhlu, délky, převýšení) ze zadaných souřadnic vytyčovaných bodů objektu.

Při jediném zacílení se elektronicky změní horizontální směr, zenitový úhel a délka, takže cílový bod je prostorově vztažen ke stanovisku. Samozřejmostí je možnost vkládání abecedně číslíkových popisů a určitého „dialogu“ mezi měřičem a přístrojem (např. vkládání čísel, popisu a souřadnic bodů) [2]. Pro různé inženýrské vytyčovací práce (železnice, silnice, vodní toky) existují specializované programy.

Z hlediska uživatele jsou – kromě parametrů přesnosti – důležitá (a to i finančně) další hlediska, zejména:

- způsob vyhledání a zacílení měřeného bodu může být buď ruční a vizuální, nebo sice s vizuálním cílením, ale s otáčením přístroje kolem svislé osy a klopné osy dalekohledu servomotorem, nebo celá operace probíhá automatizovaně, např. na pokyn dálkovým ovladačem nebo řídicí jednotkou systému;

- funkce dálkoměru – nejpřesnější práce vyžadují umístění odrazného hranolu v cíli. Pro určité vzdálenosti se mohou použít odrazné (reflexní) fólie (terče) známé tloušťky. Výhodou je jejich nízká pořizovací cena a nepatrná hmotnost, takže mohou být na objektu (např. mostu) umístěny efektivně již v průběhu výstavby nebo dokončovacích prací a po skončení prací zde ponechány [3]. Jejich účinnost a přesnost měření je ovlivněna úhlem dopadu dálkoměrného paprsku na fólii [4]. Poslední variantou jsou dálkoměry s pasivním odrazem, které mají omezený dosah a zpravidla menší přesnost. Jsou ovlivněny intenzitou slunečního svitu, stavem atmosféry, tvarem, barvou, strukturou a pohltivostí materiálu cíle [5]. Nejnovější modely totálních stanic mají souse montovány oba typy dálkoměrů, a to s laserem emitujícím v infračervené oblasti s dosahem řádově 2 km s odrazným hranolem a s laserem pracujícím ve viditelné červené části spektra s pasivním odrazem a dosahem řádově 100 m. Stopu „viditelného“ laseru lze pro jiné měřické práce použít jako ukazovátka (pointer) k vyznačení bodu.

Na katedře speciální geodézie se ověřovala řada typů totálních stanic předních světových firem, např. Leica, Nikon a Topcon [11], [12], [13], [14]. Úhloměrnou část lze ověřovat podle části 2 ČSN ISO 8322 [1], dálkoměrnou s omezením dosahu na 150 m podle části 8 stejné normy a odrazné terče a hranoly podle části 10. Je nutné konstatovat, že **parametry přesnosti** uváděné výrobcí byly ve srovnatelných podmínkách vždy splněny, často s určitou rezervou.

### 2.1. Přesnost úhlového měření

Ověření přesnosti úhlových měření je dáno dvěma nezávislými sériemi, z nichž každá je představována měřením čtyř v horizontu vhodně rozmístěných směrů v pěti skupinách (tj. v 1. a 2. poloze dalekohledu) bez uzávěru. Podstatný vliv má samozřejmě tvar, osvětlení a vzdálenost cílů. V našich zkouškách byly „ostré“ body voleny ve vzdálenosti 2 až 700 m. Výsledky opakovaných (byť poměrně malých)



souborů měření jsou uvedeny v *tab. 1*. U přístroje TCA 1105 bylo cíleno ručně, tedy s vyloučením automatiky. Hodnoty směrodatných odchylek, charakterizujících přesnost, byly v případě vodorovných směrů přepočítány na hodnotu směrodatné odchylky vodorovného úhlu. Pro vodorovné i zenitové úhly se přesnost vztahuje k měření ve dvou polohách dalekohledu (v jedné skupině).

Postup uvedený v normě, podle našeho názoru, vede jen k určení vnitřní přesnosti, s možným zahrnutím vlivu změn atmosférických podmínek. Například při měření s mechanicky kvalitním přístrojem s hrubými odečítacími pomůckami se nemusí rozdíly čtení vůbec projevit. Pokusili jsme se opakovaně provést porovnávací měření velmi přesným teodolitem OT2 (sovětská obdoba legendárního Wild T3) s nejmenším dílkem stupnice děleného kruhu 0,2" nebo 0,1 mgon. Tento teodolit a ověřovaná totální stanice se střídaly na těžkém stavivu pro průmyslová měření, zaručujícím téměř absolutní identitu polohy; zenitové úhly byly přepočítány na stejný horizont. Prokázalo se však, že mechanický stav přístroje OT2 neopravňuje k průkazným závěrům.

Tab. 1. Přesnost totálních stanic

Výrobce	Typ	Udávaná výrobce		Empirická přesnost úhlů [mgon]	
		délka <sup>*)</sup> [mm]	úhlu [mgon]	zenitových	vodorovných
Leica	TC 1800	(1+2 ppm)	0,3	0,35	0,32
Leica	TCA 1105	(2+2 ppm)	1,5	0,71	0,92
Nikon	NPL-820	(3+3 ppm)	1	0,40	0,90
Topcon	GTS-211D	(3+2 ppm)	1	0,75	0,95

\*) použito v odst. 2.3

Údaj *tabulky 1*, charakterizující přesnost měření délek (odst. 2.3), sestává ze dvou členů. První je absolutní, druhý (ppm) představuje miliontiny měřené vzdálenosti. Pro měření blízkých cílů, obvyklé v inženýrské geodézii, je zanedbatelný, takže přesnost je dána jen konstantní složkou.

Při registraci úhlové hodnoty může dojít ke změně **vlivem stisku tlačítka**. Pro přístroj Leica TCA 1105 je průměrná hodnota změny mezi hodnotou čtenou na obrazovce a zaregistrovanou -0,34 mgon, směrodatná odchylka 0,82 mgon, opakovaně dosažený maximální rozdíl -2,0 mgon. Stejná maximální odchylka byla nalezena i u přístroje Leica TC 1800 (1 mgon, ve starším značení  $10^{\text{cc}} = 3,24''$ ). Tato hodnota již může být významná a její příčinu nelze zanedbat.

## 2.2. Přesnost automatického zacílení

Přístroj Leica TCA 1105 je vybaven systémem ATR pro automatické cílení. Infračervený laserový svazek je promítán optickými členy do osy dalekohledu a vyslán objektivem. Rozdělovač oddělí zpětně odražený svazek ATR od svazku elektronického dálkoměru a viditelného světla a vede jej do přijímače (video senzoru). Zde je zesílena jeho intenzita, je vyhodnocen a přeměněn na hodnoty korekcí vodorovného a zenitového úhlu záměrné přímkou. Tyto korekce jsou použity k nastavení hodnot kruhovým snímacím systémem.

Jemné cílení pomocí ATR je automatické. Systém zkontroluje, zda hrubě zacílený hranol (např. z úhlových hodnot předchozí observace) je v zorném poli dalekohledu. Jestliže není nalezen, začne souvislý vyhledávací postup představovaný spirálovitým pohybem dalekohledu. Jakmile je detekován, dalekohled se zastaví. Motory pohybuji dalekohledem

tak, že jej vyhledáním maximální intenzity odraženého paprsku zacílí do středu hranolu s přesností v předem určených mezích. Při uplatnění funkce ATR není třeba zaostřovat dalekohled nebo přesně cílit na střed hranolu nebo terče. Tím se rychlost měření zvětšuje a přesnost, která je nezávislá na pozorovateli, zůstává stejná.

Ze souboru opakovaných zacílení na stabilně osazený odrazný hranol LEICA GPH 1P při neměnném postavení přístroje byly vypočítány směrodatné odchylky 1 nastavení ve směru obou hlavních rovin pro dvě odlišné vzdálenosti typické pro úlohy inženýrské geodézie. Z *tabulky 2* je zřejmá očekávaná závislost na délce. Hodnoty směrodatných odchylek 1 zacílení, zjištěné při záměře délky 5 m, neodpovídají přesnosti udávané výrobcem. Použití funkce ATR lze doporučit až při záměrech dlouhých řádově 10 m [6].

Tab. 2. Přesnost automatického cílení

Leica TCA 1105	Vzdálenost 5 m	Vzdálenost 30 m
vodorovný směr	2,1 mgon	1,0 mgon
svislý směr	2,3 mgon	1,2 mgon

Posouzení vnější přesnosti při použití režimu ATR bylo provedeno porovnáním s totální stanicí TC 1800. Oběma přístroji byly polární metodou (orientovaným úhlem a délkou) určeny rovinné souřadnice sedmi bodů vyznačených přesně provedenými ryskami na ocelové kolejnici umístěné na střeše budovy. Odrazný hranol byl nesen speciálním držákem, zkonstruovaným v laboratoři katedry speciální geodézie (J. Janota). Přípravek byl vybaven trubicovou libelou a jedním stavěcím šroubem, což jej umožňovalo na bodě horizontovat. Podélná vzdálenost krajních bodů byla 50,8 m.

Rovnoběžně s kolejnicí byla u jejich konců v příčném odstupu 4,5 m zřízena dvě stanoviska. Do jejich spojnice byla vložena osa +Y místního souřadnicového systému s počátkem v levém bodě. Z obou stanovisek byl opakovaně nezávisle ve dvou skupinách zaměřen hranol umístěný postupně na všechny měřené body. Přítom bylo nutné zajistit přesné přiložení držáku k ryse na kolejnici. K přístroji TC 1800 s vizuálním sledováním příslušel hranol LEICA GPH 1P, k přístroji TCA 1105 pracujícímu s funkcí ATR patřil všesměrný hranol Leica.

Při novém zpracování byly z měřických dvojic vypočítaných rovinných souřadnic  $y$ ,  $x$  bodů, měřených ze dvou stanovisek, vypočítány pro každý z obou přístrojů směrodatné odchylky  $s_y$ ,  $s_x$  (*tab. 3*). Tyto hodnoty popisují vnitřní přesnost jednoho měření s danou soupravou totální stanice a hranolu. Je v ní však obsažen i vliv drobné neidentity polohy hranolu při měření z různých stanovisek. Číselné hodnoty empirických směrodatných odchylek jsou pro oba případy srovnatelné, dokonce výsledky motorizované stanice TCA 1105 lze považovat za mírně lepší.

Z měřických dvojic souřadnic téhož bodu, zaměřeného ze stejného stanoviska postupně oběma přístroji, byla vypočítána hodnota směrodatné odchylky  $s_T$  charakterizující vnější přesnost jednoho měření bez rozlišení přístrojů. V posledním sloupci je uvedena teoretická mezní hodnota  $u_T$ , vypočítaná z hodnot  $s_y$ , resp.  $s_x$ , obou přístrojů při součiniteli konfidence  $t = 2,5$ . V souboru zřejmě působí systematické chyby neprojevující se při měření pouze jedním přístrojem. Jsou to nestejná délková měřítka, vliv cyklické a nulové chyby, popř. nepřesnosti součtové konstanty obou souprav (viz odst. 2.4). Protože měření se neprováděla v jeden okamžik, nelze vyloučit ani drobné neidentity polohy bodů vyvolané změnou polohy koleje. Poslední řádek *tab. 3* uvádí hodnoty

směrodatné polohové odchylky  $s_p = [1/2(s_y^2 + s_x^2)]^{1/2}$ . Hodnoty tab. 3 jsou velmi příznivé a odpovídají reálné přesnosti přístrojů i postupů. Ověření přesnosti měření cíle za pohybu, tedy **observace kinematických jevů**, není možné bez speciálně a nákladně vybavených laboratoří.

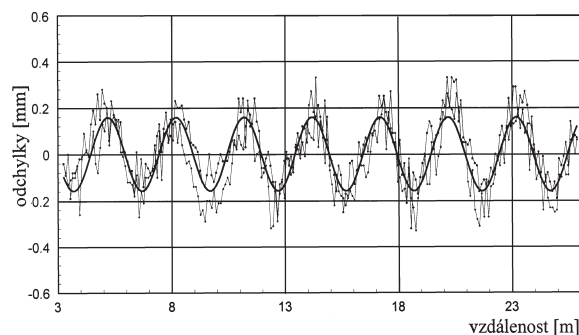
Tab. 3. Přesnost určení polohy

Poloha [mm]	TC 1800	TCA 1105	Empirická $s_T$	Mezní $u_T$
$s_y$	1,5	1,3	5,1	4,8
$s_x$	1,6	1,2	3,1	5,0
$s_p$	1,5	1,3	4,2	3,1

### 2.3. Přesnost měření délek

Je nutné konstatovat, že citovaná norma [1] v podstatě selhává pro polní určení **systematických chyb** dálkoměru, tj. měřítkové chyby, chyby nulové (neidentitě mechanického a elektronického středu přístroje) a cyklické chyby. (Tato periodicky probíhající chyba je obecně způsobena elektronickými nebo optickými poruchami přijímače. Projevuje se při měření fázového posunu nosné vlny [7].) Pro tento účel se musí zbudovat dvě délkové základny se 4 (5) mezilehlými body v délce přesahující 120 m, závislé na jednotkové délce dálkoměru totální stanice. Vzhledem k deklarovaným přesnostem dálkoměrů (tab. 1) nelze určit s dostatečnou (tj. menší než milimetrovou) přesností referenční rozměr základny. Tuto problematiku lze řešit pouze ve specializovaných laboratořích, např. University v Bonnu, která připravila pracovní postupy ověřování těchto parametrů pro zeměměřičské ústavy několika německých spolkových zemí.

Velmi přesvědčivá fakta jsou uvedena v [5]. Na převzatém obr. 1 jsou znázorněny výsledky výzkumu, při němž byl odrazný hranol totální stanice Leica TC 1800 umístěn na vozíku pohybujícím se po dráze stolice v rozsahu 3 až 26 m.



Obr. 1. Přesnost měření vzdáleností blízkých cílů přístrojem Leica TCA 1800 [5]

Poloha vozíku byla souběžně určována laserovým interferometrem, tedy s přesností podstatně větší. Odchylky kolísají v rozsahu  $\pm 0,3$  mm s délkou vlny asi 4 m. Byl u nich zjištěn vztah k cyklické fázové chybě dálkoměru. Při otáčení alhidády totální stanice se servopohonem vznikají síly působící na hlavu stativu. Stočení může dosáhnout až několika mgon, a tak způsobit změnu orientace vodorovného kruhu. Je tedy nutné dbát na stabilitu postavení, např. použitím těžkých stativů pro průmyslová měření. Zkoušky přístroje Zeiss S10, provedené Univerzitou Bauhaus ve Výmaru, prokázaly při automatickém proložení dalekohledu do druhé polohy změny orientace v rozsahu 8 mgon trvalou změnu ve velikosti 0,5 mgon a zřetelný vliv stisku tlačítka na obslužném panelu ve velikosti 2 mgon.

**Součtovou konstantu** soupravy dálkoměru a hranolu je možné určit známým postupem se čtyřmi stativy s přesností lepší než 0,5 mm.

### 3. Jiné přístroje

Hodnocení nejvýznamnějších vlivů působících při použití digitálních nivelačních přístrojů je uvedeno v [8]. Vliv nepřesného horizontování, především v podélném směru, třeba i v důsledku nerektifikované libely, může dosáhnout výrazných hodnot sklonu záměrné přímkou (až 4"). Nejvýznamnější je vliv společně působícího temperování přístroje při vyrovnání teplot při měření a při dopravě (skladování) a vnitřních změn teploty vyvolaných tepelným vyzařováním elektronických součástek při provozu. Vzájemné porovnání pěti přístrojů předních značek, zastupujících tři ze čtyř známých systémů kódování binární stupnice latě, prokázalo u konstrukčně starších typů potřebu až pět minut temperování na 1 °C teplotního rozdílu. Při rozdílu 23 °C celková změna polohy záměrné přímkou 15" znamená nepřijatelnou chybu čtení 2,2 mm na běžnou délku záměry 30 m. U novějších přístrojů probíhá temperování rychlostí 1 až 2 minuty na každý 1 °C teplotního rozdílu. Celková pozvolná změna po předpokládaném vyrovnání teplot nepřesahuje až na výjimky 4", tj. 0,6 mm/30 m.

Sortiment, konstrukční skupiny a možnosti použití laserů jako samostatných přístrojů jsou velmi široké. Přehledu je věnována např. obsáhlá práce [9]. Ověření parametrů a jakosti některých stavebních ručních dálkoměrů a vytyčovacíh přístrojů je v [10].

**Příspěvek byl zpracován v rámci výzkumného záměru J04098: 21000022. Přístroje byly zapůjčeny jmenovanými firmami.**

### Literatura

- [1] ČSN ISO 8322 Určování přesnosti měřicích přístrojů. ČSNI, 1994.
- [2] Hánek, P. – Havlíčková, D.: Teodolitové prostorové protínání v průmyslu. *Automatizace* **42**, 1999, č. 12, s. 879 – 883.
- [3] Procházka, J. – Suchá, J.: Problematika měření délek na odrazné fólie. *Geodetický a kartografický obzor* **47/89**, 2001, č. 1, s. 8 – 15.
- [4] Marešová, J.: Testování totálních stanic s pasivním odrazem. *Geodetický a kartografický obzor* **47/89**, 2001, č. 7, s. 150 – 158.
- [5] Schwarz, W.: Moderní měřičké metody inženýrské geodzie a jejich praktické použití. *Geodetický a kartografický obzor* **48/90**, 2002 – překlad (v tisku).
- [6] Němec, J.: Moderní způsoby řízení stavebních strojů s využitím totálních stanic a GPS. [Diplomová práce], Praha, ČVUT 2001.
- [7] Möser, M. – Müller, G. – Schlemmer, H.: *Handbuch Ingenieurgeodäsie*. Grundlagen. Heidelberg, Wichmann 2000.
- [8] Hánek, P. – Janžurová, I.: Ke změnám polohy záměrné přímkou digitálních nivelačních přístrojů. *Geodetický a kartografický obzor* **47/89**, 2001, č. 11, s. 281 – 284.
- [9] Kašpar, M. – Voštová, V.: *Laserová technika ve stavebnictví a navigace strojů*. Praha, ČKAIT 2001.
- [10] Hánek, P. – Janžurová, I. – Jirásková, J.: Ověřovací zkoušky stavebních laserových dálkoměrů a vytyčovacíh přístrojů. *Stavební obzor* **10**, 2001, č. 6, s. 185 – 189.
- [11] Vlčovská, M.: Ověření parametrů a jakosti souboru elektronických geodetických přístrojů pro investiční činnost. [Diplomová práce], Praha, ČVUT 1999.
- [12] Smáha, Z.: Ověření parametrů a jakosti souboru elektronických geodetických přístrojů pro investiční činnost. [Diplomová práce], Praha, ČVUT 2000.
- [13] Foksová, H.: Ověření parametrů a jakosti souboru elektronických geodetických přístrojů pro investiční činnost. [Diplomová práce], Praha, ČVUT 2000.
- [14] Burghard, A.: Problematika měření dlouhých jeřábových drah za pomoci totálních stanic. [Diplomová práce], Praha, ČVUT 2001.

Hánek, P. – Kašpar, M. – Janžurová, I.: On Testing of Parameters and Quality of Total Stations

This paper presents outcomes of testing of parameters and quality of total stations used in engineering geodesy. Other devices are mentioned only briefly. ČSN ISO 8322 and other common procedures have been used as source materials for assessment.

Hánek, P. – Kašpar, M. – Janžurová, I.: Zur Überprüfung der Parameter und Güte von Totalstationen

Ziel des Beitrags ist es, die Leser mit den Ergebnissen einer Überprüfung der Parameter und der Güte von in der Ingenieur-Industrie-Geodäsie eingesetzten Totalstationen bekannt zu machen. Am Rande werden auch weitere Instrumente erwähnt. Bewertungsgrundlage sind die ČSN ISO 8322 und weitere übliche Verfahren.

## • dizertace



### Numerická analýza tektonicky porušeného horninového masivu

Ing. Matouš Hilar

Autor se zaměřil na ověření vhodnosti numerického modelování tunelů velkých příčných rozměrů ražených metodou NRTM s členěnou čelbou v tektonicky porušeném masivu. Přínos práce spočívá zejména ve vysvětlení neočekávaných nadměrných deformací, ve stanovení kvantitativních vlivů podpůrných opatření, v analýze vzájemného ovlivňování deformací u paralelních tunelových trub a v aplikaci statistických přístupů.

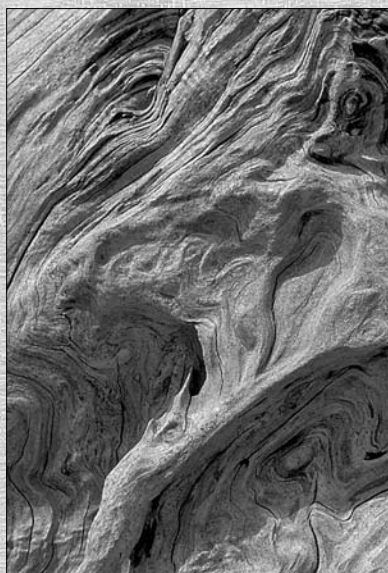
## Dřevo ve stavebnictví

Uplynulá desetiletí byla mnohde ve znamení ústupu od tradičních konstrukčních materiálů a jejich nahrazování materiály „modernějšími“. Tento vývoj byl mimo jiné poplatný představě o neomezených zdrojích energie a surovin. Dnes však vidíme, že naše planeta není tak velká ani tak bohatá, abychom mohli a směli pokračovat v bezohledném plýtvání. A tak se vracíme k dřívějším technologiím a někdy s úžasem zjišťujeme, jak jsou výhodné.

Dřevo v tomto pojetí je ideální případ. Jako obnovující se surovina je vytvářeno v živém stromu z oxidu uhličitého a vody pomocí sluneční energie. Ale nejde jen o tento úzký pohled – růstem dřeva v lese a nahrazováním fosilních paliv odpadovým dřevem se redukuje množství oxidu uhličitého v ovzduší, a dochází proto k příznivému působení na globální oteplování země a na skleníkový efekt. Širší používání dřeva pomůže zachovat pro budoucnost zbývající zdroje vyčerpatelných surovin.

Těžba dřeva a dřevařský průmysl obecně je k životnímu prostředí relativně velmi šetrný – způsobuje jen malé znečištění životního prostředí – nové postupy ve výrobních procesech navíc toto znečištění dále snižují. Pro výrobu ze dřeva a materiálů na bázi dřeva je zapotřebí málo energie, existuje možnost opětovného užití, opětovného zhodnocení pro získání energie, přičemž odpad je minimální. Ekologické aspekty zasahují stále více i stavebnictví a tento trend zesílí po našem vstupu do EU. Využívání různých materiálů bude muset respektovat tvrdé normy – dřevo jim bez potíží vyhoví.

Jako konstrukční materiál má velmi dobré statické parametry. Ze dřeva lze stavět objekty od malých rodinných domů přes bytové domy až po víceúčelové haly velkých rozponů. V komunikačních sítích pak jde o stavby mostů a lávek, které



dokonale zapadají do přírodního prostředí. V rámci občanské a bytové výstavby se u nás zatím montované stavby na bázi lehké prefabrikace se dřevem prosazují spíše jen při výstavbě rodinných domků. Přitom tato metoda je vhodná i pro větší patrové stavby. Jednou z prvních vlašťovek a příkladů je stavba budov hraničního přechodu v Rumburku. Tepelné parametry těchto budov jsou vynikající a projektanti se snadno vypořádali i s nízkou únosností podlaží.

Dřevo je ideální materiál do kompozitních prvků. Může spolupůsobit s ocelí či betonem, přičemž vzniklé hybridní konstrukce mají neobvyklé vlastnosti. Spolupůsobení dřeva a zdiva má i v našich podmínkách dávno tradici. Vývoj však nekončí – dřevo lze kombinovat i s kompozitními materiály na bázi skleněných a uhlíkových vláken. Z těchto materiálů pak lze vytvářet konstrukce vysoké estetické a užitné hodnoty s technickými parametry předstihujícími ocel a beton.

Ale i zpracování dřeva se modernizuje. Využívají se nové technologie třídění i zpracování dřeva, spojování prvků, vznikají nové materiály, pronikavě se mění a zlepšuje chemická ochrana. A konečně, doslova revolucí prochází navrhování dřevěných konstrukcí.

Ačkoli dřevo je zápalné a hořlavé, jeho chování při požáru je relativně příznivé a předvídatelné. Velké průřezy mohou být použity bez dodatečné protipožární ochrany. Dřevo se může rovněž používat pro speciální účely, dokonce i na protipožární dveře.

Zvýraznění úlohy dřeva ve stavebnictví bude věnována mezinárodní konference Dřevo – stavební materiál 3. tisíciletí, která proběhne v rámci stavebního veletrhu IBF v Brně ve dnech 23. – 27. 4. 2002.



# Dynamický model prívesného vozíka na meranie pozdĺžnych nerovností vozovky

Ing. Peter MÚČKA, CSc.

Ústav materiálov a mechaniky strojov SAV

Bratislava

Dr. Ing. Martin DECKÝ

Stavebná fakulta ŽU

Žilina

V príspevku je prezentovaný dynamický model jednokolesového prívesného meracieho vozíka JP VŠDS slúžiacieho na meranie pozdĺžnych nerovností vozovky. Porovnávajú sa namerané zvislé zrýchlenia kmitania odpružených častí vozíka s výsledkami simulácie modelu štvrtiny vozidla a so spresneným dynamickým modelom zariadenia JP VŠDS. Používa sa kinematické budenie náhodnými pozdĺžnymi nerovnosťami povrchu vozovky a osamelými prekážkami rôznych profilov.

## 1. Úvod

Základom pre experimentálne určovanie pozdĺžnych nerovností vozoviek bola donedávna takmer výhradne nivelácia, ktorou sa určuje priebeh pozdĺžnych nerovností ako funkcia staničenia. Časová a finančná náročnosť nivelácie si vyžiadala vývoj ďalších spôsobov posudzovania pozdĺžnych nerovností vozoviek. Výsledkom sú napríklad odozvové systémy, ktoré posudzujú nerovnosť vozovky na základe dynamickej odozvy (zvislého zrýchlenia kmitania v definovanom bode) skúšobného zariadenia na pozdĺžne nerovnosti. Odozvové systémy konštruované na báze dynamickej dvojhmotovej meracej sústavy (DMS) môžu byť realizované ako prívesné vozidlo pripojené k ťažnému vozidlu alebo priamo na nápravu vhodného vozidla, čím sa odstraňuje potreba prívesného zariadenia. Dvojhmotové meracie zariadenie kvantifikuje účinky náhodných pozdĺžnych nerovností vozovky na pohybujúce sa vozidlá z hľadiska bezpečnosti pohybu, jazdného pohodlia a zaťaženia vozidiel.

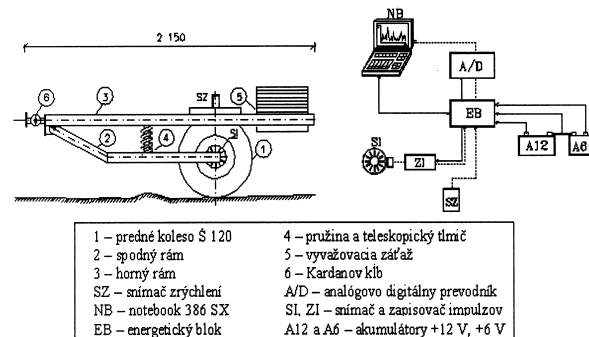
Na Vyskej škole dopravy a spojov (ďalej VŠDS) v Žiline bolo na báze odozvoových systémov vytvorené meracie zariadenie – jednokolesový prívesný vozík JP VŠDS [4], [6]. Toto zariadenie je skonštruované na princípe dvojhmotovej meracej sústavy a slúži na meranie pozdĺžnych nerovností povrchu vozovky. Matematickým spracovaním odoziev DMS na nerovnosti vozovky vo forme zvislých zrýchlení v referenčnom bode sa určuje miera nerovností povrchu vozovky  $C$  [5], [9], [12] alebo parameter  $IRI$  (International Roughness Index) [13]. Na základe dynamickej odozvy sa vytvárajú klasifikačné triedy nerovností vozovky a vozovky sa podľa kvality povrchu rozdeľujú do jednotlivých tried [5] – [7], [9].

Meracie zariadenie JP VŠDS sa v niektorých predchádzajúcich prácach nahradzovalo prostredníctvom modelu štvrtiny vozidla (MŠV) [8], [11], ako je tomu typické pre podobné odozvové systémy. Komplexná analýza dynamiky prívesu, porovnanie meraných so simulačnými výsledkami pre MŠV a rôzne druhy kinematického budenia bolo vykonané napr. v prácach [6], [8], [11]. Od podobných odozvoových zariadení sa však líši geometriou usporiadania, a z tohto pohľadu jeho nahradenie prostredníctvom MŠV spôsobuje pri simulácii podstatné odchýlky od nameraných výsledkov. Preto pre po-

treby simulácie dynamickej odozvy zariadenia JP VŠDS vzniká potreba jeho aproximácie vhodnejším dynamickým modelom. Presnejší model by potom umožňoval predikovať hodnotiace kritériá pozdĺžnych nerovností povrchu vozovky. Prípadne by mohol slúžiť ako referencia správnosti meraní vykonaných v teréne. V tomto príspevku bude prezentovaný spresnený model meracieho prívesu JP VŠDS, porovnaná jeho simulovaná odozva vo forme zvislých zrýchlení kmitania s modelom štvrtiny vozidla a s odmeranými zrýchleniami.

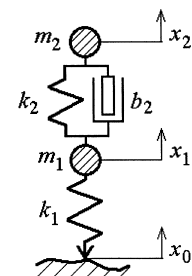
## 2. Dynamický model

Nákres jednokolesového prívesu JP VŠDS, základné časti a schéma spracovania a vyhodnotenia odmeraných odoziev vo forme zvislých zrýchlení sú znázornené na obr. 1. Výsledky meraní pozdĺžnych nerovností vozoviek prezentovaným zariadením môžu byť použité ako relevantné vstupy výpočtu užívateľských nákladov podľa prevádzkovej spôsobilosti cestnej komunikácie v Systéme hospodárenia s vozovkami [2], [3], [10], [14] – [16].



Obr. 1. Schéma zariadenia JP VŠDS a spôsob spracovania nameraných odoziev

Nahradenie meracieho prívesu mechanicou sústavou s dvoma stupňami voľnosti, tzv. modelom štvrtiny vozidla s diskretnými hmotnosťami  $m_1$ ,  $m_2$ , pružnými elementami s tuhosťami  $k_1$ ,  $k_2$  a viskóznym tlmičom s lineárnym súčiniteľom tlmenia  $b_2$ , predstavuje obr. 2. Na obrázku 3 je zostavený spresnený mechanický model prívesu s rešpektovaním



Obr. 2. Model štvrtiny vozidla

geometrie zariadenia a s excentrickým umiestnením pružného a tlmiaceho člena. V oboch obrázkoch značí  $m_1$ ,  $m_2$  hmotnosť neodpružených a odpružených častí meracieho prívěsu [kg],  $k_1$  radiálnu tuhosť pneumatiky [N/m],  $k_2$  tuhosť pružiny odpruženia [N/m],  $b_2$  lineárny súčiniteľ tlmenia viskózneho tlmieča [N·s/m],  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $a$  geometrické rozmery [m],  $x_0$  zvislú výchylku kinematického budenia [m],  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_{2a}$  zvislé výchylky neodpruženej hmoty, odpruženej hmoty a akcelerometra [m],  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  uhlové natočenie rámov prívěsu [rad].

Pre zvislé kmitanie hmôt modelu štvrtiny vozidla okolo rovnovážnej polohy na obr. 2 platia pohybové rovnice

$$m_1 \ddot{x}_1 + k_1(x_1 - x_0) + k_2(x_1 - x_2) + b_2(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) = 0, \quad (1)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + k_2(x_2 - x_1) + b_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) = 0. \quad (2)$$

Pohybové rovnice pre kmitanie dvojhmotovej sústavy podľa obr. 3 môžeme zapísať v tvare

$$m_1 \ddot{x}_1 = k_1(x_0 - x_1) - f_{21}, \quad (3)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 = f_{12}. \quad (4)$$

V prípade malého kmitania platí pre zvislé výchylky  $x_1 = l_1 \varphi_1$  a  $x_2 = l_2 \varphi_2$ . Sila  $f_{21}$  v rovnici (3) predstavuje silové pôsobenie od tlmieča a pružiny odpruženia na hmotu  $m_1$  v mieste jej zvislej osi. Na základe rovnice momentovej rovnováhy ku kľbu prívěsu sa sila  $f_{21}$  dá vyjadriť v tvare

$$\begin{aligned} f_{21} &= k_2 \frac{a^2}{l_1} (\varphi_1 - \varphi_2) + b_2 \frac{a^2}{l_1} (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) = \\ &= k_2 \frac{a^2}{l_1^2} x_1 - k_2 \frac{a^2}{l_1 l_2} x_2 + b_2 \frac{a^2}{l_1^2} \dot{x}_1 - b_2 \frac{a^2}{l_1 l_2} \dot{x}_2. \end{aligned} \quad (5)$$

Podobne sila  $f_{12}$  v rovnici (4) predstavuje redukovaný silový účinok pružného a tlmiaceho člena odpruženia na hmotu  $m_2$  v mieste jej zvislej osi a má tvar

$$\begin{aligned} f_{12} &= k_2 \frac{a^2}{l_2} (\varphi_1 - \varphi_2) + b_2 \frac{a^2}{l_2} (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) = \\ &= k_2 \frac{a^2}{l_1 l_2} x_1 - k_2 \frac{a^2}{l_2^2} x_2 + b_2 \frac{a^2}{l_1 l_2} \dot{x}_1 - b_2 \frac{a^2}{l_2^2} \dot{x}_2. \end{aligned} \quad (6)$$

Pohybové rovnice pre malé kmitanie majú po dosadení vzťahov (5), (6) do (3) a (4) a úprave tvar

$$m_1 \ddot{x}_1 + b_2 \frac{a^2}{l_1^2} \dot{x}_1 - b_2 \frac{a^2}{l_1 l_2} \dot{x}_2 + \left( k_1 + k_2 \frac{a^2}{l_1^2} \right) x_1 - k_2 \frac{a^2}{l_1 l_2} x_2 = k_1 x_0, \quad (7)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + b_2 \frac{a^2}{l_2^2} \dot{x}_2 - b_2 \frac{a^2}{l_1 l_2} \dot{x}_1 + k_2 \frac{a^2}{l_2^2} x_2 - k_2 \frac{a^2}{l_1 l_2} x_1 = 0. \quad (8)$$

V praxi však zariadením JP VŠDS nemerame zvislé zrýchlenie na hmote  $m_2$ , ale na odpruženej hmote v mieste zvislej osi kola (obr. 3). Preto je pre potreby simulácie a

porovnania s nameranými výsledkami nutné upraviť pohybové rovnice z tohoto pohľadu. Zvislú výchylku v mieste umiestnenia akcelerometra  $x_{2a}$  možno vyjadriť ako funkciu geometrických rozmerov a zvislej výchylky (rýchlosti, zrýchlenia) hmoty  $m_2$  pomocou vzťahov

$$x_{2a} = (l_1/l_2) \cdot x_2, \dot{x}_{2a} = (l_1/l_2) \cdot \dot{x}_2, \ddot{x}_{2a} = (l_1/l_2) \cdot \ddot{x}_2. \quad (9)$$

Po dosadení (9) do pohybových rovníc (7) a (8) môžeme tieto prepísať do tvaru

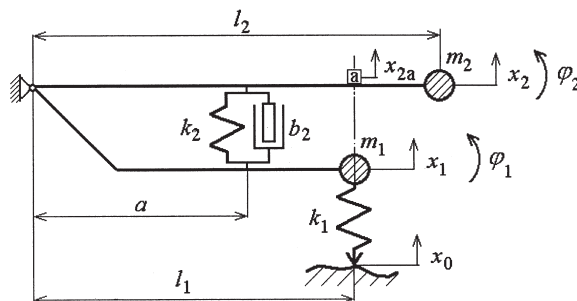
$$m_1 \ddot{x}_1 + b_2 \frac{a^2}{l_1^2} (\dot{x}_1 - \dot{x}_{2a}) + k_2 \frac{a^2}{l_1^2} (x_1 - x_{2a}) + k_1 x_1 = k_1 x_0, \quad (10)$$

$$m_2 \ddot{x}_{2a} + b_2 \frac{a^2}{l_2^2} (\dot{x}_{2a} - \dot{x}_1) + k_2 \frac{a^2}{l_2^2} (x_{2a} - x_1) = 0. \quad (11)$$

V ďalšej časti budeme vychádzať pri simulovaní odozvy zrýchlenia modelu štvrtiny vozidla z pohybových rovníc (1) a (2) a v prípade odozvy spresneného dynamického modelu JP VŠDS z rovníc (10) a (11).

### 3. Simulácia odozvy zrýchlenia

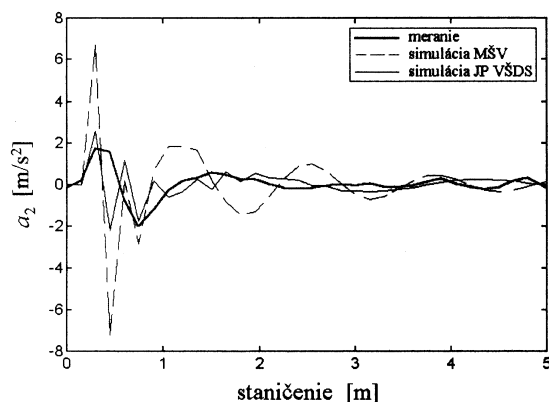
V tejto časti uvedieme porovnanie výsledkov odmeranej a simulovanej odozvy meracieho prívěsu JP VŠDS. Výsledky simulácie boli dosiahnuté s využitím vlastných programov zostavených v programovom prostredí Matlab/Simulink s využitím rovníc (1) až (11). Použitú parametre modelu prívěsného vozíka podľa [6] majú hodnoty:  $m_1 = 45$  kg,  $m_2 = 184,5$  kg,  $k_1 = 181\,800$  N/m,  $k_2 = 39\,200$  N/m,  $a = 0,795$  m,  $l_1 = 1,195$  m,  $l_2 = 1,5$  m. Na vozíku je umiestnený tlmieč s nelineárnou charakteristikou zo Škody 120 [1] s rozdielnymi súčiniteľmi tlmenia pre rozťahovanie tlmieča ( $b_{2roz} = 1\,200$  N·s/m) a jeho stláčanie ( $b_{2stl} = 500$  N·s/m). Pri výpočtoch linearizujeme pôsobenie tlmieča a uvažujeme priemernú hodnotu súčiniteľa tlmenia  $b_2 = (b_{2roz} + b_{2stl})/2 = 850$  N·s/m. Modely prívěsu sa líšia samozrejme aj vlastnými frekvenciami kmitania. Vlastné tlmené frekvencie zvislého kmitania modelu JP VŠDS opísaného pohybovými rovnicami (7) a (8) pre uvedené parametre sú  $f_1 = 1,17$  Hz pre kmitanie odpruženej hmoty  $m_2$  a  $f_2 = 10,56$  Hz pre kmitanie neodpruženej hmoty  $m_1$ . Pre model štvrtiny vozidla nadobúdajú vlastné tlmené frekvencie hodnoty  $f_1 = 2,1$  Hz a  $f_2 = 11$  Hz. Experimentálne bola v práci [6] zistená vlastná tlmená frekvencia kmitania odpružených častí vozíka  $f_1 = 1,3$  Hz, ktorá je výrazne bližšie k vypočítanej vlastnej frekvencii dynamického modelu JP VŠDS.



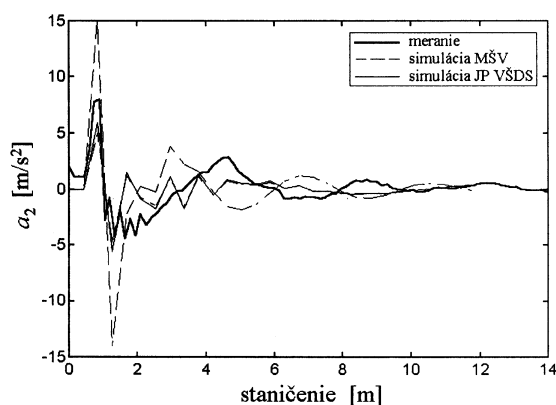
Obr. 3. Dynamický model meracieho prívěsu JP VŠDS

### 3.1. Kinematické budenie osamelými prekážkami

Impulzné kinematické budenie je realizované prekážkami dvoch rôznych profilov. V prvom prípade sa uvažuje prekážka obdĺžnikového profilu s výškou  $h = 0,02$  m a dĺžkou  $l = 0,2$  m a prejazdová rýchlosť  $v = 10$  km/h. V druhom prípade sa jedná o spomaľovací prah s profilom kruhového odseku s výškou  $h = 0,05$  m a dĺžkou  $l = 0,5$  m. Rýchlosť prejazdu cez prekážku je  $v = 28$  km/h. Pri meraní bolo zvislé zrýchlenie kmitania  $a_2$  na vozíku zaznamenávané s krokom staničenia  $s_{kr} = 0,15$  m. Odozva modelu bola získaná integráciou pohybových rovníc (1), (2), resp. (10), (11), metódou Runge-Kutta s krokom integrácie  $t_{kr} = 0,001$  (skr/v) v prostredí Simulink. Merané a simulované odozvy zrýchlenia  $a_2$ , t.j.  $\ddot{x}_2$  (MŠV), resp.  $\ddot{x}_{2a}$  (JPVŠDS), pri prejazde cez prekážky znázorňujú obr. 4 a obr. 5, z ktorých vyplývajú výraznejšie extrémny odozvy zrýchlenia (dvojnásobné až trojnásobné) pri simulácii MŠV oproti nameraným extrémom a taktiež dlhšie doznievanie odozvy po ukončení impulzného budenia profilom prekážky. Extrémy zrýchlenia pri modeli JP VŠDS približne súhlasia s nameranými, aj keď priebehy odozvy sa odlišujú.



Obr. 4. Zvislé zrýchlenie  $a_2$  pri prejazde cez obdĺžnikovú prekážku pre  $v = 10$  km/h



Obr. 5. Zvislé zrýchlenie  $a_2$  pri prejazde cez spomaľovací prah pre  $v = 28$  km/h

Štatistickú mieru nerovností povrchu vozovky  $C$  je možné určiť zo systémového vzťahu pre rozptyl odozvy vozidla [5], [9], [12]

$$D_{\ddot{y}} = ICv \Rightarrow C = \frac{D_{\ddot{y}}}{Iv}, \quad (12)$$

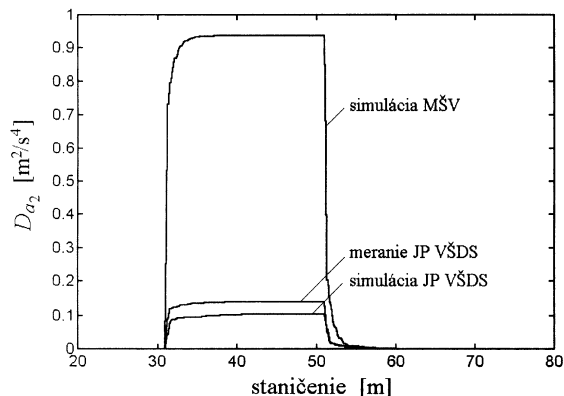
kde  $D_{\ddot{y}}$  je rozptyl zvislého zrýchlenia kmitania v referenčnom bode vozidla [ $m^2 \cdot s^{-4}$ ],

$I$  – parameter globálneho dynamického prenosu [ $rad^{-1} \cdot s^{-3}$ ],

$C$  – parameter miery pozdĺžnych nerovností cesty [ $rad \cdot m$ ],

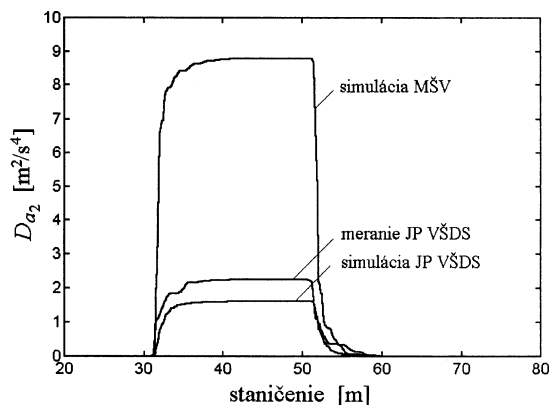
$v$  – rýchlosť pohybu vozidla [ $m \cdot s^{-1}$ ].

Na základe vzťahu (12) pre rozptyl zrýchlenia v referenčnom bode dynamického systému, ktorý je základom metódy dynamického zisťovania parametra  $C$  pomocou odozvoových systémov, bývajú vytvárané klasifikačné skupiny výškových nerovností [5], [7], [9]. S využitím vzťahu (12) sa uskutočňuje diagnostikovanie cestných vozoviek z hľadiska pozdĺžnych nerovností. Na grafických výstupoch preto budeme porovnávať rozptyl zvislého zrýchlenia ako odozvy na impulzné kinematické budenie. Rozptyl zrýchlenia na obr. 6 a obr. 7 určujeme vo vyhodnocovacom okne 20 m prostredníctvom kľzavého priemeru s posuvom 0,15 m. Systém hospodárenia s vozovkami posudzuje stav komunikácií na základe hodnotiacich úsekov rôznej dĺžky, medzi ktoré patrí aj



Obr. 6. Rozptyl zvislého zrýchlenia pri prejazde cez obdĺžnikovú prekážku

úsek s dĺžkou 20 m [3], [10], [14]. Pri určovaní rozptylu uvažujeme časť signálu simulovanej, resp. nameranej odozvy na budenie profilom prekážky v intervale  $(0, 20 \cdot l)$ , čiže od začiatku impulzného kinematického budenia do dvojnásobku dĺžky konkrétnej prekážky. Signál odozvy doplníme nulovým signálom kinematického budenia, aby sme dosiahli dostatočnú dĺžku budenia pre vyhodnocovanie v okne dĺžky 20 m.



Obr. 7. Rozptyl zvislého zrýchlenia pri prejazde cez spomaľovací prah

Simulovaný rozptyl zvislého zrýchlenia modelu JP VŠDS je približne o 25 % nižší oproti rozptylu vypočítanému z nameranej odozvy. Oproti tomu rozptyl určený modelom štvrtiny vozidla niekoľkonásobne prekračuje úroveň nameraných hodnôt. Výraznejšie odchýlky medzi výsledkami spresneného modelu prívesu a nameranými priebehmi zrýchlenia môže ovplyvňovať niekoľko faktorov. Dôvodom môže byť hlavne zjednodušené nahradenie kolesa vozíka hrotovým modelom, keďže hrot (koleso s nulovým polo-

merom) presne sleduje priebeh nerovnosti vozovky. Pneumatika však v reálnej skutočnosti opisuje okolo každej nerovnosti krivku, ktorá sa od skutočného profilu vozovky líši tým viac, čím výraznejšie sú zmeny profilu vozovky. Vo všeobecnosti je vhodnejšie použitie hrotového modelu kolesa v prípade kvalitnejších vozoviek. Ďalšími faktormi môžu byť nepresnosť v určení parametrov modelu a geometrických rozmerov, nelinearity pružných a tlmiacich členov, pôsobenie dorazov v hornej alebo dolnej pracovnej polohe prvkov odpruženia, dočasná strata kontaktu kolesa s vozovkou, dynamická radiálna tuhosť pneumatiky závislá na tvare povrchu a pod.

### 3.2. Kinematické budenie náhodnými pozdĺžnymi nerovnosťami vozovky

Ako zdroj kinematického budenia náhodnými pozdĺžnymi nerovnosťami boli použité niveláciou stanovené výškové nerovnosti na etalónových úsekoch reálnej vozovky s dĺžkou 500 m a so staničením  $s_{kr} = 0,25$  m v oblasti Čičmany a Brodno. Tieto úseky sa líšia od seba kvalitou povrchu. Kvalitnejší z pohľadu pozdĺžnej rovnosti povrchu je úsek Brodno, pre ktorý je priemerná hodnota štatistickej miery výškových nerovností povrchu vozovky  $C = 2,20 \cdot 10^{-6}$  rad.m. Pre úsek Čičmany bola vypočítaná priemerná miera nerovností  $C = 5,06 \cdot 10^{-6}$  rad.m [11]. Na týchto dvoch úsekoch boli získané aj referenčné namerané zvislé zrýchlenia kmitania na odpruženej hmote vozíka, ktoré budeme porovnávať s výsledkami simulácie. Staničenie pri meraní zrýchlenia bolo volené  $s_{kr} = 0,15$  m.

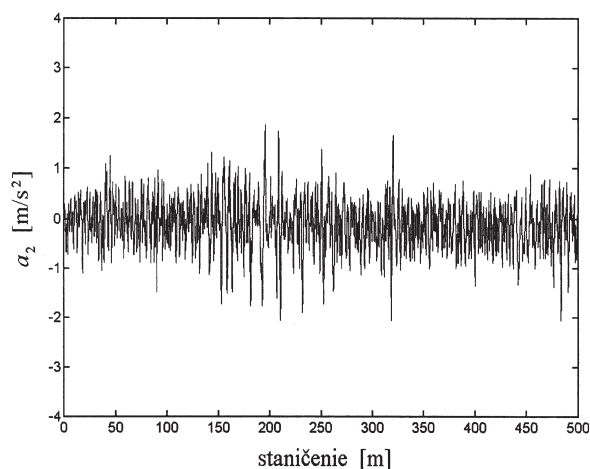
Dôležitou otázkou je vzorkovanie odozvy. Príliš veľký krok vzorkovania môže zapríčiniť skreslenie priebehu odmeraných hodnôt. Minimálna frekvencia vzorkovania podľa Nyquistovho teóremu je dvojnásobkom najvyššej analyzovanej frekvencie systému  $f_{vz} = 2 \cdot f_{max}$ . V našom prípade za najvyššiu zaujímavú frekvenciu považujeme vlastnú frekvenciu kmitania neodpruženej hmoty  $f_2 \approx 12$  Hz. Minimálny krok vzorkovania možno určiť vo vzťahu  $s_{min} = v/f_{vz}$  [m; m/s, Hz]. Z tohoto vzťahu vyplýva potrebný minimálny krok vzorkovania  $s_{min} = 12$  cm pre rýchlosť  $v = 10$  km/h, 32 cm pre rýchlosť  $v = 28$  km/h a 43 cm pre  $v = 37$  km/h. Avšak pri niektorých druhoch signálu sa odporúča vzorkovať s ešte hustejším krokom a uvažovať  $f_{vz} = 3 \cdot f_{max}$  a viac. Meracie zariadenie JP VŠDS umožňuje minimálny krok vzorkovania 15 cm, čo môže pri nízkych rýchlostiach pohybu zapríčiniť skreslenie zaznamenávanej odozvy.

Simulácia odozvy bola vykonaná pri nenulových počiatočných podmienkach. Počiatočné podmienky kmitania po prevedení pohybových rovníc (1), (2), resp. (10), (11), do stavového priestoru pre čas  $t = 0$  boli volené  $\dot{x}_1(0) = \dot{x}_2(0)$ , resp.  $\dot{x}_{2a}(0) = (KB_{i+k} - KB_i)/(k \cdot dt)$  a  $\ddot{x}_1(0) = \ddot{x}_2(0)$ , resp.  $\ddot{x}_{2a}(0) = 0$ , kde  $KB_{i+k}$  je hodnota náhodného budenia v  $(i+k)$ -tom kroku staničenia,  $KB_i$  je hodnota v  $(i)$ -tom kroku staničenia,  $dt$  je čas, za ktorý vozík prejde dĺžku kroku staničenia  $s_{kr} = 0,25$  m,  $dt = s_{kr}/v$ . Konštanta  $k$  je celočíselné zaokrúhlenie pomeru  $k = 0,5/dt$ . Tieto počiatočné podmienky možno fyzikálne interpretovať ako nábehovú dobu modelu na ceste s priemerným stupňom nerovností počas prvej 0,5 sekundy simulovaného pohybu.

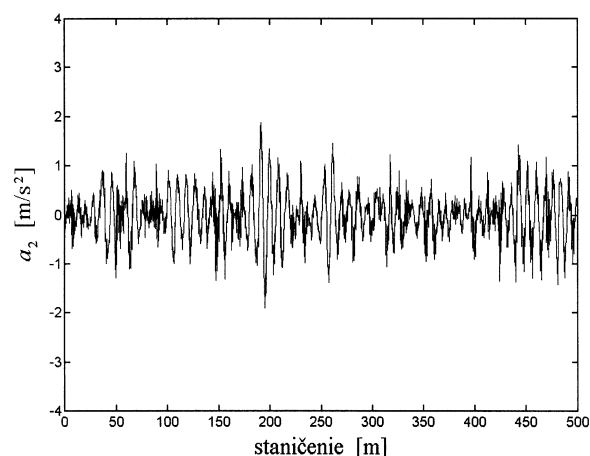
Tabuľka 1 uvádza rozptyl  $D$ , smerodajnú odchýlku  $STD$ , maximálne a minimálne zvislé zrýchlenie kmitania  $a_2$  ako odozvy na náhodné nerovnosti vozovky pre oba uvažované úseky a rýchlosť pohybu  $v = 37$  km/h. Vyplýva z nej prakticky totožná hodnota rozptylu simulovaného zrýchlenia kmitania s rozptylom nameranej odozvy zrýchlenia na uvažovanom 500 m úseku Čičmany v prípade modelu

Tab. 1. Porovnanie meranej a simulovanej odozvy zrýchlenia na náhodné nerovnosti

Úsek		$a_2$			
		$D$ [m <sup>2</sup> ·s <sup>-4</sup> ]	STD	MAX	MIN
Brodno	meranie	0,124	0,353	1,07	-1,25
	simulácia JP VŠDS	0,077	0,278	1,14	-0,93
	simulácia MŠV	0,309	0,556	2,87	-1,92
Čičmany	meranie 3	0,24	0,49	1,97	1,94
	meranie 4	0,24	0,489	1,87	1,94
	simulácia JP VŠDS	0,242	0,491	1,89	-1,9
	simulácia MŠV	0,697	0,835	3,55	-4,49



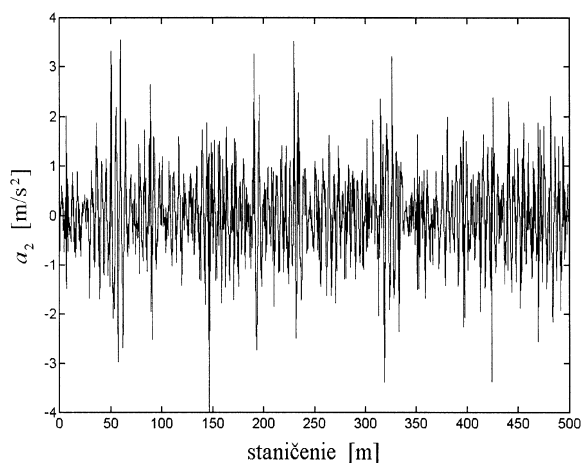
Obr. 8. Nameraný priebeh zvislého zrýchlenia  $a_2$



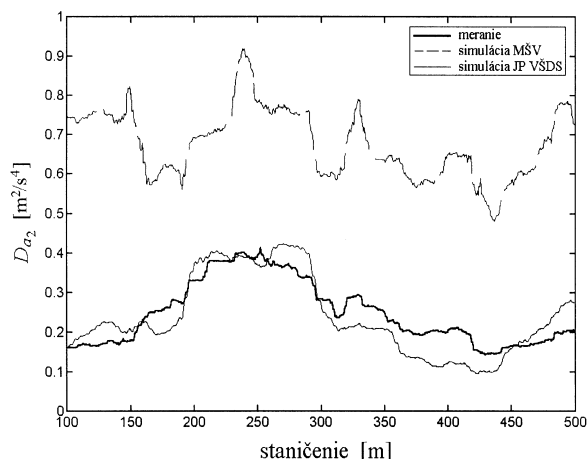
Obr. 9. Simulovaný priebeh zvislého zrýchlenia  $a_2$  model JP VŠDS

JP VŠDS a až o 190 % väčšia hodnota rozptylu pri simulácii MŠV oproti rozptylu nameranej odozvy. Minimá a maximá náhodnej odozvy zrýchlenia sa výraznejšie odlišujú od nameraných hodnôt len v prípade simulácie MŠV. Pre úsek Brodno bol zo simulovanej odozvy JP VŠDS vypočítaný o 48 % menší rozptyl oproti rozptylu nameraných zrýchlení a až o 150 % väčší rozptyl v prípade porovnania simulácie MŠV s meraním. Výsledky pre úsek Brodno ukazujú horšiu

zhodu medzi modelom JP VŠDS a meraniami oproti úseku Čičmany. Niektoré možné faktory ovplyvňujúce rozdiely medzi výsledkami simulácie a merania už boli spomenuté v predchádzajúcej časti. Obrázky 8 až 10 znázorňujú priebeh nameraných (meranie 3) a simulovaných zrýchlení kmitania  $a_2$  na odpruženej hmote ako funkciu staničenia pre úsek Čičmany a rýchlosť pohybu  $v = 37$  km/h. Na obrázku 11 je porovnaný priebeh meraného a simulovaného zrýchlenia z obr. 8 až obr. 10 prostredníctvom rozptylu vo vyhodnocovacom okne 100 m metódou kľzavého priemeru s posuvom 0,15 m v prípade nameraného zrýchlenia a 0,25 m v prípade simulácie.



Obr. 10. Simulovaný priebeh zvislého zrýchlenia  $a_2$  model štvrtiny vozidla



Obr. 11. Rozptyl zvislého zrýchlenia pri prejazde po náhodných nerovnostiach – Čičmany

#### 4. Záver

Príspevok prezentuje spresnený dynamický model jednokolesového príviesného zariadenia JP VŠDS slúžiaceho na meranie pozdĺžnych nerovností vozoviek. Porovnávajú sa namerané výsledky so simulačnými v prípade pôvodne používaného modelu štvrtiny vozidla a v príspevku prezentovaného spresneného modelu príviesu JP VŠDS. Porovnania sú vykonané pre budenie náhodnými nerovnosťami povrchu vozovky a pre impulzné kinematické budenie prostredníctvom prekážok rôznych profilov. Rozdiely medzi výsledkami sú kvantifikované prostredníctvom rozptylu, smerodajnej odchýlky, minimálnych a maximálnych hodnôt zvislého zrýchlenia kmitania odpruženej hmoty. Simulácia

ukázala potrebu dôsledného rešpektovania geometrie usporiadania podobných odozvových zariadení konštruovaných na báze dvojhmotovej meracej sústavy. Relatívne malá excentricita (40 cm) umiestnenia prvkov odpruženia mimo zvislú os kolesa v prípade predmetného zariadenia JP VŠDS sa výrazne prejavuje na výsledkoch simulácie odozvy pri zjednodušenom nahradení meracieho príviesu modelom štvrtiny vozidla. Výsledky simulácie MŠV niekoľkonásobne prekračovali namerané hodnoty zrýchlenia bez ohľadu na druh kinematického budenia. Simulácia spresneného modelu JP VŠDS preukázala výrazne lepšiu koreláciu s nameranými odozvami zvislého zrýchlenia. Úspešná verifikácia umožňuje v laboratórnych podmienkach predikovať výsledky meraní v teréne, prípadne môže slúžiť pri predbežných výpočtoch užívateľských nákladov, na určenie predbežného odhadu miery nerovností  $C$  alebo parametra  $IRI$ . Ďalej pri porovnaní simulácie s meraniami môže odhaliť prípadné chyby vo vykonaných meraniach. Uvedený model je možno využiť aj pre simulovanie podobných odozvových systémov na báze dvojhmotových meracích systémov, kde z konštrukčných dôvodov nie je možné umiestniť pružné a tlmiace členy v zvislej osi kolesa.

**Práca vznikla v rámci grantového projektu VEGA č. 2/6049/99. Experimentálne zariadenie JP VŠDS bolo vytvorené v rámci výskumných aktivít projektu VEGA č. 1/3127/96.**

#### Literatúra

- [1] Andrt, J.: Automobily Škoda 105/120/130 Garde – Rapid. Bratislava, Alfa 1984, 512 s.
- [2] Čelko, J. a kol.: Povrchové vlastnosti vozoviek – Prevádzková spôsobilosť vozoviek. Žilinská univerzita, Žilina, 2001, 233 s.
- [3] Čelko, J.: Meranie a hodnotenie nerovností v systéme hospodárenia s vozovkami. Silniční obzor, **59**, 1998, č. 8, s. 216 – 218.
- [4] Corej, J.: Teoretické otázky zlepšovania prevádzkovej spôsobilosti cestných vozoviek. [Správa], VEGA č. 1/3127/96 z rokov 1997 až 2000, Stavebná fakulta ŽU, Žilina.
- [5] ČSN 73 6175 Měření nerovností povrchu vozovek. ČSN 1995.
- [6] Decký, M.: Hodnotenie pozdĺžnych nerovností cestných vozoviek meracou sústavou VŠDS. [Dizertačná práca], VŠDS, Žilina, 1996.
- [7] Decký, M. – Blunár, A.: Návrh zmeny klasifikačnej stupnice hodnotenia pozdĺžnych nerovností cestných vozoviek. Silniční obzor, **57**, 1996, č. 9, s. 280 – 282.
- [8] Decký, M. – Slaninka, S. – Blunár, A.: The Comparison of Simulated and Measured Accelerations of Quarter Car Simulation. Civil Engineering Series, Studies of University in Žilina, 2001, pp. 9 – 20.
- [9] Kropáč, O. – Procházka, M. – Šprinc, J.: Kategorizace a klasifikace vozovek, odvozená z chování dynamické soustavy vozovka – vozidlo. Stavebný časopis, **32**, 1984, č. 6, s. 403 – 427.
- [10] Mikolaj, J. a kol.: Systém hospodárenia s vozovkou. Žilina, Edičné stredisko VŠDS 1996.
- [11] Mozolík, M.: Komparácia kvantifikačných parametrov pozdĺžnych nerovností vozoviek. [Diplomová práca], Stavebná fakulta ŽU, Žilina, 2001.
- [12] Procházka, M. – Šprinc, J. – Kropáč, O.: Teoretické základy klasifikácie nerovností vozovek. Silniční obzor, **41**, 1980, č. 7, s. 199 – 203.
- [13] Sayers, M.W. – Gillespie, T.D. – Queiroz, C.: The International Road Roughness Experiment (IRRE): Establishing Correlation and Calibration Standard for Measurements. World Bank, Tech. Paper, No. 45, Washington, 1986.
- [14] Schlosser, F.: Cestné staviteľstvo III – rekonštrukcia, oprava, obnova a údržba komunikácií. Žilinská univerzita, Žilina, 1998.



- [15] Šedivý, J.: Medzinárodný experiment FILTER. Spravodaj Slovenskej správy ciest, 1999, č. 1, s. 35 – 36.
- [16] Valuch, M.: Systém technológií opráv cestnej vozovky na základe jej technického stavu. [Dizertačná práca], Žilinská univerzita, Žilina, 1996.

### Múčka, P. – Decký, M.: The Dynamic Model of Single Wheeled Trailer for Road Unevenness Measurement

In this paper, the dynamic model of single wheeled trailer JP VSIDS used for measurement of longitudinal road unevenness is analyzed. Comparison of the measured vertical acceleration of trailer unsprung mass with results of quarter car model simulation and a more accurate dynamic model JP VSIDS is presented. Kinematic excitation with stochastic longitudinal unevenness and obstacles of various shapes is used.

### Múčka, P. – Decký, M.: Dynamisches Model eines Anhängers für die Messung von Fahrbahnunebenheiten in Längsrichtung

Im Beitrag wird ein dynamisches Model eines einrädigen Messanhängers mit der Bezeichnung JP VSIDS vorgestellt, der zur Messung von Fahrbahnunebenheiten in Längsrichtung dient. Es werden die gemessenen senkrechten Schwingungsbeschleunigungen der abgefederten Teile des Anhängers mit den Ergebnissen einer Modellsimulation eines Fahrzeugviertels und mit einem präzisiertem dynamischem Modell der Vorrichtung JP VSIDS verglichen. Es wird die kinematische Erregung durch die stochastischen Fahrbahnunebenheiten in Längsrichtung und durch vereinzelte Hindernisse verschiedener Profile genutzt.

### Hanzalová, L. – Šilarová, Š. a kol.

#### Ploché střechy – navrhování a sanace

Public History, Praha, 2001, 450 s., 483 Kč

Odborná publikace, na níž se podílí široký kolektiv autorů z ČVUT Praha, STU Bratislava, výzkumných ústavů a specialistů z praxe, je určena odborníkům a projektantům, kteří navrhují kompletní konstrukce, posluchačům vysokých škol a odborné veřejnosti. Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě tuto publikaci doporučuje všem autorizovaným osobám.

Účelem knihy je seznámit čtenáře se současnými trendy navrhování plochých střešních plášťů. Publikace, rozčleněná do šestnácti kapitol, se zabývá řešením jednotlivých konstrukčních variant plochých střech. Úvodní kapitola přibližuje jejich historický vývoj. Základní pojmy, jako je stavební tepelná technika, akustika, biologické, klimatické a chemické vlivy, odvodnění, požární technika, sanace a rekonstrukce střech, jsou vysvětleny v následující kapitole. Několik dalších kapitol pojednává o vnějších a vnitřních vlivech a základních normových požadavcích, které ovlivňují návrh plochých střešních plášťů.

V rámci samostatných kapitol jsou popsána kritéria a požadavky pro navrhování střech z hlediska tepelné technického posouzení, akustického, denního osvětlení, požární bezpečnosti, namáhání větrem, statického návrhu a návrhu odvodnění. V dalších kapitolách jsou podrobně uvedeny konstrukční varianty střech jednoplášťových, víceplášťových, provozních a lehkých. Samostatná kapitola je věnována rozboru vlastností a funkcí hlavních vrstev plochých střešních plášťů (hydroizolační, tepelně izolační, spádové, expanzní, parotěsné a pojistné, ochranné, dilatační a separační, stabilizační, kotevním prvkům a světlíkům).

Čtenáři zde naleznou zásady návrhu střech jednoplášťových, dvouplášťových, provozních a lehkých i v okrajových podmínkách. Dále je řešena problematika tvorby detailu střech i s principy jejich návrhu. Uvedeny jsou i příčiny nejčastějších vad a poruch plochých střešních plášťů včetně návrhu jejich rekonstrukce a sanací.

doc. Ing. Jindřich Šmejcký, CSc.

## ● zprávy

### Palác Thunovských rekonstruován

Historie paláce Thunovských v Praze na Malé Straně je známá již ze 14. století. Jádro paláce je renesanční, všechny další dostavby měly styl raně barokní. Po první světové válce, kdy objekt zakoupila Velká Británie jako sídlo svého velvyslancetví, byla bohatá vstupní brána přestavěna do stylu anglické gotiky. V nádherně zpracovaném tympanonu, tedy štítu nad hlavní budovou, jsou v erbové části ještě patrné znaky rodu Thunovských. Celý palác je zajímavě členěn do dvou úrovní, přičemž jedna přiléhá k Pražskému hradu se zahradou v anglickém stylu. Vzhledem k tomu, že jde o chráněnou památku, probíhala rekonstrukce pod přísným dohledem Památkového ústavu hl. m. Prahy.

Obnova historických paláců zahrnuje nejen klasické stavební práce, ale i truhlářské, kovářské a kamenické, mimo to však vyžaduje velké restaurátorské umění, zejména při náročných obnovách štuků. Rekonstrukce byla nesmírně obtížná díky předchozím nevhodným zásahům, při nichž byla fasáda pokryta neprodyšnou krustou trojnásobného pene-

tračního asfaltového nátěru. Tato vrstva měla zabránit jejímu většímu vlhnutí, avšak způsobila velké interiérové škody, protože vlhkost zůstala uzavřena uvnitř objektu. Vzhledem ke sgrafitům bohatě členěné fasády bylo nutné postupovat v odstraňování této krusty velmi opatrně. Během stavby se našly také četné fragmenty a prvky původní fasády, které restaurátoři zachovali a v některých případech nově prezentovali. Další zajímavostí, objevenou během druhé etapy, byla „iluzivní“ neboli falešná okna, která retušováním vytvořila zajímavý architektonický prvek.

Práce byly zahájeny počátkem května a dokončeny v prosinci minulého roku. Společnost IPS Skanska má v náročné obnově historických památek mnohaleté zkušenosti a na Malé Straně provedla rekonstrukci již několika objektů. Mezi nejvýznamnější patří Valdštejnský palác, Šternberský palác, objekty pro dolní komoru Parlamentu ČR, budovy bývalého Senátu první republiky a další.

Tisková zpráva

# STAVEBNÍ OBZOR

ROČNÍK 11 ČÍSLO 3/2002

## Navigace v dokumentu

### OBSAH

Vraný, T. <b>Vliv krytiny na chování tenkostěnného ocelového nosníku</b>	<b>65</b>
Bažant, Z. P. - Zhou, Y. <b>Proč se zřítily budovy světového obchodního centra v New Yorku?</b>	<b>69</b>
Šmilauer, V. – Máca, J. <b>Optimalizace blokového základu</b>	<b>75</b>
Ficker, T. – Podešvová, Z. <b>Neizotermická difúze vodních par pórovitými materiály</b>	<b>79</b>
Solař, J. <b>Dynamické účinky zvonů při zvonění</b>	<b>82</b>
Svoboda, L. <b>Návrh zrnitých směsí metodou flexibilního simplexu</b>	<b>86</b>
Musil, F. <b>Význam vědního oboru technologie staveb v současném stavebnictví</b>	<b>89</b>
Štroner, M. – Pospíšil, J. <b>Aparatura pro detekci polohy laserového svazku</b>	<b>93</b>

3 • 2002

ročník 11

# 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**

Vraný, T. <b>Vliv krytiny na chování tenkostěnného ocelového nosníku</b> .....	65
Bažant, Z. P. - Zhou, Y. <b>Proč se zřítily budovy světového obchodního centra v New Yorku?</b> .....	69
Šmilauer, V. – Máca, J. <b>Optimalizace blokového základu</b> .....	75
Ficker, T. – Podešvová, Z. <b>Neizotermická difúze vodních par pórovitými materiály</b> .....	79
Solař, J. <b>Dynamické účinky zvonů při zvonění</b> .....	82
Svoboda, L. <b>Návrh zrnitých směsí metodou flexibilního simplexu</b> .....	86
Musil, F. <b>Význam vědního oboru technologie staveb v současném stavebnictví</b> .....	89
Štroner, M. – Pospíšil, J. <b>Aparatura pro detekci polohy laserového svazku</b> .....	93

**CONTENTS**

Vraný, T. <b>The Effects of Steel Sheeting on Behaviour of Cold-Formed Steel Beams</b> .....	65
Bažant, Z. P. – Zhou, Y. <b>Why Did the World Trade Center Collapse?</b> .....	69
Šmilauer, V. – Máca, J. <b>Optimization of a Foundation Block</b> .....	75
Ficker, T. – Podešvová, Z. <b>Non-Isothermal Diffusion of Water Vapours Through Porous Materials</b> .....	79
Solař, J. <b>Dynamic Effects of Bell Ringing</b> .....	82
Svoboda, L. <b>Design of Granular Mixtures by Flexible Simplex Method</b> .....	86
Musil, F. <b>The Importance of the Scientific Branch of Technology of Constructions for the Current Building Industry</b> .....	89
Štroner, M. – Pospíšil, J. <b>Equipment for the Detection of a Laser Beam Position</b> .....	93

**INHALT**

Vraný, T. <b>Einfluss der Dachdeckung auf das Verhalten eines dünnwandigen Stahlträgers</b> .....	65
Bažant, Z. P. – Zhou, Y. <b>Warum sind die Gebäude des World Trade Center in New York eingestürzt?</b> .....	69
Šmilauer, V. – Máca, J. <b>Optimierung eines Blockfundaments</b> .....	75
Ficker, T. – Podešvová, Z. <b>Nichtisothermische Diffusion von Wasserdämpfen durch poröse Materialien</b> .....	79
Solař, J. <b>Dynamische Wirkungen von Glocken beim Läuten</b> ....	82
Svoboda, L. <b>Ansatz körniger Mischungen mit der Methode des flexiblen Simplex</b> .....	86
Musil, F. <b>Die Bedeutung des wissenschaftlichen Fachs Bautechnologie im gegenwärtigen Bauwesen</b> .....	89
Štroner, M. – Pospíšil, J. <b>Eine Apparatur zur Detektion der Lage eines Laserbündels</b> .....	93

Toto číslo bylo vydáno za podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR (projekt LP 0002).

**REDAKČNÍ RADA****Předseda:**

prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.

**Místopředseda:**

doc. Ing. O. GARTNER, CSc.

**Tajemníci:**

doc. Ing. Milan KAŠPAR, CSc.  
doc. Ing. Jindřich ŠMEJČKÝ, CSc.  
doc. Ing. Jiří VÁŠKA, CSc.

**Členové:**

Ing. Miroslav BAJER, CSc.  
doc. Ing. Pavel HÁNEK, CSc.  
Ing. Jiří HIRŠ  
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.  
prof. Ing. Adolf PATERA, DrSc.  
doc. Ing. Miloslav PAVLÍK, CSc.  
Ing. Petr PLICHTA, CSc.  
prof. Ing. J. PROCHÁZKA, CSc.  
Ing. Jaroslav SOLAŘ  
Ing. Václav SOUKUP  
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: 02/2435 4596, 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: 02/4021298, 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. 2002. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

## Vliv krytiny na chování tenkostěnného ocelového nosníku

Ing. Tomáš VRANÝ, CSc.  
 ČVUT – Fakulta stavební  
 Praha

Tenkostěnný ocelový nosník průřezu Z nebo C, obvykle používaný jako vaznice nebo paždík, tvoří ve spojení s krytinou z trapézového plechu složitý konstrukční systém, jehož částí se navzájem ovlivňují. V článku se ukazuje, jak rotační tuhost  $C_D$  spojení trapézového plechu s ocelovým nosníkem závisí na typu krytiny a na způsobu jejího připojení a jak ovlivňuje míru distorze příčného řezu nosníku, a tím i jeho napjatost. K vyšetření vlivu  $C_D$  byl použit program Lomenice a zjednodušený výpočetní postup uvedený v normě. V parametrické studii byl určen vliv změny způsobu připojení krytiny na napětí po průřezu a na průhyb. Je ukázáno, že v praxi je změna  $C_D$  podstatná pouze pro napjatost v oblasti záporných momentů.

### 1. Úvod

Smyslem článku je ukázat vliv rotační tuhosti (podle [2] označované  $C_D$ ) spojení mezi trapézovým plechem a tenkostěnným ocelovým nosníkem průřezu Z nebo C na chování nosníku. Tenkostěnné nosníky těchto průřezů, použité jako střešní vaznice nebo paždíky, nepůsobí samostatně, ale k jedné z pásnic profilu je připevněna krytina tvořená trapézovým plechem nebo sendvičovým panelem. Ocelová krytina zásadně ovlivňuje chování nosníku. Jak je patrné z obr. 1, připojená pásnice je podepřena příčně i rotačně. Obecně mohou být obě podpory pružné. Příčné podepření, které je zajištěno tuhostí krytiny v její rovině (tzn. plášťovým chováním krytiny), se ovšem ve většině případů považuje za dokonale tuhé. Přenáší složky zatížení působící v rovině krytiny, takže nosník je zatížen pouze ve směru své stojiny. Rotační podepření (na rozdíl od příčného) nikdy zcela tuhé není a ukážeme, že velikost rotační tuhosti  $C_D$  může mít

značný vliv na chování tenkostěnného nosníku. Při namáhání zatížením působícím v rovině stojiny totiž dochází k distorzi příčného řezu tenkostěnného nosníku, což má za následek příčný ohyb volné pásnice. Míra distorze je přitom rotační tuhostí  $C_D$  ovlivněna.

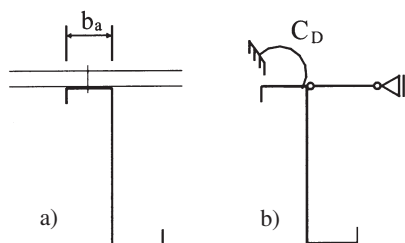
Ke zkoumání vlivu  $C_D$  jsou v článku použity dvě metody – program Lomenice, založený na metodě lomenic [1], a zjednodušený výpočet podle [2]. Každá z nich má své opodstatnění. Díky tomu, že v metodě lomenic se ke každé štíhlé části průřezu přistupuje jako k deskostěnovému prvku, umožňuje program Lomenice distorzi nosníku tenkostěnného průřezu výstižně analyzovat, a je proto pro danou úlohu velmi vhodný. Umožňuje sledovat vliv  $C_D$  na celkový průběh napětí po průřezu nosníku i na deformace. Výpočetní postup [2] naopak umožňuje zkoumat tento vliv pouze na napětí ve volné pásnici; vliv rotační tuhosti na napětí ve stabilizované pásnici i na průhyb je v tomto zjednodušeném postupu zanedbán. Postup [2] proto slouží v této studii pouze k určení vlivu vzpěru volné pásnice v oblastech se záporným ohybovým momentem.

### 2. Studie nezahrnující vliv stability

Nejprve byla provedena parametrická studie pomocí programu Lomenice. Zjišťoval se vliv  $C_D$  na napětí v horní stabilizované pásnici na maximální napětí ve spodní volné pásnici a na průhyb. Pro konkrétní příklady byly vypočítány hodnoty rotační tuhosti  $C_D$  v rozmezí 0 až 1 500 Nm/m. Takto zvolené rozmezí odpovídá rotační tuhosti při reálném spojení nosníku s trapézovým plechem.

Celkem bylo řešeno osm případů (tab. 1) volených tak, aby výsledky umožnily porovnat vliv jednotlivých vstupních veličin. Rozpětí bylo voleno s přihlédnutím k možnostem použití v praxi. Zatížení se uvažovalo ve všech případech

Tab. 1. Vstupní údaje pro studii s programem Lomenice

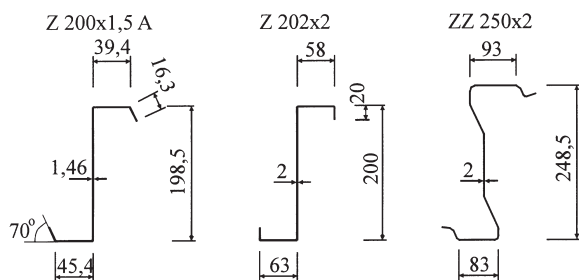


Obr. 1. Tenkostěnný nosník spojený s krytinou  
 a – řez nosníkem, b – výpočetní model

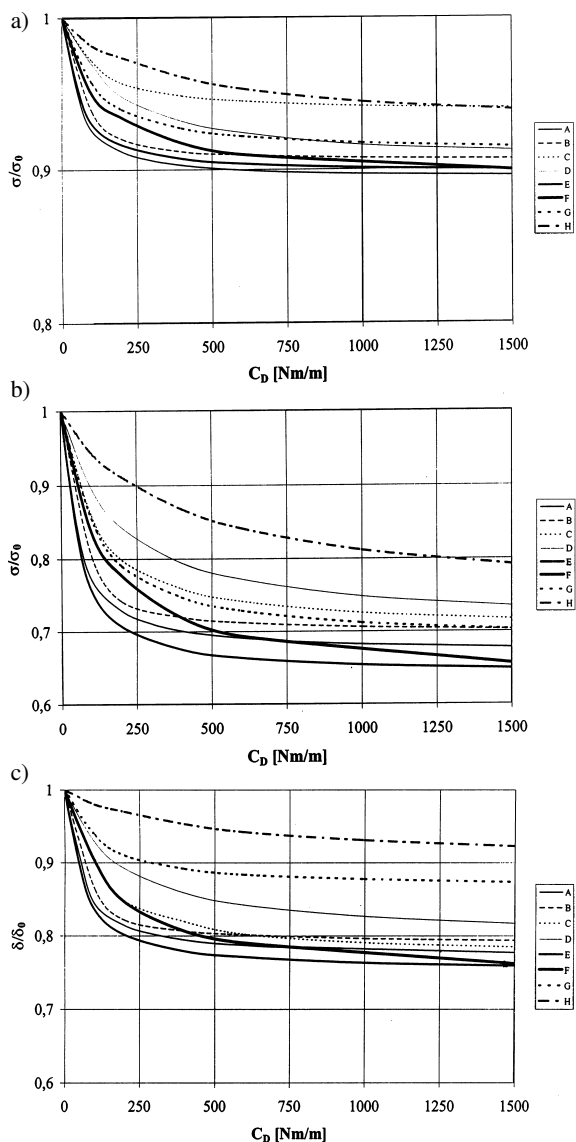
Označení	Průřez	Poloha	Nosník	Rozpětí [mm]
A	Z 200x1,5 A	pozitivní	prostý	6 000
B	Z 200x1,5 A	negativní	prostý	6 000
C	Z 200x1,5 A	pozitivní	spojitý	2 x 6 000
D	Z 200x1,5 A	pozitivní	prostý	4 000
E	Z 202x2	pozitivní	prostý	8 000
F	Z 202x2	pozitivní	prostý	6 000
G	ZZ 250x2	pozitivní	prostý	9 000
H	ZZ 250x2	pozitivní	prostý	6 000

jako spojitě rovnoměrné, tíhové, v souladu s chováním celého konstrukčního systému, působící ve směru stojiny. Studie byla zaměřena na tyto proměnné:

- tři typy průřezů typu Z (obr. 2);
- polohu vaznice (průřezy jsou nesymetrické; je-li krytina připevněna k užší pásnici, je nosník v pozitivní poloze, je-li krytina připevněna k širší pásnici, je nosník v negativní poloze);
- různé rozpětí v závislosti na typu průřezu;
- dvě statická schémata – prostý nosník a spojitý nosník se dvěma poli.



Obr. 2. Profily průřezu Z použité ve studii



Obr. 3. Důsledek změny rotační tuhosti  $C_D$

a – pro napětí v horní pásnici, b – pro napětí v spodní pásnici, c – pro svislý průhyb

V grafech na obr. 3 jsou vyjádřeny změny zkoumaných veličin v závislosti na měnícím se  $C_D$ : na svislé ose je vynešen poměr

$$X(C_D)/X_0,$$

kde  $X(C_D)$  je hodnota zkoumané veličiny  $X$  (napětí v horní pásnici, ve spodní pásnici nebo průhyb) při rotační tuhosti  $C_D$ ;

$X_0$  – hodnota téže veličiny  $X$  při nulové rotační tuhosti ( $C_D = 0$ ).

Z grafů lze vyvodit tyto dílčí závěry:

- změna zkoumaných veličin nezávisí na  $C_D$  lineárně, vliv rotační tuhosti je výraznější mezi  $C_D = 0$  a  $C_D = 500$  Nm/m; při  $C_D > 500$  Nm/m dochází ve většině případů jen k zanedbatelné změně sledovaných veličin;
- změna rotační tuhosti má největší vliv na napětí ve spodní volné pásnici a nejmenší na napětí ve stabilizované pásnici;
- vliv rotační tuhosti je výraznější při větším rozpětí nosníků a při takové poloze vaznice, kdy je volná širší pásnice;
- z porovnání případu C s případy A a B vyplývá, že u spojitěho nosníku je vliv rotační tuhosti menší než u prostěho nosníku.

Zdůrazněme, že všechny výpočty programem Lomenice jsou lineární, a proto nezahrnují vliv ztráty stability. Tento vliv je podstatný v oblastech, kde je volná pásnice tlačena a může vybočit z roviny stojiny nosníku.

### 3. Studie s vlivem vzpěru

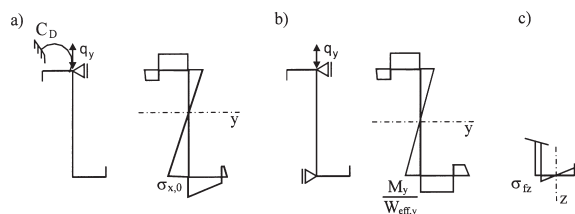
Již bylo řečeno, proč graf na obr. 3b nevystihuje v oblastech záporných momentů celkový vliv rotační tuhosti na únosnost nosníku. Je to proto, že únosnost je v těchto oblastech výrazně ovlivněna vzpěrem volné tlačené pásnice z roviny stojiny. Přitom vliv vzpěru roste s klesající rotační tuhostí  $C_D$ . Aby bylo možné ukázat vliv  $C_D$  na součinitel vzpěru volné pásnice, byla provedena další studie, a to pro čtyři z osmi případů podle tab. 1 – A, C, E a F. V této studii je napětí od příčného ohybu ve volné pásnici určeno programem Lomenice, zatímco k určení vlivu vzpěru byl použit již zmíněný výpočetní postup podle [2]. Napětí ve volné tlačené pásnici s vlivem vzpěru v souladu s [2] se určuje pomocí vztahu

$$\sigma_E = \frac{M_y}{\chi W_{\text{eff},y}} + \sigma_{fz},$$

kde  $\frac{M_y}{W_{\text{eff},y}}$  je napětí ve volné pásnici od ohybu v rovině stojiny;

$\sigma_{fz} = \frac{M_{fz}}{W_{fz}}$  – napětí ve volné pásnici od příčného ohybu, způsobené distorzí příčného řezu vaznice;

$\chi$  – součinitel vzpěrnosti pro tlačенou volnou pásnici.



Obr. 4. Model a průběh napětí po průřezu

a – při skutečném působení, b – při příčném podepření obou pásnic, c – napětí ve volné pásnici

Model a odpovídající průběh normálového napětí po průřezu je patrný z obr. 4a. Napětí  $\sigma_{fz}$  od příčné ohybu spodní pásnice je zřejmé z obr. 4c. Lze je určit přesně programem Lomenice [3] stejně jako v této studii. Postupuje se tak, že se v modelu příčně podepře i volná pásnice, čímž se vyloučí vliv distorze příčné řezu. Řešením takto upraveného modelu se získá napětí  $M_y/W_{\text{eff},y}$  ve styku stojiny a volné pásnice (obr. 4b). Napětí  $\sigma_{x,0}$  podle obr. 4a, tzn. při skutečném působení bez vlivu vzpěru, se určí využitím vztahu

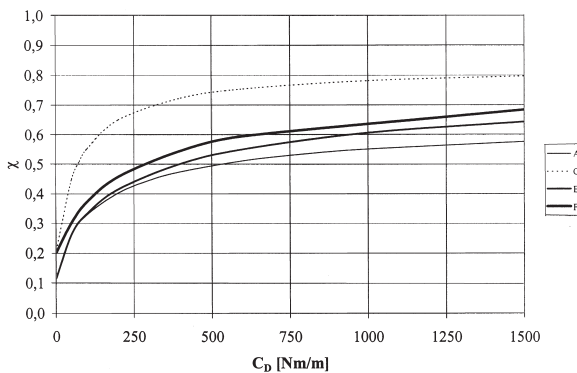
$$\sigma_{x,0} = \frac{M_y}{W_{\text{eff},y}} + \sigma_{fz}$$

Pro hledané napětí  $\sigma_{fz}$  potom platí

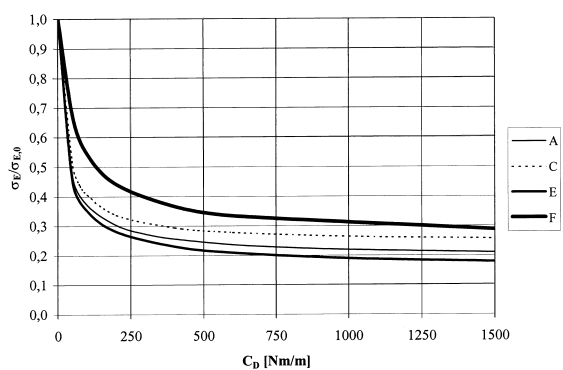
$$\sigma_{fz} = \sigma_{x,0} - M_y/W_{\text{eff},y}$$

Připomínáme, že vzhledem k tomu, že horní pásnice vaznice (popř. vnější pásnice pažďíku) je příčně podepřena, přenáší nosník bez ohledu na sklon střechy pouze zatížení v rovině své stojiny.

Výsledky studie jsou ukázány na obr. 5 a obr. 6 – závislost  $\chi$  na  $C_D$  je vyjádřena na obr. 5 a závislost výsledného napětí s vlivem vzpěru  $\sigma_E$  na  $C_D$  je zřejmá z obr. 6. Obdobně jako na obr. 3 je  $\sigma_{E,0}$  napětí při nulové rotační tuhosti.



Obr. 5. Závislost součinitele vzpěrnosti  $\chi$  na rotační tuhosti  $C_D$



Obr. 6. Závislost napětí  $\sigma_E$  ve volné pásnici na rotační tuhosti  $C_D$

#### 4. Důsledky pro praxi

Tuhost rotačního podepření  $C_D$  závisí především na typu a poloze trapézového plechu a na hustotě připojení tohoto plechu k nosníku. Při postupu podle [2] se  $C_D$  určí ze vztahů

$$C_D = C_{100} \left( \frac{b_a}{100} \right)^2 \text{ pro } b_a \leq 125 \text{ mm,}$$

$$C_D = 1,25 C_{100} \left( \frac{b_a}{100} \right) \text{ pro } 125 < b_a \leq 200 \text{ mm,}$$

kde  $b_a$  je šířka pásnice nosníku [mm] – obr. 1a,

$C_{100}$  – rotační tuhost odpovídající hodnotě  $C_D$  pro šířku  $b_a = 100$  mm. Hodnotu  $C_{100}$  lze nalézt v [2] v závislosti na poloze trapézového plechu a vzdálenosti přípojů.

Zmíněnou tabulku odvodil Lindner [4] ze zkoušek s trapézovým plechem TR 40/183 o tloušťce 0,75 mm. Pro tenčí plechy ji nelze použít, pro tlustší plechy jsou výsledky konzervativní. Proto vliv polohy plechu a hustoty připojení budeme ilustrovat na stejném trapézovém plechu. Důsledek způsobu připojení na průhyb a napětí ve volné pásnici ukážeme pro případy A, C, E a F.

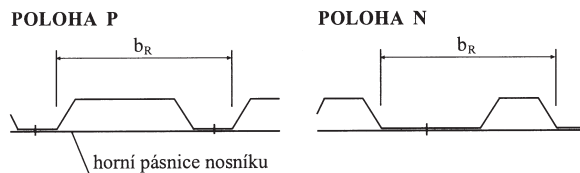
Rotační součinitel  $C_{100}$  pro zkoumané varianty je souhrnně uveden v tab. 2. Ve všech variantách se uvažuje s přímým připevněním spodní pásnice trapézového plechu k horní pásnici nosníku samovrtnými šrouby průměru 6,3 mm. Pro vztahové zatížení a negativní polohu trapézového plechu norma [2] informace nedává, proto byly chybějící údaje převzaty z [5].

Tab. 2. Rotační součinitel  $C_{100}$  pro zkoumané varianty připojení plechu

Varianta připojení	Poloha	Připevnění šroubů	Zatížení $C_{100}$ [Nm/m]	
			tíhové	vztahové
I	P	v každé vlně	5 200	2 600
II	P	v každé druhé vlně	3 100	1 700
III	N	v každé vlně	3 100	1 100
IV	N	v každé druhé vlně	2 000	600

P – užití pásnice plechu dole, N – užití pásnice plechu nahoře (obr. 7)

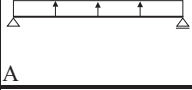
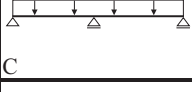
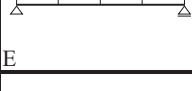
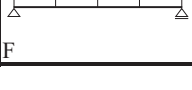
Svislé průhyby  $\delta$  byly pro jednotlivé případy určeny programem Lomenice. Výsledky jsou uvedeny v tab. 3. Napětí ve volné tlačené pásnici s vlivem vzpěru byla určena postupem podle odd. 3 (tedy s využitím programu Lomenice pro určení napětí od distorze příčné řezu a normového postupu pro určení součinitele vzpěrnosti  $\chi$ ). Výsledky výpočtů, které jsou též shrnuty v tab. 3, odpovídají grafu na obr. 6. Hlavními výsledky, uvedenými v tab. 3, jsou poměry  $\delta/\delta_{\text{min}}$  a  $\sigma_E/\sigma_{E,\text{min}}$ . Pro každý zkoumaný případ je  $\delta_{\text{min}}$  svislý průhyb při nejtěžším připojení (tzn. při variantě připojení I), a stejně tak  $\sigma_{E,\text{min}}$  je napětí ve volné tlačené pásnici při nejtěžším připojení.



Obr. 7. Definice polohy trapézového plechu a šířky žebra  $b_R$

Z výsledků uvedených v tab. 3, na obr. 3 a obr. 6 je patrné, že změna způsobu připojení a polohy trapézového plechu vede k poměrně malé změně svislého průhybu (nárůst průhybu byl ve zkoumaných případech nejvýše 8 %) a k téměř zanedbatelné změně napětí ve stabilizované pásnici. Jak již bylo uvedeno, norma [2] vliv  $C_D$  v těchto případech zcela zanedbává. Naproti tomu vliv změny  $C_D$  na únosnost nos-

Tab. 3. Svislé průhyby  $d$  a napětí ve volné pásnici  $\sigma_E$  pro zkoumané varianty

Zkoumaný případ	Varianta připojení	$C_{100}$	$b_a$	$C_D$	$\delta$	$\delta/\delta_{\min}$	$\sigma_E$	$\sigma_E/\sigma_{E,\min}$
		[Nm/m]	[mm]	[Nm/m]	[mm]		[MPa]	
 A	I	2600	39,4	404	32,9	1,00	333	1,00
	II	1700	39,4	264	33,1	1,01	366	1,10
	III	1100	39,4	171	34,0	1,03	410	1,23
	IV	600	39,4	93	35,1	1,07	521	1,56
 C	I	5200	39,4	807	14,07	1,00	229	1,00
	II	3100	39,4	481	14,34	1,02	242	1,06
	III	3100	39,4	481	14,34	1,02	242	1,06
	IV	2000	39,4	310	14,67	1,04	262	1,15
 E	I	2600	58	875	59,3	1,00	187	1,00
	II	1700	58	572	59,9	1,01	203	1,09
	III	1100	58	370	60,6	1,02	227	1,22
	IV	600	58	202	62,1	1,05	269	1,44
 F	I	2600	58	875	19,8	1,00	102	1,00
	II	1700	58	572	20,0	1,01	108	1,06
	III	1100	58	370	20,5	1,04	120	1,18
	IV	600	58	202	21,4	1,08	141	1,39

níku v oblasti záporných momentů je značný, a to zvláště při vztlakovém zatížení – tab. 3 ukazuje (pro případy se stejným trapezovým plechem) nárůst napětí až 56 %. Při tíhovém zatížení, kdy záporný moment nastává nad vnitřní podporou spojitého nosníku, je vliv menší, což je způsobeno menší vzpěrnou délkou v porovnání se vzpěrnou délkou v poli při vztlakovém zatížení.

## 5. Závěr

Studie popisované v tomto článku ukazují, jak změna rotační tuhosti, kterou zajišťuje připojená krytina, ovlivňuje chování vaznice nebo pažďíku. Ukazuje se, že reálná změna typu krytiny a způsobu jejího připojení může vést ke změně svislého průhybu nejvýše do 10 % a k ještě menší změně napětí ve stabilizované pásnici nosníku. Naopak, celková únosnost v oblastech se záporným momentem může pouze v důsledku jiného připojení téhož trapezového plechu klesnout při vztlakovém zatížení o desítky procent (v konkrétních studovaných případech o 39 až 56 %). Při tíhovém zatížení byl ve zkoumaném případě pokles únosnosti 15 %.

Je třeba upozornit, že výpočetní postup pro určení rotační tuhosti uvedený v [2] platí pouze za předpokladu splnění omezujících podmínek, z nichž nejdůležitější je minimální tloušťka plechu  $t_s$  a maximální šířka jednoho žebra trapezového plechu ( $b_R \leq 185$  mm). Jak ukazují výpočty vycházející z [6], při ztenčení plechu z 0,75 na 0,50 mm klesne  $C_D$  o 25 až 35 %. Z tohoto orientačního údaje a zde popsanych studií jsme následně odvodili, že by pro zkoumané případy byl nárůst napětí v oblastech záporných momentů v důsledku změny tloušťky plechu  $t_s$  z 0,75 na 0,50 mm mezi 6 a 15 %.

Článek byl vypracován s podporou výzkumného záměru MSM 210000001.

## Literatura

- [1] Křístek, V.: Teorie výpočtu komůrkových nosníků. Praha, SNTL 1974.
- [2] ČSN P ENV 1993-1-3 Navrhování ocelových konstrukcí, Část 1-3 Doplňující pravidla pro tenkostěnné za studena tvarované prvky a plošné profily. ČSN, 1997.
- [3] Vraný, T.: Behaviour of Simply Supported Cold-Formed Z-Purlins Restrained by Sheeting. Acta Polytechnica, Vol. 39, No. 5/1999, pp. 77 – 86.
- [4] Lindner, J. – Gregull, T.: Grundsatzversuche zur Ermittlung von Drehbettungswerten unter Auflast. TU Berlin, Bericht VR 2074, 1985.

[5] Lindner, J.: Restraint of Beams by Trapezoidally Sheeting Using Different Types of Connection. Stability and Ductility of Steel Structures. New York, Elsevier 1998, pp. 27 – 36.

[6] Vraný, T.: Rotational Stiffness of Connection of Sheeting and Cold-Formed Beam. 9th Nordic Steel Construction Conference, Helsinki, 2001, pp. 391 – 398.

## Vraný, T.: The Effects of Steel Sheeting on Behaviour of Cold-Formed Steel Beams

Cold-formed Z-shaped or C-shaped steel beams (generally used as roof purlins or side rails) and steel sheeting compose a complicated structural system with mutual static influence. This paper shows how rotational restraint ( $C_D$ ) of connection between corrugated sheeting and a cold-formed beam depends on the type of sheeting and on the method of its connection and on how it influences the cross-section distortion and, therefore, beam stresses. The folded plate method program and a simplified standard procedure were used to investigate the influence of  $C_D$ . A parametric study was conducted showing the effect of the method of sheeting connection on the stresses and deflection. It is shown that in practical cases change of  $C_D$  is substantial only for the stresses in hogging moments areas.

## Vraný, T.: Einfluss der Dachdeckung auf das Verhalten eines dünnwandigen Stahlträgers

Ein dünnwandiger Stahlträger vom Querschnitt Z oder C, wie er gewöhnlich als Pfette oder Riegel eingesetzt wird, bildet in Verbindung mit der Dachdeckung aus Trapezblech ein kompliziertes Konstruktionssystem, dessen Teile sich gegenseitig beeinflussen. Im Artikel wird aufgezeigt, wie die Rotationssteifigkeit ( $C_D$ ) der Verbindung des Trapezblechs mit dem Stahlträger vom Typ der Dachdeckung und von der Art und Weise ihres Anschlusses abhängt und wie dadurch das Maß der Distorsion des Querschnitts des Trägers und damit auch sein Spannungszustand beeinflusst wird. Zur Untersuchung des Einflusses von  $C_D$  wurde das Programm Lomenice und ein in der Norm beschriebenes vereinfachtes Berechnungsverfahren angewandt. Es wurde eine Parameterstudie angefertigt, in der der Einfluss der Änderung des Anschlusses der Dachdeckung auf die Spannung entlang des Querschnitts und auf die Durchbiegung bestimmt wurde. Es wird aufgezeigt, dass in der Praxis eine Änderung von  $C_D$  nur für den Spannungszustand im Bereich negativer Momente wesentlich ist.



# Proč se zřítily budovy Světového obchodního centra v New Yorku?

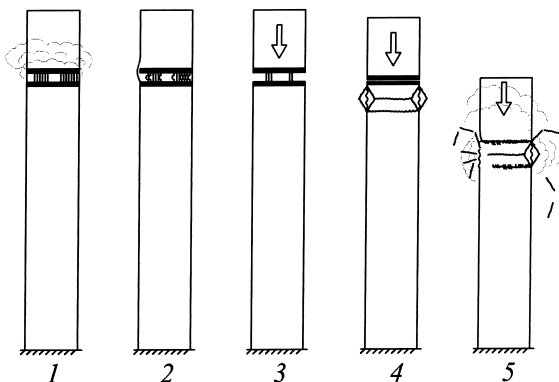
Zdeněk P. BAŽANT  
Yong Zhou  
Northwestern University  
Evanston, Illinois, USA

Zjednodušený přibližný rozbor mechanismu zřícení věží Světového obchodního centra (WTC) v New Yorku 11. září 2001 ukazuje, že u každé věže vedlo ohřátí většiny sloupů jediného podlaží ke ztrátě jejich nosné způsobilosti, což způsobilo prudký pokles a mohutný dynamický náraz částí budovy nad postiženým podlažím na spodní část. Z rozboru vyplývá, že únosnost budovy je řádově nižší než únosnost, jíž by bylo zapotřebí, aby se nezřítily, a to i při použití velmi konzervativních předpokladů.

## Scénář zřícení

Věže Světového obchodního centra byly projektovány tak, aby vzdorovaly silám vyvozeným vodorovným nárazem velkého dopravního letadla (viz Přílohu I). Proč tedy došlo k jejich úplnému zhroucení? Příčinou byl dynamický důsledek ohřátí ocelových sloupů na velmi vysokou teplotu. Ohřátí zmenšilo mez kluzu oceli a způsobilo viskoplastické vybočení sloupů na obvodu věže a sloupů jádra budovy. Porucha pravděpodobně proběhla následovně.

Ve stadiu 1 (obr. 1) byla ocel sloupů vystavena teplotám převyšujícím 800 °C, vyvozeným mohutným požárem letectvého paliva rozlitého do budovy. Ohřátí sloupů zřejmě urychlilo ztrátu protipožární ochrany sloupů účinkem prvotního výbuchu paliva. Při tak vysokých teplotách klesá výrazně mez kluzu oceli a dochází k jejímu viskoplastickému přetváření. Při současném působení zatížení a dotvarování dojde následkem toho k vybočení sloupů [1], a tedy ke ztrátě jejich nosné způsobilosti – stadium 2 (obr. 1).



Obr. 1. Stadia zhroucení budovy (výška podlaží není v měřítku)

Jakmile v kritickém podlaží ztratila asi polovina všech ohřátých sloupů únosnost (stadium 3), zbývající sloupy nemohly unést tíhu částí budovy nad tímto podlažím. Vrchní část začala proto padat na část pod kritickým podlažím, přičemž se rychlost pádu zvětšovala až do okamžiku, kdy vrchní

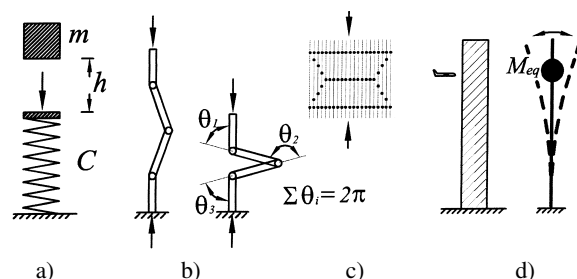
část narazila na spodní. Při tom vrchní část nabyla mohutné kinetické energie. Svislý náraz na spodní část (stadium 4) vyvolal obrovské dynamické zatížení, mnohonásobně převyšující únosnost dosud neohřáté spodní části. Následovalo zhroucení několika dalších podlaží věže (stadium 4), při němž se porušily styky stropních příhradových průvlaků v místech připojení ke sloupům, což bylo doprovázeno vybočováním sloupů jádra budovy a sloupů obvodového rámového tubusu. Vzpěrná délka sloupů sahala pravděpodobně přes několik podlaží (stadium 5, vpravo). Vrchní část se přitom mohla zaklínit do spodní části (stadium 5, vlevo). Vybočování mělo zpočátku plastický průběh, ale vzápětí následovaly lomy v plastických kloubech. Nižší položené části budovy byly tak vystaveny dalšímu nárazu stále se zvětšujících klesajících hmot při rostoucí rychlosti. Tento proces nárazů a porušení postupoval až do konce (stadium 5).

## Pružně dynamické řešení

Podrobnosti průběhu porušení, následujícího po počátečním impulzu, jenž uvedl vrchní část do pohybu, jsou ovšem velice složité a jejich objasnění si vyžádá náročnou počítačovou simulaci procesu. Například vrchní část jedné z věží se na počátku pádu začala naklánět (Příloha II), takže rozložení sil na obvodové a jádrové sloupy i na stropní příhradové nosníky bylo velice nerovnoměrné. Avšak ke zjištění, že poškození většiny sloupů muselo vést ke zhroucení celé věže, počítat nepotřebujeme. Dá se to ukázat jednoduchými výpočty, které v dalším výkladu uvedeme, a to za zjednodušujících předpokladů.

Po krátkou dobu po svislém nárazu a vzniku pružné vlny šířící se k základům lze spodní část budovy přibližně považovat za pružinu (obr. 2a). Jaká je její tuhost  $C$ ? Její hodnota závisí významně na rozložení sil od nárazu v obvodových sloupech, mezi sloupy obvodu a jádra, a konečně mezi sloupy a nosníky nesoucími betonové stropní desky betonované na trapézovém plechu.

Pro naše zkoumání postačí, budeme-li předpokládat, že všechny síly od nárazu přecházejí do sloupů a jsou přitom rozloženy rovnoměrně. I když je takové rozdělení nepravdě-



Obr. 2. a – model nárazu vrchní části budovy na spodní, b – mechanismus plastického vybočení v jedné svislé lince sloupů, c – kombinace plastických kloubů vytvářejících vzpěrný úsek ve stěně rámového tubusu, d – ekvivalentní hmota na nehmotném sloupu kmitajícím s ekvivalentní frekvencí

podobné, je nejpříjemnější, neboť v takovém případě je schopnost spodní části budovy vzdorovat nárazu největší. Pokud se tedy zjistí, že se budova zhroutí při rovnoměrném rozložení sil od nárazu, zhroutí se i při jiném rozdělení. Při takovém předpokladu lze odhadnout, že  $C \approx 71 \text{ GN} \cdot \text{m}^{-1}$ . Pro nedostatek přesných údajů jsme k tomu dospěli přibližným posouzením průřezů sloupů.

Svislé přemístění spodní části, uvažované jako pružné těleso, z počáteční rovnovážné polohy do bodu největšího posunu je  $h + (P/C)$ , kde  $P$  je maximální síla vyvozená nárazem vrchní části na spodní a  $h$  je výška sloupů v kritickém podlaží (tj. délka dráhy počátečního pádu vrchní části), jež činí 3,7 m. Jestliže zanedbáme energii rozptýlenou nepružným přetvořením sloupů během poklesu vrchní části, můžeme předpokládat, že se vrchní část po délce  $h$  pohybuje téměř volným pádem. Energie rozptýlená ve sloupech během pádu je nejvýše rovna  $2\pi n$ -násobku plastického ohybového momentu sloupu, kde  $n$  je počet sloupů. Její hodnota činí nejvýše 12 % potenciální gravitační energie uvolněné za předpokladu, že sloupy nejsou ohřáté, a mnohem méně, když ohřáté jsou. Ztráta potenciální energie vrchní části se tedy může považovat za přibližně rovnou přetvárné energii spodní části při maximálním pružném posunu. Dostáváme rovnici

$$mg [h + (P/C)] = P^2/2 C,$$

kde  $m$  je hmota vrchní části (ta činila u severní věže přibližně  $58 \cdot 10^6 \text{ kg}$ ) a  $g$  gravitační zrychlení. Řešením pro  $P = P_{\text{dyn}}$  dostaneme výraz pro přetížení od nárazu vrchní části za předpokladu pružného chování

$$P_{\text{dyn}}/P_0 = 1 + \sqrt{1 + (2 Ch/mg)} \approx 31, \quad (1)$$

přičemž  $P_0 = mg$  je statické zatížení na všechny sloupy.

Přestože toto řešení je přibližné, je zřejmé, že síly ve sloupech vyvozené svislým nárazem vrchní části musely převýšit únosnost spodní části nejméně o jeden řád.

Další odhad přetížení můžeme určit z rovnice intenzity rázové vlny směřující k základům, jestliže za okrajovou podmínku řešení považujeme rychlost pádu vrchní části v okamžiku jejího nárazu na zhlaví sloupů pod kritickým podlažím. Toto přetížení, které trvá jen zlomek sekundy, je dáno rovnicí (viz [1], odd. 13.1)

$$P_{\text{dyn}}/P_0 = (A/P_0) \sqrt{2\rho g E_{\text{cf}} h} \approx 64,5, \quad (2)$$

kde  $A$  je průřezová plocha budovy ve vodorovném řezu,  $E_{\text{cf}}$  tuhost průřezu všech sloupů dělená  $A$ ,  $\rho$  objemová hmota budovy. Jakmile se vlna začne šířit k základům, je první z odhadů přiměřenější.

V tomto rozboru vycházíme z hypotézy, že vrchní část s mnoha podlažím je tak tuhá, že se ani neprohýbá, ani smykově nedeformuje, a že tedy je rozložení posunů sloupů téměř lineární, jako by šlo o tuhé těleso. Pokud by ovšem vrchní část měla jen několik podlaží, například tři až šest, byla by poddajná, takže by skupiny sloupů mohly klesat různou rychlostí. Tím by došlo k řadě malých nárazů, které by nemusely být katastrofální. Pokud by lidé mohli uniknout z vrchní části, spodní část by se patrně dala zachránit odstředěním nebo odlehčením vrchní části.

### Vliv rozptýlení nepružné energie

Nepružné přetváření ocelových konstrukcí věží se vyznačuje plasticitou a lomem. Protože nám nejde o přesné modelování skutečného mechanismu porušování věží, nýbrž se snažíme jen prokázat, že věže se zřítit musely tím způsobem,

který byl pozorován [2], [3], zanedbáme lomové jevy, i když jsou na fotografiích zhroutěných objektů zřetelně rozeznatelné. Tím, že budeme předpokládat dokonalou plasticitu oceli s neomezenou tažností, jsme – pokud jde o přežití věže – na příznivé straně. Ve skutečnosti ovšem klouby ve styčných sloupech se porušit musely, což únosnost podstatně snížilo.

Základní otázkou je, zda mohl být pád vrchní části zadržen rozptylem energie při plastickém vybočování, jež následovalo po počátečním pružném přetvoření. Mohli bychom uvažovat řadu mechanismů plastického porušení, např.:

- sloupy nižšího podlaží místně vybočí (obr. 1 – stadium 2), nebo
- příhradové nosníky se usmyknou ve styčných s obvodovými sloupy a sloupy jádra, čímž sloupy ztratí příčné podepření a mohou účinkem svislých sil vybočit (obr. 1 – stadium 4, obr. 2c), anebo také
- vrchní část se zaklíní do spodní části, přičemž roztlačí rámové stěny tubusu (obr. 1 – stadium 5).

Přestože kterýkoli z těchto mechanismů může vést k úplnému zřícení, můžeme za nejpravděpodobnější považovat kombinaci mechanismu b) a c). Fotografie v [2], [3] dokládají, že se prvky obvodového tubusu o délce několika podlaží odlamovaly podél zřetelných přímků odpovídajících lomovým čarám. Poznamenejme, že obr. 2c znázorňuje jakýsi hustý rošt ve fasádě, jehož způsob porušení odpovídá lomovým čarám desky.

Zkušenosti s vybočováním, bez ohledu na přesný průběh porušení, ukazují, že se plastické přetvoření soustředí v důsledku plastické bifurkace do jednoho místa (obr. 1 – stadium 4, obr. 2c), i když při pružném chování nastává vybočení mnoha sloupů současně. A tak se musí tvořit vzpěrné vlny jedna za druhou. Aby tedy klesání vrchní části mohlo pokračovat, musí se v každé svislé lince sloupů vytvořit současně jeden, nikoli však více než čtyři plastické klouby [1]. To také platí, jestliže vybočují sloupy jediného podlaží současně. Součet úhlů pootočení v kloubech  $\theta_i$  ( $i = 1, 2, \dots$ ) ve svislé lince sloupů,  $\Sigma\theta_i$ , nemůže být větší než  $2\pi$  (obr. 2b). Pro výpočet byla použita tato horní mez, která nezávisí na počtu pater, přes která sloupy vybočují, neboť respektuje konzervativní hypotézu maximalizující rozptyl plastické energie.

Vypočítáme disipaci energie připadající na jednu svislou linku sloupů rámového tubusu jako součin ohybového momentu při dosažení meze kluzu ve sloupu [4] a sdruženého úhlu pootočení  $\Sigma\theta_i = 2\pi$  (obr. 2b). Pro celou řadu sloupů získáme rozptýlenou energii vynásobením počtem sloupů v řadě. Zjistíme, že rozptýlená energie  $W_p$  dosahuje řádově  $0,5 \text{ GNm}$ . Pro nedostatek přesnějších údajů jsme hodnoty některých veličin odhadli na základě přibližného výpočtu nutné tloušťky stěn sloupů.

Aby se dosáhlo kombinovaného pootočení plastického kloubu  $\Sigma\theta_i = 2\pi$ , a to v každé řadě sloupů, musí se vrchní část posunout o vzdálenost inflexních bodů na křivce vybočeného prutu, tedy nejméně o jedno podlaží níže, než je podlaží, kde nastal počátek zhroutění. Doplňkové uvolnění gravitační potenciální energie činí

$$W_g \approx mg \cdot 2h \approx 2 \times 2,1 \text{ GNm} = 4,2 \text{ GNm}.$$

Aby se pád zastavil, musela by být kinetická energie vrchní části, rovná potenciální energii uvolnění pádem o dvě patra, absorbována pootočením plastického kloubu. Tedy  $W_g/W_p$  by muselo být menší než 1. Jestliže se však zanedbá energie rozptýlená ve sloupech ohřátého podlaží, dostaneme

$$W_g/W_p \approx 8,4. \quad (3)$$

Jestliže první vzpěrná vlna jde přes  $n$  podlaží, je tento poměr zhruba  $n$ -krát větší (dá se odhadnout, že vzpěrná délka se rovná výšce 3 až 10 pater). Dá se tedy říci, že i při velice konzervativních předpokladech může rozptýlené energie dosáhnout jen zlomku kinetické energie vrchní části budovy.

V okamžiku, kdy se vytváří další vzpěrná vlna s odpovídajícím počtem plastických kloubů, vrchní část již klesla o několik podlaží a její kinetická energie se dále zvětšila. Množství energie rozptýlené plastickým přetvářením je řádu 1 %. Toto číslo se při poklesu vrchní části dále zmenšuje, a pokud bychom ještě přihlíželi k lomům v plastických kloubech, došli bychom k dalšímu zmenšení hodnoty rozptýlené energie, dokonce ke zmenšení velmi podstatnému. Z toho tedy vyplývá, že zřícení věže muselo proběhnout téměř jako volný pád. Tento závěr je ověřen pozorováním – zhroutil se věž trvalo 9 s, tedy téměř stejně dlouho jako volný pád ve vakuu s vrcholu věže (416 m nad úrovní terénu) do úrovně horního povrchu sutě (asi 25 m nad terénem), který by trval 8,93 s. Z úvahy dále vyplývá, že nápor svislého rázu směřoval přímo do sloupů tubusu a jádra a jakékoli zpoždění čela zhroutil tubusu za čelem zhroutil stropních konstrukcí muselo být zanedbatelné; jinak by totiž doba zhroutil věže musela být významně delší než 9 s. Avšak i při malém zpoždění by padající stropy mohly působit jako píst pohybující se v prázdné trubici, čímž se dá vysvětlit prach a suť vytlačované z hroučící se věže do stran.

### Problematika zmírnění katastrof a projektování

Projektovat výškové budovy tak, aby vzdorovaly tomuto druhu útoků, je téměř nemožné. Vyžadovalo by to daleko odolnější protipožární ochranu ocelových konstrukcí, vzdorující explozivním účinkům. Rámový tubus by se například dal nahradit zpevněnou monolitickou kruhovou troubou s malými okénky, která by z části svedla hmotu letadla a leteckého paliva do stran. Avšak, i když nepřihlédneme k nákladům, komu by se chtělo pracovat v takové budově?

Problémy se netýkají jen ocelových konstrukcí, ale také konstrukcí betonových. U betonových sloupů zahřátých na vysoké teploty nastává explozivní rozrušování betonu účinkem teplotního lomu a rozpadu dehydratací ztvrdlého cementu [5]. Tyto problémy se nevztahují jen na výškové budovy se systémem sloupů, ale také na budovy s masivním monolitickým betonovým jádrem, které působí jako dutý stžár. V těchto novodobých konstrukcích se používá vysokopevnostní beton, který je při vysokých teplotách k rozpadu ještě náchylnější než běžný beton. Používání speciálních betonů odolných vůči vysokým teplotám jako konstrukčního materiálu není ještě vyjasněno [5]. Při vysokých teplotách by se pochopitelně mohly příznivě chovat speciální slitiny a různé odolné keramické kompozitní materiály, avšak náklady na takové konstrukce by byly astronomické.

Bude nepochybně účelné zahájit výzkum materiálů a konstrukčních systémů, které by oddálily zhroutil tak, aby se získal čas pro evakuaci budov, popř. aby se vytvořily odolné schodištvé šachty evakuaci umožňující. Bylo by asi dobré projektovat budovy tak, aby se předešlo zhroutil při méně náročných útocích, jako například při mimostředním nárazu nebo při nárazu letadla s malým množstvím paliva.

Musíme si vzít poučení, jak zlepšit projektování budov pro případy nehod menšího rozsahu. Připomeňme si případ postupného dynamického zhroutil části všech podlaží panelové budovy sídliště Ronan Point ve Velké Británii. Bylo způsobeno explozí plynu v jednom z horních podlaží [6]; z poznatků se došlo k závěru, že je u takových objektů nutné zvětšit stupeň statické neurčitosti.

### Několik poznámek na závěr

Až budou provedeny podrobné výpočty, zjistí se nepochybně, že se řada podrobností mechanismu porušení liší od našeho zjednodušeného řešení. Dají se očekávat odchylky v některých hodnotách, což by nebylo nijak překvapující, avšak námi zjištěný řádový rozdíl mezi hodnotami dynamického zatížení a únosností konstrukce je nepochybný.

Existují další velice zajímavá, avšak jen intuitivní vysvětlení průběhu zhroutil. Aby se však ověřila jejich realita, je nutné uskutečnit alespoň hrubý výpočet. Například se uvažuje o tom, že styčníky mezi nosníky stropní konstrukce a sloupy tubusu nebyly dostatečně odolné. Možná, že nebyly, ale to by nemělo vliv na naše zjednodušené řešení.

Hlavním cílem tohoto rozboru bylo prokázat, že věže se musely zřítit, jakmile oheň zničil většinu sloupů jediného podlaží. Použili jsme proto konzervativní zjednodušující předpoklady, a to především předpoklad neomezené tažnosti oceli, a dále předpoklad rovnoměrného rozložení rázového účinku na sloupy. Také jsme zanedbali různé podrobnosti – porušení styků mezi stropy a sloupy, možnost vklínění jádra vrchní části do jádra spodní části a mnoho dalších. Jestliže se při těchto konzervativních předpokladech ukázalo, že se věž musela zhroutil, jistě se to prokáže i podrobnějším rozбором.

Významnou otázkou je, proč se zhroutil také sousední budova o 46 podlažích, do níž se nemohla dostat žádná významná část leteckého paliva. Přestože nejsou dosud k dispozici potřebná data, zdá se být pravděpodobným vysvětlením to, že vysoké teploty, i když nižší než 800 °C, působily alespoň na některá podlaží značně děle, než by odpovídalo současným předpisům o požární ochraně konstrukcí. Kritickým podlažím bylo patrně přízemí, neboť bylo zahříváno mohutným únikem plynu. Zřícení mělo asi podobný mechanismus jako u dvojčat, avšak šířilo se v opačném směru – postupovalo z přízemí do vyšších podlaží, jak postupně narážela na zem.

### Příloha I – Pružně dynamická odezva na náraz letadla

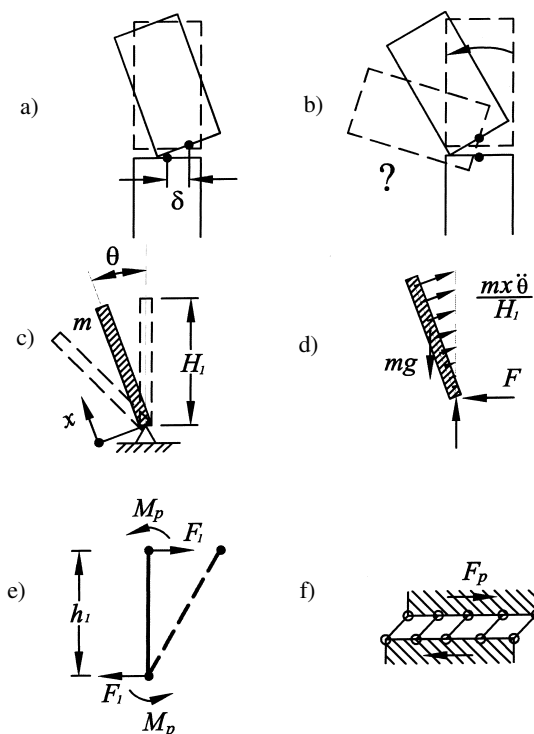
Jednoduchý odhad vycházející z rovnosti hybnosti letadla Boeing 767-200 o hmotnosti přibližně 179 000 kg, pohybujícího se rychlostí 550 km·h<sup>-1</sup>, a hybnosti ekvivalentní hmoty vrchní části věže (přibližně 141·10<sup>6</sup> kg ×  $v_0$ ) ukazuje, že počáteční střední rychlost  $v_0$  udělená vrchní částí byla pouze kolem 0,7 kmh<sup>-1</sup>, tj. 0,19 ms<sup>-1</sup>. Hmotnost  $M_{eq}$ , kterou si můžeme představit jako hmotu soustředěnou v úrovni kritického podlaží na nehmotné konzole o ohybové tuhosti stejné jako ohybová tuhost věže, byla vypočítána z podmínky, že její frekvence volného kmitání je rovna první vlastní frekvenci kmitání věže odhadnuté hodnotou  $T_1 = 14$  s (hmotnost  $M_{eq}$  je rovna 44 % hmoty celé věže). Dynamická odezva po nárazu je ovlivněna prvním tvarem kmitání o periodě  $T_1$ . Maximální vodorovný průhyb  $w_0 = v_0 T_1 / 2\pi \approx 0,4$  m, což je hodnota v návrhovém pásmu pružných průhybů od účinků větru. Není tedy překvapující, že náraz letadla sám o sobě poškodil věž pouze místně.

Budovy WTC byly ovšem projektovány na náraz letadla Boeing 707-320, nikoli letadla Boeing 767-320. Maximální hmotnost tohoto staršího, méně výkonného modelu při startu je pouze o 15 % menší než modelu 767-320. Kromě toho kapacita palivových nádrží je pouze o 4 % menší. Tyto rozdíly nevybočují z návrhových rezerv spolehlivosti, a proto pozorované chování věží dokumentuje správnost původního dynamického řešení. Nepočítalo se však s teplotami, které vznikají při požáru. Zkušenost z roku 1945 byla klamná. Tehdy totiž narazil do budovy Empire State Building (o výšce 381 m, postavené v roce 1932) dvoumotorový bombardér

B25, letící za nízké oblačnosti na letiště v Newarku rychlostí 400 kmh<sup>-1</sup>, a to v úrovni 79. podlaží (278 m nad úroveň terénu). Ocelové sloupy, podstatně masivnější než u dnešních konstrukcí, nebyly významně poškozeny a vzniklý požár se omezil pouze na dvě podlaží [6].

### Příloha II – Proč se vrchní část nepřekotila?

Jelikož se vrchní část jižní věže WTC naklonila (obr. 3a), vznikají otázky, proč se nepřekotila jako padající strom otáčením kolem těžiště kritického podlaží (obr. 3b). Abychom toto objasnili, a tedy odůvodnili, proč jsme v předchozím řešení naklání zanedbali, můžeme provést jednoduché dynamické řešení.



Obr. 3. Otáčení vrchní části věže kolem základny

Předpokládejme, že se střed základny vrchní části (obr. 3b) nepohybuje ani vodorovně, ani svisle, a že tedy působí jako pevný čep. Položme kinetickou energii vrchní části otáčející se jako tuhé těleso kolem čepu (obr. 3c) rovnou gravitační potenciální energii této části (což je jednodušší než užít Lagrangeovu rovnici pohybu), tj.

$$mg(1 - \cos\theta)H_1/2 = (m/2 H_1) \int_0^{H_1} (\dot{\theta}x)^2 dx,$$

kde  $x$  je svislá souřadnice. Dostaneme

$$\dot{\theta} = \sqrt{\frac{3g}{H_1} (1 - \cos\theta)}, \quad \ddot{\theta} = \frac{3g}{2H_1} \sin\theta, \quad (4)$$

kde  $\theta$  je úhel pootočení vrchní části,  $H_1$  její výška a tečky nad symboly označují derivace podle času (obr. 3c).

Vyšetřujeme dynamickou rovnováhu vrchní části jako volného tělesa zatíženého setrvačnými silami a reakcí v základně o vodorovné složce  $F$  (obr. 3d). Získáme

$$F = \int_0^{H_1} (m/H_1) \ddot{\theta} \cos\theta x dx = \frac{1}{2} H_1 m \ddot{\theta} \cos\theta = \frac{3}{8} mg \sin 2\theta.$$

Je zřejmé, že maximální vodorovná reakce během klopení vzniká při  $\theta = 45^\circ$ , a tedy

$$F_{\max} = \frac{3}{8} mg = \frac{3}{8} P_0 \approx 320 \text{ MN}, \quad (5)$$

kde pro vrchní část jižní věže je  $m \approx 87 \cdot 10^6$  kg.

Mohla smyková únosnost  $F_p$  sloupů na jednom podlaží (obr. 3f) přenést tuto vodorovnou reakci? V případě plastického smyku by vznikly plastické klouby ve zhlaví a v patě každého vzdorujícího sloupu (obr. 3e; také v tomto případě zanedbáváme lom). Podmínka momentové rovnováhy pro sloup uvažovaný jako volné těleso ukazuje, že každý sloup může přenést smykovou sílu nejvýše o hodnotě

$$F_1 = 2 M_p / h_1,$$

kde  $h_1$  je výška sloupu a  $M_p \approx 0,3$  MN,  $m$  je odhad hodnoty plastického momentu únosnosti neořátého sloupu. Za předpokladu, že pootočení vzdorují pouze sloupy po stranách rámového tubusu kolmých k ose otáčení (sloupů je přibližně 130), dostaneme

$$F_p \approx 130 F_1 \approx 31 \text{ MN},$$

takže maximální vodorovná reakce od klopení by vedla k přetížení

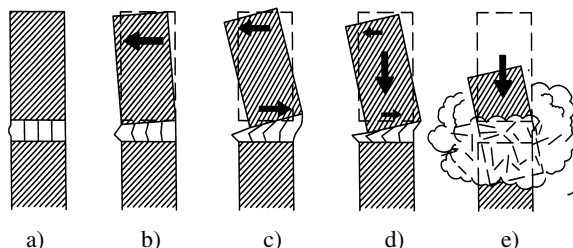
$$F_{\max} / F_p \approx 10,3, \quad (6)$$

pokud by sloupy nebyly ohřáté. U horkých sloupů by vodorovná reakce vzhledem k otáčení převýšila smykovou únosnost kritického podlaží ještě více (a mnohem více, jestliže bychom počítali s lomem).

Protože síla  $F$  je úměrná  $\sin 2\theta$ , dosáhne její hodnota mezí kluzu, jakmile  $\sin 2\theta = 1/10,3$ . Z toho lze usuzovat, že reakce v základně vrchní části jižní věže začala usmýkávat sloupy v plastickém stavu (obr. 4c, d) již při naklonění

$$\theta = 2,8^\circ. \quad (7)$$

Otáčení vrchní části zřejmě započalo asymetrickým selháním sloupů na jedné straně obvodu (obr. 4a, b), avšak již při velmi malém úhlu naklonění zmenšila dynamická vodorovná reakce v základně vrchní části únosnost zbývajících sloupů kritického podlaží (i když ještě nebyly ohřáté) ve svislém směru. Tím začala vrchní část jižní věže klesat, a následný pohyb byl převážně svislý (obr. 4e). Je tedy zřejmé, že převládajícím prvkem v mechanismu porušení byl náraz vrchní části na spodní část.



Obr. 4. Scénář naklání vrchní části jižní věže

Povšimněme si ještě, že vodorovná reakce  $F_{\max}$  je úměrná hmotnosti otáčející se části. Pokud by se vyšetřovalo otáčení kolem těžiště některého nižšího podlaží, síla  $F_{\max}$  by byla ještě větší.

### Příloha III – Pracovní diagram sloupů

Při běžném navrhování konstrukcí se počítá pouze s počáteční bifurkací a malými posuny, kdy závislost zatížení na osovém zkrácení pružně plastického sloupu vykazuje zpevnění, nikoli změkčení. Sloupy věže však měly velká plastická přetvoření, při nichž se pracovní diagram vyznačuje výrazným změkčením. Obrázky 5d, e ukazují diagram odhadnutý pro věže WTC. Diagram má na počátku osově zkrácení od plastické deformace oceli při síle  $P_1^0 = A_1 f_y$ , kde  $A_1$  je průřezová plocha sloupu a  $f_y$  mez kluzu oceli.

Pokud se neuvažují imperfekce, dosáhne se při osovém zkrácení přibližně rovném 3% bodu bifurkace. Další stadia, pokud nenastane ohyb sloupu, jsou nestabilní (obr. 5a) a musí se vytvořit tři plastické klouby (obr. 5b) – jestliže konzervativně předpokládáme vetknutí v koncích sloupů. Z rovnice rovnováhy momentů na polovici sloupu uvažované jako volné těleso (obr. 5c) vyplývá svislá osová síla

$$P_1 = 4M_p/L \sin\theta,$$

zatímco z geometrie vybočení vyplývá pro osové zkrácení

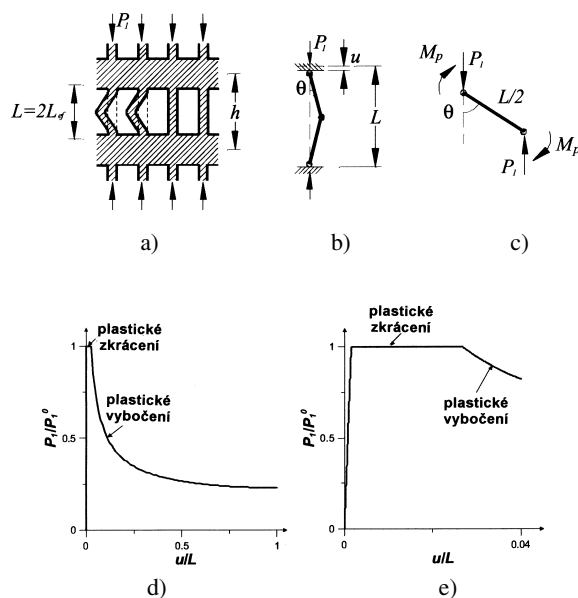
$$u = L(1 - \cos\theta),$$

kde  $L$  je vzdálenost mezi koncovými klouby. Vyloučíme-li pootočení plastických kloubů  $\theta$ , zjistíme, že plastický pracovní diagram sloupu je dán vztahem

$$P_1(u) = \min\left(\frac{4M_p}{L\sqrt{1 - [1 - (u/L)]^2}}, P_1^0\right) \quad (8)$$

definujícím čáru na obr. 5d, e. Tato čára je konzervativní horní mezí, neboť ve skutečnosti dochází v kloubech k lomu [7], což se děje již při malých pootočeních. Plocha pod čárou odpovídá rozptýlené energii.

Pokud se předpokládá, že se nejprve zhroutila jedna nebo několik stropních desek nad kritickým podlažím, je délka  $L$ , dosazovaná do (8), mnohem větší než výška sloupů jednoho



Obr. 5. a – plastické vybočení sloupů, b – mechanismus plastických kloubů, c – síly působící na volné těleso, d – redukovaná závislost síly  $P_1$  na osovém zkrácení  $u$  sloupů při zanedbání lomu a ohřátí, e – počáteční úsek této závislosti se zvětšeným horizontálním měřítkem (k imperfekcím se nepřihlíží)

podlaží. Potom  $P_1(u)$  je značně menší. Eulerovo kritické břemeno může být dokonce menší než osová únosnost zjištěná výpočtem podle plasticity, což je však vzdáleno skutečnosti, pokud  $L$  je výška sloupu v jednom podlaží.

Uvažovalo se o tom, že nepružná přetvoření sloupů mohla utlumit počáteční pokles vrchní části tak, že by pokles proběhl staticky. To však není možné, neboť u gravitačních zatížení změkčení pracovního diagramu (obr. 5d, e) vede vždy k nestabilitě a znemožňuje statická přetvoření ([1], kap. 10 a 13). Zrychlení padající vrchní části

$$\ddot{u} = N [P_1^0 - P_1(u)] / m,$$

kde  $N$  je počet sloupů, a dále  $P_1^0 = mg/N$ . Toto je diferenciální rovnice pro svislé posunutí  $u$  závislé na čase  $t$ . Z jejího řešení vyplývá, že doba pádu vrchní části o jedno podlaží je pouze asi o 6 % delší než doba volného pádu v této výšce (asi 0, 87 s). Pro horké sloupy je ovšem rozdíl ještě značně menší než 6 %. K útlumu pádu nemůže tedy dojít.

### Literatura

- [1] Bažant, Z. P. – Cedolin, L.: Stability of Structures: Elastic, Inelastic, Fracture and Damage Theories. New York, Oxford University Press 1991.
- [2] American Media Specials, Vol. II, No. 3, Boca Raton, Florida, J. Lynch, ed. 2001.
- [3] Massive Assault Doomed Towers. Engineering News Record, 247, 2001, pp. 10 – 13.
- [4] Jirásek, M. – Bažant, Z. P.: Inelastic Analysis of Structures. London and New York, J. Wiley and Sons 2002.
- [5] Bažant, Z. P. – Kaplan, M. F.: Concrete at High Temperatures. London, Longman-Addison-Wesley 1996.
- [6] Levy, M. – Salvadori, M.: Why Buildings Fall Down. New York, W. W. Norton and Co. 1992.
- [7] Bažant, Z. P. – Planas, J.: Fracture and Size Effect of Concrete and Other Quasibrittle Materials. Boca Raton, Florida, and London, CRC Press 1998.

### Poznámka redakce:

Na počátku roku 2000 byla zpracována pro účely pojištění budov WTC riziková analýza, v níž se hodnotily škody vyvolané nárazem letadla na budovu (i když se takový náraz považoval za velmi nepravděpodobný). Možnost vniknutí paliva do budovy se nepředpokládala, odhadovalo se, že se palivo rozteče po fasádě do ulice. Přesto činil odhad škod 600 mil. USD, z čehož připadalo 150 mil. USD na škody z ušlého ročního výnosu z nájmu postižené budovy. V současné době pracuje na podrobné analýze všech událostí v budovách a jejich okolí několik skupin odborníků, a to zejména s cílem zobecnit poznatky z tragických událostí do systému prevence rizik u obdobných objektů.

Překlad příspěvku z časopisu Journal of Engineering Mechanics ASCE uveřejňujeme se souhlasem redakce a autorů.

Překlad: prof. Ing. Milík Tichý, DrSc.

Bažant, Z. P. – Zhou, Y.: Why Did the World Trade Center Collapse?

This paper gives a simplified analysis of the overall collapse of the towers of the World Trade Center in New York on September 11, 2001. The analysis shows that if prolonged heating caused the majority of columns of a single floor to lose their load-carrying capacity, the whole tower was doomed. Even though the adopted

simplifying assumptions are optimistic for survival, the structural resistance is found to be an order of magnitude less than necessary for survival.

**Bažant, Z. P. – Zhou, Y.:** Warum sind die Gebäude des World Trade Center in New York eingestürzt?

Eine vereinfachte vorläufige Analyse des Mechanismus des Einsturzes der Türme des Welthandelszentrums (WTC) in New York am 11. September zeigt, dass bei beiden Türmen die Erhitzung der Mehrzahl der Stützen eines Geschosses zum Verlust der Tragfähigkeit führte, was ein heftiges Absacken und einen gewaltigen dynamischen Aufprall des über dem getroffenen Geschoss liegenden Teils des Gebäudes auf den unteren Teil bewirkte. Aus der Analyse geht hervor, dass die Tragfähigkeit eines Gebäudes um Größenordnungen geringer ist, als sie erforderlich wäre, um bei einem solchen Aufprall nicht einzustürzen, und das auch bei Verwendung sehr konservativer Annahmen.

## • dizertace



### Energetická náročnost a potenciál úspor průmyslových budov

Ing. Petra Neuwithová

Dizertace se zabývá aktuálním problémem snižování energetické náročnosti průmyslových objektů. Výstupy teoretické analýzy konfrontuje s dostupnými výsledky experimentálních prací v souladu s heuristickými metodami vědecké práce.

### Model hodnocení variant jako podklad rozhodování o investici

Ing. Renáta Heralová

Dizertace obsahuje matematický model pro rozhodování s aplikací pojmů Customer Satisfaction Index a Category Utility Index. Vlastní vyhodnocení variant vychází z hodnotové analýzy obohacené o optimalizaci založenou na užitnosti, citlivostní analýze a efektivnosti. Výsledkem je počítačová podpora přípravy investic.

## • veletrhy

### IBF – světový standard v českém prostředí

Aktuální obrázek o českém stavebnictví si naši i zahraniční odborníci, ale také široká veřejnost, jezdí již několik let dělat do Brna na Mezinárodní stavební veletrh IBF. Právě zde se představují novinky, zde jsou k dispozici informace o zahraničních trendech, zde se nejlépe mapuje poptávka po stavebních výrobcích, materiálech a službách.

Spolupřadatelé veletrhu jsou Svaz podnikatelů ve stavebnictví ČR a Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě. Od svého vzniku v roce 1996 veletrh zaujal místo na špičce podobně orientovaných veletrhů ve střední a východní Evropě. Důkazem je nejen účast všech významných českých firem z oblasti stavebnictví a souvisejících oborů, ale také vysoká zahraniční vystavovatelská i návštěvnícká účast. Nejvíce zahraničních vystavovatelů tradičně přijíždí ze SRN, Slovenska, Itálie, Polska a Rakouska. Mezi návštěvníky stoupá účast odborníků z Polska,

Maďarska, Litvy, Lotyšska, Slovenska, SRN, Ruska a Ukrajiny. **IBF 2002**, který se bude konat **23. – 27. dubna** na brněnském výstavišti, obsáhne celé stavebnictví a díky spojení s technologicky souvisejícím veletrhem SHK Brno bude obo-



hacen o další, pro stavebnictví důležité, obory. Zvýrazněnými obory pro rok 2002 jsou výstavba a rekonstrukce bytového fondu, podlahy a jejich konstrukční řešení, pažení, bednění a lešení. Právě v těchto oborech se dá očekávat největší zájem vystavovatelů a také nejvíce novinek. Součástí veletrhu bude i doprovodný program složený ze seminářů a diskuzí na aktuální témata ve stavebnictví. Z tradičních špičkových setkání jmenu-



jme například mezinárodní sympozium Mosty. Chybět nebude ani poradenské centrum pro všechny, kdo potřebují radu nebo konzultaci týkající se bydlení, stavby a přestavby. Nejlepší exponáty budou opět soutěžit o prestižní Zlaté medaile veletrhu IBF.

# Optimalizace blokového základu

Vít ŠMILAUER  
doc. Ing. Jiří MÁČA, CSc.  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

Syntéza biologie a techniky vede často k novým objevům a metodám. Nejinak je tomu i v genetických algoritmech. Stará Darwinova myšlenka je aplikována na řadu technických úloh – od optimalizace až po kontrolu shody fotografií. Použití genetického algoritmu je zde ukázáno na kmitajícím blokovém základu při minimalizování jeho ceny.

## 1. Úvod

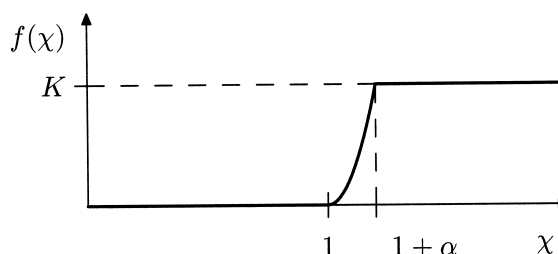
Při návrhu blokového základu je možné zvolit buď klasický způsob, tj. návrh a následně posouzení, nebo použít vhodnou optimalizační metodu. Jednou ze stochastických metod je genetický algoritmus, který je schopen najít optimální řešení problému i v případech nespojitosti, podmínek měnících se během výpočtu i velkých množství neznámých. Výhody genetických algoritmu se v praxi využívají od šedesátých let a od té doby doznaly mnoha zlepšení. Ve stavebnictví algoritmus slouží např. k optimalizaci železobetonových prutů a rámtů [3]. Možnosti jeho použití jsou ovšem širší – zde byl použit v úloze z dynamiky stavebních konstrukcí při návrhu blokového základu s minimalizováním jeho ceny.

## 2. Úvod do genetických algoritmu

V určité úloze často známe postup jednotlivých kroků vedoucích k řešení. Z volby počátečních hodnot získáme správné výsledky, ale nevíme, zda jsou hospodárné. U složitějších úloh již nejde postupovat analyticky a nalézt jednoduše extrém. Nezbývá, než použít metody stochastické a prohledat celý prostor řešení. Proti konvenčním metodám (metodě tečen, půlení intervalu atd.) jsou genetické algoritmy (GA) pružnější a nekončí v lokálních extrémech. Genetický algoritmus nezaručuje, že nalezne optimum, pouze nalezne přijatelně dobré řešení za přijatelnou dobu. S rostoucím časem se prohledá větší prostor a zvětší se pravděpodobnost nalezení extrému. Jde o metodu široce používanou pro optimalizaci. Vznikla na začátku šedesátých let a vychází z Darwinovy teorie o vývoji druhu. Podle ní v přírodě přežívají silnější jedinci a ti vytvářejí silnější potomky. Každý jedinec je vybaven informacemi o sobě uloženými v DNA. Informace tvoří geny, geny chromozómy (jedince), chromozómy populaci jedinců. Genetický algoritmus je analogií – při optimalizaci funkce jsou geny neznámé v úloze, chromozóm (jedinec) je ucelený soubor neznámých popisujících jedno řešení, populace je soubor jedinců.

Ohodnocení síly jedince je dáno objektivní funkcí, která přiřadí každému jednotlivci číslo. V případě optimalizace funkce to může být její funkční hodnota. V aplikacích GA to často bývá cena, poměr únosnosti a hmotnosti, deformace, časová náročnost atd. Hodnota objektivní funkce určuje, zda a jak se jedinec bude dále rozmnožovat. Pokud nesplňuje některé omezující podmínky (např. maximální hodnotu), nemusí být z populace vyřazen, protože by mohl obsahovat i

dobré geny, ale je zatížen penalizační funkcí (obr. 1). Ta jeho objektivní funkci zvýší, a jedinec tak může přenést dobrou hodnotu jiného genu do další populace. Ze silných rodičů vzniknou reprodukci silnější jedinci. Těm je umožněno se více rozmnožovat a vytvářet opět silnější jedince. Aby se zachovala různorodost populace, je občas náhodně zmutován některý gen, který přinese novou informaci a může být záchranou z lokálního extrému. Existuje mnoho variant vývoje jedince, pro ilustraci je popsána ta nejjednodušší. Předpokládáme, že známe počet, rozsah a přesnost neznámých, počet jedinců v populaci, objektivní funkci a počet generací. Neznámá se zakóduje do genu jako reálné nebo binární číslo, což vede k diskretizaci prohledávaného prostoru. Binární reprezentace je obecně jednodušší (rozklad čísla do dvojkové soustavy, Grayův kód), ale má omezenou přesnost a nedá se použít pro záporné hodnoty. Reálná je naopak složitější, má ale širší použití hlavně v úlohách s reálnými čísly. Ve zvolené reprezentaci se náhodně vytvoří nová populace jedinců. Jedinci vstoupí do známého algoritmu a podle hodnoty objektivní funkce se vyberou ti nejsilnější, např. metodou vážené rulety (jedinci s větší hodnotou optimalizační funkce mají větší pravděpodobnost se rozmnožovat). Křížením vznikají ze dvou rodičů dva potomci. U binární reprezentace se použije např. jednobodové křížení (náhodně se určí místo na genu a části genů se vymění).



Obr. 1. Penalizační funkce.  $\chi = \phi / \phi_{max}$ , část funkce je parabola  
 $f(\chi) = L((\chi - 1) / \gamma)^\beta$

Na některé geny použijeme mutaci, a tím se může vnést nová informace. Nová generace se opět ohodnotí a proces se opakuje. Často bývá předepsán počet generací nebo se sleduje konvergence. Jistota, že algoritmus prohledal celý prostor, je poměrně vysoká díky křížení a mutaci. Po ukončení GA se vyhledá jedinec s extrémní hodnotou optimalizační funkce.

Náš algoritmus, převzatý z [5], je dosti variabilní, a proto bylo zvoleno kódování, které nejlépe vystihuje danou úlohu. K řešení potřebujeme reálná čísla s omezenou přesností, a proto využijeme reálné kódování dat do chromozómu. Objektivní funkci je v našem případě cena a ta se počítá jako součet cen izolátorů, betonu a hodnoty penalizační funkce (obr. 1). Protože se algoritmus používá k hledání maxima, je nalezení minima úlohou opačnou – použije se buď rozdíl od velké hodnoty, nebo záporná čísla, což je náš případ. Genetický algoritmus je „jednoduchý“ algoritmus podle Goldberga [2] s tím rozdílem, že výběr je proveden na základě odlišnosti jedinců od průměru. To zajistí větší variabilitu v populaci.

### 3. Formulace úlohy

Při modelování úlohy zavádíme idealizaci objektů – betonový blok je tuhý, budící síla je harmonická, tuhost pružinových izolátorů je konstantní, stroj se základem je symetrický podle dvou svislých rovin, neprojevuje se únava materiálu. Úloha je řešena jako ustálené kmitání tuhého bloku se 3° volnosti v rovině. Tlumení by bylo významné v oblasti rezonance, zde se pro zjednodušení úlohy neuvažuje. Na obrázku 2 je schéma základu se strojem. V algoritmu je neznámých šest – rozměry  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , počet řad tlumičů ve směru  $a$  a  $b$ , pořadí tlumiče v databázi, tj. jeho rozměry, tuhost  $k$ , únosnost, cena. Maximální a minimální hodnoty jsou omezeny ve vstupním souboru. Ostatní veličiny jsou známé, tj. rotující nevyvážená hmotnost  $m_0$  s excentricitou  $e$ , hmotnost stroje  $m_s$ , budící frekvence  $f$ , hmotný moment setrvačnosti stroje  $I_s$ , k vlastní těžištvé ose rovnoběžné se stranou  $b$ , poloha těžiště stroje, přípustná výchylka v těžišti stroje  $w_{\max}$ , objemová hmotnost a cena betonu na 1 m<sup>3</sup>, minimální vzdálenost tlumičů od kraje betonového bloku, koeficient poměru podélné (svislé) a příčné (vodorovné) tuhosti izolátoru  $q$ . V případě použitého algoritmu je nutné definovat parametry GA, a to počet jedinců v jedné generaci, počet generací, pravděpodobnost mutace a křížení.

Genetický algoritmus vygeneruje šest neznámých. Ty musí být posouzeny a ohodnoceny vzhledem k zadaným hodnotám. Přitom se zjišťuje:

- budící kruhová frekvence  $\omega = 2\pi f$  a amplituda budící síly  $F_b = m_0 e \omega^2$ ;
- hmotnost základového bloku  $m_z$ ;
- poloha společného těžiště bloku a stroje  $T$ ;
- hmotný moment setrvačnosti  $I_z$  bloku k vlastní těžištvé ose rovnoběžné se stranou  $b$  a celkový hmotný moment setrvačnosti  $I_{\text{tot}}$  k těžištvé ose soustavy;
- diagonální matice hmotnosti

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} m_z + m_s & 0 & 0 \\ 0 & m_z + m_s & 0 \\ 0 & 0 & I_{\text{tot}} \end{pmatrix};$$

- matice tuhosti konstrukce

$$\mathbf{K} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n k_i & 0 & 0 \\ 0 & \sum_{i=1}^n qk_i & -\sum_{i=1}^n z_i qk_i \\ 0 & -\sum_{i=1}^n z_i qk_i & \sum_{i=1}^n (y_i^2 k_i + z_i^2 qk_i) \end{pmatrix},$$

kde  $n$  je počet izolátorů,

$k_i$  – tuhost izolátoru,

$z_i$  – vzdálenost těžiště celku od paty bloku,

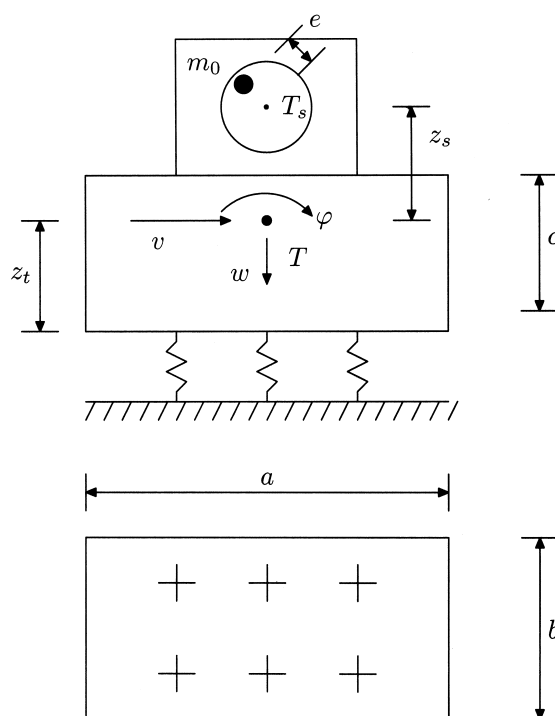
$y_i$  – vzdálenost osy izolátoru od svislé roviny procházející těžištěm  $T$ ;

- vektor pravé strany pro ustálené kmitání

$$\mathbf{F} = (F_b, F_b, F_b z_s)^T,$$

přičemž  $z_s$  je vzdálenost těžiště celku od těžiště stroje;

- řešení rovnice ustáleného kmitání  $(\mathbf{K} - \omega^2 \mathbf{M})\mathbf{r} = \mathbf{F}$  a zjištění posunů a pootočení základu z vektoru  $\mathbf{r} = (w, v, \varphi)^T$ ;
- penalizační funkce (obr. 1) vyjadřuje nesplnění podmínek, tj. překročení celkové výchylky  $w_{\max}$  nebo malé osové vzdálenosti izolátorů. Celková cena základu se zjistí součtem hodnoty penalizační funkce a ceny za beton a izolátory;
- jako nejlepší je hodnocena kombinace, kde celková cena je nejmenší. Pokud se penalty nepodaří dostat pod jistou úroveň, znamená to, že genetický algoritmus nenašel vhodné řešení a příčinou jsou často přísná omezení, která není možné splnit.



Obr. 2. Schéma základového bloku

### 4. Výsledky optimalizace

Jako ukázkový případ byl vybrán základ s parametry (obr. 2):

- $a \in < 0,5; 3 > m$ ,
- $b \in < 0,5; 5 > m$ ,
- $c \in < 0,5; 3 > m$ ,
- hmotnost stroje  $m_s = 6 t$ ,
- hmotnost nevyváženky  $m_0 = 100 \text{ kg}$ ,
- excentricita nevyváženky  $e = 5 \cdot 10^{-4} m$ ,
- budící frekvence  $f = 50 \text{ Hz}$ ,
- objemová hmotnost základního bloku  $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$ ,
- cena za 1 m<sup>3</sup> betonu včetně práce a výztuže 3000 Kč,
- těžiště stroje nad horní stranou základu 0,5 m,
- koeficient příčné tuhosti  $q = 0,7$ ,
- minimální vzdálenost hrany tlumiče od hrany základu 0,2 m,
- maximální výchylka stroje  $w_{\max} = 7 \cdot 10^{-6} m$ ,
- počet iterací 1000,
- max. počet řad izolátorů ve směrech  $a$ ,  $b$  je 15,
- počet jedinců v generaci 30,
- použité tlumiče jsou v tab. 1, uvažuje se i záměna stran  $a$  a  $b$ .



Tab. 1. Tabulka pružinových izolátorů

Max. hmotnost [kg]	$k$ [kN/m]	$a$	$b$	$c$	Cena [Kč]	Číslo
		[mm]				
30	120	92	55	40	310	0
50	160	92	55	40	438	1
50	160	122	77	50	542	2
100	200	122	77	50	690	3
100	250	166	95	75	712	4
200	290	166	95	75	968	5
200	400	185	115	85	932	6
350	510	185	115	85	1 284	7
350	690	150	150	83	1 232	8
600	850	150	150	83	1 710	9

Penalizační funkce na obr. 1 má pro výchylku parametry  $L = 107$ ,  $\alpha = 0,2$ ,  $\beta = 2$ ,  $\gamma = 0,8$ . Objektivní funkce včetně této funkce je znázorněna na obr. 3 při zafixovaných veličinách na svých optimálních hodnotách. Globální minimum  $a = 3$  m,  $b = 1,6651$  m,  $c = 0,5$  m, 7 x 3 řady izolátorů č. 9. Cena izolátorů 35 910 Kč, cena betonového bloku 7 493 Kč, celková cena 43 403 Kč. Závislost výchylky na dvou rozměrech při fixovaných nezobrazených proměnných je znázorněna na obr. 4.

Pokud byla omezení volnější, algoritmus konvergoval přibližně po 500 generacích, tj. 15 000 jedinců (5 s/400 MHz CPU). Pokud se zadání pohybovalo v okolí rezonance nebo omezení byla přísnější, konvergence se zpomalila, avšak ani po 500 generacích se výsledky příliš nelišily od optima. Půl

milionu jedinců se vždy jevilo jako dostatečný počet pro nalezení optima (80 s/400 MHz CPU). Pokud omezení nebylo možné splnit, algoritmus našel mezi penaltami nejlepší řešení, avšak jeho cena byla dosti vysoká vzhledem k penalizační funkci (obr. 1).

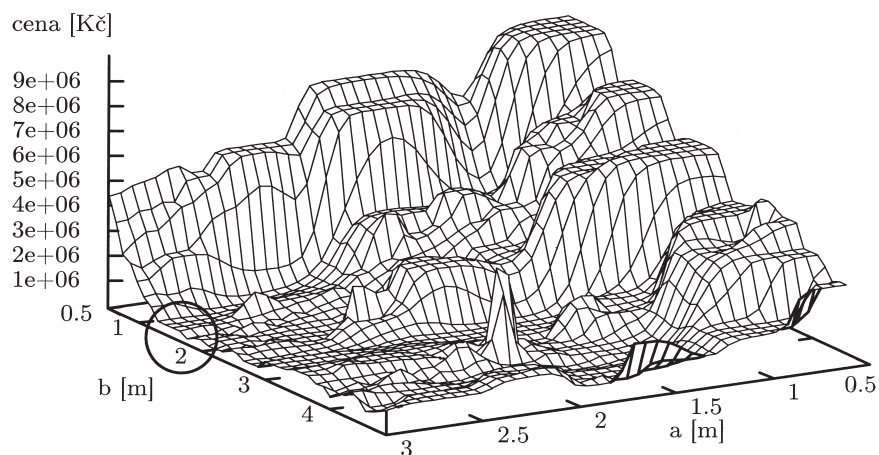
## 5. Závěr

Výhodou genetického algoritmu je jeho rychlost a snadná formulace problému. Použití je univerzální i pro úlohy s mnoha neznámými, tam konvenční metody selhávají a dávají prostor evolučním metodám. V dané úloze se záměrně špatnými údaji algoritmus pouze pomaleji konvergoval a dosahoval horších výsledků. To ukazuje na variabilitu nejen živočišné říše, ale i GA. Jeho používání se osvědčilo v řadě úloh a ukázalo se jako smysluplné. Dá se předpokládat, že v budoucnosti se jeho používání rozšíří.

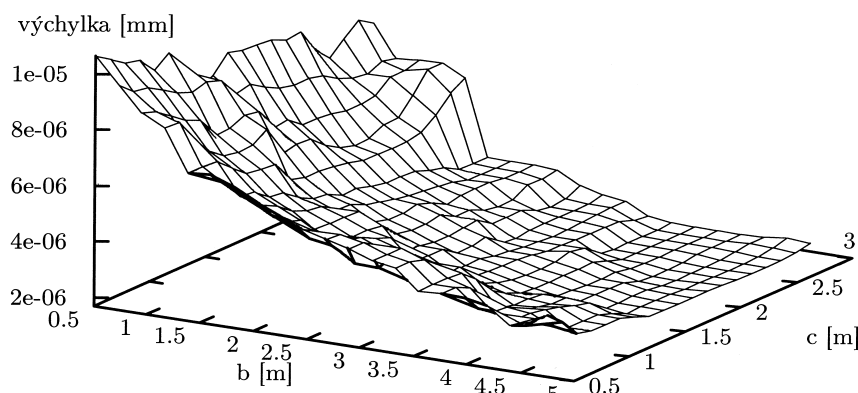
## Příspěvek je výsledkem řešení grantového projektu č. 103/01/1528 GA ČR.

## Literatura

- [1] Baťa, M. – Plachý, V. – Trávníček, F.: Dynamika stavebních konstrukcí. Bratislava, SNTL/Alfa 1987.
- [2] Goldberg, D.: Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley, 1989.
- [3] Lepš, M.: Optimalizace železobetonového spojitého nosníku. [Diplomová práce], ČVUT Praha, 2000.
- [4] Peterka, I.: Genetické algoritmy. [Diplomová práce], UK Praha 1999.
- [5] Massachusetts Institute of Technology: GALib. <http://lancet.mit.edu/ga>, A C++ Genetic Algorithms Library, version 2.4, 1995 – 1996.



Obr. 3. Ukázka objektivní funkce s vyznačením optima



Obr. 4. Závislost výchylky na rozměrech bloku

### Šmilauer, V. – Máca, J.: Optimization of a Foundation Block

Synthesis of biology and technology leads to new discoveries and methods. Genetic algorithms are not an exception. Darwin's old idea can be applied to a wide range of technical tasks – from optimization to photo merge tests. How the genetic algorithm works is shown in an example of a vibrating block foundation by minimizing its price.

### Šmilauer, V. – Máca, J.: Optimierung eines Blockfundaments

Die Synthese von Biologie und Technik führt oft zu neuen Entdeckungen und Methoden. Die genetischen Algorithmen bilden keine Ausnahme. Die alte Darwinsche Idee wird für verschiedene technische Aufgaben angewandt – von der Optimierung bis zur Überprüfung der Übereinstimmung von Fotografien. Die Anwendung eines genetischen Algorithmus wird an einem schwingenden Blockfundament aufgezeigt.

## • veletrhy

### Aqua-therm Praha 2001

Strohá statistická čísla oznamují, že loňský, již osmý ročník mezinárodního odborného veletrhu Aqua-therm Praha, byl úspěšný. Úspěch této renomované akce, prezentující na pražském Výstavišti to nejlepší z oborů vytápění, klimatizace, měřicí, regulační, sanitární a ekologické techniky, spočíval nejen v rekordním počtu návštěvníků (46 167), ale zejména ve spokojenosti přímých vystavovatelů (465) z deseti zemí světa. Kromě českých firem pozvala pořadatelská agentura Progres Partners Advertising, s.r.o., hosty z Německa, Itálie, Slovenska, Rakouska, Polska a Velké Británie. Ze vzdálenějších států přijaly účast firmy z Turecka a Japonska. Připomeňme si některé největší vystavovatele – Buderus tepelná technika, Dakon, GEA LVZ, Korado, Protherm, Robert Bosch – divize Junkers, Siemens Building Technologies – divize Landis&Staefa, Vaillant, Viessmann, ŽDB – závod topenářské techniky Viadrus a další. Firma Buderus představila světovou novinku – plynové difúzně absorpční tepelné čerpadlo, které současně spaluje zemní plyn.

Jako každoročně vyhlášovatelé – Progres Partners Advertising, s.r.o., Ministerstvo životního prostředí ČR a Hospodářská komora ČR – v rámci soutěže o nejlepší exponát mezinárodního veletrhu udělili Zlaté medaile Aquathermu a čestná uznání. Přihlášené exponáty hodnotili mj. z hlediska hmotnosti, energetické účinnosti, vlivu na životní prostředí, provozní spolehlivosti a možnosti recyklace materiálů po uplynutí jejich životnosti. O ocenění rozhodovali zástupci České energetické agentury, ČVUT – Fakulty strojní, SEI, Energetického regulačního úřadu, Čechu instalatérů ČR, Společnosti kominiků ČR. Deset nejlepších exponátů získalo zlaté medaile a osmnáct exponátů čestné uznání.

Zvláštní uznání obdržela firma Buderus tepelná technika Praha, která celkově získala tři ocenění.

#### Zlatá medaile

- ENBRA, s.r.o.
- GRUDFOS, s.r.o.
- JANKA LENNOX
- ROBERT BOSCH – divize JUNKERS,
- LDM, s.r.o.
- Mandík Vlastimil
- PROTHERM, s.r.o.
- SCHIEDEL, s.r.o.
- THERMONA, s.r.o.
- VISSMANN, s.r.o.



Pod výstižným názvem Země pro vnučata se konala soutěž o nejlepší projekty v oblasti úspor energie a životního prostředí. Mezi osmi oceněnými se objevily takové projekty jako Teplofikace II – Hartmanice, Centrální zásobování teplem Děčín, Nízkoenergetické holandské domky ve Svitavách či Koncepční řešení technického zařízení bytového domu.

Doprovodný program veletrhu bývá logickým zpestřením mohutné akce, jakým bezesporu Aqua-therm Praha je. Za pozornost stála mezinárodní konference Východ, na které zástupci cechů z České republiky, Slovenska, Polska, Maďarska a dalších zemí diskutovali o připravenosti oboru technických zařízení budov v zemích východní Evropy na vstup do EU.

Mezinárodní rozměr veletrhu umocnil seminář, jenž se zabýval technologiemi pro třetí tisíciletí. Na tomto semináři, pořádaném Federací evropských společností v oblasti vytápění, větrání a klimatizace budov (REHVA), přednášeli evropské odborníci především o možnostech úspor energie, moderních technologiích a v neposlední řadě o evropské legislativě.

A nejhezčí expozice? Byl vybrán stánek Jacuzzi Europe, patřící k italské expozici Italian Technology Services, který si takový verdikt rozhodně zasloužil. Podle návštěvníků měla nejlepší expozici firma Protherm. Možná, že za to mohou i živí lvi, kteří ji tak zdárně propagovali.

*Tisková informace*

#### Čestné uznání

- A.C.V. ČR, s.r.o.
- ATREA, s.r.o.
- BUDERUS tepelná technika Praha, s.r.o.
- BYTTHERM-ZÁPAD, s.r.o.
- DYTRON, s.r.o.
- EESA, s.r.o.
- Gebr. KEMPER GmbH&Co.
- KG Metallwerke
- INTERCONTI-GRUPPO IMAR, s.r.o.
- KERAMAG Sanitec, s.r.o.
- Mandík Vlastimil
- METAL ZNOJMO, a.s.
- POLENA vzduchotechnika z plastů
- POLYCOMP, a.s.
- REC.ing., s.r.o.
- REFLEX CZ, s.r.o.
- STIEBEL ELTRON, s.r.o.
- THERMONA, s.r.o.

# Neizotermická difúze vodních par pórovitými materiály

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

V příspěvku je diskutována neizotermická difúze vodní páry pórovitými stavebními materiály. Jsou porovnávány izotermní a „neizotermní“ součinitele difúzní vodivosti a oceňována chyba vyplývající z jejich záměny.

## 1. Úvod

V české normě [1] je možné nalézt součinitele difúzní vodivosti  $\delta(T, p_a)$  vodní páry pro různé materiály, které se nalézají v izotermickém stavu s konstantní smluvní teplotou  $T = 283$  K a současně v izobarickém stavu s konstantním smluvním atmosférickým tlakem  $p_a = 98\,066,5$  Pa. Takto stanovené izotermické součinitele pak běžně používáme při výpočtech hustoty difúzního toku  $g_d$  i ve výrazně neizotermických podmínkách, tj. s proměnnou teplotou uvnitř materiálu, např. při oceňování kondenzace uvnitř obvodových plášťů budov. Použití izotermických součinitelů  $\delta$  je v takových případech odůvodňováno představou, že neizotermický difúzní tok stěnou s povrchovými teplotami  $T_1, T_2$  je možné nahradit izotermickým tokem se střední teplotou stěny  $T^* = (T_1 + T_2)/2$ , která je v průběhu roku blízká hodnotě  $\approx 283$  K za předpokladu, že jde o průměrnou nadmořskou výšku  $\approx 275$  m středoevropské oblasti, což odpovídá smluvnímu barometrickému tlaku  $p_a = 98\,066,5$  Pa. Na podobné představě je založeno i měření difúzních součinitelů  $\delta$  při teplotním spádu (neizotermické podmínky) specifikované jinou národní normou [2], ve které se používá vztah pro výpočet čistě izotermických součinitelů

$$\delta(T^*, p_a) = \frac{g_d d}{p_1 - p_2}, \quad T^* = \frac{T_1 + T_2}{2}, \quad (1)$$

kde  $d$  je tloušťka stěny a  $p_1, p_2$  parciální tlak vodních par na obou stranách vzorku (stěny). Je zřejmé, že neizotermicky stanovené součinitele  $\delta(T, p_a)$  budou lépe vyhovovat neizotermickým podmínkám než izotermicky stanovené součinitele  $\delta(T, p_a)$ . Přesto i v případě (1) jde o zřejmou aproximaci, která zjednodušuje fyzikální realitu, neboť data naměřená při neizotermickém experimentu se zpracovávají vztahem (1), platícím výhradně pro izotermické podmínky. Je tedy na místě zkoumat, jakou chybu vnáší izotermický vztah (1) do neizotermických výpočtů. Odpověď pomohou nalézt Fickovy zákony difúze.

## 2. Neizotermická difúze vodních par

Pro jednorozměrný ustálený difúzní tok bez zdrojových difúzních center mohou být Fickovy rovnice napsány ve tvaru

$$q_d = -D \frac{dc}{dx}, \quad (2)$$

$$\frac{d}{dx} \left( D \frac{dc}{dx} \right) = 0, \quad (3)$$

kde koncentrace vodních par  $c$  může být nahrazena parciálním tlakem  $p$  a teplotou  $T$

$$pV = mRT, \quad c = \frac{m}{V}, \quad c = \frac{1}{R} \frac{p}{T}, \quad R \approx 462 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$$

(plynová konstanta vodní páry). (4)

Difúzní konstantu  $D$  materiálu lze zjistit využitím Schirmerova [3] a Krischerova vztahu [4] (pro smluvní tlak  $p_a = 98\,066,5$  Pa)

$$D = 8,9718 \cdot 10^{-10} \frac{T^{1,81}}{\mu} = \frac{k}{\mu} T^n, \quad n = 1,81,$$

$$k = 8,9718 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ K}^{-1,81}, \quad (5)$$

kde  $\mu$  je faktor difúzní rezistence materiálu (bezrozměrná, čistě materiálová konstanta).

Dosazením (4), (5) do (2), (3) Fickovy rovnice nabudou tvaru

$$g_d = -\frac{D(x)}{R_n} \frac{d}{dx} \left( \frac{p(x)}{T(x)} \right), \quad (6)$$

$$\frac{d}{dx} \left[ \frac{k}{\mu R} T^n(x) \frac{d}{dx} \left( \frac{p(x)}{T(x)} \right) \right] = 0, \quad (7)$$

$$\frac{p(0)}{T(0)} = \frac{p_1}{T_1}, \quad \frac{p(d)}{T(d)} = \frac{p_2}{T_2}, \quad (\text{okrajové podmínky neizotermické stěny tloušťky } d), \quad (8)$$

$$T(x) = T_1 - \frac{T_1 - T_2}{d} x = a - bx \quad (\text{teplotní profil stěny}). \quad (9)$$

Dosazením vztahu (9) do (7) a řešením s okrajovými podmínkami (8) dostáváme

$$\frac{k}{\mu R} (a - bx)^n \frac{d}{dx} \left( \frac{p}{T} \right) = -g_d = \text{const.}, \quad (10)$$

$$\int_{p_1/T_1}^{p(x)/T(x)} d \left( \frac{p}{T} \right) = \int_0^x -\frac{g_d R \mu}{k} (a - bx)^{-n} dx, \quad (11)$$

$$g_d = \frac{\left[ \frac{p_1}{T_1} - \frac{p(x)}{T(x)} \right] kb(1-n)}{\mu R [a^{1-n} - (a - bx)^{1-n}]} \quad (12)$$

Dosazením druhé okrajové podmínky (8) do (12) získáme ustálený difúzní tok stěnou pro neizotermické podmínky (s lineárním teplotním spádem)

$$g_d = \frac{\left( \frac{p_1}{T_1} - \frac{p_2}{T_2} \right) kb(1-n)}{\mu R [a^{1-n} - (a - bx)^{1-n}]} \quad (13)$$

Po dosažení koeficientů  $a$ ,  $b$  z rovnice (9) do (13) dostaneme

$$g_d = \frac{k(1-n) \left( \frac{p_1}{T_1} - \frac{p_2}{T_2} \right) (T_1 - T_2)}{\mu R d (T_1^{1-n} - T_2^{1-n})}. \quad (14)$$

Použitím střední teploty

$$T^* = \frac{T_1 + T_2}{2}, \quad T_1 = T^* + \Delta T, \quad T_2 = T^* - \Delta T, \quad \Delta T = \frac{T_1 - T_2}{2} \quad (15)$$

a dalšími algebraickými úpravami získáme

$$g_d = \frac{k(1-n)}{\mu R T^{*(1-n)} d} \frac{2 \frac{\Delta T}{T^*} \left[ \frac{p_1}{1 + \frac{\Delta T}{T^*}} - \frac{p_2}{1 - \frac{\Delta T}{T^*}} \right]}{\left( 1 + \frac{\Delta T}{T^*} \right)^{1-n} - \left( 1 - \frac{\Delta T}{T^*} \right)^{1-n}}. \quad (16)$$

Manipulace s malými čísly  $|\Delta T/T^*| \ll 1$  umožní z výrazu (16) odstranit mocniny

$$g_d \approx \frac{k(1-n)}{\mu R T^{*(1-n)} d} \frac{2 \frac{\Delta T}{T^*} \left[ \left( 1 - \frac{\Delta T}{T^*} \right) p_1 - \left( 1 + \frac{\Delta T}{T^*} \right) p_2 \right]}{\left[ 1 + (1-n) \frac{\Delta T}{T^*} \right] - \left[ 1 - (1-n) \frac{\Delta T}{T^*} \right]}. \quad (17)$$

Dalšími algebraickými úpravami dostaneme

$$g_d \approx \frac{k T^{*n}}{\mu R T^* d} \left[ p_1 - p_2 - \frac{\Delta T}{T^*} (p_1 + p_2) \right], \quad (18)$$

$$g_d \approx \frac{D(T^*)}{R T^* d} \left[ p_1 - p_2 - \frac{\Delta T}{T^*} (p_1 + p_2) \right]. \quad (19)$$

Nyní můžeme vyjádřit difúzní konstantu  $D$  pro teplotu  $T^*$  pomocí neizotermického difúzního toku  $g_d$

$$D(T^*) = \frac{g_d d R T^*}{(p_1 - p_2) - \frac{\Delta T}{T^*} (p_1 + p_2)}. \quad (20)$$

Přechodem k „neizotermnímu“ součiniteli difúzní vodivosti

$\delta^*(T^*) = \frac{D(T^*)}{R T^*}$  získáme

$$\frac{1}{\delta^*} = \frac{p_1 - p_2}{g_d d} - \frac{\Delta T}{T^*} \frac{p_1 + p_2}{g_d d}. \quad (21)$$

Porovnáme-li vztahy (21) a (1), zjistíme, že první člen na pravé straně rovnice (21) představuje převrácenou hodnotu součinitele  $\delta$  ze vztahu (1)

$$\frac{1}{\delta^*} = \frac{1}{\delta} - \frac{\Delta T}{T^*} \frac{1}{\xi}, \quad \xi = \frac{g_d d}{p_1 + p_2}. \quad (22)$$

Dalšími úpravami lze získat

$$\delta^* = \frac{\delta}{1 - \frac{\Delta T}{T^*} \frac{\delta}{\xi}}. \quad (23)$$

Zavedením středního parciálního tlaku

$$p^* = \frac{p_1 + p_2}{2}, \quad p_1 = p^* + \Delta p, \quad p_2 = p^* - \Delta p, \quad \Delta p = \frac{p_1 - p_2}{2}, \quad (24)$$

výraz (23) převedeme na vztah

$$\delta^* = \frac{\delta}{1 - \left( \frac{\Delta T}{T^*} \right) \left( \frac{p^*}{\Delta p} \right)} \text{ platící pro } \left| \frac{\Delta T}{T^*} \right| \ll 1 \text{ a } \frac{\Delta T}{T^*} \frac{p^*}{\Delta p} \neq 1, \quad (25)$$

kteřý uvádí do souvislosti „neizotermický“ součinitel  $\delta^*$  se součinitelem  $\delta$  zavedeným normou [2]. Vidíme, že regulérní součinitel  $\delta^*$  může být jak větší, tak menší než  $\delta$  – podle znaménka součinu relativního tlakového a teplotního spádu

$$\varepsilon = \left( \frac{\Delta T}{T^*} \right) \left( \frac{p^*}{\Delta p} \right), \quad \varepsilon \neq 1. \quad (26)$$

Pro  $0 < \varepsilon < 1$  bude  $\delta^* > \delta$  a pro  $-1 < \varepsilon < 0$  se vztah obrátí  $\delta^* < \delta$ .

Je-li koeficient  $\varepsilon$  dostatečně malý  $|\varepsilon| \ll 1$ , pak z rovnic (25) a (26) vplyne

$$\delta^* = \delta (1 + \varepsilon). \quad (27)$$

Pomocí vztahu (25) můžeme stanovit, jaké chyby  $\Delta$  [%] se dopustíme, zaměníme-li regulérní hodnotu  $\delta^*$  za hodnotu  $\delta$  určenou podle normy [2]

$$\Delta = \left| \frac{\delta^* - \delta}{\delta} \right| \cdot 100 \% = \left| \frac{1}{1 - \frac{\Delta T}{T^*} \frac{p^*}{\Delta p}} - 1 \right| \cdot 100 \% = \left| \frac{1}{1 - \varepsilon} - 1 \right| \cdot 100 \%. \quad (28)$$

Tabulka 1 uvádí některé hodnoty  $\varepsilon$  a  $\Delta$  vyskytující se v praxi. Z uvedených příkladů je zřejmé, že chyba vzniklá použitím přibližné difúzní vodivosti  $\delta$  stanovené podle normy [2] místo přesnější vodivosti  $\delta^*$  může být v některých případech i citelná.

Tab. 1. Spádové koeficienty  $\varepsilon$  a relativní chyba  $\Delta$  pro různé okrajové podmínky:  $p_1 = 40 \% RH$ ,  $T_1 = 293 K$ ,  $p_1 = 934,8 Pa$ ,  $p_2 = 60 \%$

$T_2$ [K]	$p_2$ [Pa]	$\varepsilon$	$\Delta$ [%]
258 (-15 °C)	99	0,0786	8,5
263 (-10 °C)	156	0,0756	8,2
278 (5 °C)	523,2	0,0930	10,3
283 (10 °C)	736,8	0,1466	17,2
288 (15 °C)	1 022,4	-0,1923	16,1
291 (18 °C)	1 237,8	-0,0246	2,4

### 3. Závěr

Koncepce difúzní vodivosti  $\delta$  pro neizotermický případ je vlastně zavádějící, neboť její „formální“ definice

$$\delta = \frac{D(T)}{R T} \quad (29)$$

nemůže být včleněna do přesného vyjádření neizotermického difúzního toku (14) pro rozdílnost teplot  $T_1$ ,  $T_2$  v kon-

centračních potenciálech  $c_1 \approx p_1/T_1$  a  $c_2 \approx p_2/T_2$ . Koncepce difúzní vodivosti (29) má tedy smysl jen v izotermickém případě, kdy v koncentracích  $c_1, c_2$  figuruje jednotná teplota  $T$ . V našem neizotermickém případě bylo možné zavést difúzní vodivost  $\delta^* = D(T^*) / RT^*$  jen díky použití střední teploty  $T^*$ , která „převádí“ problém na izotermický, charakterizovaný jedinou teplotou vzorku (stěny), a díky speciálnímu tvaru teplotní závislosti  $D(T^*)$ , ale hlavně díky předpokladu malého relativního teplotního spádu  $|\Delta T/T^*| \ll 1$ . V obecném, neizotermickém případě by využití formální definice (29) nebylo možné a bylo by třeba pracovat pouze s teplotně závislou difúzní konstantou  $D(T)$ .

Pokud by však z nějakého důvodu bylo třeba i v neizotermním případě použít místo difúzní konstanty  $D(T)$  difúzní vodivost  $\delta(T)$ , pak jediné za takových neizotermických podmínek, které se blíží izotermickým, tj.  $|\Delta T/T^*| \ll 1$ , což je obvykle splněno u běžných staveb středoevropské klimatické oblasti, kdy i příslušná „neizotermická“ vodivost  $\delta^*(T)$  je hodnotově blízká vodivosti  $\delta(T)$  určené normou [2]

$$\lim_{\Delta T/T^* \rightarrow 0} \delta^* = \lim_{\Delta T/T^* \rightarrow 0} \frac{\delta}{1 - \left(\frac{\Delta T}{T^*}\right) \left(\frac{p_1}{\Delta p}\right)} = \delta \quad (30)$$

V takovém případě by však bylo nutné pro stanovení  $\delta^*$  použít místo vztahu (1) přesnější vztah (21), který lze pro jednodušší použití převést do podoby

$$\delta^* = \frac{g_d \cdot d}{(p_1 - p_2) - \frac{T_1 - T_2}{T_1 + T_2} (p_1 + p_2)}, \quad T_1 \approx T_2, \quad (31)$$

kde  $g_d$  je **neizotermická** hustota difúzního toku vodní páry pórovitým vzorkem (stěnou) tloušťky  $d$  s rozdílnými povrchovými teplotami  $T_1, T_2$  a parciálními tlaky vodní páry  $p_1, p_2$ .

Při výpočtech  $\delta^*$  podle (31) je třeba rozlišit znaménkem u  $g_d$  směr difúzního toku, a to podle aktuálního **koncentračního** spádu.

#### Literatura

- [1] ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov. ČSN, 1994.
- [2] ČSN 72 7032 Měření difúze vodních par stavebních materiálů a konstrukcí při teplotním spádu. ČSN, 1984.
- [3] Schirmer, R.: Diffusionszahl von Wasserdampf-Luftgemischen und die Verdampfungsgeschwindigkeit, Z.VDI-Beil., Verfahrenstechnik H.6 (1938), pp. 170 – 177.
- [4] Krischer, O.: Grundgesetze der Feuchtigkeitsbewegung in Trockengütern. Kapillarwasserbewegung und Dampfdiffusion, Z.VDI-Beil., Verfahrenstechnik 82 (1938), pp. 373 – 380.

#### Ficker, T. – Podešvová, Z.: Non-Isothermal Diffusion of Water Vapours Through Porous Materials

This paper discusses non-isothermal diffusion of water vapour through porous construction materials. It compares isothermal and non-isothermal coefficients of diffusion conductivity and estimates the error resulting from their confusion.

#### Ficker, T. – Podešvová, Z.: Nichtisothermische Diffusion von Wasserdämpfen durch poröse Materialien

Im Beitrag wird die nichtisothermische Diffusion von Wasserdampf durch poröse Baustoffe diskutiert. Es werden isotherme und „nichtisotherme“ Diffusionsleitkoeffizienten verglichen und der aus ihrem Austausch erwachsende Fehler verglichen.



### Katedra geotechniky Fakulty stavební ČVUT v Praze

si dovoluje oznámit,  
že otevírá již III. běh speciálního kurzu

## GEOTECHNICKÉ INŽENÝRSTVÍ

Výuka v dvousemestrovém studiu formou dvoudenních soustředění (čtvrtek, pátek) bude probíhat jedenkrát za měsíc. Přijetí ke studiu bude potvrzeno na základě přihlášky. Kurz bude otevřen při minimálním počtu patnácti zájemců dne 28.3.2002. Náklady na studium hradí zájemci z vlastních zdrojů. Účastnický poplatek, stanovený podle počtu účastníků, by neměl přesáhnout 13 500 Kč (pro členy ČKAIT sleva 20 %).

Cílem výuky je prohloubení geotechnických znalostí stavebních inženýrů, seznámení s nejnovějšími poznatky a informacemi z oboru. Kurz bude ukončen vypracováním případové studie. Účastníci získají osvědčení o absolvování studia.

**Podrobnější informace: Katedra geotechniky Fakulty stavební ČVUT, Thákurova 7, 166 29 Praha 6,  
tel.: 02/24354557 sekretariát pí. Picková, fax: 02/3333206, tel.: 02/24354542 doc. Jettmar,  
02/24354353 ing. Reiser, e-mail: jettmar@fsv.cvut.cz, reiser@mat.fsv.cvut.cz**

# Dynamické účinky zvonů při zvonění

Ing. Jaroslav SOLAŘ, PhD.  
Fakulta stavební  
VŠB TU – Ostrava

Při rozhoupávání zvonů dochází ke vzniku poměrně velkých dynamických účinků, projevujících se zvýšenými hodnotami svislých a vodorovných sil v závěsech zvonů, jež se v průběhu zvonění mění v závislosti na jejich poloze. Tyto síly musí být spolehlivě přeneseny jak zvonovou stolicí (dřevěnou nebo ocelovou), tak zvonovým patrem a zdívkou věže. Navíc frekvence kývání zvonů musí být odlišná od vlastní frekvence věže. Příspěvek pojednává o způsobu stanovení svislých a vodorovných sil v závěsech zvonů a o problematice stanovení vlastní frekvence věže.

## 1. Úvod

Zavěšené zvony, pokud jsou v klidu, vyvozují pouze svislé statické zatížení od vlastní hmotnosti. Při zvonění, kdy dochází k jejich pohybu, vzniká také velké dynamické zatížení. V České republice a ve většině evropských zemí se zvoní rozhoupáváním zvonu, který je zavěšen srdcem dolů na hřídeli s čepy. Zvon je pak rozhoupáván buď ručně, nebo elektromotorem. Při ručním zvonění je ke hřídeli připevněna krátká páka s provazem. Taháním za provaz se zvon rozhoupává. Zvoník stojí ve zvonovém patře, zvony menší hmotnosti je možné rozhoupávat i ze země. Strojní pohyb je vyvozován elektromotorem a na zvon přenášen převody (např. ozubenými koly a řetězem).

Jsou známy ojedinělé případy, kde jsou zvony upevněny srdcem vzhůru. V České republice je to na zvonících v Kouřimi (okres Kolín) a v Rovensku pod Troskami (okres Semily). Zvon je osazen rovněž na hřídeli s čepy. Ke hřídeli je připevněna páka. Zvoní se pak šlapáním na páku. To je zásadní rozdíl například od Ruska či středomořské oblasti, kde při zvonění zvon zůstává v klidu, provazem se rozhoupává jeho srdce a zvuk je vyvoláván jeho úderem o stěnu zvonu. Ještě odlišnější je zvonění na Dálném východě, kde zvony srdce nemají, a zvoní se úderem trámů na zvon zvenčí.

Dynamické účinky zvonů mohou být příčinou vzniku trhlin ve zdivu věží kostelů a zvoníc, jestliže:

- zvonová stolička (dřevěná, ocelová) je na zdivu věže uložena nevhodným způsobem, čímž dochází k přímému přenášení dynamických účinků do zdiva, není-li konstrukce věže na tyto účinky dostatečně dimenzována;
- frekvence kyvu zvonu je shodná s vlastními frekvencemi věže.

## 2. Výpočet dynamických účinků zvonů

Z fyzikálního hlediska lze chápat zvon jako dvojitě fyzikální kyvadlo. Velikost dynamických účinků při zvonění narůstá s hmotností  $m$  [kg] zvonu, se vzdáleností jeho těžiště od osy otáčení  $r$  [m] a velikostí úhlu maximálního rozkvy (výchylky)  $\varphi_0$  [°]; klesá pak se zvětšující se dobou kyvu  $T_0$  [s]. Doba kyvu zvonu je dána rozložením hmoty kolem těžiště, které je vyjádřeno vztahem (3).

Dynamické účinky se projevují zvětšením svislých a vodorovných sil v závěsu zvonu  $H$  [kN] a  $V$  [kN], které se v průběhu zvonění mění v závislosti na velikosti úhlu okamžité výchylky zvonu  $\varphi$  [°]. Tyto účinky je možné vypočítat např. podle [1].

Pro svislou složku reakce v závěsu  $V$  platí vztah

$$V = \frac{m \cdot g}{1 + \kappa^2} \cdot (\kappa^2 + 3 \cos^2 \varphi - 2 \cos \varphi \sin \varphi_0), \text{ [kW]} \quad (1)$$

pro vodorovnou složku reakce v závěsu  $H$  platí vztah

$$H = \frac{m \cdot g}{1 + \kappa^2} \cdot \left( 2 \frac{\cos \varphi_0}{\cos \varphi} - 3 \right) \cos \varphi \sin \varphi, \text{ [kW]} \quad (2)$$

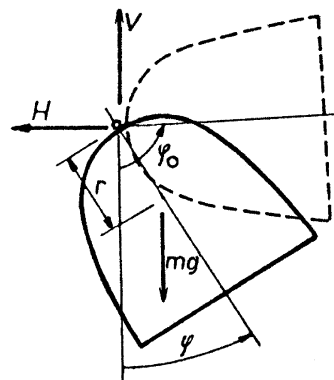
kde pro součinitel  $\kappa$ , který vyjadřuje rozložení hmoty kolem těžiště zvonu, platí vztahy

$$\kappa = \frac{i_s}{r}, \text{ [-]} \quad (3)$$

$$\kappa = \sqrt{\left( \frac{T_0^2}{r} \cdot \frac{g}{4\pi^2} - 1 \right)} \cdot \text{[-]} \quad (4)$$

Jednotlivé veličiny ve vztazích (1) až (4) značí:

- $m$  je hmotnost zvonu [kg],
- $r$  – vzdálenost těžiště zvonu od osy otáčení (excentricita zavěšení zvonu) [m],
- $\varphi_0$  – maximální rozkvy (výchylka) zvonu [°],
- $\varphi$  – okamžitá výchylka zvonu [°],
- $T_0$  – doba kyvu zvonu [s],
- $g$  – tíhové zrychlení (9,81 m.s<sup>-2</sup>) [m.s<sup>-2</sup>],
- $i_s$  – poloměr setrvačnosti zvonu [m].



Obr. 1. Schéma zatížení pohybem zvonu při zvonění

Vzhledem k tomu, že poloměr setrvačnosti zvonu  $i_s$  nelze od výrobců zvonů získat, je použití vztahu (3) pro praktické výpočty nereálné. Z tohoto důvodu určíme součinitel  $\kappa$  na základě vztahu (4) – z doby malých kyvů  $T_0$  a ze vzdálenosti těžiště zvonu od osy otáčení  $r$  (excentricity zavěšení). Dobu malých kyvů zvonu  $T_0$  můžeme při těchto výpočtech považovat za dobu kyvu zvonu i při vyšších hodnotách okamžité výchylky zvonu  $\varphi$ . To proto, že při zvonění jde o vynucené, netlumené kmitání a vlastní doba kyvu nabývá malých hodnot (řádově okolo 2 s).

Maximální rozkvy (výchylka) zvonu  $\varphi_0$  se určí podle [2], kde jsou tyto hodnoty tabelovány v závislosti na hmotnosti zvonu (tab. 1). Údaje je možné použít pro ruční i motorové

zvonění. Autor [2] zároveň uvádí, že při motorovém zvonění není obecně dosahováno výchylek větších než 60 až 70° u zvonů lehkých a 50° u zvonů těžších než 2 000 kg. Tedy hodnot o něco nižších, než jsou uvedeny v tab. 1. Upozorňuje však na skutečnost, že elektrické zvonící zařízení může být z různých důvodů mimo provoz, a proto je nutné při výpočtu vždy uvažovat zvonění ruční. U zvonů již ve zvonici zavěšených je možné je změřit na místě samém.

Tab. 1. Maximální rozkvyv (výchylka) zvonu v závislosti na jeho hmotnosti

Hmotnost zvonu $m$ [kg]	Maximální rozkvyv zvonu $\varphi_0$ [°]
do 100	170
100 – 200	110
200 – 300	100
300 – 400	90
400 – 800	80
800 – 2 000	70
2 000 – 4 000	60
nad 4 000	50

Doba kyvu zvonu  $T_0$  se určí jako minimální hodnota tak, aby hodnota součinitele  $\kappa$  vycházela také minimální, ale v oboru reálných čísel – po dosažení její číselné hodnoty do vztahu (4) by nemělo vyjít pod odmocninou záporné číslo. Tento způsob je na straně bezpečnosti, neboť i desetiny sekund zde mohou představovat značné rozdíly v hodnotách svislé a vodorovné reakce. Zvláště u elektromotorového zvonění dochází často ke zkracování doby kyvu zvonu proti zvonění ručnímu – často je možné pozorovat, jak motor zvony jakoby „strhává“. U zvonů již zavěšených je možné dobu kyvu rovněž změřit na místě samém.

Maximální hodnoty zvislé složky reakce v závěsu  $V$  je dosaženo vždy při okamžité výchylce zvonu  $\varphi = 0^\circ$ , tedy dvakrát během jedné periody, a to v okamžiku  $0,25 T_0$  a  $0,75 T_0$ . Její frekvence je dána kýváním zvonu, tedy dobou jeho kyvu. Platí vztah

$$f = \frac{1}{0,5T_0} \text{ [Hz]} \quad (5)$$

Dosadíme-li do vzorce (1) hodnotu  $\cos \varphi = \cos 0^\circ = 1$ , pak dostaneme pro maximální hodnotu svislé složky reakce v závěsu vztah

$$V = \frac{m \cdot g}{1 + \kappa^2} \cdot (\kappa^2 + 3 - 2\cos\varphi_0) \text{ [kW]} \quad (6)$$

Při maximálním rozkvyvu (výchylce) zvonu  $\varphi_0 = \pi$  (kdy  $\cos \pi = -1$ ) a při okamžité výchylce zvonu  $-\varphi = 0^\circ$  ( $\cos \varphi = \cos 0^\circ = 1$ ), dosadíme-li uvedené hodnoty do vztahu (1), má pak vztah pro maximální hodnotu svislé složky reakce v závěsu tvar

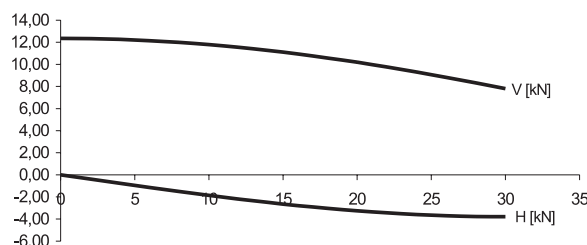
$$V = m \cdot g \cdot \frac{5 + \kappa^2}{1 + \kappa^2} \cong 5 m \cdot g \text{ [kW]} \quad (7)$$

V praxi při zvonění však nikdy k maximálnímu rozkvyvu (výchylce)  $\varphi_0 = \pi$  nedochází.

Pro maximální hodnotu vodorovné složky reakce v závěsu  $H$  pak platí:

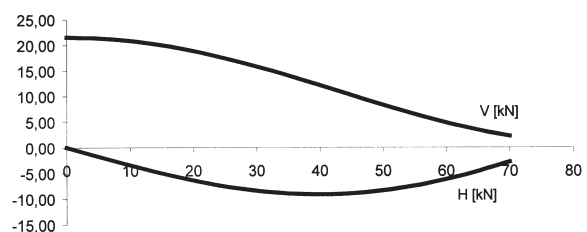
1. při menší  $\varphi_0$ , přibližně v rozmezí  $\varphi_0 \in (0; 31,5^\circ)$ , je dosaženo maximální hodnoty  $H$  právě v okamžiku maximálního rozkvyvu (výchylky) zvonu  $\varphi_0$ , tedy dvakrát během jedné periody (příklad 1);

**Příklad 1:**  $m = 1\,000$  kg,  $\varphi_0 = 30^\circ$ ,  $T_0 = 1,5$  s,  $r = 0,5$  m



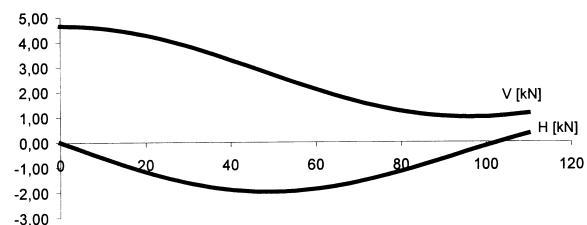
2. při větších hodnotách, např.  $\varphi_0 \in (31,5^\circ; 90^\circ)$ , je maximální  $H$  dosaženo při okamžité výchylce zvonu  $\varphi < \varphi_0$ , rovněž dvakrát během jedné periody. Konkrétní hodnota okamžité výchylky  $\varphi$ , při které  $H$  nabývá maximální hodnoty, se různí v závislosti na velikosti maximálního rozkvyvu zvonu  $\varphi_0$  (příklad 2);

**Příklad 2:**  $m = 1\,000$  kg,  $\varphi_0 = 70^\circ$ ,  $T_0 = 1,5$  s,  $r = 0,5$  m

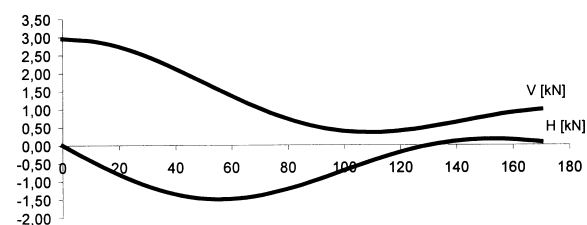


3. je-li  $\varphi_0 > 90^\circ$ , pak se zde vyskytují hodnoty  $H$  s opačným znaménkem, ale jsou však vždy nižší než hodnoty extrémní. Svislá složka reakce v závěsu  $V$  není již pouze klesající jako v případech 1 a 2, ale při vyšších hodnotách okamžité výchylky  $\varphi$  začíná opět mírně stoupat. Nikdy však nedosáhne maximální hodnoty, která je vždy při  $\varphi = 0$  (příklady 3, 4, 5);

**Příklad 3:**  $m = 200$  kg,  $\varphi_0 = 110^\circ$ ,  $T_0 = 2$  s,  $r = 0,5$  m



**Příklad 4:**  $m = 100$  kg,  $\varphi_0 = 170^\circ$ ,  $T_0 = 2$  s,  $r = 0,5$  m

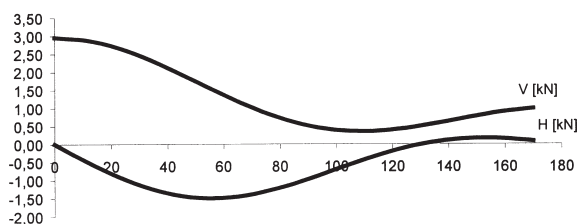


4. při maximálním rozkyvu (výchylce) zvonu  $\varphi_0 = \pi$  je maximální hodnota vodorovné složky reakce v závěsu  $H$  při okamžité výchylce  $\varphi = 56^\circ$  (příklad 5) a má velikost

$$H = 3 \frac{m \cdot g}{1 + \kappa^2} \cong 3m \cdot g \cdot [\text{kW}] \quad (8)$$

Při výpočtech je nutné respektovat hodnoty maximálního rozkyvu (výchylky) zvonu podle tab. 1. Předpoklad uvedený v bodě 1 platí pouze na začátku a na konci zvonění, při rozeznívání a doznívání zvonu. Předpoklad uvedený v bodě 4 platí pouze teoreticky. Jak již bylo uvedeno v souvislosti ze vztahem (7), při zvonění k maximálnímu rozkyvu (výchylce) zvonu  $\varphi_0 = \pi$  nikdy nedochází.

**Příklad 5:**  $m = 100 \text{ kg}$ ,  $\varphi_0 = 180^\circ$ ,  $T_0 = 2 \text{ s}$ ,  $r = 0,5 \text{ m}$

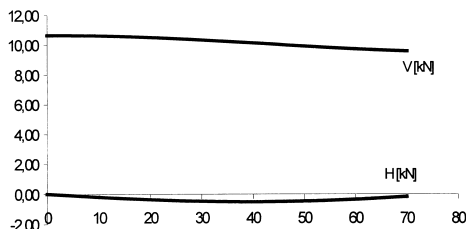


Při maximální vodorovné složce reakce v závěsu  $H$  není nikdy svislá složka reakce v závěsu  $V$  nulová. Dokonce nenabývá ani minimálních hodnot, s výjimkou okamžiku při rozhoupávání a doznívání zvonu (příklad 1), kdy  $\varphi_0 \in (0; 31,5^\circ)$ . Avšak i v tomto případě, kdy  $V$  je minimální, nabývá vždy ještě poměrně vysokých hodnot. Tyto skutečnosti působí příznivě:

- při posuzování smykové únosnosti zdiva věže, neboť síla  $V$ , která se přenáší přes zvonovou stolici a zvonové patro do zdiva, má pozitivní vliv na jeho smykovou únosnost, jež je potřebná pro zachycení vodorovné síly  $H$ ;
- při přenosu vodorovné síly  $H$  ze zvonové stolice do konstrukce zvonového patra a do zdiva zvyšuje odpor v tření mezi příslušnými prvky zvonové stolice a zvonového patra, resp. zvonového patra a zdiva.

Pokud jde o dobu kyvu  $T_0$ , při vyšších hodnotách (řádově několik sekund) se již dynamické účinky přibližují účinkům statickým (příklad 6). Toto však platí pouze teoreticky, v praxi jsou doby kyvu krátké.

**Příklad 6:**  $m = 1\,000 \text{ kg}$ ,  $\varphi_0 = 70^\circ$ ,  $T_0 = 8 \text{ s}$ ,  $r = 0,8 \text{ m}$



Při posuzování dynamických účinků více zvonů je třeba přihlížet ke vzájemné kombinaci jejich dynamických účinků, které mohou vzniknout při různých polohách jednotlivých zvonů.

### 3. Výpočet vlastní frekvence věže

Věž, ve které je zvon situován, můžeme chápat jako konzolu stálého průřezu (prizmatickou) o délce  $l$  (obr. 2, obr. 3). Konzolu uvažujeme s tuhým vetknutím v dolní části. V úvahu přichází pouze určení první vlastní frekvence. Hodnotu

vlastní frekvence věže  $f_0$  je možné určit podle vztahu [1]

$$f_0 = 0,5596 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{\mu \cdot l^4}}, \quad (9)$$

kde  $\mu$  je vlastní hmotnost úseku věže o délce 1 m [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$ ],  
 $l$  – výška věže [m],

$E$  – modul přetvárnosti zdiva věže [MPa],

$J$  – moment setrvačnosti průřezu věže ve směru kývání zvonu [ $\text{m}^4$ ].

Musí být splněna podmínka

$$f_0 \neq f, \quad (10)$$

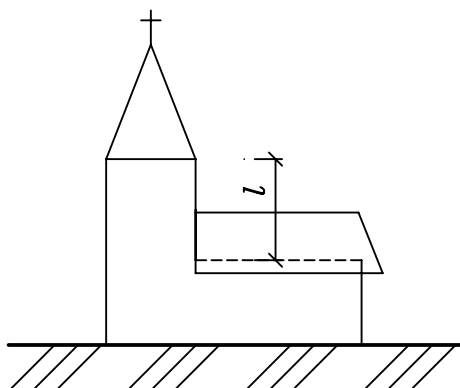
kde  $f$  je frekvence kývání zvonu [Hz], pro kterou platí vztah

$$f = \frac{1}{T_0}, \quad (11)$$

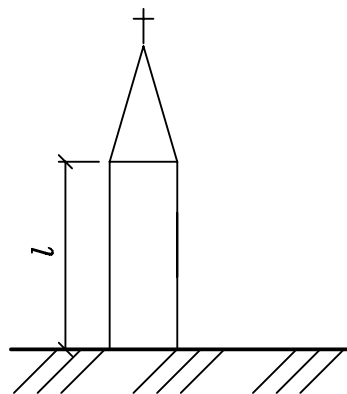
kde  $T_0$  je doba kyvu zvonu [s].

Vzhledem ke skutečnostem, které jsou uvedeny níže, je vhodné, aby byla splněna nerovnost

$$0,75 \geq \frac{f}{f_0} \geq 1,25 \cdot \quad (12)$$



Obr. 2. Výška věže, pokud je součástí kostela



Obr. 3. Výška samostatně stojící věže

Velikost vlastní frekvence věže však ovlivňuje řada dalších okrajových podmínek, např.:

- nehomogenita zdiva a omítek,
- okenní otvory a niky ve zdivu věže,
- konstrukce schodiškových ramen a podest,
- pozední věnce,
- konstrukce zastřešení na konci konzoly.



Z toho vyplývá, že vypočítaná hmotnost věže, její ohybová tuhost a na základě toho provedený výpočet vlastní frekvence je pouze přibližný. Proto je vhodné vypočítanou frekvenci vlastního kmitání ověřit měření na místě. Věže jsou navíc dynamicky namáhány zatížením od větru, popř. od okolní dopravy.

#### Literatura

- [1] Pirner, M. a kol.: Dynamika stavebních konstrukcí. Praha, SNTL 1989.  
 [2] Kányo, J.: Glockentürme. Entwurf. Konstruktion. Berechnung. Wiesbaden und Berlin, Bauverlag GMBH 1968.

#### Solař, J.: Dynamic Effects of Bell Ringing

Setting bells swinging produces relatively large dynamic effects which increase vertical and horizontal forces in suspensions of the bells. The forces change during ringing depending on the position of the bells. These forces must be reliably transferred by both the bell stand (either wooden or steel), the bell level and the masonry of the tower. In addition, frequency of bells swinging must be different from the natural frequency of the tower. This paper presents a method of determining the vertical and horizontal forces in the suspensions of bells and deals with determination of the natural frequency of the tower.

#### Solař, J.: Dynamische Wirkungen von Glocken beim Läuten

Beim Läuten von Glocken kommt es bei deren Ausschwingen zur Entstehung relativ großer dynamischer Wirkungen, die sich vor allem in der Vergrößerung der vertikalen und horizontalen Kräfte in den Aufhängungen der Glocken bemerkbar machen, die sich in Abhängigkeit von der augenblicklichen Position der Glocken ändern. Diese Kräfte müssen sowohl durch den (hölzernen oder stählernen) Glockenstuhl als auch durch das Glockengeschoss und das Mauerwerk des Turms übertragen werden. Darüber hinaus muss sich die Pendelfrequenz der Glocken von der Eigenfrequenz des Turms unterscheiden. Der Artikel behandelt die Art und Weise der Bestimmung der vertikalen und horizontalen Kräfte in den Aufhängungen der Glocken und die Problematik der Ermittlung der Eigenfrequenz des Glockenturms.

## • dizertace



### Nelineární analýza nosných konstrukcí výškových budov

Ing. Jaroslav Langer

V práci se řeší prostorový nelineární výpočet betonového výztužného jádra vysoké budovy, přičemž se za rozhodující považuje chování v mezním stavu použitelnosti. Sledují se vlivy teploty, dotvarování a smršťování betonu a navrhuji opatření k eliminaci poklesů v důsledku zkrácení sloupů a k udržení rovinnosti stropních konstrukcí.

4. ročník  
 veřejné anonymní architektonické  
 soutěže pro architekty, projektanty a studenty

### O nejlepší rodinný dům s prostory pro drobné podnikání z cihlového systému POROTHERM 2002

vyhlašuje



**WIENERBERGER**

Cihlářský průmysl, a.s.,

pod záštitou  
 Ministerstva pro místní rozvoj ČR  
 a

ve spolupráci se Státním fondem rozvoje bydlení,  
 Českou energetickou agenturou, Českou komorou  
 architektů, Českou komorou autorizovaných  
 inženýrů a techniků, Českým svazem stavebních  
 inženýrů, Fakultou stavební ČVUT, Ministerstvem  
 průmyslu a obchodu ČR a Obcí architektů

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

2. ročník konference  
 s výstavou a exkurzí

## OBNOVA PAMÁTEK 2002

**Střechy historických budov a půdní  
 vestavby v památkových územích**

26. března 2002

Kongresový sál – Masarykova kolej  
 Thákurova 1, Praha 6

Informace: STUDIO AXIS, spol. s r.o., Korunní 106,  
 101 00 Praha 10, tel./fax: (02) 7173 2095, tel.: (02) 6731  
 2680 l. 49, e-mail: stdaxis@attglobal.net

# Návrh zrnitých směsí metodou flexibilního simplexu

doc. Ing. Luboš SVOBODA, CSc.  
 ČVUT – Fakulta stavební  
 Praha

Zrnité směsi s granulometrickou čárou blízkou vzorovému plnivu je možné úspěšně navrhovat metodou flexibilního simplexu.

## 1. Granulární kompozity

Značnou část moderních stavebních materiálů tvoří konjugované kompozitní systémy, ve kterých jsou makroskopická zrna pevného plniva spojována v kompaktní hmotu postupně vytvrzovaným pojivem. Typickými granulárními kompozity jsou materiály s cementovým pojivem, ke kterým patří omítkové a zdící malty, polymercementové tmely, cementopískové potěry, a samozřejmě i beton. Zrnité plnivo (kamenivo) je v těchto materiálech obvykle hmotnostně nejvýznamnější složkou. Velikost zrn ovlivňuje jeho spotřebu k přípravě kvalitního kompozitu, má význam pro zpracovatelnost nevytvrzené kompozitní směsi a do značné míry rozhoduje o vzhledu (textuře) vytvrzeného materiálu.

## 2. Hodnocení zrnitosti

Zrnitost sypkých materiálů se tradičně zjišťuje prosévací zkouškou normalizovanými síty s různou velikostí ok. U kameniva jde o základní materiálovou zkoušku, jejíž současnou podobu v tuzemské stavební praxi určuje norma [1]. Výsledkem je soubor údajů propadu zkoumaného vzorku na jednotlivých sítích zkušební sady. Běžná sada je složena z dvanácti sítí a výsledek rozboru není v tabelární podobě dostatečně přehledný. Proto se obvykle prezentuje ve formě spojnicového grafu (čára zrnitosti). K rychlému posouzení výsledku síťového rozboru kameniva se kromě toho používají souhrnné číselné charakteristiky, jako je celkový specifický povrch, Abramsův modul jemnosti, Rothfuchsův součet propadů nebo Hummelův index. Vypovídací schopnost těchto jednočíselných charakteristik je však menší než vypovídací schopnost čáry zrnitosti [2].

## 3. Ideální zrnitost

Zrna kameniva mají být kulová nebo krychlová s co nejvíce stejnými rozměry (s tvarovým indexem blízkým 1) ve směru tří na sebe kolmých os. Taková zrna dávají nejmenší měrný povrch, který do značné míry rozhoduje o spotřebě pojiva. Současně má výsledná směs plniva vykazovat co nejmenší mezery. Toho lze dosáhnout vhodným poměrem mezi zrny drobného a hrubého plniva.

Vzhledem k minimálnímu prostoru mezi zrny kompozitu se např. často požaduje, aby plnivo vykazovalo plynulou čáru zrnitosti vyhovující mocninové rovnici, která udává, jakou hodnotu má mít celkový propad  $P$  částic menších než  $d$  vzhledem k velikosti  $D$  největších částic přítomných v granulárním systému tvořeném přibližně kulovými částicemi, má-li být jeho mezerovitost minimální. Tedy

$$P = (d/D)^q \cdot 100,$$

kde  $P$  je vyjádřeno v objemových procentech a exponent  $q$  je charakteristika rozdělení, která může obecně nabývat různých hodnot.

Pomocí počítačové simulace bylo dokázáno [3], že nejtěsnější uspořádání je možné u systémů s  $q$  nejvýše 0,37, avšak příliš těsně uspořádané systémy nemají dobrou zpracovatelnost. V betonářské praxi se za plynulou čáru zrnitosti s uspokojivou zpracovatelností považuje tradičně Fullerova křivka, ve které  $q = 0,5$ .

Původní důraz na průběh čáry zrnitosti používaných plniv dnes poněkud oslábl. Je totiž zřejmé, že neexistuje univerzální ideální zrnitost, a obecné teoretické úvahy o podobě ideální čáry zrnitosti proto mají jen omezený význam. Spíše než se striktně předešlou ideální zrnitostí se můžeme setkat se vzorovým vymezením průběhu čáry zrnitosti v rámci určitého pásma [4].

Volba vhodné zrnitosti plniva a příprava suroviny požadované zrnitosti však stále patří k častým úkolům při formulaci maltových nebo betonových kompozitů. Pokud nemá způsobovat změny ve vlastnostech kompozitu, je třeba jednou vybranou čáru zrnitosti (nebo alespoň souhrnnou granulometrickou charakteristiku) nadále dodržovat.

## 4. Optimalizace granulometrického složení

K dispozici je vždy omezené množství surovin, zpravidla kolísavého granulometrického složení, z nichž je možné připravit pouze směs, která se žádanou zrnitostí více či méně přibližuje. Optimalizací granulometrického složení proto budeme dále rozumět nalezení takového směsného plniva, jehož výsledná zrnitost se podobá zrnitosti předem zvoleného (ideálního) plniva v maximální možné míře. Pokud je zrnitost vymezena pásmem, má optimalizované granulometrické složení směsné plnivo, jehož zrnitost se maximálně blíží čáře zrnitosti vedené středem pásma, a zároveň v žádném bodě nepřekračuje jeho hranice. Je-li k dispozici jako surovina množina  $M$  různých látek, jejichž zrnitost byla stanovena na  $N$  normových sítích, přičemž propad nalezený na kontrolním síti  $K$  pro látku  $L$  je  $P(K, L)$  a odpovídající vzorový propad ideálního plniva na stejném kontrolním síti  $K$  je  $V(K)$ , pak platí

$$V(1) - [P(1,1) \cdot X(1) + P(1,2) \cdot X(2) + \dots + P(1,M) \cdot X(M)] = R(1),$$

$$V(2) - [P(2,1) \cdot X(1) + P(2,2) \cdot X(2) + \dots + P(2,M) \cdot X(M)] = R(2),$$

$$V(3) - [P(3,1) \cdot X(1) + P(3,2) \cdot X(2) + \dots + P(3,M) \cdot X(M)] = R(3),$$

$$V(N) - [P(N,1) \cdot X(1) + P(N,2) \cdot X(2) + \dots + P(N,M) \cdot X(M)] = R(N),$$

kde  $X\{L\}$  je hmotnostní zlomek odpovídající zastoupení látky  $L$  v celkové hmotnosti směsi a  $R(K)$  je rozdíl mezi vzorovým celkovým propadem a skutečně dosahovaným propadem celé směsi na kontrolním síti  $K$ .

Jako nejjednodušší optimalizační postup při přípravě směsného plniva se pak jeví minimalizace součtu druhých mocnin rozdílů  $R(K)$ . Obvykle platí, že  $M < N$ , a příslušné minimum je pak možné najít pomocí derivační metody.

Algoritmus vycházející z těchto skutečností publikoval Krell [5], který matici, získanou derivací rovnic popisujících hmotnostní bilanci propadů na jednotlivých kontrolních sítích, řešil pomocí Gaussovy eliminační metody. Vyčíslení vzniklé soustavy lineárních rovnic však může v některých

případech obsahovat fyzikálně nesmyslné navážky o záporné hmotnosti. Výpočetní postup proto Krell doplnil o zpětnovazební filtr odstraňující složky se zápornou navážkou ze souboru výchozích surovin. Řešení funguje uspokojivě v těch případech, kdy dostupné suroviny umožňují opravdu dobrou aproximaci vzorové čáry. Při použití méně vhodných surovin však algoritmus selhává. Je vyloučeno příliš mnoho surovin a využitelnost takto získaných výsledků v praxi je malá. Pokud je optimální řešení vymezeno pásmem, problémy s předčasným vyloučením surovin se ještě prohlubují.

Vzhledem k těmto skutečnostem se jevílo jako účelné vyzkoušet pro optimalizaci granulometrického složení jednodušší postup. Výpočetní síla osobních počítačů v posledních letech výrazně vzrostla, což dává širší prostor pro uplatnění optimalizačních metod založených na přímém hledání.

### 5. Metoda flexibilního simplexu

Metoda flexibilního simplexu patří k osvědčeným metodám výběru bodů pro přímé hledání extrému obecné funkce. Dočkala se i monografického zpracování [6], a zejména při optimalizaci analytických postupů a při řešení dalších chemometrických problémů se úspěšně používá již řadu let [7]. O jejím využití k optimalizaci granulometrického složení zatím referoval autor pouze v [8].

Podstatou metody je porovnávání hodnot zkoumané funkce ve vybraných bodech a následný výběr (algoritmicky jednoznačně určený) dalších perspektivních bodů. Cílové body funkce s  $m$  proměnnými jsou hledány na základě jejích hodnot v  $(m+1)$ -prvkovém souboru, který vytváří v  $m$ -rozměrném matematickém prostoru vrcholy ( $B_0$  až  $B_m$ ) virtuálního polyedru (simplexu). Pro úspěšnou optimalizaci má značný význam správná volba výchozích bodů. V literatuře jsou doporučovány různé postupy pro tvorbu počátečního simplexu [9], [10].

Pro optimalizaci granulometrického složení  $m$ -složkové směsi byl jako výchozí  $(m+1)$ -prvkový soubor zvolen rohový simplex  $R(B_0, B_1, B_2, \dots, B_m)$  podle vlastního návrhu. Počáteční simplex byl vytvořen s využitím výchozího bodu  $B_0$  (daného stejným výchozím množstvím surovin) takto:

$$x_i = 1 / m,$$

$$\begin{aligned} B_0 &= (x_1, x_2, x_3, \dots, x_m), \\ B_1 &= (100 \cdot 2^{0.5} \cdot x_1, x_2, x_3, \dots, x_m), \\ B_2 &= (x_1, 100 \cdot 2^{0.5} \cdot x_2, x_3, \dots, x_m), \\ B_3 &= (x_1, x_2, 100 \cdot 2^{0.5} \cdot x_3, \dots, x_m), \\ &\sim \\ B_m &= (x_1, x_2, x_3, \dots, 100 \cdot 2^{0.5} \cdot x_m). \end{aligned}$$

Další průběh optimalizačního postupu je založen na čtyřech operacích spočívajících v jednoduché lineární transformaci počátečního simplexu.

Po vyhodnocení funkčních hodnot v jednotlivých vrcholech se zruší vrchol  $B_h$  s nejméně příznivou optimalizovanou funkcí a na přímce určené tímto rušeným bodem a těžištěm zbývajících bodů (centroidem) se na opačné straně zřídí nový bod. Absolutní hodnota jeho vzdálenosti od centroidu se od původní vzdálenosti mezi centroidem a rušeným bodem liší jen nepatrně. Tato operace se nazývá odraz (reflexe). Podle její úspěšnosti následuje buď prodloužení (expanze), nebo zkrácení (kontrakce) nově vzniklého vektoru. Koncový bod nejlepšího z takto získaných vektorů společně se zbylými body původního simplexu vytváří další simplex. Je-li to nutné k získání vrcholu s příznivější hodnotou, celý simplex se zmenší (redukce). Opakováním tohoto postupu

se dosáhne toho, že se otáčený, překlápený a pulzující simplex některým ze svých vrcholů přibližuje hledanému bodu. V jeho blízkosti pak dochází častěji ke zmenšení simplexu, a tím k podrobnějšímu vyšetření okolí optima.

Označíme-li bod s nejpříznivější hodnotou  $B_d$ , můžeme jednotlivé optimalizační operace matematicky zapsat:

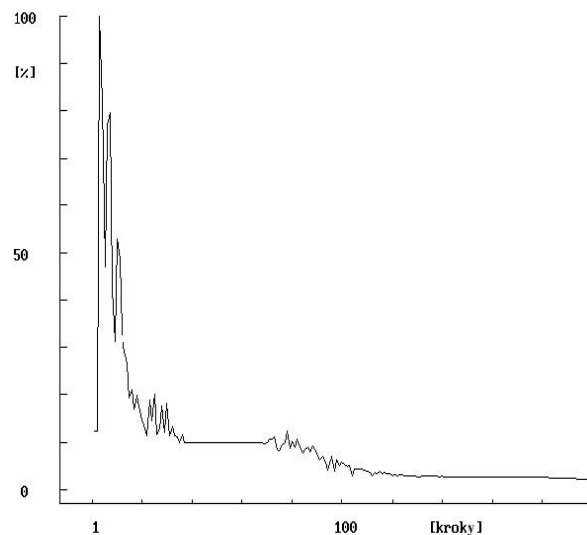
- výpočet centroidu  $C = (1/m) \cdot \sum B_j, (j=0, 1, 2, 3, \dots, m, j \neq h)$ ;
- reflexe  $B_r = (1 + \alpha) \cdot C - \alpha \cdot B_h$ ;
- expanze  $B_e = \beta \cdot B_r + (1 - \beta) \cdot C$ ;
- kontrakce  $B_k = (1 - \gamma) \cdot C + \gamma \cdot B_h$ ;
- redukce  $B_j = B_j + [(B_d - B_j) \cdot \delta], (j = 1, 2, 3, \dots, m)$ .

Důležitou otázkou, která je v literatuře řešena různým způsobem, je hodnota koeficientů  $\alpha, \beta, \gamma$  a  $\delta$ . Při optimalizaci granulometrického složení se osvědčilo nastavení  $\alpha = 0,9985, \beta = 1,95, \gamma = 0,4985$  a  $\delta = 0,4700$ .

Výhodou přímého simplexového hledání při optimalizaci granulometrického složení směsi je především možnost penalizovat fyzikálně nemožný bod simplexu (zápornou navážku některé složky) dostatečně vysokým přídavkem k vypočítané hodnotě extremalizované funkce  $\sum [R(K)]^2$ . To vyvolá následný pohyb vrcholu simplexu žadoucím směrem, bez nutnosti bezprostředního vyřazení suroviny ze systému. Velmi snadno je rovněž možné penalizovat i překročení hranice pásma doporučené granulometrie. Zároveň je možné udělovat určitou bonifikaci za splnění vhodného pomocného kritéria.

### 6. Účinnost simplexové optimalizace

Při zkouškách simplexového algoritmu pro potřeby granulometrické optimalizace se ukázalo, že simplexové řešení takovéto úlohy konverguje k optimu sice spolehlivě, leč nepříliš rychle. V průběhu řešení se navíc objevují výrazná lokální minima. K dosažení celkového minima je zpravidla třeba několika set, výjimečně i několika tisíc kroků (obr. 1).



Obr. 1. Průběh relativní hodnoty granulometrické odchylky mezi vzorovým plnivem a optimalizovanou směsí ( $\max \sqrt{(\sum [R(K)]^2)/n}$ ) během simplexové optimalizace

Dosažení ustálené hodnoty není proto možné automaticky považovat za konečný výsledek a v okamžiku ustálení optimalizaci ukončit. Jako daleko lepší se jeví provést výpočet vždy pro dostatečně velký počet bodů. Díky vhodně nastaveným hodnotám koeficientů  $\alpha, \beta, \gamma$  a  $\delta$  se další simplex z lokálního minima postupně vymaní a optimalizace pokračuje.

Počet kroků potřebných k dosažení optima narůstá s množstvím surovin. Na rozdíl od derivačního hledání minima není simplexová metoda závislá na počtu sít a je možné ji použít pro libovolné množství surovin. Její průběh byl proto ověřován i pro nezvykle velký (a v praxi velmi nepravděpodobný) soubor dvaceti výchozích surovin. I v tomto krajním případě je dostatečnou hodnotou 9 999 bodů. Výpočet jednotlivých funkčních hodnot není příliš náročný a řešení v tomto rozsahu je na moderním počítači záležitostí několika sekund.

Účinnost simplexové granulometrické optimalizace a úspěšnost její počítačové implementace byla výpočetně ověřována jak na fiktivních granulometrických údajích vytvořených speciálně pro toto testování, tak na skutečných hodnotách zrnitosti získaných během laboratorního zkoušení maltových směsí. Do zkušebního souboru byly pro kontrolu zařazeny i optimalizované granulární směsi nalezené v literatuře. V ukázkách je pro porovnání použit i původní Krellov postup a u údajů převzatých z literatury je uvedeno porovnání s publikovanými výsledky získanými grafickým a přibližným aritmetickým řešením. Odchylyky uváděné v tabulkách byly získány jako odmocnina z výrazu  $\sum [R(K)]^2$  děleného počtem sít. Z tabulky 1 je zřejmé, že u tří výchozích surovin, umožňujících relativně těsnou aproximaci vzorové čáry zrnitosti, jsou obě optimalizační metody rovnocenné a i přibližná aritmetická metoda (vyhledávající shodu směsné a vzorové křivky jen ve dvou bodech) dává v takovémto případě uspokojivý výsledek. U sedmi výchozích surovin s méně vhodnou výchozí granulometrií poskytuje simplexová metoda zřetelně lepší výsledek než původní metoda Krellova.

Tab. 1. Porovnání metod granulometrické optimalizace pro malý počet ideálních surovin

Metoda	Kamenivo* [mm]			Odchylnka vůči Fullerově čáře
	A (0,125 – 4)	B (4 – 8)	C (4 – 32)	
aritmetická*	30,0	11,2	58,8	1,96
grafická*	28,0	20,0	52,0	2,61
Krellova	28,8	14,6	56,6	1,81
simplexová	28,6	14,2	57,1	1,81

\* Údaje o zrnitosti a výsledky pro označené metody jsou převzaty z [11].

Tab. 2. Porovnání metod granulometrické optimalizace pro větší počet reálných surovin (drobné kamenivo z lokalit Střeleč, Skalná u Chebu a Provodín)

Metoda	PBT1	PBT2	PBT4	S15/08	SP 04	PRO 0,6/1	TS 25/0,6	Odchylnka*
Krellova	31,5	56,1	0	12,4	0	0	0	20,63
simplexová	12,6	55,3	0	17,5	0	0,7	13,9	2,61

\* Odchylnka byla určována vůči plynulé vzorové čáře pískové směsi PGF získané experimentálně.

## 7. Závěr

Metoda flexibilního simplexu se ukázala v širokém rozsahu vstupních dat ke granulometrické optimalizaci zrnitých směsí jako mimořádně vhodná. S jejím využitím je možné připravovat i u zrnitostně kolísajících surovin směsi plniva se stálou, resp. požadovanou zrnitostí.

**Příspěvek byl vytvořen s podporou grantu č. 103/01/0784 GA ČR „Trvanlivost stavebních hmot z druhotných keramických surovin“.**

## Literatura

- [1] ČSN EN 933 Zkoušení geometrických vlastností kameniva, Část 1.2.
- [2] Pytlík, P.: Technologie betonu. VUT Brno, 1997.
- [3] Dinger, D. R. – Funk, J. E. : Interceram 41 (5), p. 332, 1992.
- [4] DIN 1045 Beton und Stahlbeton; Bemessung und Ausführung, 1988.
- [5] Krell, J.: Betonwerk + Fertigteile – Technik 48 (10), p. 585, 1982.
- [6] Watters, F. H. at al.: Sequential Simplex Optimization. Boca Raton, CRC Press 1991.
- [7] Rozycki, C.: Chemie analytyczna 38 (10), s. 681, 1993.
- [8] Svoboda, L.: Construmat 2000. [Sborník], SPU, Nitra 2000, s. 211.
- [9] Araujo, P. W. – Brereton, R. G.: Trends in Anal. Chem. 15 (2), 1996, p. 63.
- [10] Lewis, R. M. – Torczon, V. – Trosset, M. W.: J. of Comput. and Appl. Math. 124, 2000, p. 191.
- [11] Gartner, O. – Kuda, R.: Betonové konstrukce. VUT Brno, 1991.

### Svoboda, L.: Design of Granular Mixtures by Flexible Simplex Method

Design of granular mixtures with a grading curve close to pattern filler can be successfully done by flexible simplex method.

### Svoboda, L.: Ansatz körniger Mischungen mit der Methode des flexiblen Simplex

Der Ansatz körniger Mischungen mit einer Sieblinie nahe der Musterlinie des Füllstoffs kann erfolgreich mit der Methode des flexiblen Simplex durchgeführt werden.

## Chci stavět

### Průvodce úřední a právní džunglí pro malého a středního stavebníka

Ondřejchová, V. – Vobrátilová, Z.

Svoboda, Praha, 2000, 2. vydání, formát A5, 56 s.

Zkušené autorky, které ovládají jak právní a správní teorii, tak současnou praxi, seznamují v publikaci stavebníka s postupnými kroky, které je třeba udělat od záměru uskutečnit stavbu přes její přípravu a výstavbu až ke konečnému závěru, kterým je kolaudace stavby a její užívání. Ostatně nejlépe o příručce vypovídají namátkově vybrané názvy kapitol: *Jaká povolení jsou nutná k uskutečnění stavby? Potřebují všechny stavby a stavební práce stavební povolení či ohlášení? Jaké je postavení nájemců staveb? Co v případech, nemohou-li být splněny některé požadavky technických předpisů? Kdy je možné zahájit práce na stavbě? Co se stane v případě odchylek od stavebních plánů a podmínek povolení? Co se platí za služby spojené s vystavením jednotlivých povolení? Kdy mohu užívat dokončenou stavbu a jaká povolení k jejímu užívání jsou třeba? Jaká je odpovědnost projektanta a dodavatele stavby?* Publikace je uzavřena vzory smluv. Je použitelná jak pro soukromého stavebníka jako fyzickou osobu, tak pro firmu.

# Význam vědního oboru technologie staveb v současném stavebnictví

prof. Ing. František MUSIL, CSc.  
 ČVUT – Fakulta stavební  
 Praha

Stavba budov je komplexní proces zahrnující investiční záměr, technickou přípravu, ekonomické propočty, stavební řízení, stavebně technologickou přípravu a realizaci stavby. Stavební inženýr proto musí ovládat znalosti i z oblasti přípravy a realizace staveb a jejich řízení. Touto problematikou se zabývá vědní obor technologie staveb. Zkoumá, modeluje a optimalizuje výrobní procesy, jejichž výsledkem je racionální provádění stavebních konstrukcí, objektů nebo jejich souborů.

## 1. Místo technologie staveb v procesu investiční výstavby

Občas se vyskytují diskuse a názory o tom, zda se máme na vysoké škole zabývat problematikou technologie staveb, tedy znalostí výrobních procesů, zásadami výrobní přípravy, časovým a finančním plánováním, modelováním postupů výstavby a řízením staveb, nebo zda vlastně technologie není součástí vědního oboru konstrukcí pozemních staveb apod. Podíváme-li se však do minulosti, zjistíme, že se řada disciplín postupně oddělila od pozemního stavitelství, vytvořila si osobitý teoretický základ a dále se rozvíjí samostatně. Proč tomu tak bylo, je obecně známé. Byl to rozvoj techniky, technologie, materiálů, teoretických disciplín a výpočetních metod, který umožnil zkoumat stavební konstrukce a materiály daleko podrobněji a precizněji, a v podstatě tedy spolehlivěji a ekonomičtěji. Vývoj tak vedl ke specializaci odborníků, neboť jednotlivci již nebyli schopni vše obsáhnout. To platí i pro přípravu, organizaci a řízení staveb, dnes konstrukčně, staticky, dodavatelsky, mechanizačně, časově a ekonomicky velmi složitých a náročných. A koordinovat, matematicky modelovat a řídit desítky až stovky dílčích výrobních procesů bez alespoň základních technologických znalostí není možné.

Je třeba mít na zřeteli, že stavba budov není jen záležitostí projektu a statického výpočtu. Jde o složitý komplexní proces zahrnující investiční záměr, technickou přípravu, ekonomické propočty, stavební řízení, výrobní (technologickou) přípravu, a pak výsledek celého tohoto snažení, tj. realizaci stavby. To vše je práce stavebního inženýra, přičemž výrobní příprava a realizace stavby má podstatný vliv na kvalitu díla, rychlost výstavby, jakost, výslednou cenu a užitnou hodnotu. Dokonalým potvrzením této skutečnosti je příklad z našeho stavebnictví, a to již z dvacátých a třicátých let dnes již minulého století, kdy známá Bařova Zlínská stavební společnost dosahovala do té doby nevídaných úspěchů právě díky důslednému uplatňování technologických zásad přípravy výroby, které zakladatel firmy Tomáš Bařa nechal do stavebnictví aplikovat z poznatků zejména strojírenského průmyslu v USA. Je třeba připomenout, že v podstatě celý Bařův obuvnický závod, město Zlín (pro 45 tisíc obyvatel) a také satelitní závody, prodejny a domy služeb po celém světě byly vybudovány v období mezi dvěma světovými

válkami, tedy v průběhu dvaceti let. Díky důsledně promyšlené koncepci konstrukčního a technologického řešení, dokonalé výrobní přípravě, organizaci a řízení prací bylo také průmyslové město Zlín vyhodnoceno v minulém roce v ČR jako nejlepší stavba století. Právě tehdejší způsob dokonalé stavebně technologické přípravy položil základ oboru technologie staveb jako významné součásti stavebnictví [1].

Nelze proto technologii staveb jako předmět vysokoškolské výuky podceňovat, či dokonce zpochybňovat, zejména chceme-li brát v úvahu současnou společenskou poptávku po znalostech stavebního inženýra. Jen malá část absolventů stavebních fakult se může věnovat vysoce teoretickým problémům (a těm by měly být určeny především doktorské studijní programy), většina z nich však odchází do provozní praxe. Vedoucí představitelé kvalitních realizačních firem dnes požadují, aby absolventi získávali širší paletu způsobilosti, přičemž manažerské znalosti by měly být samozřejmostí. A zde si můžeme položit otázku, zda jsou na to dostatečně připraveni.

Nároky na nové vysokoškolské inženýry se v posledních deseti letech značně změnily. Požadavky na vysoké teoretické znalosti, které byly ještě v osmdesátých letech u našich studentů předností, jsou dnes zastíňovány zájmem o takové absolventy, kteří mají vedle odborných znalostí i poznatky stavebně technologické, ekonomické, organizační a řídicí, aby byli schopni vést stavby a kvalifikovaně spolupracovat i se zahraničními investory a dodavateli. Samozřejmostí je ovládnutí výpočetní techniky a cizích jazyků. Domnívám se proto, že nově připravované studijní programy by měly věnovat těmto záležitostem daleko více pozornosti a prostoru a přeměra teoretických disciplín by měla být přemístěna zejména do programů doktorského studia.

## 2. Technologie staveb jako vědní obor

Význam slova „technologie“ si odborní i laická veřejnost vysvětluje různě. Abychom vycházeli z jednotného pojetí, pokusím se o přesnější definici. Technologie se v obecném pojetí zabývá výrobními metodami a způsoby zpracování surovin, materiálů a polotovarů v určený výrobek. Lze ji také definovat jako souhrn výrobních způsobů v určitém výrobním procesu. Jde tedy o vědní obor, který vychází z poznatků přírodních, technických, ekonomických, organizačních a společenských věd při zkoumání výrobních procesů. Jejím cílem je optimální tvorba těchto procesů.

Výrobní proces pak můžeme charakterizovat jako postupnou a cílevědomou přeměnu výchozích materiálů za spolupůsobení dalších činitelů v požadovaný výrobek. Jde tedy o dynamickou soustavu zahrnující v systémovém pojetí čtyři hlavní prvky, a to pracovní:

- síly (duševní i fyzickou práci),
- prostředky (nářadí, stroje a jiné mechanismy),
- předměty (materiály, polotovary apod.),
- činnosti (organizované cílevědomé působení),

a to vše za účasti vazeb mezi těmito prvky, které vyplývají z okolních vlivů, např. územních, prostorových, časových, technologických, ekonomických a organizačních.

Obecná technologie se pak dělí na technologie speciální, a to podle výrobních oborů, typu výsledného výrobku, výrobních způsobů a spolupůsobících činitelů. Jednou z nich je i technologie staveb.

Technologie staveb se zabývá výrobními procesy, jejichž výsledkem jsou hotové stavební výrobky, tj. dílčí stavební konstrukce, technologické etapy, stavební objekty, nebo jejich soubor, tedy stavby. Obvykle ji proto dělíme na technologii stavebních procesů a na technologii stavebních objektů a celků (procesových sestav). Technologie stavebních procesů se zabývá zásadami optimální realizace dílčích procesů, jejich vazbami technologickými, ale i prostorovými a časovými a v souladu s konkrétními podmínkami staveniště. Zobecňuje poznatky o dílčích stavebních procesech, na tomto základě je dále rozvíjí a určuje vhodné oblasti jejich použití. Stanovuje také kritéria a metody pro volbu optimálních výrobních způsobů a organizaci postupů v zadaných podmínkách. Návrh stavebního procesu, jehož výsledkem je stavební konstrukce nebo její část, se znázorňuje ve stavebně technologickém projektu, zejména formou technologického předpisu.

Technologie stavebních objektů a celků (procesových sestav) spojuje dílčí stavební procesy do jednotného, uceleného a promyšleného systému, jehož výsledkem je stavební objekt nebo souhrn objektů, tj. stavba. Náplní činnosti je optimalizace řešení technologické, prostorové a časové struktury výstavby, racionální koordinace všech činností, časové plánování výstavby a návrh optimální organizace a řízení stavby. Závažnou součástí je i návrh a vybudování výrobní základny stavby včetně návrhu potřebných mechanismů, tedy to, co je označováno jako zařízení staveniště. Všechny tyto činnosti může racionálně vykonávat jen zkušený stavební technolog, neboť přímo souvisí s výrobními procesy, jejich organizací, časovou návazností, koordinací a řízením. Návrh takového objektového či komplexního procesu výstavby specifikovaného pro konkrétní prostor, časovou lhůtu a smluvní cenu lze matematicky modelovat a optimalizovat. Výkresy a ostatní doklady jsou pak shrnuty ve stavebně technologickém projektu stavby.

Technologie staveb je u nás relativně mladý vědní obor. Počátky jeho plného rozvoje a osamostatnění spadají do období po druhé světové válce, i když snahy o teoretická a praktická řešení technologické přípravy stavební činnosti se objevovaly u našich předních firem již ve dvacátých letech minulého století. Dokladem toho je již zmíněná činnost Baťovy Zlínské stavební společnosti, ale také některých předních firem v Praze. Za jedno z prvních děl stavebně technologického zaměření lze považovat mezi odborníky známou a dodnes velmi ceněnou dvoudílnou knižní publikaci [2]. Vyhraňená specializace pak nastala po roce 1945, kdy bylo nutné vybudovat válkou zničená města, podniky a obytné čtvrti v celé Evropě. Nastal široký rozvoj stavební činnosti, který si spolu s technickým pokrokem vynutil specializaci v technickém zkoumání, v přípravě výroby a v realizaci staveb. Současně se rozvíjely i nové metody organizace a řízení výroby ve stavebnictví. Na tuto situaci u nás adekvátně reagovaly nejen výzkumné ústavy, ale i vysoké školy v Praze, Brně a Bratislavě.

Dnešek navíc přináší i tvrdý požadavek na rychlost stavení. Její nárůst však nezpůsobuje jen dobře promyšlený konstrukční návrh budovy a uplatnění odpovídajících stavebních technologií, ale především stupeň kvality organizace a řízení prací. V procesu výstavby již nejsou zapojeni jen architekti, konstruktéři a stavitelé, ale i technologové, ekonomové, matematici, právníci a psychologové. Značná tíha přitom spočívá na stavebních manažerech, kteří uvádějí

celý proces stavení do chodu a odpovídají za jeho průběh, kvalitu a efektivnost. Procesem výstavby jako celkem se tedy zabývá technologie staveb, která má zaručit jeho racionální realizaci tak, aby návrh i provedení odpovídaly nejen požadavkům zákazníka a projektanta, ale i úrovni současného rozvoje společnosti.

### 3. Obsah technologie staveb

Rozvoj vědy a techniky přináší i stále náročnější a složitější stavby, takže jejich úspěšná realizace je podmíněna zpracováním podrobných projektů včetně řady konstrukčních detailů. Tato dokumentace zaručuje zdárné provedení stavby po stránce konstrukční, ale nezajišťuje optimální průběh výstavby po stránce realizační a hospodářské. Stavitelství je však odnepaměti i podnikáním, takže hospodářská a organizační stránka provádění staveb je velmi důležitou složkou stavení. Proto je nezbytné vedle rozvoje stavebních konstrukcí a technologií racionalizovat i výrobní procesy a vzhledem k jejich množství, různorodosti a provázanosti je také důsledně koordinovat a řídit. To je zabezpečováno stavebně technologickou přípravou i organizací a řízením stavebního provozu.

Vymezení obsahu vědního oboru technologie staveb je poměrně složitá záležitost. Technologie staveb hraničí a prolíná se s dalšími obory, jejichž postavení je pro stavební výrobu významné a má v procesu výstavby nezastupitelné místo. Mezi hlavní bychom mohli jmenovat alespoň konstrukce pozemních staveb, stavební mechaniku a statiku a ekonomiku a řízení stavebnictví.

Snad nejvíce diskutovanou otázkou bývá obsah oborů technologie staveb a stavební ekonomiky a řízení. Podle mého názoru, podloženého dlouholetou zkušeností z provozní praxe a řízení stavebního podniku a také z výzkumu, by obsahem oboru technologie staveb (a tedy i práce stavebního technologa) mělo být zkoumání a předávání poznatků z oblastí:

- mechanizace stavebních procesů,
- technologie základních stavebních procesů nosných konstrukcí objektů,
- technologie procesů prací vnitřních a dokončovacích,
- modelování technologie výstavby objektů a staveb,
- zásad bezpečnosti a ochrany zdraví při práci,
- teorie a metodiky stavebně technologického projektování včetně počítačové podpory,
- teorie návrhu a optimalizace zařízení staveniště a ochrany životního prostředí,
- časových grafů a modelování časového průběhu stavby,
- teorie automatizované přípravy a řízení staveb,
- zabezpečení kvality výrobní produkce,
- teorie řízení stavební výroby a staveb.

Z oboru stavební ekonomiky a řízení by to pak měly být zejména poznatky z oblastí:

- tvorby normativní základny pro potřeby všech zdrojů pro výstavbu,
- teorie a tvorby výrobních nákladů při stavební činnosti,
- teorie a tvorby cen stavebních prací a dodávek,
- marketingu a výrobního programu stavební firmy,
- výrobního plánování firmy,
- materiálového zásobování staveb,
- mzdového, materiálového, výrobního a finančního účetnictví firmy,
- teorií a metod řízení stavební firmy,
- vyhodnocování realizovaných staveb a tvorby technicko-hospodářských ukazatelů,
- dalších ekonomických a řídicích disciplin a teorií potřebných pro ekonomickou oblast stavebních firem.

Tato dělba získávaných poznatků podle mého názoru odpovídá jednotlivým studijním programům stavební fakulty i odbornému zaměření jednotlivých kateder. Jde o obsahově samostatné okruhy i samostatně se rozvíjející vědní obory, které by neměly být směřovány.

Význam vědního oboru technologie staveb pro stavebnictví a jeho náplň již byly objasněny. Někdy se však argumentuje tím, že technologie staveb učí řemeslo, a to na vysokou školu nepatří. Tento názor není správný a vyplývá z neznalosti problematiky. Ale i kdybychom to skutečně chtěli, nebylo by to možné. Jen např. učební obor zednický (a ve stavebnictví máme desítky odborných řemesel) se učí na odborné škole tři roky. My máme na fakultě pro všechny základní stavební procesy – od založení stavby až po její předání do užívání – jen dva semestry po dvou hodinách týdně. Z toho je zřejmé, že jsme schopni podat studentům jen encyklopedický přehled základních principů průběhu procesů, zásady jejich technologických vazeb a možnosti dílčích optimalizací a způsobů modelování jejich časových návazností. A to je nezbytné k tomu, abychom mohli přejít ve stavebně technologickém projektování k teoretickým řešením, matematickému modelování a optimalizování objektových a komplexních procesů výstavby, jak to vyžaduje současná praxe. Postup je tedy obdobný jako u řady jiných vědních oborů. Tak například u konstrukcí pozemních staveb musíme posluchače také nejdříve naučit, jak vypadají základy, cihly, nosné zdivo, stropy, schody, okna, dveře atd., a teprve pak mohou projektovat a provádět teoretické analýzy. Nebo lékaři musí nejprve studovat anatomii a absolvovat pitvy, a teprve pak mohou léčit a operovat. Problémem však je, kolik má ten který vědní obor prostoru pro výuku svých předmětů. A nové obory jsou obvykle vždy diskriminovány. Získá-li technologie staveb adekvátní počet výukových hodin pro své předměty, uplatní zde obdobný rozsah teoretických vědních disciplín, jako je tomu u většiny jiných, dnes již zaběhlých oborů.

#### 4. Teorie užívané v oboru technologie staveb

Snahy o maximální racionálnost, efektivnost a rychlost stavební výroby kladou kvalitativně nové nároky na řešení a výběr optimálních technologií, jejich variant i na řízení jejich průběhu. Proto se stále ve větší míře přistupuje k rozvoji a uplatňování vhodných teoretických řešení, k matematickému modelování a optimalizaci komplexních stavebních procesů. Často jde o velmi složitá rozhodování, neboť možných variant řešení i hodnotících kritérií je obvykle více. Většinou však vždy jde o ekonomický přínos, který může snížit investiční i výrobní náklady o značné částky, nebo urychlit návratnost vložených prostředků.

Nejčastěji se využívají teoretické poznatky, matematické metody a modely obecnějšího charakteru, které lze aplikovat do podmínek technologie staveb, vytváří se však i originální teorie stavebně technologického zaměření. Z metod obecněji platných a využívaných i v jiných vědních oborech lze jmenovat matematické metody deterministické, např. v teorii proudového stavění (prvky a vazby, struktury výrobního procesu, vyvažování etapového proudu, návaznost dílčích etapových a objektových proudů), v lineárním programování (řešení prvotních a druhotných úloh simplexovou metodou, dopravní problémy), v deterministických modelech dynamického programování (problém pořadí výrobků, přiřazování zdrojů), v deterministických modelech síťové analýzy (metoda kritické cesty, metrapotenciální metoda, stavebnicová metoda síťového plánování), dále stochastické

metody a modely, jako hodnocení variant metodou větveného rozhodování (logické uspořádání rozhodovacích kritérií, ocenění významu faktorů, ohodnocení parametrů variant), dynamické programování, stochastické modely (stanovení výše zásob, obnova strojního zařízení), stochastické metody síťové analýzy (PERT, GERT), Markovovy řetězce a procesy (druhy stavů systémů, ocenění stavů stochastické matice), metody hromadné obsluhy (metody návrhu strojní sestavy, paralelní obsluha s konstantní intenzitou vstupů, problémy optimalizace), simulace stochastických systémů (metoda Monte Carlo) atd., podle charakteru požadovaných řešení, vstupních údajů a výstupů. V tomto souboru nejsou uvedeny např. další metody řešící ekonomické problémy na staveništi (teorie zásob, metody strukturální analýzy, teorie her aj.) a také metody stavební mechaniky sloužící především k návrhům konkrétních zařízení, např. bednění, pažení, lešení.

Z teorií určených výhradně pro řešení stavebně technologických úloh je možné např. uvést:

- **teorii proudového stavění**, jejíž prvky byly uplatňovány ve světě i u nás již ve dvacátých letech minulého století, a kterou teoreticky definoval prof. Nezval kolem roku 1950 [3];
- **teorii tvorby nových výrobních procesů** (se zaměřením na stavebnictví), vytvořenou prof. Svačinou v letech 1970 až 1980 a doloženou [4] i praktickými výsledky ve stavebnictví. V zásadě zahrnuje obecnou metodu tvorby nových výrobních procesů, definici a uplatnění hypotézy technologického zákona, definici výrobního principu a tvorbu nových výrobních procesů (podle analogie, použitím kombinace, na základě teoretických disciplín);
- **teorii tvorby stavebně technologického síťového grafu** jako podkladu pro automatizovanou přípravu a realizace staveb vytvořenou doc. Jarským v letech 1990 až 2000 [5]. Na rozdíl od jiných, dosud používaných metod síťové analýzy, umožňuje tato metoda vytvářet správný systémový model výrobního procesu objektu a stavby respektováním všech vztahů vyplývajících ze základních struktur stavebního procesu. Na tento model jsou pak navázány všechny činnosti umožňující automatizované (počítačem) zpracovat základní dokumenty komplexního stavebně technologického projektu jakékoli stavby. Široce se využívá v praxi.

Pokud bychom chtěli např. zde rozvést, z jakých vědeckých poznatků se při vytvoření teorie stavebně technologického síťového grafu a systému přípravy a realizace staveb vycházelo, pak lze jmenovat:

- teorii technologie staveb, poznatky o prostorové, časové a technologické struktuře stavebního procesu,
- teorii systémů a obecnou teorii grafů,
- stávající metody síťové analýzy (CPM, PERT, MPM, BKN, GERT),
- teorii proudového stavění,
- metodiku stavebně technologického projektování,
- teorii Pattern Recognition (rozpoznávání vzorců),
- analyticko-syntetické metody vědeckého zkoumání,
- matematický aparát, zejména teorii algoritmů, rekurentní numerické postupy, analytickou geometrii,
- programovací metody v jazycích Fortran, Turbo Pascal a Delphi,
- indexsekvenční přístup k počítačovým souborům, tvorbu databází.

Z uvedeného je zřejmé, že vědní obor technologie staveb je dnes postaven na teoretickém základu a ovlivňuje i další

vědní obory, nejen praktické, ale i teoretické, zejména:

- pozemní stavitelství, zvláště konstrukce pozemních staveb,
- inženýrské stavitelství,
- ekonomiku a řízení stavebnictví,
- systémové inženýrství a informační technologie,
- teorii grafů (její aplikací v technologii staveb),
- rozvoj metody síťové analýzy, využitelné ve všech oborech,
- logistiku, zejména teorii zásobovacích řetězců (Supply Chains),
- teorii rozpoznávání vzorců (Pattern Recognition),
- teorii matematického modelování,
- rozvoj numerických matematických metod s využitím výpočetní techniky.

Snad tyto úvahy a příklady napomohou tomu, aby vědní obor technologie staveb zakotvil ve studijních programech našich vysokých škol, neboť stavebnictví to nezbytně potřebuje. Obecně lze konstatovat, že prosperitu České republiky lze zajistit pouze výrobou založenou na progresivních domácích nebo importovaných technologiích. To však vyžaduje, aby byli vzdělávání odborníci také pro výrobu a její řízení. V současné době jich však je na našich vysokých školách vychováváno velmi málo, přestože vidíme, jak velká poptávka je po nich i v zahraničí, a naopak, kolik firem u nás řídí odborníci zahraniční.

#### Musil, F.: The Importance of the Scientific Branch of Technology of Constructions for the Current Building Industry

Construction of buildings is a complex process, comprising a building programme, building preparation, preliminary estimates, building permit procedure, technological preparation and the construction itself. Civil engineers must, therefore, possess knowledge of construction preparation and construction of buildings and structures and their management. Technology of constructions is the scientific branch which deals with these issues. It studies, models and optimizes production processes which result in rational erection of building structures, buildings and their complexes.

#### Literatura

- [1] Musil, F.: Bařovo zlínské stavitelství a jeho odkaz současnosti. [Sborník], mezinárodní vědecká konference o tvůrčím odkazu Tomáše Bati a současných podnikatelských metodách, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2001, sekce I, s. 101 – 110.
- [2] Ondřej, S.: Stavba domu v praxi 1 a 2. Praha, vlastním nákladem, 1932, 1. díl – s. 214, 2. díl – s. 202.
- [3] Nezval, J.: Zásady proudového stavění. Praha, SNTL 1958, s. 342.
- [4] Svačina, J.: Metoda racionální tvorby procesů a návrh strojů stavební výroby. [Dizertace DrSc.], FS ČVUT Praha, 1978, s. 172.
- [5] Jarský Ā.: Automatizovaná příprava a řízení realizace staveb. CONTEC Kralupy nad Vltavou 2000, s. 222.
- [6] Musil, F.: Stavebně technologická příprava – nezbytná součást realizace staveb. Projektování a výstavba, 1995, č. 6, s. 11 – 15.
- [7] Musil, F.: Manufacturing Process Management on Construction Sites as a Part of Construction Technology (Řízení výrobních procesů jako součást technologie staveb). [Sborník], mezinárodní vědecká konference o technologii staveb, STU FAST Bratislava, 1996, s. 108 – 115.
- [8] Musil, F.: Výchova odborníků v oblasti přípravy a realizace staveb. Stavební kontakt, 1997, č. 7, s. 17 – 18.
- [9] Musil, F.: Příprava a řízení výrobních procesů – podmínka snířování nákladů na stavbu. [Sborník], mezinárodní vědecká konference, sekce 13, FAST VUT Brno, 1999, s. 87 – 90.

#### Musil, F.: Die Bedeutung des wissenschaftlichen Fachs Bautechnologie im gegenwärtigen Bauwesen

Die Errichtung von Gebäuden ist ein komplexer Prozess, der das Investitionsvorhaben, die technische Vorbereitung, die ökonomischen Berechnungen, das Baugenehmigungsverfahren, die technologische Vorbereitung und die Realisierung des Baus beinhaltet. Ein Bauingenieur muss daher Kenntnisse aus dem Bereich der Vorbereitung und Ausführung von Bauten und deren Leitung beherrschen. Mit dieser Problematik befasst sich das wissenschaftliche Fach Bautechnologie. Es erforscht, modelliert und optimiert die Produktionsprozesse, deren Ergebnis eine rationelle Ausführung der Baukonstruktionen oder deren Komplexe ist.

## Ocelové konstrukce v Praze

Katedra ocelových konstrukcí Fakulty stavební ČVUT v Praze pokračuje v pořádání odborných seminářů věnovaných aktuálním tématům praxe ocelových konstrukcí. Příští **celodenní seminář** se bude konat

v úterý 4.6.2002

na Fakultě stavební ČVUT, Thákurova 7, 166 29 Praha 6

(spojení metro A, stanice Dejvická, parkoviště osobních automobilů u fakulty).

#### Program přednášek:

- Změna ČSN 73 1401
- Pořadavky na celistvost konstrukcí při výbuchu
- Spřažený ocelobetonový příhradový nosník
- Stabilita při ohybu – méně běžné případy
- Styčníky ocelových konstrukcí

- Navrhování tenkých stěn podle evropské normy
- Únava a křehký lom
- Požární návrh
- Vystoupení představitele ČAOK
- Současný stav v normalizaci OK
- Diskuse s účastníky

Přednášet budou učitelé katedry ocelových konstrukcí. Seminář je zařazen do systému vzdělávání ČKAIT. Vločné 1 650 Kč zahrnuje účast na semináři, sborník, občerstvení a oběd v menze.

Přihlášky lze získat na adrese: [kalinova@fsv.cvut.cz](mailto:kalinova@fsv.cvut.cz)



## Aparatura pro detekci polohy laserového svazku

Ing. Martin ŠTRONER  
Ing. Jiří POSPÍŠIL, CSc.  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

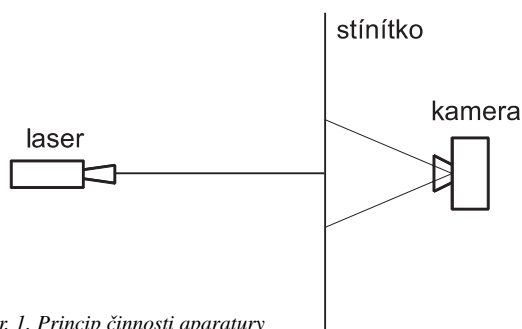
V článku je ukázán princip fungování, realizace a experimenty pro určení přesnosti a funkčnosti měřicí aparatury pro detekci laserové stopy. Základem aparatury je jednoduchá neměřická digitální kamera.

### Úvod

V článku [1] byl popsán návrh měřicí aparatury s neměřickou digitální kamerou pro dvojrozměrné měření dynamického přetvoření pomocí snímání polohy stopy svazku laserového záření. V tomto příspěvku uvedeme způsob realizace měřicí aparatury na katedře speciální geodézie Fakulty stavební ČVUT, její kalibrace a přesnost měření. Předpokladem používání aparatury je znalost i jejích dalších vlastností, jako např. driftu kamery, prostorové stability laserového svazku a vlivu změn teploty okolního prostředí na měřickou aparaturu. Jsou publikovány postupy a výsledky dosažené při experimentálním měření se soupravou tvořenou kamerou Video Blaster Web Cam Go a laserem TKG 205 Tesla.

### Princip fungování aparatury a její konstrukce

Základem činnosti aparatury je transmisní stínítko. Umožní takové postavení kamery, aby její optická osa byla kolmá na rovinu snímání stopy laserového svazku a rovnoběžná s přímkou tvořenou laserovým svazkem. Princip snímání polohy laserové stopy je na obr. 1 a je rovněž popsán v [1] a [2].



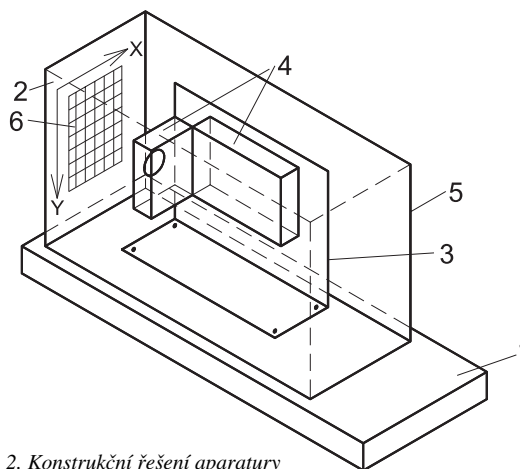
Obr. 1. Princip činnosti aparatury

Laserový svazek projde stínítkem, které ztlumí jeho intenzitu, a je snímán digitální kamerou v podobě obrazu složeného z jednotlivých obrazových prvků (pixelů). Polohu stopy lze z obrazu získat pomocí algoritmů popsanych v [1] a [2], jejichž základem je vyhledání charakteristické barvy laserové stopy. Takto lze získat obrazové souřadnice polohy jednotlivých bodů stopy a z nich dále polohu středu stopy. Obrazové souřadnice je třeba dále převést na metrické, což lze zajistit kalibrováním systému pomocí mřížky umístěné trvale na vnitřní straně stínítka. Pokud se kamera a stínítko

vzájemně nepohybují, pak stačí jen jedna kalibrace po sestavení systému. Pokud tomu tak není, je nutné systém kalibrovat pro každý snímek, což je značně nevýhodné.

### Konstrukce

Při konstrukci aparatury byla využita jednoduchá kamera Video Blaster Web Cam Go, osazená senzorem CMOS (Complementary Metal Oxid Semiconductor) s rozlišením  $640 \times 480$  bodů. Tato kamera umožňuje snímat jednotlivé obrázky ve formátu DIB (Device Independent Bitmap) nebo videosekvence, obojí i v dalších komprimovaných formátech.



Obr. 2. Konstrukční řešení aparatury

Vzhledem k tomu, že pro měření jsou vhodná nekomprimovaná data, měly by se při pořizování videa snímat maximálně dva snímky za sekundu (framerate). Vyššího počtu snímků u tohoto typu kamery lze dosáhnout pouze kompresí, která však znehodnotí měření. Schematický náčrt konstrukce aparatury je na obr. 2. Základem je 50 mm silná deska z průhledného plexiskla 1, která zajišťuje systému potřebnou tuhost a pevnost. Na tuto desku je upevněno stínítko 2, složené ze dvou skleněných planoparalelních desek, mezi nimiž je papírová vrstva zabraňující průchodu jiného viditelného záření než laserového svazku. Dále je zde připevněna konzola 3 k samotnému uchycení digitální kamery 4. Je třeba podotknout, že kamera je otočena o  $90^\circ$  proti normální pozici, protože obvyklejší jsou měření ve svislém směru, a zde je tedy požadován větší rozsah. Celá aparatura je chráněna vnějším pláštěm 5 z hliníkového plechu, který zabraňuje přístupu slunečního svitu ke kameře, čímž usnadňuje vyhodnocení, protože mimo stopy laserového svazku je intenzita snímaného obrazu blízká nule. Pro kalibraci slouží matice vličovacích bodů 6 připevněná na vnitřní straně stínítka.

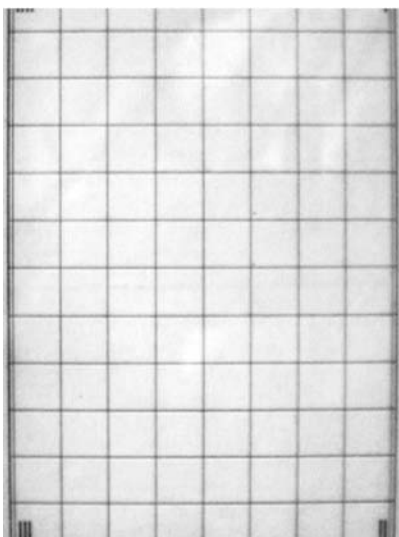
Při měření lze základovou desku upevnit na pilířovou podložku, popř. na stativ. Pro horizontování slouží čtyři stavěcí šrouby a příložená trubcová libela, do budoucnosti se předpokládá umístění krabicové libely na základovou desku pro pohodlnější manipulaci. Efektivní plocha stínítka použitelná pro měření má rozměr  $120 \times 80$  mm.

### Kalibrace aparatury

Kalibrace slouží pro převod vyhodnocovaných pixelových souřadnic z digitálního záznamu (jednotlivé snímky nebo snímky řazené do videosekvence) do metrických souřadnic. Zde je realizována ve dvou krocích, prvním je transformace do souřadnic kalibrační mřížky, druhým pak otočení mřížky tak, aby jedna ze souřadnicových os byla při horizontování aparatury svislá.

### Kalibrace pomocí matice

Na vnitřní straně stínítka je kalibrační matice (obr. 3). Její jednotlivé vřícovací body (průsečíky svislých a vodorovných čar) byly před vložením do stínítka dvakrát měřeny pomocí

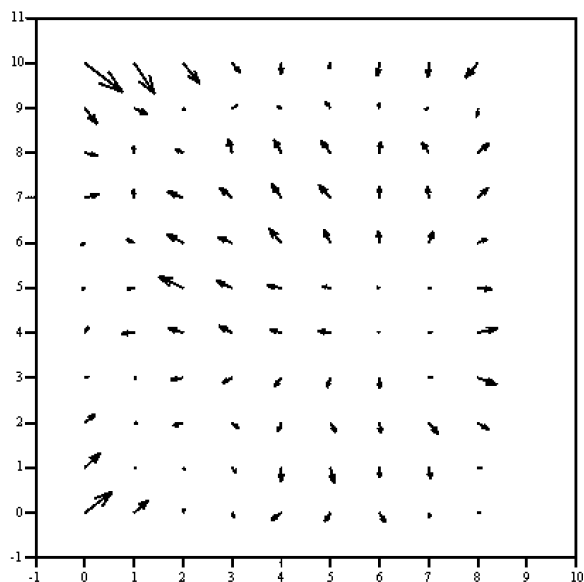


Obr. 3. Kalibrační matice (snímek z kamery aparatury)

vynášecích trojúhelníků s přesností větší než 0,1 mm. Při odklopeném vnějším krytu byl pořízen snímek matice (celkem čtyřikrát), ze kterého byly odečteny souřadnice vřícovacích bodů  $X_V, Y_V$ . Následně byly snímkové souřadnice vřícovacích bodů  $X_P, Y_P$  (nejmenší dílek 1 pixel) transformovány na souřadnice identických bodů mřížky. Celkem bylo použito 99 bodů. V prvním přiblížení byla použita lineární transformace (Helmertova), vzhledem k výsledné přesnosti a tvaru reziduí po transformaci (obr. 4) byly testovány polynomické transformace druhého a třetího řádu. Transformační rovnice a charakteristiky přesnosti (maximální oprava souřadnice  $X_{\max} v_X$ , maximální oprava souřadnice  $Y_{\max} v_Y$  a směrodatná odchylka jednotková  $\sigma_0$ ) jsou uvedeny v tab. 1 a tab. 2.

Tab. 1. Transformační rovnice a charakteristiky přesnosti

Pořadí	Transformační rovnice
1.	$\begin{pmatrix} X_V \\ Y_V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \lambda_1 & -\lambda_2 \\ \lambda_2 & \lambda_1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_P \\ Y_P \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T_X \\ T_Y \end{pmatrix}$
2.	$\begin{pmatrix} X_V \\ Y_V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_0 + a_1 X_P + a_2 Y_P + a_3 X_P^2 + a_4 Y_P^2 + a_5 X_P Y_P \\ b_0 + b_1 X_P + b_2 Y_P + b_3 X_P^2 + b_4 Y_P^2 + b_5 X_P Y_P \end{pmatrix}$
3.	$\begin{pmatrix} X_V \\ Y_V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_0 + a_1 X_P + \dots + a_6 X_P^3 + a_7 X_P^2 Y_P + a_8 Y_P^2 X_P + a_9 Y_P^3 \\ b_0 + b_1 X_P + \dots + b_6 X_P^3 + b_7 X_P^2 Y_P + b_8 Y_P^2 X_P + b_9 Y_P^3 \end{pmatrix}$



Obr. 4. Vektorové pole odchylek po Helmertově transformaci

Z měřítkového koeficientu vypočítaného z Helmertovy transformace vyplývá, že souřadnicový rozdíl 1 pixel má na stínítku velikost průměrně 0,17 mm. V tabulce 2 jsou uvedeny maximální odchylky na hranici velikosti 1 pixelu, další zvyšování počtu transformačních koeficientů tedy skutečné zlepšení pro využití transformace i pro body mezi body vřícovacími nepřinese.

Tab. 2. Transformační rovnice a charakteristiky přesnosti

Pořadí	Max $v_X$	Max $v_Y$	$\sigma_0$
	[mm]		
1.	0,51	0,45	0,14
2.	0,31	0,29	0,11
3.	0,17	0,10	0,05

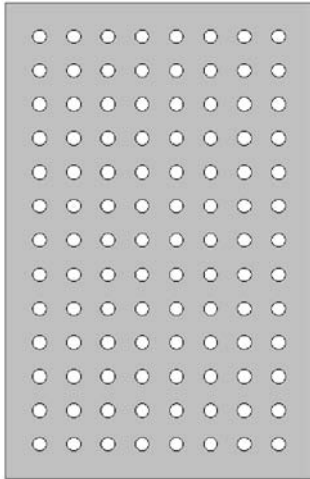
### Určení svislosti

Pro určení rotačního úhlu pro transformaci „mřížkových“ souřadnic pro uvedení souřadnicové osy  $Y$  do svislice byl využit jednoduchý postup s použitím laseru (He-Ne, Tesla TKG 205). Deska základny byla pomocí již popsaných pomůcek zhorizontována. Ve vzdálenosti 4 m byl postaven laser, zhorizontován a zaměřen na stínítko. Pomocí jemné vertikální ustanovky byl vytvořen na stínítku svislý profil, kterým byla po vyhodnocení a transformaci do soustavy „mřížky“ proložena přímka. Její odklon od souřadnicové osy  $Y$  je úhel rotace (směrník), o který je nutné pootočit souřadnicovou soustavu. Celkem bylo použito pět profilů pravidelně rozmístěných po stínítku, každý přibližně se šedesáti body. Zjištěný odklon 0,21 gon je průměrnou hodnotou pěti profilů, krajní profily mají i po pootočení o zjištěnou průměrnou hodnotu odklonu velmi výraznou odchylku od svislice (0,11 a -0,17 gon), která vznikla použitím transformačních rovnic kubického řádu, a tím mírným zkroucením celého systému. Pokud se však pro měření využije střední část stínítka, chyba se podstatně sníží.

### Měřický experiment

Pro ověření přesnosti, se kterou aparatura určuje polohu stopy laserového svazku, byla použita neprůhledná destička s kruhovými otvory menšími než stopa laseru (v počtu  $8 \times 13$ ) pravidelně pokrývajících měřicí rozsah aparatury (obr. 5).

Tím se vyloučila nutnost přesného cílení laserem, které velmi zatěžuje oči operátora. Po horizontování aparatury s nalepenou maticí byl na každý otvor zacílen laser a sejmuto snímek stopy, která prošla stínítkem.



Obr. 5. Destička s otvory

Při stejném horizontování aparatury byly středy otvorů zaměřeny totální stanicí Leica TCR 305 prostorovou polární metodou ze vzdálenosti 1,5 m, která byla určena rozбором přesnosti. Osa  $X$  byla při měření vodorovná a kolmá na rovinu stínítka, osa  $Y$  vodorovná a rovnoběžná na rovinu stínítka, osa  $Z$  svislá.

### Vyhodnocení a výsledky experimentu

Pomocí dále posaného programového vybavení byla vyhodnocena měření kamery, jejichž výsledkem jsou dvou-rozměrné souřadnice polohy stopy na stínítku. Měření na středy otvorů (déłky, vodorovné a zenitové úhly) byly přímo totální stanicí zpracovány na souřadnice v soustavě již popsané. Vzhledem k přesnosti měření délek a úhlů (3 mm + + 2 ppm, 2 mgon) a k tomu, že body matice leží v rovině, byly vypočítané souřadnice vyrovnány do roviny. Chybně změřený bod byl identifikován a z dalšího zpracování vyloučen. Opravy byly přiřazeny souřadnici  $X$ , jednotková směrodatná odchylka z vyrovnání měla hodnotu 0,16 mm. Tuto hodnotu lze považovat za náhodnou složku směrodatné odchylky určení vzdálenosti totální stanice – stínítko.

Výsledkem dosavadních výpočtů jsou rovinné souřadnice zjištěné aparaturou ( $^A X$ ,  $^A Y$ ) a prostorové souřadnice určené totální stanicí ( $^T X$ ,  $^T Y$ ,  $^T Z$ ). Pokud se odhadnou rozdíly vzdálenosti mezi jednotlivými body z měření totální stanicí a testovanou aparaturou  $\Delta_{i,j}$ , jak jej definuje vztah (1), lze z něj odhadnout směrodatnou odchylku rozdílu mezi vzdálenostmi  $\sigma_\Delta$  podle (2). Indexy  $i$  a  $j$  jsou v mezích 1 až  $n$ , kde  $n$  je celkový počet změřených bodů, zde  $n = 103$ . Celkově je tedy k dispozici 5 253 délek. Ze znalosti směrodatné odchylky určení prostorové vzdálenosti na stínítku totální stanicí  $^T \sigma_d$  lze potom podle [3] vypočítat směrodatnou odchylku určení déłky aparaturou  $^A \sigma_d$  podle (3).

$$\Delta_{i,j} = \sqrt{({}^T X_i - {}^T X_j)^2 + ({}^T Y_i - {}^T Y_j)^2 + ({}^T Z_i - {}^T Z_j)^2} - \sqrt{({}^A X_i - {}^A X_j)^2 + ({}^A Y_i - {}^A Y_j)^2}, \quad (1)$$

$$\sigma_\Delta = \sqrt{\frac{\sum \Delta_{i,j}^2}{n \cdot (n-1)}}, \quad (2)$$

$$^A \sigma_d = \sqrt{\sigma_\Delta^2 - {}^T \sigma_d^2}. \quad (3)$$

Za předpokladu stejné velikosti směrodatných odchylek v souřadnici  $^A X$  a  $^A Y$  lze potom vypočítat směrodatnou odchylku určení souřadnice měřicí aparaturou  $^A \sigma$  ( $^A \sigma = ^A \sigma_X = = ^A \sigma_Y$ ) podle (4).

$$^A \sigma = \frac{{}^A \sigma_d}{\sqrt{2}}. \quad (4)$$

Z rozboru přesnosti byla zjištěna hodnota  $^T \sigma_d = 0,11$  mm. Z naměřených hodnot byly vypočítány směrodatné odchylky

$$\begin{aligned} \sigma_\Delta &= 0,28 \text{ mm}, \\ ^A \sigma_d &= 0,26 \text{ mm}, \\ ^A \sigma &= 0,18 \text{ mm}. \end{aligned}$$

Pro kontrolu byla vypočítána směrodatná odchylka  $^A \sigma_Y$  určení souřadnice  $^A Y$  z rozdílů dvou způsobů měření podle (5). Dále bylo postupováno obdobným způsobem jako v předchozím případě.

$$\Delta'_{i,j} = ({}^T Z_i - {}^T Z_j) - ({}^A Y_i - {}^A Y_j). \quad (5)$$

Výsledkem je směrodatná odchylka  $^A \sigma_Y = 0,17$  mm, což odpovídá výsledkům předchozího výpočtu. Zjištěná přesnost je velmi blízká velikosti průmětu vzdáleností středů dvou sousedních pixelů odvozené z Helmertovy transformace.

### Ověřovací experimenty

Kromě přesnosti je nutno znát i další vlastnosti aparatury, které mohou ovlivňovat výsledky měření. Součástí celku je laser. V první řadě bylo třeba zjistit, zda se obraz snímáný kamerou samovolně nemění (drift), ověřit stabilitu laserového svazku (stabilitu laseru) a vliv změny vnější teploty na měření (vnějšího prostředí). Experimenty se prováděly v laboratoři Katedry vyšší geodézie Fakulty stavební ČVUT.

#### Drift kamery

Ke zjištění této vlastnosti byl navržen experiment, při kterém byl výstupní otvor laserového svazku umístěn co nejbližší stínítku ve vzdálenosti cca 100 mm. Laser i těleso kamery bylo umístěno na betonovém pilíři. Vzhledem ke známým dějům po zapnutí laseru byly kamera i laser po dobu 1 hodiny před měřením temperovány. Po dobu 2 hodin byl každých 15 minut pořízen snímek, tedy celkem 9 snímků. Po jejich vyhodnocení byl maximální rozdíl během celého měření v souřadnici  $X$  0,10 mm, v souřadnici  $Y$  0,06 mm. Tyto hodnoty jsou pod hranicí velikosti směrodatných odchylek určení souřadnic, což znamená, že nebyl zjištěn drift kamery měřitelný aparaturou.

#### Stabilita laseru

Součástí aparatury byl helium-neonový laser Tesla TKG 205. Určení jeho stability je důležité pro poznání chování aparatury. Během experimentu byly kamera i laser postaveny na betonových pilířích ve vzájemné vzdálenosti 29,2 m, přímka tvořená laserovým svazkem byla vodorovná. Záměrem experimentu bylo zjistit pohyb stopy vlivem nestability laseru, a proto nebylo laserové zařízení temperováno. Po dobu dvou hodin v intervalu deset minut byl zaznamenáván snímek. Po vyhodnocení pořízených snímků byl maximální rozdíl v souřadnici  $X$  0,26 mm, v souřadnici  $Y$  0,29 mm. Protože mezní hodnota rozdílu pro prokázání posunu v jedné souřadnici s pravděpodobností 95 % je 0,51 mm, nebylo možné prokázat nestabilitu. Konstatovaný fakt je

samozejmě ovlivněn krátkou vzdáleností mezi laserem a stínítkem.

### Změna teploty vnějšího prostředí

Posledním experimentem bylo vystavení měřicí aparatury náhlému zvýšení teploty – důležitá je samozejmě teplotní stálost z hlediska měřených hodnot, a tu bylo třeba prověřit. Při měření v terénu dochází často k rychlým změnám teploty, např. zakrytím slunce mraky. Experiment byl navržen stejně jako u prověřování stability laseru. U kamery byl umístěn elektrický zdroj tepla ETA super Viro (1 000 W). Laser a kamera byly umístěny ve stejné vzdálenosti jako v předchozím experimentu, aby změna teploty neovlivňovala laser. Teplota na počátku experimentu byla 24,6 °C (měřila se teplota okolního vzduchu). Fáze zahřívání trvala celkem 10 minut, teplota dosáhla 37,2 °C. Potom následovala fáze přirozeného chlazení, která trvala dalších 25 minut, během níž teplota klesla na 26 °C, další snižování teploty by trvalo velmi dlouho. Během experimentu se snímky pořizovaly v intervalu 1 minuty. Po vyhodnocení snímků měl maximální rozdíl v souřadnici X hodnotu 0,16 mm, v souřadnici Y hodnotu 0,29 mm. Závěrem experimentu je, že s pravděpodobností 95 % nemá náhlá změna teploty na výsledky zjištěné aparaturou měřitelný vliv.

### Programové vybavení

Pro vyhodnocování funkce měřicí aparatury byly vytvořeny celkem tři programy:

- první slouží k prohlížení nasnímané videosekvence, stanovení vhodných kritérií pro grafické vyhodnocení jednotlivých snímků. Při vyhodnocování vytvoří stopy v jednotlivých snímcích databázi všech bodů [1];
- druhý se používá pro výpočet středu stopy laserového svazku. Je možné zvolit tři varianty (prostý průměr ze souřadnic bodů stopy, vážený průměr s použitím hodnoty červené barvy, vážený průměr s použitím hodnoty intenzity záření) [1];
- poslední provádí transformaci a uvedení do svislé polohy způsobem uvedeným při popisu kalibrace aparatury. Výstupem jsou reálné souřadnice polohy stopy na stínítku po jednotlivých snímcích.

### Závěr

V článku je popsána konstrukce aparatury pro detekci polohy laserového svazku včetně základních kalibračních měření a jejich zpracování. Dále jsou uvedeny ověřovací experimenty, které vedly ke stanovení přesnosti měření a ke zjištění vlastností chování aparatury z hlediska ovlivňování sebe sama, ale i z hlediska změn vnějšího prostředí.

Výsledkem experimentů bylo zjištění poměrně velké přesnosti měření související s kvalitou použité digitální neměřické kamery a stínítka, které nejvíce výsledky ovlivňují. Směrodatná odchylka určení jedné souřadnice je v podstatě rovna velikosti jednoho obrazového bodu (nejmenší jednotky obrazu), jak ji ukázala Helmertova transformace v prvním přiblížení při kalibraci. Z dalších testů vyplývá, že celá souprava (laser i kamera se stínítkem) podléhá sice časovým změnám, jejichž velikost však nelze použitou digitální kamerou při vzdálenosti měření 29,2 m změřit.

Článek byl vypracován za podpory grantového projektu č. 103/99/0021 GA ČR.

### Literatura

- [1] Štroner, M. – Pospíšil, J.: Neměřická digitální kamera při dynamickém měření přetvoření. *Stavební obzor*, 10, 2001, č. 3, s. 84 – 88.
- [2] Štroner, M.: Detekce polohy laserové stopy pomocí digitální kamery. In: 3. odborný seminář doktorského studia, díl 4. VUT Brno, 2001, s. 55 – 58.
- [3] Böhm, J. – Radouch, V. – Hampacher, M.: *Teorie chyb a vyrovnávací počet*. Praha, Geodetický a kartografický podnik 1990.

### Štroner, M. – Pospíšil, J.: Equipment for the Detection of a Laser Beam Position

This paper shows the principle of functioning and practical usage of measuring equipment for the detection of the laser spot and experiments aimed at accuracy determination of its functionality. The core of the equipment consists of a simple, non-measuring digital camera.

### Štroner, M. – Pospíšil, J.: Eine Apparatur zur Detektion der Lage eines Laserbündels

Im Artikel werden das Funktionsprinzip, die praktische Realisierung und Experimente zur Bestimmung der Genauigkeit und Funktionsfähigkeit einer Messapparatur für die Detektion einer Laserspur aufgezeigt. Als Grundbauteil der Apparatur dient eine einfache nichtmessende digitale Kamera.

## • dizertace



### Porovnání přístupů k matematickému modelování transportu znečištění na vodních tocích

Ing. Karolína Házová

Autorka se zaměřuje na výběr a implementaci vhodných modelů pro simulaci transportu znečištění ve vodních tocích. Jevy jsou matematicky popsány a výsledky simulace jsou porovnány s měřeními na malých tocích. Výsledkem je doporučení pro volbu modelu v závislosti na hydraulických parametrech toku.

### Měření hydraulických charakteristik pomocí diskového tlakového infiltrometru na velkých laboratorních vzorcích

Ing. Alice Robovská

Dizertační práce se věnuje problematice stanovení hydraulických charakteristik pórovitého prostředí, které jsou potřebné pro numerické modelování proudění vody a transportu látek v proměnlivě nasyceném přírodním prostředí. Autorka sestrojila a testovala diskový infiltrometr pro měření infiltračních a výtokových rychlostí pro dva odlišné půdní typy. Výsledky i přístroj lze využít v praxi.

# • historie

Historie technického školství v Čechách, je zároveň historií Českého vysokého učení technického a trvá již téměř tři sta let. První podnět k veřejnému provozování výuky technických disciplín u nás je spojen se jménem Christiana Josefa Willenberga, který se roku 1705 rozhodl získat souhlas císaře s tím, aby mohl v Čechách vyučovat inženýrskému umění. Přes podporu císaře Josefa I., projevenou v císařském reskriptu z roku 1707, nebyla tehdy, patrně z důvodů finančních, jeho myšlenka realizována. Teprve o devět let později císaři a českým stavům opakoval Willenberg svůj záměr – za stanovený plat vést inženýrskou profesuru a zdarma po dva roky vyučovat dvanáct přidělených posluchačů. Dekretem zemských stavů z 9.11.1717 byla profesura pro Willenberga ustavena a na leden 1718 stanoven počátek vyučování.

Trvalo dalších téměř sto let, než inženýrská profesura získala jednoznačnější postavení, než se výuka přestěhovala z bytů profesorů do prostor k tomu účelu určených, než nabyla civilního rázu a než počet posluchačů přesahoval trvale dvě stovky. To, že si tehdy inženýrská škola udržela kontinuitu a vyvíjela se, což nebylo zdaleka běžné, bylo jistě zásluhou i jejích prvních profesorů – po Willenbergovi Jana Ferdinanda Schora, umělce a proslulého stavitele hydrotechnických staveb v povodí Vltavy, Františka Antonína Hergeta, zároveň profesora praktické matematiky na filozofické fakultě, vrchního zemského stavebního ředitele, významného zeměměřiče a stavitele.

V roce 1803 císař schválil návrh na vytvoření inženýrské stavovské školy na polytechniku. Nová polytechnika, první ve střední Evropě, kterou koncipoval František Josef Gerstner po vzoru nedlouho předtím zřízené polytechniky pařížské, zahájila činnost v listopadu 1806 v budově, kde od roku 1786 sídlila i inženýrská škola, tj. v dnešní Husově ulici. Byla přitom i nadále (z rozhodnutí císaře od roku 1787) součástí pražské univerzity, a teprve v září 1815 se stala i formálně samostatnou.

František Josef Gerstner, astronom, profesor matematiky a mechaniky, vědec v oboru teorie vlnění a hydromechaniky, organizátor vědeckého života a průmyslu v Čechách, autor projektu koněspřežní železnice z Českých Budějovic do Lince z roku 1828 a nepochybně také Christian Doppler, profesor matematiky a praktické geometrie na polytechnice v letech 1837 až 1847 byli nepochybně největšími osobnostmi této školy devatenáctého století.

Významným mezníkem v historii byl rok 1863. První statut školy tehdy vydaný se stal základem nové organizace výuky i řízení polytechnického ústavu jako vysoké školy, v jejímž čele po vzoru univerzit stál volený rektor. Studium dostalo pevný řád rozdělením do čtyř odborů – vodního a silničního stavitelství, pozemního stavitelství, strojnictví a odboru pro technickou lučbu (chemii). Čeština se stala rovnoprávným vyučovacím jazykem s němčinou.

Rozpory mezi českou a německou částí profesorského sboru vedly v roce 1869 k rozdělení ústavu na dva ústavy samos-

taťné, český a německý. Pro český ústav byla podle projektu profesora I. Ullmanna postavena v letech 1872 až 1874 nová budova na Karlově náměstí. V roce 1875 byly oba tyto dosud zemské ústavy zestátněny a od roku 1879 mohla škola užívat ve svém názvu termín vysoká škola technická.

Pro poslední desetiletí devatenáctého a začátek dvacátého století, až do počátku první světové války, je pro školu charakteristický všestranný rozvoj v souvislosti s všeobecným rozmachem českého průmyslu, vznikem nových oborů vyvolaných potřebami společnosti a rychlým vývojem techniky. Počet posluchačů přesáhl v roce 1909 již tři tisíce. Během prvních dvou desetiletí dvacátého století byla řada panovníkových rozhodnutí směřována ke zvýšení prestiže technických vysokých škol v monarchii. V roce 1901 získaly techniky právo udělovat doktoráty technických věd, jejich rektorům od roku 1904 příslušelo po dobu výkonu funkce oslovení Magnificence a rektorovi České vysoké školy technické bylo již v roce 1906 povoleno při akademických slavnostech nosit čestný řetěz. Tento vývoj dovršilo nepochybně císařské nařízení o právu užívat stavovské označení 'inženýr' těmi, jež vykonali na vysokých školách technických dvě státní zkoušky (zavedené říšským zákonem v roce 1878).

Potřebné změny studijní i organizační, jež se za Rakouska-Uherska již nepodařilo prosadit, byly v okamžiku vytvoření Československé republiky připravené natolik, že již v srpnu 1920 ministerský rada schválil nový organizační statut, který zaváděl novou organizaci školy. Její název se změnil na České vysoké učení technické, odbory v čele s přednosty byly nahrazeny vysokými školami s děkany, rektor stál v čele akademického senátu. Podle tohoto statutu a dodatků k němu z let 1920 až 1921 mělo ČVUT až do roku 1949 sedm vysokých škol – inženýrského stavitelství, architektury a pozemního stavitelství, strojnictví a elektrotechnického inženýrství, chemicko-technologického inženýrství, zemědělského a lesního inženýrství, speciálních nauk a obchodní. Původně tříletá Vysoká škola obchodní měla podle zákona z roku 1919, kterým byla zřízena, nejprve tři roky existovat na technice jako samostatný odbor. V roce 1923 schválil senát návrh na její definitivní začlenění do ČVUT, což však fakticky provedl teprve zákon o reorganizaci VŠO z roku 1929.

Při některých vysokých školách ČVUT existovaly výzkumné a zkušební ústavy nebo pokusné stanice a laboratoře. Jedním z nich byl Výzkumný a zkušební ústav hmot a konstrukcí stavebních při Vysoké škole inženýrského stavitelství, zřízený v roce 1921. Iniciátorem myšlenky na jeho vybudování a jeho prvním přednostou byl prof. Ing. František Klokner. Dnešní Kloknerův ústav je přímým pokračovatelem tohoto ústavu, který patřil v době meziválečné k největším výzkumným ústavům u nás i v cizině.

Téměř šest let násilného uzavření českých vysokých škol za fašistické oku-

pace, od 17.11.1939 do 4.6.1945, kdy byla opět zahájena výuka na všech fakultách ČVUT, mělo pro školu dalekosáhlé následky. Kromě nevyčíslitelných materiálních ztrát, také četné oběti na životech učitelů a studentů a několikaletou izolaci od vývoje techniky a vědy ve světě. Jedním z důsledků bylo např. i to, že reformy studia připravované před okupací i stavba budov ČVUT v Dejvicích, započatá v roce 1925, zůstaly nedokončené.

Rok 1948, konkrétně represe vůči studentům a učitelům, připravené a bezprostředně uplatněné po 25. únoru, tzv. studijní prověrka na všech vysokých školách, mající na ČVUT za následek vyloučení několika set studentů, postupné rušení největší fakulty ČVUT - Vysoké školy obchodní, tehdy již věd hospodářských, to vše byly skutečnosti, které signalizovaly další vývoj. Začala jimi mimo jiné celková přestavba ČVUT, během níž zejména v letech 1949 až 1960 došlo k mnoha zásadním změnám především v organizaci fakult. Vznikla pracoviště s celoškolskou působností, jako byly katedry vojenské, marxismu - leninismu, branné výchovy. V roce 1952 se samostatnily Vysoká škola chemicko-technologická a Vysoká škola zemědělská. Legislativním základem pro změny v organizaci a ve všech oblastech činnosti ČVUT, postavení týkající se zaměstnanců a práv a povinností studentů, ale i majetku školy a studentských spolků, byl zákon o vysokých školách č. 58/1950 Sb. Po roce 1960 mělo ČVUT čtyři fakulty - stavební, strojnictví, elektrotechnickou a dnešní fakultu jadernou a fyzikálně inženýrskou. V roce 1976, jako pátá, byla zřízena fakulta architektury. Na této struktuře nic nezměnily ani pozdější zákony o vysokých školách, které byly v letech 1950 až 1980 postupně vydány celkem čtyři (stejně tak i statuty ČVUT).

Nesporným kladem z hlediska rozvoje školy i jeho podmínkou bylo pokračování v dostavbě dejvického areálu v letech 1958 až 1988 a výstavba kolejí pro studenty ČVUT v Podolí, na Strahově a v Bubenči. Čtyřicetiletou etapu v dějinách školy ukončil 17. listopad 1989, kdy se podruhé v tomto století dostala její existence a rozvoj do závislosti na politické moci. Umožnil zahájit postupnou přeměnu ČVUT v duchu demokratických tradic a požadavků kladených v současnosti na technickou inteligenci. Od roku 1993, kdy byla zřízena fakulta dopravní, má České vysoké učení technické šest fakult a pracoviště a účelová zařízení s celoškolskou působností, jako jsou Masarykův ústav vyšších studií, Kloknerův ústav, Výpočetní a informační centrum, Podnikatelské a inovační centrum (BIC), Správa účelových zařízení, Vydavatelství (členěné na Ediční středisko, Audiovizuální a technické centrum a Prodejnu technické literatury), Centrum biomedicínského inženýrství (CBMI) a Archív. V roce 1995 bylo otevřeno detašované pracoviště fakulty dopravní a fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Děčíně.

## • konference

### Měď v architektuře

V polovině září uspořádala Hungarian Copper Promotion Centre (HCPC) ve spolupráci s Fakultou architektury VUT Brno v pražském hotelu Don Giovanni konferenci věnovanou možností využití mědi v architektuře. HCPC je maďarská organizace průmyslu mědi založená v roce 1992 a podporovaná International Copper Association. Jako člen Evropského institutu mědi se v Maďarsku, České republice a Slovenské republice zaměřuje za širší uplatnění tohoto materiálu, plánování a řízení programů napomáhajících odbornému využití měděných výrobků. Účastníci konference vyslechli přednášky odborníků z pořadajících organizací i z německého KM Europa Metal AG.

*Tisková informace*

## • dizertace

### Porovnání přístupů k matematickému modelování transportu znečištění na vodních tocích

*Ing. Karolína Házová*

Autorka se zaměřuje na výběr a implementaci vhodných modelů pro simulaci transportu znečištění ve vodních tocích. Jevy jsou matematicky popsány a výsledky simulace jsou porovnány s měřeními na malých tocích. Výsledkem je doporučení pro volbu modelu v závislosti na hydraulických parametrech toku.

### Měření hydraulických charakteristik pomocí diskového tlakového infiltrometru na velkých laboratorních vzorcích

*Ing. Alice Robovská*

Dizertační práce se věnuje problematice stanovení hydraulických charakteristik pórovitého prostředí, které jsou potřebné pro numerické modelování proudění vody a transportu látek v proměnlivě nasyceném přírodním prostředí. Autorka sestrojila a testovala diskový infiltrometr pro měření infiltračních a výtokových rychlostí pro dva odlišné půdní typy. Výsledky i přístroj lze využít v praxi.

### Energetická náročnost a potenciál úspor průmyslových budov

*Ing. Petra Neuwithová*

Dizertace se zabývá aktuálním problémem snižování energetické náročnosti průmyslových objektů. Výstupy teoretické analýzy konfrontuje s dostupnými výsledky experimentálních prací v souladu s heuristickými metodami vědecké práce.

### Model hodnocení variant jako podklad rozhodování o investici

*Ing. Renáta Heralová*

Dizertace obsahuje matematický model pro rozhodování s aplikací pojmů Customer Satisfaction Index a Category Utility Index. Vlastní vyhodnocení variant vychází z hodnotové analýzy obohacené o optimalizaci založenou na užitnosti, citlivostní analýze a efektivnosti. Výsledkem je počítačová podpora přípravy investic.

### Nelineární analýza nosných konstrukcí výškových budov

*Ing. Jaroslav Langer*

V práci se řeší prostorový nelineární výpočet betonového výztužného jádra vysoké budovy, přičemž se za rozhodující považuje chování v mezním stavu použitelnosti. Sledují se vlivy teploty, dotvarování a smršťování betonu a navrhnou opatření k eliminaci poklesů v důsledku zkrácení sloupů a k udržení rovinnosti stropních konstrukcí.

## • recenze

### Taranath, B. S.

#### **Steel, Concrete, and Composite Design of Tall Buildings**

*McGraw Hill, 1998, 2. vydání, 998 s., cena 165 USD, ISBN 0-07-062914-5*

Dr. B.S.Taranath, vedoucí pracovník největší projektové firmy v USA (John A. Martin and Associates, Los Angeles), se podílel na řadě projektů vysokých budov (Fox Plaza, Cal Plaza, MTA Headquarters) realizovaných v západní oblasti USA. Své zkušenosti s použitím oceli, betonu i jejich kombinace při stavbě vysokých budov shrnul do obsažné knihy s téměř tisícem stránek, jejíž druhé vydání recenzujeme.

V první kapitole autor popisuje nosné systémy vysokých budov postavených v posledním dvacetiletí na celém světě, nejvyšší objekty (Petronas, Jin Mao) nevyjímaje. Podrobné dispoziční výkresy i některé detaily těchto staveb ukazují, kam se pohnul vývoj tohoto oboru.

Druhá kapitola se zabývá rozbozem zatížení větrem, které je pro vysoké budovy rozhodující. Konkrétní údaje jsou sice spjaty s územím USA, ale zobecnění je platné pro celý svět. Stejně tak návrh na seizmické účinky, který se popisuje ve třetí kapitole. Za stěžejní část knihy lze považovat kapitoly 4 až 6, kde se probírají svislé konstrukční systémy budov s kostrou ocelovou, betonovou a kombinovanou. Detailní řešení nejnovějších budov může být inspirací i pro české projektanty, kteří se k vysokým budovám postupně také dostávají.

V kapitolách 7 až 9 se probírají vodorovné konstrukce z oceli, betonu i konstrukce ocelobetonové. Desátá kapitola je věnována technice výpočtu vnitřních sil v konstrukcích a konstrukčních prvcích vysokých budov, jedenáctá kapitola návrhu jednotlivých prvků. V poslední kapitole jsou zmíněna speciální témata, jako je nerovnoměrné zkrácení sloupů vysokých budov, kmitání stropů, detaily obvodových stěn, tlumení, zakládání atd.

Celkově lze říci, že jde o velmi zdařilou publikaci, která zaceľuje prostor, který vznikl od konce osmdesátých let, kdy veškeré publikace o vysokých budovách končí mrakodrapy Sears a World Trade Center. Čtenář se může přesvědčit, že kniha dr. Taranatha posledních dvacet let výstavby vysokých budov dokumentuje velmi dobře.

*Jiří Studnička*

# STAVEBNÍ OBZOR

## ROČNÍK 11 ČÍSLO 4/2002

### Navigace v dokumentu

#### OBSAH

Čechura, J. <b>Zasklívací jednotky se symetricky uspořádanými skleněnými tabulemi pro okenní křídla z hlediska zvukové izolace</b>	<b>97</b>
Makovička, D. <b>Únosnost okenních konstrukcí při tlakových účincích výbuchu</b>	<b>100</b>
Kupilík, V. <b>Závady zdvojené podlahy vlivem nevhodně upraveného podkladu</b>	<b>104</b>
Hošek, J. – Litoš, J. <b>Vznik trhlin v počátečním stadiu tvrdnutí betonu</b>	<b>108</b>
Pruška, J. <b>Modelování vlivu svorníkové výstroje na diskontinuitní horninový masiv</b>	<b>111</b>
Procházka, J. <b>Měření posunů a přetvoření v objektu Rádía Svobodná Evropa</b>	<b>116</b>
Ficker, T. – Podešvová, Z. <b>Některé fyzikální nepřesnosti tradované ve výuce stavební fyziky</b>	<b>124</b>
Korytářová, J. – Tichá, A. <b>Hodnocení ekonomické výhodnosti nabídek veřejné zakázky</b>	<b>126</b>

4 • 2002

ročník 11

# 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

Čechura, J.

**Zasklívací jednotky se symetricky uspořádanými skleněnými tabulemi pro okenní křídla z hlediska zvukové izolace** ..... 97

Makovička, D.

**Únosnost okenních konstrukcí při tlakových účincích výbuchu** ..... 100

Kupilík, V.

**Závady zdvojené podlahy vlivem nevhodně upraveného podkladu** ..... 104

Hošek, J. – Litoš, J.

**Vznik trhlin v počátečním stadiu tvrdnutí betonu** ..... 108

Pruška, J.

**Modelování vlivu svorníkové výstroje na diskontinuitní horninový masiv** ..... 111

Procházka, J.

**Měření posunů a přetvoření v objektu Rádia Svobodná Evropa** ..... 116

Ficker, T. – Podešvová, Z.

**Některé fyzikální nepřesnosti tradované ve výuce stavební fyziky** ..... 124

Korytářová, J. – Tichá, A.

**Hodnocení ekonomické výhodnosti nabídek veřejné zakázky** ..... 126

## CONTENTS

Čechura, J.

**Glazing Units with Symmetrically Arranged Glass Panes for Double Windows Regarding Noise Insulation** ..... 97

Makovička, D.

**Load-Bearing Capacity of Window Structures Under Explosion Pressure Effects** ..... 100

Kupilík, V.

**Failures of Cavity Floors As a Result of Inappropriately Prepared Base** ..... 104

Hošek, J. – Litoš, J.

**Origination of Cracks in the Initial Stage of Concrete Hardening** ..... 108

Pruška, J.

**Modelling of the Impact of Bolts on Discontinuous Rock Massif** ..... 111

Procházka, J.

**Measurement of Displacements and Deformations in the Radio Free Europe Complex** ..... 116

Ficker, T. – Podešvová, Z.

**Some Physical Inaccuracies Traditionally Aught in Structural and Building Physics** ..... 124

Korytářová, J. – Tichá, A.

**Economic Expedience Assessment of Public Tender Responses** ..... 126

## INHALT

Čechura, J.

**Verglasungseinheiten mit symmetrisch angeordneten Glascheiben für Fensterflügel vom Gesichtspunkt der Schalldämmung** ..... 97

Makovička, D.

**Tragfähigkeit von Fensterkonstruktionen bei den Druckwirkungen einer Explosion** ..... 100

Kupilík, V.

**Schäden an einem Doppelfußboden unter dem Einfluss eines nicht in geeigneter Weise vorbereiteten Unterbodens** .. 104

Hošek, J. – Litoš, J.

**Rissbildung im Anfangsstadium der Betonverhärtung** ..... 108

Pruška, J.

**Modellierung des Einflusses des Ankerbaus auf ein diskontinuierliches Gebirgsmassiv** .... 111

Procházka, J.

**Messung von Verschiebungen und Verformungen im Gebäude des Senders Radio Freies Europa** ..... 116

Ficker, T. – Podešvová, Z.

**Einige in der Lehre der Bauphysik tradierte physikalische Ungenauigkeiten** .... 124

Korytářová, J. – Tichá, A.

**Bewertung der ökonomischen Vorteilhaftigkeit von Angeboten für einen öffentlichen Auftrag** ..... 126

Toto číslo bylo vydáno za podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR (projekt LP 0002).

## REDAKČNÍ RADA

### Předseda:

prof. Ing. Jiří STUDNÍČKA, DrSc.

### Místopředseda:

doc. Ing. O. GARTNER, CSc.

### Tajemníci:

doc. Ing. Milan KAŠPAR, CSc.

doc. Ing. Jindřich ŠMEJČKÝ, CSc.

doc. Ing. Jiří VÁŠKA, CSc.

### Členové:

Ing. Miroslav BAJER, CSc.

doc. Ing. Pavel HÁNEK, CSc.

Ing. Jiří HIRŠ

doc. Ing. Vladimír JELÍNEK, CSc.

Ing. Miroslav JEŽEK, CSc.

doc. Ing. Miroslav KAUN, CSc.

Ing. Jana KORYTÁŘOVÁ, 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.

Ing. Petr PLICHTA, CSc.

prof. Ing. J. PROCHÁZKA, CSc.

Ing. Jaroslav SOLAŘ

doc. Ing. Vlastimil STARA, CSc.

Ing. Karel SVOBODA

doc. Ing. Josef VITÁSEK, CSc.

prof. Ing. Jiří WITZANY, DrSc.

Ing. Renata ZDARILOVÁ

**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: 02/2435 4596, 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: 02/4021298, 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 4. 3. 2002. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

## Zasklívací jednotky se symetricky uspořádanými skleněnými tabulemi pro okenní křídla z hlediska zvukové izolace

doc. Ing. Jiří ČECHURA, CSc.  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

Pro dosažení přiměřené zvukové izolace je nutné navrhnout optimální rozměry vzduchových dutin ve vztahu k rozměrům skleněných tabulí. Článek uvádí provozní výpočet minimální přípustné tloušťky vzduchových dutin mezi skleněnými tabulemi z hlediska ochrany místností proti venkovnímu hluku.

### Úvod

Rozměry a umístění oken v obvodových pláštích, popř. ve střešních pláštích budov, jsou zpravidla určovány hledisky denního osvětlení a proslunění místností a možnostmi výhledu do venkovního prostoru. Při navrhování oken se dále vychází z požadavků požární bezpečnosti staveb, bezpečnosti proti nežádoucímu vniknutí do chráněných místností a v neposlední řadě z požadavků úspory energie a ochrany tepla.

Požadavky na zvukovou izolaci oken stanoví ČSN 73 0532 [2]. Zvukově izolační účinek oken je podmíněn dokonalým utěsněním spár. Přímý prostup vzduchu okenními spárami se projevuje zpravidla poklesem neprůzvučnosti oken v kmitočtech nad 500 Hz, tj. ve vysokých kmitočtových pásmech. Těsnění spár je žádoucí z hlediska zvukové izolace stejně jako z hlediska úspor energie a ochrany tepla (těsněním spár však podobnost končí). Úspora energie a ochrana tepla má dnes pro konstruování oken prvořadý význam. Příspěvek se těsněním spár nezabývá a vychází z předpokladu, že je na sledovaných okenních křídlech uspokojivě vyřešeno.

Pak záleží pouze na skladbě zasklívacích jednotek okenních křidel. Pojmem **zasklívací jednotky se symetricky uspořádanými skleněnými tabulemi** se rozumějí zasklívací jednotky oken (balkónových dveří) ve směru kolmém k plášti se symetricky dvojí, resp. trojí uspořádanými tabulemi z průhledného taženého plochého skla. V příspěvku je uveden jednoduchý výpočet minimální tloušťky vzduchové dutiny mezi skly v závislosti na rozměrech skleněných tabulí. Výpočet neprůzvučnosti obvodových a střešních plášťů budov podle ČSN EN 12354-3:2001 [6] není předmětem tohoto článku.

### Požadavky na neprůzvučnost

Vzduchová neprůzvučnost obvodových plášťů budov musí vyhovovat minimálním požadavkům [2], které jsou stanoveny pro hodnocení obvodových konstrukcí budov např. váženou neprůzvučností  $R'_w$  v závislosti na venkovním

hluku, vyjádřeném ekvivalentní hladinou akustického tlaku  $A$ ,  $L_{Aeq,2m}$ . Tato jednočíslná vážená veličina se hodnotí podle ČSN EN ISO 717-1 pomocí veličin v třetinooktávových pásmech, předepsaných v ČSN EN ISO 140-5 [7].

Požadavek na neprůzvučnost obvodového pláště není totožný s požadavkem na neprůzvučnost okna. Požadovaná hodnota vážené neprůzvučnosti okna  $R'_{o,w} \approx R_{o,w}$  se stanoví z rovnice [3]

$$R'_{o,w} = R_w - 10 \cdot \log [q - (q - 1) \cdot 10^{0,1(R_w - R_{w,r})}],$$

kde  $R_w \approx R'_w$  je požadovaná vážená neprůzvučnost obvodového pláště [dB],

$R_{w,r} \approx R'_{w,r}$  – vážená neprůzvučnost části obvodové konstrukce mimo okno [dB],

$q = \frac{S}{S_o} \cdot S$  – plošný obsah obvodového pláště včetně okna [m<sup>2</sup>],

$S_o$  – plošný obsah okna [m<sup>2</sup>].

Plochou okna se rozumí plocha okenního otvoru včetně rámu. Celková plocha obvodového pláště je plocha včetně okna (oken) při pohledu z místnosti.

Jestliže např. venkovní ekvivalentní hladina akustického tlaku  $A$  ve vzdálenosti 2 m před obvodovým pláštěm,  $L_{Aeq,2m} = 67$  dB (nejvyšší přípustná hodnota pro hluk působený „starou zátěží“ z pozemní dopravy před stavbami pro bydlení) [1], je požadovaná vážená neprůzvučnost obvodového pláště  $R'_w \approx R_w = 39$  dB [2].

Tvoří-li neprůhlednou část obvodového pláště např. zdivo z tvárnice Porotherm tl. 400 mm,  $R'_{w,r} \approx R_{w,r} = 50$  dB. Je-li při tom plocha okenního otvoru např.  $S_o = 0,5 \cdot S$ , je požadovaná hodnota vážené neprůzvučnosti okna  $R'_{o,w} \approx R_{o,w} = 36,2$  dB, po zaokrouhlení 37 dB.

Vyráběná a prodávaná okna mají být viditelně označována [2] číslem třídy zvukové izolace oken – TZI, podle něhož mohou být objednávaná. Okno určité TZI vyhovuje pro určitý obvodový plášť, jestliže dolní hodnota  $R_w$ , TZI je větší nebo rovna hodnotě  $R_{o,w}$ . V daném případě by se objednálo okno TZI = 4 s dolní hodnotou  $R_w = 40$  dB > 37 dB =  $R_{o,w}$ .

### Dvojitě uspořádané skleněné tabule

Vážená neprůzvučnost zasklívací jednotky se dvěma symetrickými skleněnými tabulemi, s tloušťkou vzduchové dutiny mezi skleněnými tabulemi  $d$  [m], konvergující k nule, je dána rovnicí [3]

$$R_w = R_{w,m} + D_{rw},$$
$$R_w = R_{w,m} = 20 \cdot \log (2 \cdot 10^{0,05 \cdot R_{w,1}})$$

kde  $R_{w,1}$  je vážená neprůzvučnost jednotlivé skleněné tabule [dB].

Například [3] sklo tloušťky  $h = 4$  mm s materiálovými parametry:

- objemovou hmotností  $\rho = 2\,450$  kg m<sup>-3</sup>,
- rychlostí šíření zvuku podélnými vlnami  $c = 4\,738$  ms<sup>-1</sup>,
- ztrátovým činitelem  $\eta = 0,006$

jako polotuhá konstrukce dosahuje vážené neprůzvučnosti při hodnocení [3] provozní metodou po zaokrouhlení na nižší celé číslo  $R_{w,1} = 28$  dB, a tudíž  $R_{w,m} = 34$  dB. Do požadované hodnoty  $R_w = 37$  dB se nedostávají 3 dB, které je nutné zajistit vhodným dimenzováním vzduchové dutiny mezi skleněnými tabulemi.

Nenulovou tloušťkou vzduchové dutiny  $d$  lze dosáhnout zvětšení vážené neprůzvučnosti o přírůstek vážené neprůzvučnosti  $D_{R,w}$  daný rovnicí platnou pro  $50 \text{ Hz} \leq f_r \leq 500 \text{ Hz}$  [3]

$$D_{R,w} = (D_{R,w,\max} + 4,5) \cdot \log\left(\frac{500}{f_r}\right) - 4,5,$$

kde rezonanční kmitočet (typu hmotnost – poddajnost – hmotnost) soustavy dvou shodných skleněných tabulí

$$f_r \approx 60 \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho \cdot h \cdot d}}$$

a  $D_{R,w,\max}$  závisí na  $b$ , tj. minimální vzdálenosti vzájemně rovnoběžných lineárních akustických mostů (tj. šířky skleněné tabule) [m], a  $f_{cr}$ , což je kritický kmitočet vlnové koincidence skleněné tabule ( $f_{cr} = 63\,733,6 \cdot (c \cdot h)^{-1}$ ) [Hz] [4].

$$D_{R,w,\max} = 10 \cdot \log\left(\frac{\pi \cdot b \cdot f_{cr}}{6,8 \cdot 10^2}\right).$$

Je-li šířka skleněné tabule např.  $b = 450$  mm a tloušťka  $h = 4$  mm ( $f_{cr} = 3\,362,9$  Hz), je hodnota  $D_{R,w,\max} = 8,4$  dB, po zaokrouhlení 8 dB.

Požadovaná hodnota  $D_{R,w}$  soustavy dvou skleněných tabulí jako dvojité konstrukce s lineárními akustickými mosty vyžaduje, aby touto soustavou nebyla překročena určitá maximální hodnota rezonančního kmitočtu [Hz]

$$f_{r,\max} = \frac{500}{10^X},$$

$$\text{kde } X = \frac{D_{R,w} + 4,5}{D_{R,w,\max} + 4,5}.$$

Maximální hodnotě rezonančního kmitočtu  $f_{r,\max}$  odpovídá minimální požadovaná tloušťka vzduchové dutiny [m]

$$d_{\min} = \frac{7,2 \cdot 10^3}{\rho \cdot h \cdot f_{r,\max}^2}.$$

Pro uvažovanou dvojici skleněných tabulí ( $D_{R,w} = 3$  dB,  $D_{R,w,\max} = 8$  dB)  $f_{r,\max} = 125,6$  Hz a  $d_{\min} \geq 0,0466$  m.

Nelze-li požadovanou tloušťku vzduchové dutiny  $d_{\min}$  z různých důvodů použít, je nutné např. zmenšit plochu oken nebo symetricky či asymetricky zvětšit tloušťku nebo šířku skleněných tabulí.

### Trojité uspořádané skleněné tabule

Vážená neprůzvučnost zasklívací jednotky se třemi vzájemně shodnými a symetricky uspořádanými skleněnými tabulemi o tloušťce vzduchových dutin mezi nimi  $d$  [m], kon-

vergující k nule, je dána rovnicí [3]

$$R_w = R_{w,m} = 20 \cdot \log(3 \cdot 10^{0,05 \cdot R_{w,1}})$$

při stejném významu symbolů jako u dvojité uspořádaných tabulí.

Pro zasklení křidel třemi stejnými skleněnými tabulemi s uvedenou váženou neprůzvučností  $R_{w,1} = 28$  dB je  $R_{w,m} = 37,5$  dB, po zaokrouhlení na nižší celé číslo 37 dB.  $R_{w,m} \equiv R_w$ , hodnota  $R_{w,m}$  je shodná s požadovanou hodnotou  $R_w$ . Tím však nezaniká požadavek na určitou minimální tloušťku  $d_{\min}$  vzduchových dutin mezi skleněnými tabulemi, protože veličina  $D_{R,w,\max}$  může nabývat záporných hodnot.

Přírůstek vážené neprůzvučnosti  $D_{R,w}$ , daný rovnicí platnou pro  $50 \text{ Hz} \leq f_{r,t} \leq 500 \text{ Hz}$ , je jako u dvojice skleněných tabulí [3]

$$D_{R,w} = (D_{R,w,\max} + 4,5) \cdot \log\left(\frac{500}{f_{r,t}}\right) - 4,5,$$

kde  $f_{r,t}$  je větší z dvojice rezonančních kmitočtů trojité konstrukce. Lze dokázat, že ve vztahu k rezonančnímu kmitočtu dvojité konstrukce  $f_{r,d}$  (tj. konstrukce se dvěma skleněnými tabulemi a jednou vzduchovou dutinou tloušťky  $d$  [m]) se rovná [5]

$$f_{r,t} = 1,225 \cdot f_{r,d}.$$

Maximální přírůstek vážené neprůzvučnosti  $D_{R,w,\max}$  při shodné tloušťce vzduchových dutin  $d$  rozdílné od nuly závisí na týchž parametrech jako u dvojité uspořádaných skleněných tabulí,

$$D = 10 \cdot \log\left(\frac{\pi \cdot b \cdot f_{cr}}{3,4 \cdot 10^2}\right).$$

Je-li šířka skleněné tabule opět např.  $b = 450$  mm a tloušťka  $h = 4$  mm ( $f_{cr} = 3\,362,9$  Hz), je hodnota  $D_{R,w,\max} = 11,5$  dB, po zaokrouhlení 11 dB.

Požadovaná hodnota  $D_{R,w}$  soustavy tří skleněných tabulí jako trojité konstrukce s lineárními akustickými mosty vyžaduje, aby touto soustavou nebyla překročena maximální hodnota rezonančního kmitočtu [Hz]

$$f_{r,t,\max} = \frac{500}{10^X},$$

kde stejně jako u soustavy dvou skleněných tabulí

$$X = \frac{D_{R,w} + 4,5}{D_{R,w,\max} + 4,5}.$$

Maximální hodnotě rezonančního kmitočtu  $f_{r,t,\max}$  odpovídá minimální požadovaná tloušťka vzduchové dutiny [m]

$$d_{\min} = \frac{10,8 \cdot 10^3}{\rho \cdot h \cdot f_{r,t,\max}^2}.$$

V případě uvažované trojice skleněných tabulí pro  $D_{R,w} = 0$  dB a  $D_{R,w,\max} = 11$  dB je  $f_{r,t,\max} = 256,2$  Hz, tzn.  $d_{\min} \geq 0,0168$  m.

Nelze-li požadovanou tloušťku vzduchové dutiny  $d_{\min}$  z různých důvodů použít, je nutné podobně jako u dvojité uspořádaných skleněných tabulí např. zmenšit plochu oken nebo symetricky či nesymetricky zvětšit tloušťku nebo šířku skleněných tabulí.

## Závěr

Obvodové a střešní pláště budov se často navrhují do hlukových podmínek, v nichž nevyhovují svému účelu. Nedostatečná neprůzvučnost těchto plášťů bývá většinou způsobena relativně malou neprůzvučností oken jednoduchých s tepelně izolačními dvojskly (trojskly) nebo oken zdvojených. Pláště s okny dvojitými požadavkům na neprůzvučnost [2] zpravidla vyhovují, jak je doloženo v ukázkovém příkladu. Malá neprůzvučnost oken je způsobena relativně malou:

- hmotností (tloušťkou) nejméně jedné ze skleněných tabulí,
- tloušťkou vzduchové dutiny mezi skleněným tabulemi,
- těsností okenních spár.

Článek se zabývá pouze aspekty neprůzvučnosti oken ad a) a b). Vychází z předpokladu, že těsnost okenních spár je uspokojivě vyřešena z hlediska úspory energie a ochrany tepla, a tím i z hlediska zvukově izolačního.

Těsnost spár nabývá na významu při denní ekvivalentní hladině akustického tlaku  $A$ ,  $L_{Aeq,2m} \geq 80$  dB, kdy z hlediska zvukové izolace je vhodné navrhnout neotvíravá okna a výměnu vzduchu zajistit samostatným ventilačním okruhem.

**Článek byl zpracován za podpory výzkumného záměru MSM 21 000001.**

## Literatura

- Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, č. 502, Částka 146 Sb., ze dne 30. prosince 2000.
- ČSN 73 0532:2000 Akustika – Ochrana proti hluku v budovách a související akustické vlastnosti stavebních výrobků – Požadavky. ČSNI.
- Čechura, J.: Stavební fyzika 10 – Akustika stavebních konstrukcí. [Učební text], Praha, Vydavatelství ČVUT 1999.
- Cremer, L. – Heckl, M.: Structure-Borne-Sound. Structural Vibrations and Sound Radiation at Audio Frequencies. Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag 1973.
- Čechura, J.: Izolace místností proti hluku z leteckého provozu. [Kandidátská dizertační práce]. ČVUT Praha, 1974.
- ČSN EN 12354-3:2001 Akustika – Výpočet akustických vlastností budov z vlastností stavebních prvků – Část 3: Vzduchová neprůzvučnost vůči venkovnímu zvuku. ČSNI.
- ČSN EN ISO 140-5: 2000 Akustika – Měření zvukové izolace stavebních konstrukcí v budovách – Část 5: Měření vzduchové neprůzvučnosti obvodových plášťů a jejich částí na budovách. ČSNI.

**Čechura, J.: Glazing Units with Symmetrically Arranged Glass Panes for Window Wings Regarding Sound Insulation**

In order to produce appropriate sound insulation, it is necessary to design optimum dimensions of air cavities in relation to dimensions of glass panes. This paper presents an operational calculation of the minimum admissible thickness of air cavities between glass panes given protection of the room from the outside noise.

**Čechura, J.: Verglasungseinheiten mit symmetrisch angeordneten Glasscheiben für Fensterflügel vom Gesichtspunkt der Schalldämmung**

Zur Erzielung einer angemessenen Schalldämmung ist es notwendig, optimale Abmessungen der Luftzwischenräume in Bezug zu den Abmessungen der Glasscheiben zu wählen. Der Artikel zeigt eine Betriebsberechnung der zulässigen Mindestdicke von Luftzwischenräumen zwischen den Glasscheiben vom Gesichtspunkt des Schutz des Raums vor Außenlärm auf.

## ● zprávy

### Výtahy a výtahářské firmy na internetu

V současné době již určitě nepřekvapí, že na internetu lze najít opravdu téměř vše. Pokud vás zajímá cokoli o výtazích nebo jiných zdvihacích zařízeních, máme pro vás zajímavý tip. Po zadání slova „výtah“ do některého z českých internetových vyhledávačů se sice objeví několik set firemních stránek výrobců výtahů a servisních firem, ale mezi prvními určitě zaujme krátký titulek „Výtahy a výtahářské firmy na internetu“. Pod tímto jednoduchým, ale výstižným názvem, se na internetové adrese [www.i-vytahy.cz](http://www.i-vytahy.cz) skrývá nejnavštěvovanější odborný server zaměřený právě na obor výtahy a zdvihací zařízení – Internet & Výtahy Server.

V hlavním menu tohoto serveru se skrývá tolik přehledně rozříděných informací z oboru, že musíme dát za pravdu motto autorů „Internet & Výtahy Server – o výtazích od A do Z, pardon do Ž“. Firmu začínající na písmeno Ž jsme sice neobjevili, ale obsah mnoha sekcí nás opravdu nezklamal.

Mezi jednotlivými výtahářskými obory a přehledem firem působících na našem trhu nás zaujal hlavně odkaz „výběrové řízení“. Po zadání několika údajů server požadavek automaticky zařadí a rozešle registrovaným firmám. Ty obratem zájemce kontaktují s aktuální nabídkou. Jednoduché, ne?

Naleznete zde i další velmi zajímavé sekce. Můžeme například navštívit stránky kontrolních orgánů, které také pečují o bezpečnost výtahů. Pokud se dostaneme do vážných problémů s výtahovým zařízením, může pomoci seznam soudních znalců v oboru. Nechybí inzerce, výtahářské vtípy a dosud málo využívané výtahářské fórum. Věříme, že na adrese Internet & Výtahy Serveru – [www.i-vytahy.cz](http://www.i-vytahy.cz) naleznete i vy o výtazích opravdu od A do Z ..., totiž pardon, do Ž.

*Redakce*

Dovolujeme si Vás pozvat  
na

## 1. VÝTAHÁŘSKÝ VELETRH NA INTERNETU

který probíhá  
od

**1. - 30. dubna 2002**

na internetové adrese  
**[www.i-vytahy.cz/veletrh](http://www.i-vytahy.cz/veletrh)**

*Srdečně zve pořadatel*  
Internet & Výtahy Server - [www.i-vytahy.cz](http://www.i-vytahy.cz)  
a partneři veletrhu  
KONE, BV Brumovice výtahy, MACPUARSA,  
stavařský rozcestník STAVIT.CZ a NetDesign

# Únosnost okenních konstrukcí při tlakových účincích výbuchu

doc. Ing. Daniel MAKOVIČKA, DrSc.  
 ČVUT – Kloknerův ústav  
 Praha

Práce je zaměřena na stanovení mezní únosnosti okenních konstrukcí při jejich zatížení přetlakem od výbuchu plynovzdušné směsi v závislosti na rozměrech okenní konstrukce, tloušťce skla, jeho stáří a době působení přetlaku. Mezní zatížitelnost okenní konstrukce až do okamžiku rozbití skla vychází z experimentálně stanovených charakteristik skla, numerických analýz chování okenní konstrukce a experimentálního ověřování dynamické odezvy okna při reálném působení výbuchu. Článek je doplněn příkladem stanovení porušitelnosti oken rodinného domu při výbuchu propanbutanové směsi v jeho kuchyňské části.

## 1. Úvod

Při výbuchu nejrůznějších látek, ať již pevných náloží, nebo výbušných směsí v uzavřených prostorách staveb nebo mimo ně v otevřeném prostoru, jsou okenní konstrukce vzhledem k malé únosnosti na zatížení účinky tlakové vlny zpravidla dobrým indikátorem intenzity výbuchu. Okna po otevření (rozbití skla) mohou vytvářet odlehčovací otvory v konstrukci, a tím snižovat namáhání nosných prvků konstrukce (obvodových konstrukcí, příček, stropů apod.).

Zatížení, které působí na okenní konstrukci, je generováno buď dopadem tlakové vlny na tuto konstrukci (jde zpravidla o účinky venkovního výbuchu nebo výbuchu ve velkých prostorách, např. halách), nebo přetlakem explodujícího média uvnitř menších místností (bytech, kancelářích, malých dílnách apod.). Uvnitř malé místnosti výbušné médium zaplní celou místnost – v tomto případě je velikost přetlaku dána tlakem plynů hořícího média na obvodovou konstrukci tvořenou zdmi, okny a dveřmi, stropní a podlahovou konstrukcí místnosti.

Rozdíl obou typů působení účinků na jakoukoli konstrukci, tedy i okenní, spočívá v tom, že dopadající tlaková vlna vytvoří na kontaktu s překážkou odraženou vlnu a společně se podílejí na zatížení překážky. Zjednodušeně pro tento typ zatížení platí, že součet tlaku v dopadající a v odražené vlně je dvojnásobkem tlaku v dopadající vlně. Pro druhý typ výbuchu, tedy při výbuchu směsi, která zaplňuje (nebo téměř zaplňuje) vnitřní prostor místnosti, zatížení obvodových konstrukcí způsobuje tlak vznikající při explozivním hoření výbušné směsi (tedy zatížení konstrukce není dvojnásobkem tlaku generovaného výbuchem jako při dopadu tlakové vlny).

Dominantní účinek tlaků od výbuchu na běžnou konstrukci se projevuje především ohybem jejích prvků. Pojednání únosnosti oken pro obě varianty působení výbuchu je po odvození grafů pro stanovení únosnosti běžných okenních konstrukcí (obr. 1, obr. 2) dokumentováno na příkladu výbuchu propanbutanové směsi v kuchyni rodinného domu.

## 2. Únosnost okenní konstrukce

O porušení zasklení okenní nebo dveřní konstrukce [2], [5], [6] při působení přetlaku kolmo na střednicovou rovinu skla rozhoduje:

- dosažení meze pevnosti skla v tahu za ohybu,
- překročení mezní ohybové deformace.

O vytržení celé okenní (nebo dveřní konstrukce) ze zdiva rozhoduje způsob zajištění smykové únosnosti spoje okenní konstrukce/stěna (dveře/stěna apod.). Vytržení celých okenních křidel ovlivňuje směr působení zatížení na okenní křídlo, tedy zda se okenní křídlo při zatížení opírá o ozub okenního rámu, nebo je jen drženo okenními závěsy a závěry. Mezní únosnost závěsů okenních křidel je přibližně osmkrát až desetkrát větší, než odpovídá únosnosti vlastního zasklení oken. Předpokladem této únosnosti je dobrý technický stav oken před jejich zatížením, který odpovídá stáří nejvýše patnáct let.

Fyzikálně mechanické vlastnosti hladkého okenního skla se ověřovaly experimentálně [6] s těmito výsledky:

- pevnost v tahu za ohybu (při dynamickém zatížení) 56 MPa platí pro zatížení řádu milisekund; pro delší působení zatížení řádu setin až desetin sekundy se pevnost skla pohybuje mezi 20 až 25 MPa. Pro působení zatížení v sekundách odpovídá pevnost skla statické pevnosti.

Pro orientaci uvedme porovnání s pevností podle Statických tabulek [1]:

- střednědobá pevnost skla proti rozbití 55 MPa
- minimální pravděpodobná pevnost 33 MPa
- minimální dlouhodobá (statická) pevnost 13 MPa
- návrhová pevnost staticky zatížených konstrukcí 6,6 MPa
- modul pružnosti (sklo namáháno ohybem)  $6,0 \cdot 10^4$  MPa
- Poissonovo číslo 0,25
- hmotnost skla 2,70 t/m<sup>3</sup>
- logaritmický dekrement útlumu 0,05

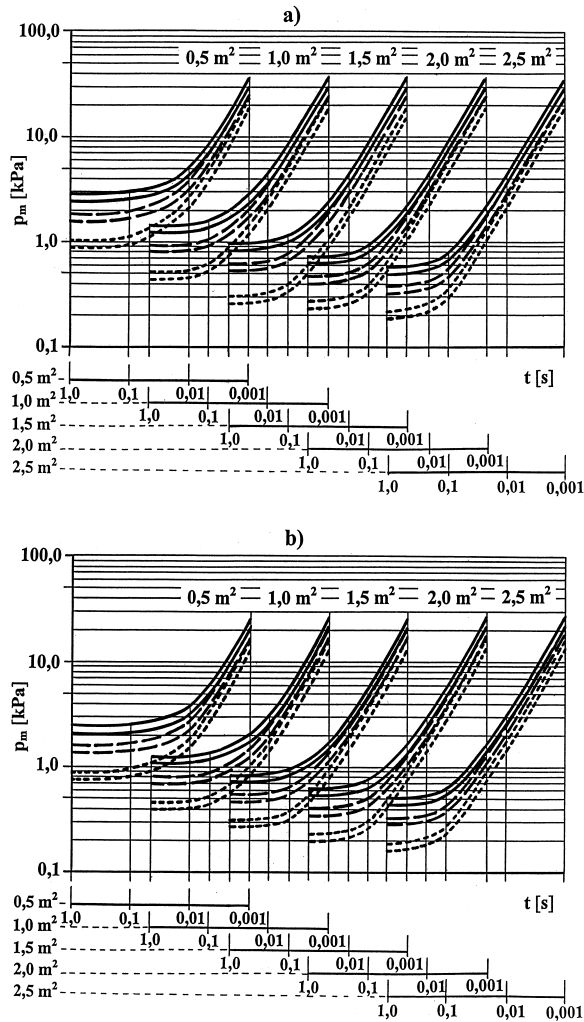
Sklo se v celém rozsahu zatěžování až do meze porušení chová přibližně lineárně pružně (závislost napětí na deformaci).

Z experimentálního ověřování skleněných tabulí vyplynul poznatek, že k porušení okenní tabule dojde buď při překročení meze pevnosti skla, nebo při překročení mezního natočení – úhlu lomu střednice skleněné tabule. Mezní natočení, při kterém dochází k lomu skla, bylo odvozeno z výsledků laboratorních zkoušek tříbodového ohybu při době působení zatížení řádu setin až desetin sekundy na vzorcích tabulového hladkého skla při různé rychlosti zatěžování (umožňující zkušební zařízení). Tento úhel lomu je v intervalu 0,024 až 0,029.

To znamená, že na kritérium mezního natočení jsou zpravidla citlivější menší okenní tabule (je dříve dosaženo mezního natočení než pevnosti skla v tahu za ohybu). Pro větší okenní tabule je rozhodující zpravidla pevnostní kritérium. To ovšem za předpokladu, že sklo nebude dříve rozbito letícími troskami (z vybavení místnosti apod.), které okenní konstrukci při bodovém úderu mohou rozbit dříve, tedy při nižším přetlaku  $p$  než při působení samotného přetlaku.

Pro sestavení grafů únosnosti bylo skutečné zatížení skleněných okenních konstrukcí dopadající tlakovou vlnou zjednodušeno zavedením některých předpokladů:

- rázová vlna má rovinné čelo;
- zatěžuje celou plochu okenní tabule rovnoměrně;
- má strmé čelo a přibližně trojúhelníkový průběh (maximální tlak v čele této vlny je  $p_m = p_+$ );
- při nárazu na okno dojde k přetlaku odrazu, který se sečte s dopadající vlnou na výsledný přetlak, jehož hodnota je přibližně  $p_{tot} = 2 p_+$  (jde o kolmý odraz);



Obr. 1. Mez porušení hladkého okenního skla po celém obvodu v okenním rámu dobře zatmeleného (typ 1) v závislosti na přetlaku v zatěžující rázové vlně  $p_m$ , době působení přetlaku  $t$ , ploše zasklení  $A$ , tloušťce skla (3 mm – tečkovaná čára, 4 mm – čerchovaná čára, 5 mm – plná čára) a stáří okenního skla (dvojice čar stejného typu: nové sklo má vyšší únosnost --- horní mez, starší sklo nižší únosnost ... dolní mez)

a – poměr rozměrů skleněné tabule  $a/b = 1$ ; b –  $a/b = 2$

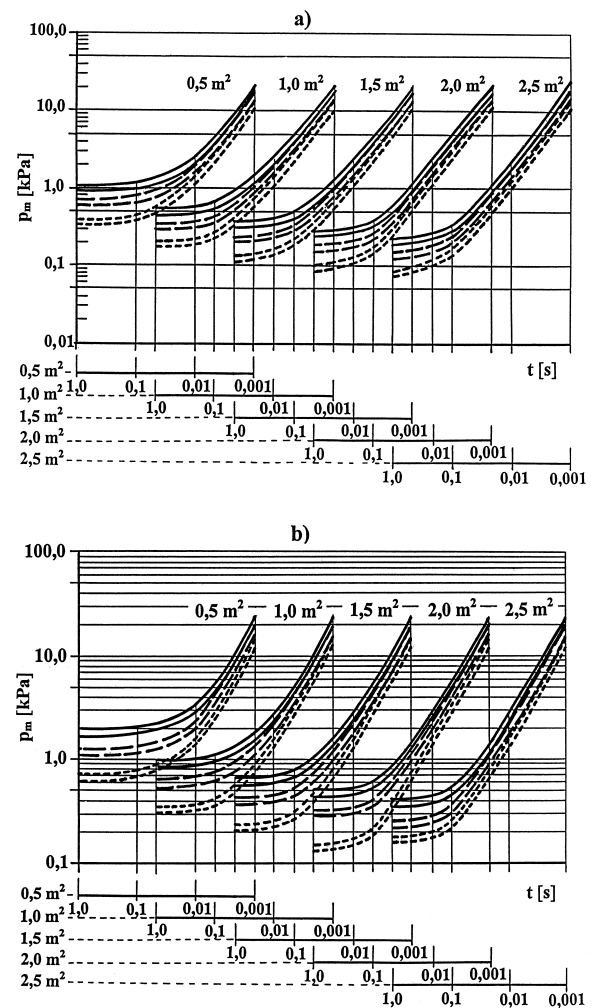
- při prvním nárazu na okenní konstrukci nese s sebou pevné částice – trosky. Jestliže zdroj tlakové vlny se nachází v provozech, ve kterých jsou skladovány sypké částice, nebo v halách pro obrábění předmětů, a mohou se zde vyskytovat drobné odřezky (třísky apod.), pak tlaková vlna „na své cestě k okenní konstrukci sebere drobné předměty“ (drobné nářadí, větší nečistoty, odpad po obrábění – kovové třísky, okuje apod.) nebo je sama o sobě obsahuje v závislosti na spalovacím médiu (uhelný prach a úlomky uhlí, piliny apod.), které okenní konstrukci při bodovém úderu rozbijí dříve, tedy při nižším přetlaku  $p_{tot}$  než samotná tlaková vlna.

Předpokládalo se, že o porušení skla rozhoduje dosažení meze pevnosti materiálu v tahu v krajních vláknech skleněné desky.

Pro odvození únosnosti předpokládáme, že skleněná tabule je obdélníková a má rozměry  $A = a \cdot b$ . V našem případě uvažujeme pouze dva typy skel, a to obdélníkové s poměrem stran  $a/b = 2$  a čtvercové  $a/b = 1$ . Ze způsobu zasklení (především stavu zatmelení okenního skla v rámech, nebo v závislosti na jiném způsobu jeho uchycení) odhadneme okrajové podmínky:

- typ 1: okenní konstrukce jsou zaskleny obvyklým způsobem, a to s řádným zatmelením skla po celém obvodu, nebo uložení mezi pryžové vložky a přítlačné profily apod. (z hlediska mechaniky konstrukce jde o pružné vetknutí po celém obvodu okenní tabule);
- typ 2: tmel je vypadaný nebo jsou uvolněné přítlačné profily alespoň na 50 % obvodu skla (z hlediska mechaniky konstrukce jde o posuvné kloubové uložení skla na dvou protilehlých stranách, na dalších dvou stranách je uložení volné).

Grafy na obr. 1 a obr. 2 jsou sestaveny pro běžné okenní sklo tl. 3 až 5 mm a pro přetlak (trojúhelníkový průběh) v trvání od mikrosekund po zlomek sekundy (na základě trojrozměrného výpočtu okenního skla zatíženého trojúhelníkovým průběhem přetlaku).



Obr. 2. Mez porušení hladkého okenního skla s tmelem uvolněným na polovině obvodu skla (typ 2) v závislosti na přetlaku v zatěžující rázové vlně  $p_m$ , době působení přetlaku  $t$ , ploše zasklení  $A$ , tloušťce a stáří okenního skla (tloušťku skla vyjadřuje typ čáry, stáří skla vyjadřeno dvojicí čar stejného typu, obojí stejně jako na obr. 1)

a – poměr rozměrů skleněné tabule  $a/b = 1$ ; b –  $a/b = 2$

Mezní zatížitelnost byla stanovena pro jednoduché okenní konstrukce na účinky působení plynové tlakové vlny a ověřena experimentálně. Tato zatížitelnost je vztažena k přetlaku  $p_m = p_+$  dopadající rázové vlny (je však třeba si uvědomit, že jde o maximální přetlak na čele rázové vlny, a nikoli o součet dopadající a odražené vlny  $p_{tot}$ , který je již zahrnut ve výpočtu únosnosti skleněné tabule na účinky tlakové vlny). Podle úvodního textu je při přímém působení přetlaku v malých prostorách (nejde o vlnové zatížení) mezní zatížitelnost proti grafům na *obr. 1* a *obr. 2* dvojnásobná. Meze závislosti v těchto obrázcích odpovídají přibližně různému stáří skla (nové sklo versus sklo zhruba deset let staré – viz dvojice čar vymežující interval únosnosti vzhledem ke stáří skla). Nejistota ve stanovení mezní zatížitelnosti je zpravidla menší než 30 %, s výjimkou skel s výrazně odlišnými pevnostními a přetvárnými charakteristikami, než odpovídá běžnému standardu. U okenních konstrukcí se zdvojenými nebo dvojitými okenními křídly zasklenými hladkým nebo drátěným sklem je pak únosnost podle experimentálního ověřování [2], [3], [5] přibližně o 30 % vyšší.

Mezní únosnost závěsů okenních křidel je přibližně osmkrát až desetkrát větší než únosnost vlastního zasklení. Předpokladem je jejich dobrý technický stav před zatížením tlakovou vlnou, který odpovídá stáří oken nejvýše patnáct let, pokud okna nejsou umístěna v prostředí urychlujícím korozi okenních křidel, závěsů nebo trouchnivění dřeva rámu. Pro porovnání s výsledky výpočtu (*obr. 1*, *obr. 2*) je uvedena *tab. 1*, která shrnuje poznatky publikované v literatuře. Z obrázků je zřejmá závislost únosnosti okna zejména na době působení přetlaku a rozměrech konstrukce, jež se při analýze konstrukce projevují zvláště na odlišném nalaďení konstrukce. Na rozdíl od výpočtů vztahuje empirická *tab. 1* porušení konstrukčního prvku pouze k typu konstrukce a velikosti jejího zatížení.

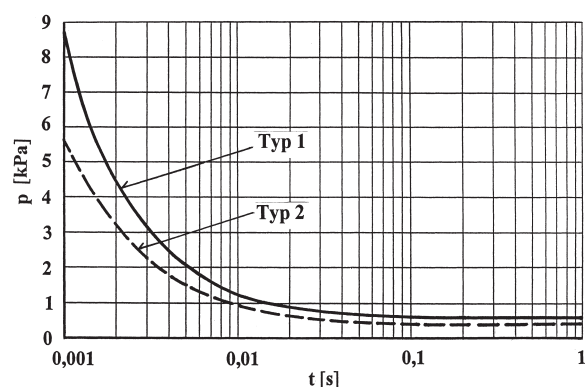
*Tab. 1. Odhad porušení okenních a dveřních konstrukcí a jejich konstrukčních částí (včetně navazujících cihelných zdí) v závislosti na přetlaku v dopadající rázové vlně  $p_+$*

Konstrukce	Popis porušení	$p_+$ [kPa]
zasklení	část rozbita	1,5 až 2,0
	všechno rozbito	3,5 až 7,0
ocelové okenní panely se skly tl. 4,5 mm	sklo rozbito	do 3,5
rámy oken a dveří	zkroucení, lomy	12
závěsy běžných dveří	zkroucení, lomy	1,1 až 1,8
závěsy vrat do hal a objektů	zkroucení, lomy	0,9 až 3,5
cihelné zdi tl. 1 až 1,5 formátu cihly, výška do 2,5 m	vážné škody až destrukce	30,0 až 40,0

### 3. Příklad výbuchu v rodinném domě

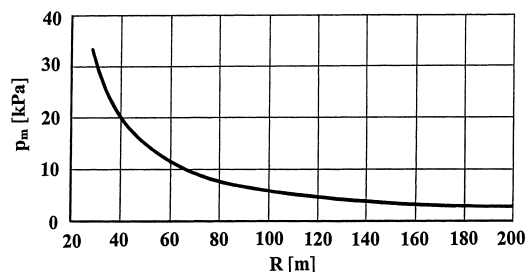
V rodinném domě byla v kuchyňské lince umístěna propanbutanová láhev (10 kg) pro vaření na plynovém sporáku. Půdorysné rozměry kuchyně měly světlost  $6,9 \times 3,5$  m a světlou výšku 2,5 m. Dvoukřídle okno do ulice z hladkého skla tl. 3 mm má rozměry  $1,5 \times 0,5$  m a jsou zde ze dvou třetin prosklené vstupní dveře z chodby. Zdrojem výbuchu byl plyn unikající z úmyslně otevřené láhve. Přibližně 5,5 kg plynu v láhvi stačí k optimální koncentraci výbušné směsi plynu se vzduchem v uzavřeném prostoru. Kuchyň je uzavřeným prostorem až do okamžiku rozbití okenních tabulí a skleněných výplní dveří. Vzhledem k rozměrům skel dojde k rozbití okenních skel dříve než skel dveří. Na *obrázku 3* je vypočítána s použitím grafů z *obr. 1* a *obr. 2* závislost meze

porušení konkrétních rozměrů kuchyňských skel na době působení zatížení a vlivu zatmělení skla v okenním rámu. Z *obrázku 3* je zřejmé, že kvalita zatmělení (typ 1 – sklo zatměleno kvalitně po celém obvodu okenního křídla, typ 2 – tmel vypadlý z poloviny obvodu) nemá pro dostatečně dlouhou dobu působení přetlaku významný vliv. Pro velmi krátké působení přetlaku vliv kvality okenních tmelů stoupá. Stáří okenního skla má vliv na jeho pevnost – klesá o 5 až 10 %, tento vliv není na *obr. 3* vyneseno, hodnoty křivek jsou zde odečteny jako střední hodnoty mezi křivkami pro nové a deset let staré sklo z *obr. 1* a *obr. 2*. Z *obrázku 3* je dále zřejmé, že účinkem, který významně ovlivňuje únosnost okna (okamžik jeho rozbití), je doba působení dynamického přetlaku  $p$ . Při tomto výpočtu (*obr. 3*) nebyl uvažován vliv teploty spalin výbušného hoření na pevnost skla; při vyšších teplotách únosnost skleněných tabulí v kombinaci působení jednostranného ohřevu spolu s tlakem od výbuchu klesá.



*Obr. 3. Meze porušení skla  $1\,500 \times 500 \times 3$  mm ve dvoukřídle okně při konkrétním výbuchu plynu uvnitř kuchyně v závislosti na přetlaku výbuchu  $p$  a době jeho působení  $t$*

Podle analýzy [7] dojde u tohoto rodinného domu přibližně při přetlaku 0,6 kPa k rozbití okenních a dveřních skleněných výplní, a tím k otevření odlehčovacích otvorů v místě oken a dveří. Výbušný tlak však i přes otevřené otvory dále narůstá až do maximálního přetlaku intenzity 33 kPa, kterého dosáhne po 0,34 až 0,40 s od počátku výbuchu. Tato maximální intenzita přetlaku a doba jeho trvání odpovídá mezní únosnosti obvodových nosných konstrukcí kuchyně (stěn, příček, stropu a podlahové konstrukce). Zatížení mezním přetlakem od výbuchu způsobí [3], že zděné obvodové i příčkové konstrukce se výbuchem poruší a zřítí. Důsledkem havárie nosných i nenosných prvků je skutečnost, že výbušná směs se rozšíří do celého domu, a následně po porušení objektu i do nejbližšího okolí. Od ohniska výbuchu se pak začne šířit tlaková vlna s přetlakem na čele této rázové vlny podle *obr. 4* a s podobně exponenciálně klesající dobou působení přetlaku – stejnou funkcí jako tlaková závislost na *obr. 4*.



*Obr. 4. Velikost přetlaku  $p_m$  v rázové vlně, která se šíří od výbuchu v rodinném domě do jeho okolí v závislosti na vzdálenosti  $R$  od epicentra výbuchu*

Odečteme-li velikost přetlaku  $p$  v závislosti na vzdálenosti  $R$  z obr. 4 a porovnáme s kritérii podle obr. 1 a obr. 2, je zřejmé, že tlaková vlna způsobí rozbití oken v sousedních domech do vzdálenosti 100 až 120 m.

#### 4. Závěr

Cílem řešení bylo stanovení kritérií (obr. 1, obr. 2) pro porušení zasklení okenních konstrukcí při působení tlakové vlny od výbuchu. Je zřejmé, že dominantní vliv má doba působení přetlakového zatížení na tuto konstrukci. Z grafů je patrné, že konkrétní mez porušení, vztahená k průběhu tlaku v dopadající vlně vybuzeň výbuchem, závisí na rozměrech okenní konstrukce (ploše zasklení  $A$  a tloušťce skla) a kvalitě zasklení (stáří skla, způsobu jeho upevnění – zatmělení v okenní konstrukci apod.). Nejvyšší vlastní frekvence okenní tabule (frekvenční naladění) je funkcí nejen plošných rozměrů okenního skla a jeho tloušťky, ale také okrajových podmínek vyjádřených způsobem uchycení skel v okenních rámech. Z tohoto důvodu velmi přibližné tabelární údaje o porušení okenních konstrukcí (typu tab. 1), založené pouze na intenzitě tlakového zatížení, mohou být jen velmi přibližným – řádovým údajem o skutečném okamžiku porušení tohoto typu konstrukcí při účincích výbuchu.

Na příkladu výbuchu propanbutanové směsi v kuchyni rodinného domu je ukázáno použití grafů z obr. 1 a obr. 2 pro posouzení okamžiku rozbití oken v místnosti, v níž explozovala výbušná plynná směs, a dále nebezpečnost zformované tlakové vlny na okenní konstrukce objektů v blízkém okolí.

Práce je podporována grantovými projekty č. 103/01/0039 „Modelování účinků tlakových polí při havarijních výbuších plynů v uzavřených objektech na stavební konstrukce“ a č. 103/00/0705 „Analýza rizika porušení při mimořádném zatížení seizmicitou a rázovými tlakovými vlnami“ GA ČR.

#### Literatura

- [1] Hořejší, J. – Šafka, J.: Statické tabulky, TP 51. Praha, SNTL 1987.
- [2] Makovička, D. – Lexa, P.: Dynamic Response of Window Glass Plates Under Explosion Overpressure. In: Bulson, P.S. (Ed.): Structures Under Shock and Impact II. Southampton, Computational Mechanics Publications 1992.
- [3] Makovička, D.: Influence of Short Shock Load on Response of Masonry Structure. In: Bulson, P. S. (Ed.): Structures under Shock and Impact III. Southampton, Computational Mechanics Publications 1994.
- [4] Makovička, D.: Prevence stavebních konstrukcí před ničivými účinky výbuchu. 150 – hoří, 1997.
- [5] Makovička, D.: Dynamická odezva okenní konstrukce jako odlehčovacího otvoru při mezním dynamickém zatížení objektu rázovou vlnou. Požární ochrana 97, Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, VŠB TU – Ostrava, 1997.
- [6] Makovička, D.: Okenní konstrukce a jejich vliv na formování zatížení při výbuchu uvnitř budov. Stavební obzor 8, 1999, č. 2, s. 49 – 53.
- [7] Makovička, D. – Damec, J.: Posouzení účinku výbuchu propanbutanové směsi se vzduchem na rodinný dům a jeho okolí. [Zpráva], Praha, 2001.

#### Makovička, D.: Load-Bearing Capacity of Window Structures Under Explosion Pressure Effects

This paper aims at determining the limit load-bearing capacity of window structures loaded by overpressure due to gas-air mixture explosion depending on the window structure dimensions, glass thickness, its age and the time of overpressure impact. The limit loading capacity of the window structure before the moment of glass breaking is based on experimentally determined glass characteristics, numerical analyses of behaviour of the window structure and experimental testing of the dynamic response of the window during the real impact of the explosion. The paper also presents an example of determination of the breakability of windows during explosion of propane-butane mixture in the kitchen part of a house.

#### Makovička, D.: Tragfähigkeit von Fensterkonstruktionen bei den Druckwirkungen einer Explosion

Die Arbeit ist auf die Ermittlung der Grenztragfähigkeit von Fensterkonstruktionen bei deren Belastung durch Überdruck von einer Explosion eines Gas-Luft-Gemisches in Abhängigkeit von den Abmessungen der Fensterkonstruktion, der Dicke und dem Alter der Scheiben und der Dauer der Einwirkung des Überdrucks gerichtet. Die Grenzbelastbarkeit einer Fensterkonstruktion bis zum Moment des Zerspringens der Scheibe geht von der experimentell ermittelten Charakteristik des Glases, numerischen Analysen des Verhaltens der Fensterkonstruktion und der experimentellen Überprüfung der dynamischen Reaktion des Fensters bei der realen Einwirkung einer Explosion aus. Der Artikel ist durch ein Beispiel für die Ermittlung der Schädigungsmöglichkeit der Fenster eines Einfamilienhauses bei der Explosion eines Propan-Butan-Gemisches in dessen Küchenteil ergänzt.

## • dizertace



#### Modelování tuhosti a únosnosti tažené části patek

Ing. Zdeněk Sokol

Práce se zabývá rozbohem chování tažené části kotvení sloupu pomocí patní desky. Navržený výpočetní model je založen na chování náhradního profilu T. Doktorand prověřil výpočetní model rozsáhlými experimenty a v parametrické studii objasnil zejména vliv délky kotevních šroubů na chování patky. Výsledky budou využity v probíhající revizi evropské normy pro navrhování ocelových konstrukcí, protože práce je součástí evropského výzkumného projektu.

#### Ocelové tenkostěnné vaznice

Ing. Luděk Němec

Dizertační práce se zabývá ocelovými tenkostěnnými vaznicemi, které představují moderní a vysoce efektivní prvek používaný pro zastřešení halových objektů. Působení těchto vaznic je složité, protože spolupůsobí s křivinou tvořenou trapézovými plechy. Jsou předloženy dvě metody posouzení tohoto systému a výpočty jsou porovnány s experimenty provedenými na skutečné konstrukci. Ukazuje se, že obě metody jsou použitelné v praxi, přičemž náročnější metoda vede k výsledkům, které lépe souhlasí se skutečností.



## Závady zdvojené podlahy vlivem nevhodně upraveného podkladu

doc. Ing. Václav KUPILÍK, CSc.  
 ČVUT – Fakulta stavební  
 Praha

Zdvojené podlahy patří k moderním typům podlah používaných v provozech s velkým množstvím kabelových i jiných rozvodů. Mohou mít rozdílnou výšku vzduchové dutiny a jakoukoli povrchovou krytinu. Jejich funkční způsobilost závisí na stabilitě ocelových podpůrných stojek, na nichž jsou v rozích uloženy zákloповé desky.

### 1. Popis podlahové konstrukce

V počítačových sálech objektu s telekomunikačním zaměřením byla realizována zdvojená podlaha typu ADS 40 AL. Tento typ umožňuje v dutině mezi záklopem a hrubou podkladní konstrukcí vedení elektrotechnické sítě. Do mezi-prostoru je možno kdykoli vstoupit a elektrické rozvody upravovat. Objekt, ve kterém jsou umístěny počítačové sály, je vybudován jako čtyřpodlažní nepodsklepený monolitický železobetonový skelet založený na železobetonové základové desce. Počítačové sály jsou situovány v nadzemních podlažích. Podle původního projektu byla v těchto prostorách navržena tato skladba podlahy s celkovou tloušťkou 100 mm:

- povlak PVC tl. 2 mm,
- disperzní lepidlo tl. 2 mm,
- betonová mazanina tl. 79 mm,
- lepenka A 400/H tl. 2 mm,
- zvukoizolační podložka Fibrex tl. 15 mm.

První dvě povrchové vrstvy, tj. povlak PVC s disperzním lepidlem, nebyly realizovány, takže nová zdvojená podlaha byla uložena na betonový podklad staré mazaniny. Zdvojená podlaha je dimenzována na bodové zatížení 3 kN, což vyhovuje standardním požadavkům na zatížení v kancelářských prostorách. Této únosnosti odpovídá při modulové vzdálenosti stojek 600 mm normovaná hodnota rovnoměrného zatížení až 45,3 kN.m<sup>-2</sup>.

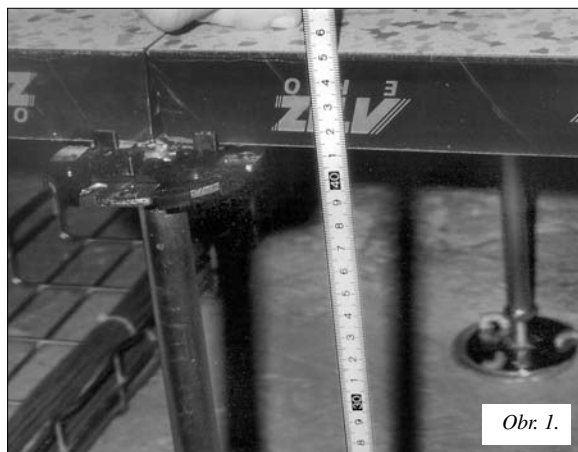
Podlaha sestává z nášlapných desek 600 x 600 mm vyrobených z kompaktních, vysokým tlakem slisovaných dřevotřískových desek tl. 38 mm. Desky (objemová hmotnost cca 700 kg.m<sup>-3</sup>) obsahují vysoký podíl bukových třísek dlouhého štíhlého tvaru, který jim zaručuje optimální pružnost. Jejich boční hrany jsou opatřeny krycí lištou PVC jako ochrana proti nárazu a vlhkosti, zkosené hrany pod úhlem 4° zajišťují bezspárový styk desek. Desky jsou výškově nesené nastavitelnými ocelovými nožičkami – stojkami. Ty jsou proti korozi chráněny pokovením žlutým chromátem. Styk desek se stojkami zajišťuje elektrostatická vodivá podložka z PVC. Okraje zdvojené podlahy podél stěn jsou utěsněny pryžovou páskou.

K podkladu jsou stojky lepeny pružným syntetickým lepidlem šedé barvy Körapur 126 (Kömmerling, Chemische Fabrik KG) na bázi izokyanátů obdobného složení jako lepidla polyuretanová. Podkladní betonový povrch je opatřen penetračním nátěrem Primer G (MAPEI, s. r. o.) proti prachu. Primer G je disperzní impregnací na bázi syntetické pryskyřice, která zpevňuje podklad a chrání ho před škodlivým působením vlhkosti, čímž podstatně zvyšuje přilnavost nátěrů, lepidel apod.

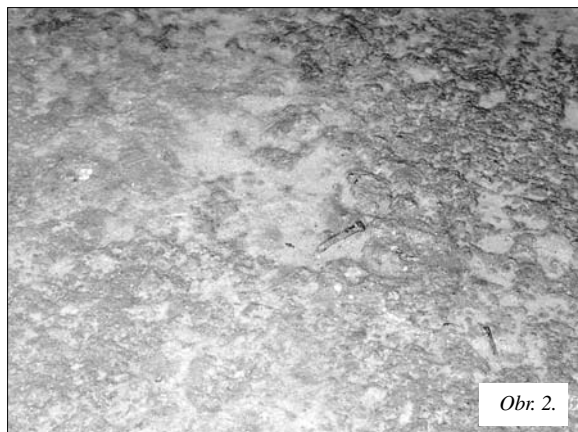
### 2. Základní nález

Při prohlídce zdvojené podlahy byly zjištěny tyto skutečnosti:

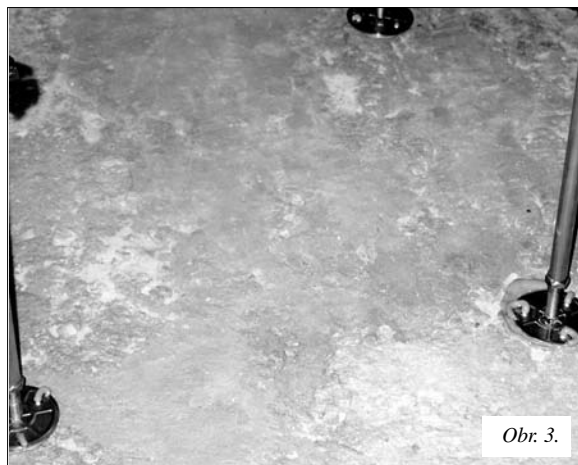
a) mezi spodním lícem zákloповých desek a povrchem podkladního betonu je vzduchová dutina cca tl. 0,41 m (obr. 1). Povrch betonové mazaniny je hrubý (obr. 2) a nestejnorodý, z různě nastavovaných druhů betonu (obr. 3). Jak je z toho-



Obr. 1.



Obr. 2.



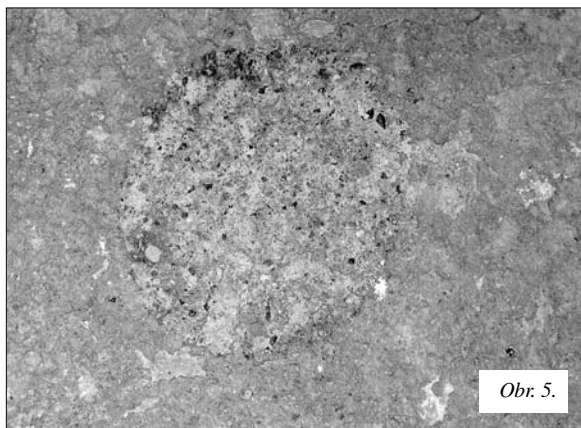
Obr. 3.

to obrázku zřejmé, stojky musí být do lepidla osazeny celou plochou, protože při montáži lepidlo navíc vytékalo otvory v dosedací podložce;

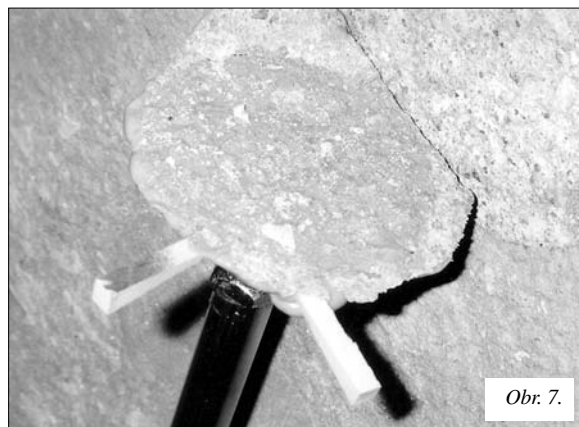
b) díky tomu, že byl povrch podkladu opatřen disperzním penetračním nátěrem, jemné částice na povrchu byly stmeleny a při odchlípnutí ocelové podložky s lepidlem přilnuly ke kontaktní ploše (obr. 4). V důsledku toho zůstaly v mís-



tech stykových ploch podložek s betonem viditelné světlejší terče s kompaktní strukturou betonu (obr. 5) mezi tmavším pozadím povrchu upraveného transparentním nátěrem. Zvětšenina na obr. 6 je dokladem toho, že v drsném povrchu se vyskytuje rozdílné množství jemného pojiva zpevněného penetračním nátěrem mezi vystupujícími ztvrdlými částmi zavázaného plniva;



c) o rozdílnosti struktury povrchu betonu svědčí tři odlišné povrchy kontaktních ploch podložek z různých míst. Na obrázku 7 je v podstatě jen přilnutý penetrační nátěr s jem-



nými částicemi, na obr. 8 jsou znatelné již tmavší skvrny částic plniva ve světlém poli penetračního nátěru a na obr. 9 jsou viditelná i zrna hrubšího plniva ve výraznějším barevném spektru;



d) použitý typ polyuretanového lepidla je dostatečně pružný a soudržný, což dokazuje natržený spojovací film na přečnívajícím lepeném terči na obr. 10. Navíc z předchozích obr. 6 až obr. 9 je patrná kontinuita lepeného povlaku v celé dosedací ploše ve všech třech případech.





### 3. Rozbor kontaktní plochy lepidla s podkladní betonovou vrstvou

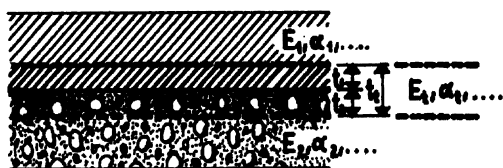
Na styku dvou materiálů dochází k jejich vzájemnému spolupůsobení, na kterém se podílí:

- chemická soudržnost daná interatomovými silami,
- fyzikální soudržnost daná intermolekulárními silami,
- mechanická soudržnost daná kotevními účinky spojovaných ploch.

Chemická soudržnost je způsobena interakcí atomů v těchto chemických vazbách:

- v iontové vazbě se přitahují pozitivní a negativní ionty,
- v kovalentní vazbě se vyskytují společné valenční elektrony,
- v kovové vazbě krystaly sestávají z rovnoměrně rozmístěných iontových jader s valenčními elektrony téměř volně se pohybujícími celou hmotou.

Z hlediska fyzikální soudržnosti je důležitá schopnost pevného betonového povrchu přitahovat atomy nebo molekuly tekutiny, a vytvořit tak novou stykovou zónu (obr. 11), jejíž tloušťka je rozhodující pro posuzování pevnosti v soudržnosti a hlavně životnosti spoje. Je ovlivňována teplotou, vlhkostí, smáčivou povahou povrchu, nasákavostí atd.



Obr. 11. Styková hranice mezi jednotlivými vrstvami

Styková zóna tak vytváří souvrství, kde objemové změny jednotlivých vrstev jsou ovlivněny nejen tloušťkou, ale především mírou spojení jednotlivých vrstev. Napětí  $\sigma$  [MPa], vyvozené rozdílem teplot dílčích vrstev  $\Delta$ , lze odvodit podle vztahu

$$\sigma = \pm \varepsilon_1 \cdot E_1 \mp \varepsilon_2 \cdot E_2 = \frac{\pm \Delta t_1}{l} \cdot E_1 - \frac{\pm \Delta t_2}{l} \cdot E_2 = \pm t_1 \cdot \alpha_1 \cdot E_1 \mp t_2 \cdot \alpha_2 \cdot E_2,$$

kde  $\varepsilon$  je poměrné prodloužení (+ (zkrácení -),

$E$  – modul pružnosti [MPa],

$\alpha$  – koeficient délkové teplotní roztažnosti [ $K^{-1}$ ],

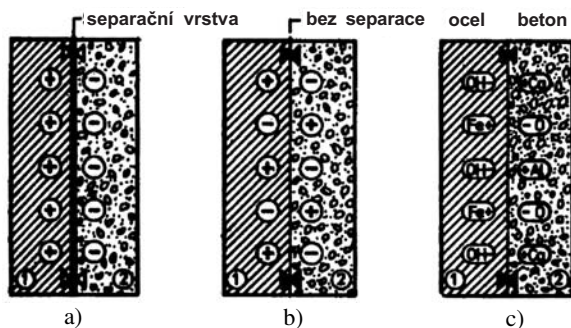
$l$  – počáteční délka prvku [m].

Kromě fyzikálních interakcí působí na soudržnost ještě kotevní efekt, který závisí na mikrotopografii povrchu (obr. 12) a velikosti molekul. Na obr. 12a je znázorněn drsný povrch s nerovnostmi 1 až 5 mm. Do nerovností a dutin zapadají molekuly vláčné nebo tekuté hmoty, působením chemicko-fyzikálních vazeb pokrývají celý povrch pevných látek.



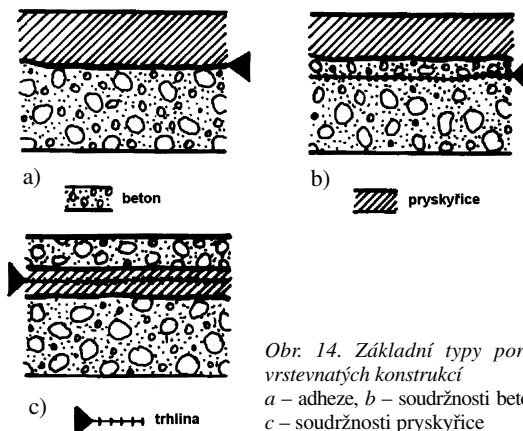
Obr. 12. Struktura povrchu pevných látek  
a – makrostruktura, b – mikrostruktura

V případě spoje silikátového materiálu a kovu je pevnost v přilnavosti dána chemicko-fyzikální vazbou, mechanickou soudržností, kohezí a smrštěním. První tři vlastnosti pevnosti spoje zvětšují, smrštění ji naopak snižuje. Z hlediska chemicko-fyzikálních vazeb je nutné sledovat, jakým způsobem mohou na povrchu spojovaných hmot působit volné elektrony a jaká je bilance energetického potenciálu spojovaných povrchů. Na obrázku 13 je znázorněna rovnoměrná a mozaiková struktura elektrické stykové zóny. Schopnost vytvořit tuto vrstvu lze ovlivnit chemickým složením spojovaných materiálů tak, aby se zvýšila elektronegativnost jednoho povrchu vůči druhému.



Obr. 13. Schéma formování elektrické zóny  
a – rovnoměrná struktura, b – mozaiková struktura, c – mozaiková struktura na styku oceli s betonem

Při spojování polymerů a silikátů se mohou vyskytovat tři základní typy poruch soudržnosti spojovaných hmot (obr. 14). Zejména u betonů nebo silikátů se často v důsledku



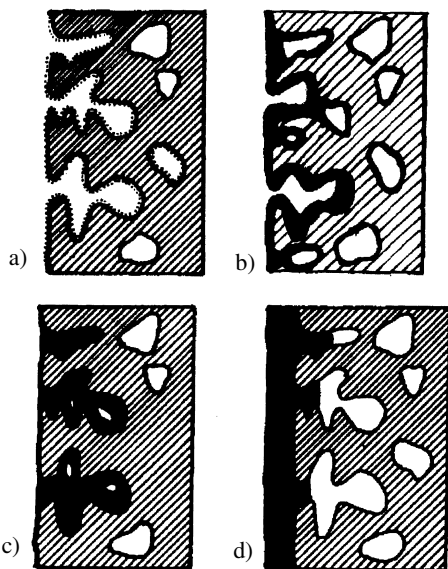
Obr. 14. Základní typy poruch vrstevnatých konstrukcí  
a – adheze, b – soudržnosti betonu, c – soudržnosti pryskyřice

nesprávné technologie na povrchu vytváří vrstvička hmoty s menší pevností než hmota vzdálenější od povrchu. V důsledku nedokonalého mísení zůstane obvykle na povrchu vrstvička ztvrdlého betonu, kterou je třeba před aplikací připojované vrstvy odstranit.

Jestliže se k silikátům připojují hmoty na bázi plastů (pryskyřice, lepidla, tmely atd.), může někdy dojít k poruše koheze v těchto hmotách při nesprávném poměru složek, jejich nedostatečném mísení nebo při nesplnění podmínek pro provádění (nedodržení teploty, vlhkosti atd.).

Poruchu soudržnosti ve stykové zóně nebo přímo na styku spojovaných materiálů lze ovlivnit úpravou povrchu suchého podkladového betonu (zejména starého), čímž se změní fyzikálně chemické vlastnosti jeho povrchu (mechanická soudržnost, alkalita, styková zóna, elektronegativnost jednoho povrchu vůči druhému apod.). Podle toho je možné u starých betonů aplikovat (*obr. 15*):

- impregnaci, při níž se molekuly spojované hmoty soustřeďují na povrchu;
- penetraci – molekuly spojované hmoty pronikají do větší hloubky, čímž zvětšují tloušťku stykové zóny, avšak póry zůstávají neutěsněny;
- těsnění povrchu, které částečně povrchové póry utěsňuje a vytváří tenký povrchový film;
- stěrku, která povrchové póry uzavírá a díky silnější vrstvě plní i vyrovnávací funkci povrchu.



Obr. 15. Povrchové úpravy suchého betonového podkladu

#### 4. Příčina poruchy a návrh sanace

S ohledem na základní nález v odd. 2, zejména na strukturu kontaktních ploch lepidla ocelových stojek ze tří rozdílných míst, je možné konstatovat, že hlavní příčinou odpaďování podložek od podkladní betonové mazaniny je nevalitní povrch betonu. Předchozí penetrační nátěr přilnavost lepidla k betonovému povrchu nezhoršil, naopak, jeho vazbu k prašnému povrchu zlepšil. Ačkoli betonový povrch je hrubý, nebyl dostatečně zhutněn, takže vykazuje povrch nestejný, sestávající z částí s rozdílnou strukturou a odlišným poměrem cementu k plnivu. Z rozdílných map na *obr. 3* lze např. usuzovat, že betonová směs byla ukládána bez zhutnění a s odlišným způsobem mísení.

Tím, že lepidlo na bázi polyuretanu bylo již v obalech dodáno v přesně stanoveném poměru jednotlivých složek a předepsané konzistenci (nemuselo se na stavbě upravovat, např. ředěním, mísením), je možné podíl lepidla na vzniklé

poruše v důsledku nedodržení předepsaných technologických podmínek nanášení vyloučit. Použitý typ požadované pružnosti byl v souladu s akreditovaným výrobkem.

Lze připustit, že namáhání stojky vlivem klopného momentu, vyvolaného zatížením na poměrně velkém rameni (cca 0,41 m), sice zvýšilo tahové napětí v patě stojky, avšak při řádně zpevněném povrchu, např. vyrovnávací samonivelační stěrku, by se tento problém neměl vyskytovat.

Vzhledem k tomu, že provozovatel zamítl jakýkoli způsob sanace, při kterém by došlo v důsledku mechanického kotvení (ať již vrtáním, nebo nastřelováním) k vývinu prachových částic, je možné buď zcela odstranit, nebo alespoň podstatně omezit klopný moment rozepřením stojek pod záklopovými deskami pomocí kovových příčniců a podélníků. Tento způsob opravy se může provádět postupně, bez odstavení počítačů z provozu.

#### 5. Závěr

Z analýzy zdvojené podlahy ADS 40 v počítačových sálech vyplývá:

- a) ztráta stability podpůrných ocelových stojek byla způsobena nedostatečně upraveným povrchem podkladní betonové mazaniny;
- b) podlahu vyhovuje certifikátu č. C 5-00-0045, který se vztahuje na kvalitu dodávaného výrobku včetně řádného fungování variabilní otevíratelné podlahové plochy kryjící technologický prostor pod ním;
- c) prodloužení doby při zajišťování stability podpůrných stojek může kromě zvýšených nákladů na jejich zpevnění ohrozit provoz počítačů natolik, že bude muset být zcela zastaven.

Příspěvek je součástí výzkumného záměru č. 1 MŠMT, CEZ: J04/98: 210000001 „Funkční způsobilost a optimalizace stavebních konstrukcí“.

#### Literatura

- [1] Kupilík, V.: Technicko-fyzikální analýza staveb. [Přednášky], ČVUT Praha, 1989.
- [2] Pánek, J. – Rojík, V. – Krňanský, J.: Technicko-fyzikální analýza staveb. [Učební texty], ČVUT Praha, 1989.
- [3] Voldřich, F. – Bílek, V.: Konstrukce pozemních staveb – díl II. A. [Učební texty], ČVUT Praha, 1981.
- [4] Kupilík, V.: Znalecký posudek č. 18/2001.

#### Kupilík, V.: Failures of Cavity Floors As a Result of Inappropriately Prepared Base

Cavity floors belong to modern types of floors used in operations with a high number of cable and other distribution systems. They can be of differing heights of the air cavity and they can have any surface cover. Their functional properties depend on the stability of steel posts on the corners of which capping slabs are positioned.

#### Kupilík, V.: Schäden an einem Doppelfußboden unter dem Einfluss eines nicht in geeigneter Weise vorbereiteten Unterbodens

Doppelfußböden gehören zu den modernen Fußbodentypen, die in Betrieben mit einer großen Menge von Kabel- und anderen Leitungen eingesetzt werden. Sie können eine unterschiedliche Höhe des Luftzwischenraums und eine beliebige Deckschicht haben. Ihre funktionelle Eignung hängt von der Stabilität der stählernen Stützständer ab, auf denen in den Ecken Einschubplatten aufgelegt sind.

## Vznik trhlin v počátečním stadiu tvrdnutí betonu

prof. Ing. Jiří HOŠEK, DrSc.  
Ing. Jiří LITOŠ  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

Vznik trhlin v normálním betonu v počátečním stadiu jeho tvrdnutí závisí na poměru základních složek, vodním součiniteli a podmínkách, za kterých tvrdnutí probíhá. Pro nové typy vysokohodnotných a samozhutnitelných betonů proces tvrdnutí do jisté míry ovlivňují přísady. Největší pravděpodobnost vzniku poruch ve struktuře je období autogenního smrštění. Metoda simultánního měření deformací od smršťování vlivem chemických přeměn od exotermního tepla uvolňujícího se při tvrdnutí umožňuje tento proces sledovat od samého počátku. Výsledky ukázaly, že přísada plastifikátoru na bázi polykarboxyléru Glenium 51 a mikrofilérů podstatně ovlivňují deformaci cementového pojiva betonu ve fázi přechodu z kašovitě kvazikapalné na pevnou formu hmoty a mohou být dominantním faktorem vzniku trhlin u nových typů vysokohodnotných betonů.

### Úvod

Vznik trhlin provázající proces tvrdnutí betonové směsi je předmětem intenzivního výzkumu především díky podstatným změnám v technologii výroby. Vžitě, z praxe získané poučky o závislosti průběhu a velikosti objemových změn na vodním součiniteli, množství a kvalitě cementu, jsou pouze výchozí pokyny, které je nutné revidovat u **vysokohodnotných betonů** (high performance concrete – HPC) i **samozhutnitelných betonů** (self compacting concrete – SCC).

Vliv přísad do čerstvé betonové směsi na průběh procesu přeměny kašovitě kvazikapalné hmoty na pevnou je značný. Obecně se soudí, že se pravděpodobnost vzniku trhlin zvětšuje. Nezbytnost přesné kontroly vícesložkové soustavy cement – voda – přísady – kamenivo je dána právě tímto faktem.

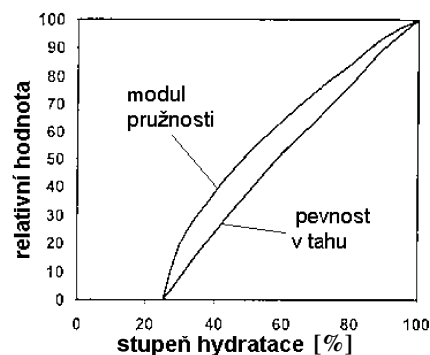
### Objemové změny při tvrdnutí betonu

Narušování kompaktní struktury betonu trhlinami je spojováno s obdobím dotváření pevné kompozitní hmoty po chemické přeměně slínekových minerálů na krystalické útvary v časovém období, v němž se intenzivně odpařuje přebytečná technologická voda z hydratující soustavy (drying shrinkage). Přítomnost přísad ovlivňuje tento proces a nežádoucí trhliny mohou vznikat na samém počátku fázové přeměny (plastic shrinkage cracking) nebo v období několika prvních dnů od počátku tuhnutí směsi. Tomuto nebezpečí se v praxi předchází doplněním čerstvé betonové směsi o vláknitou složku.

Modelovat proces tuhnutí mnohosložkové betonové směsi je možné pouze na základě přesných výchozích informací o vlivu jednotlivých složek na průběh hydratace. Zásadní informací v tomto smyslu je experimentální ověření vlivu přísad na tepelné zabarvení hydratace vzhledem k rychlému exotermickému průběhu reakce a vlivu mikroplniv na utváření pevné fáze charakterizované nízkou porozitou struktury betonu. Tato skutečnost je stavební praxi dobře známa a

řeší se citlivým ošetřováním tvrdnoucí betonové směsi. Zjednodušený model založený na představě hydratačního procesu, při němž jsou póry ve struktuře částečně vyplněné vodou při vysychání soustavy cement–voda zdrojem vnitřního napětí vedoucího ke smršťování (self-desiccation shrinkage), je první informací matematicky zpracovávající experimentální poznatky [1].

Autogenní smršťování je řídicím procesem vytváření napětí ve struktuře. Přeměna kašovitě hmoty betonu v pevnou se u betonu standardního složení předpokládá přibližně po deseti hodinách, kdy je zhruba 25 % slínekových minerálů přeměněno na hydratovanou formu [2], [3]. Přitom nárůst modulu pružnosti je rychlejší než pevnost v tahu mladého betonu. Tato disproporce vede ke vzniku trhlin (obr. 1).



Obr. 1. Schéma časového nárůstu modulu pružnosti a pevnosti v tahu vysokohodnotného betonu [2]

I když je zřejmé, že hlavní podíl na smršťování betonu má vznik napětí v kapilárách odpařováním vody, je nesporný i vliv exotermního průběhu hydratace, protože tento proces iniciuje a řídí. Změna objemu tvrdnoucího betonu je úměrná vývoji tepla v betonovém prvku, a tedy přímo závisí na jeho velikosti (size effect). Výsledky teplotní hladiny po průřezu betonových prvků různých velikostí, zjišťované ve spolupráci s a.s. Metrostav, prokázaly podstatné rozdíly teploty a odpovídajících objemových změn uvnitř a v povrchové zóně [5].

### Vliv přísad na smrštění betonu

Úlohou přísad v čerstvé betonové směsi je zlepšit zpracovatelnost a snížit porozitu betonu. Tento požadavek splňuje nový typ plastifikátorů na bázi polykarboxyléru tím, že snižuje povrchové napětí vody v pórech, a tím i kapilární napětí. Mikroplniva jsou hlavním faktorem umožňujícím snížit porozitu ztvrdlého betonu. Jejich vliv na velikost smrštění není dosud jednoznačně objasněn.

Program zkoušek bezkontaktního snímání délkové změny vzorků, vypracovaný v laboratořích experimentálního centra, vycházel z toho, že hlavním faktorem iniciujícím vznik trhlin je autogenní smršťování cementového pojiva v počáteční fázi tvrdnutí, které přímo souvisí se vznikem napětí ve struktuře [6]. Druhým výchozím předpokladem bylo, že autogenní smršťování probíhá především v cementovém

pojivu a odpovídající smrštění betonu je dáno vztahem obecně platným pro kompozitní materiály

$$\varepsilon_b / \varepsilon_{cp} = 1 - V_k, \quad (1)$$

kde  $\varepsilon_b$  je autogenní smrštění betonu,

$\varepsilon_{cp}$  – autogenní smrštění cementového pojiva,

$V_k$  – objem kameniva v čerstvé betonové směsi.

Po řadě orientačních zkoušek byl k ověření vlivu přísad na chování cementového pojiva ve fázi přechodu z kvazikapalného stavu na pevný zvolen k podrobnému měření soubor s portlandským cementem CEM I 52,5 R, superplastifikátorem Glenium 51 a třemi typy plniv přicházejících v úvahu pro použití v podmínkách našich výrobců betonových směsí (tab. 1):

- mikromletý vápencec – Mořina, 2 770 kg/m<sup>3</sup>,
- vysokopecní popílek – elektrárenský popílek z elektrárny Chvaletice,
- silica-fume.

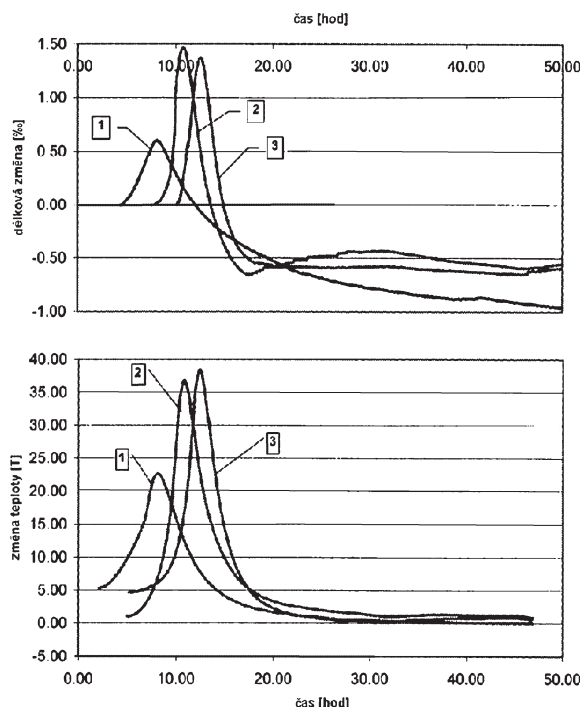
Bezkontaktní měření délkových změn se současným měřením na Vicatově přístroji a záznamem teploty článkem vloženým dovnitř cementové kaše na počátku hydratace umožňují přesně zjistit dobu změny skupenství systému, a tak určit hranici, při níž napětí od změny objemu vytváří podmínky v již pevné struktuře pro vznik trhlin. Kladná délková změna vzorku na počátku měření je dána tím, že tepelná dilatace převažuje nad smršťováním vyvolaným hydratačními chemickými změnami.

Tab. 1. Složení směsí

Série	Složky	v/c	Počátek / konec tuhnutí [h]
1.	CEM I 52,5R	0,29	2,5 / 5,5
2.	CEM I 52,5 R 0,5 % Glenium 51	0,29	5,9 / 10,5
3.	CEM I 52,5 R 1 % Glenium 51	0,29	6,5 / 12,3
4.	CEM I 52,5R 0,5 % Glenium 51 5 % mikroskopicky mletý vápencec	0,29	6,7 / 14,0
5.	CEM I 52,5R 0,5 % Glenium 51 5 % silica-fume	0,29	5,1 / 12,8
6.	CEM I 52,5R 0,5 % Glenium 51 5 % popílek	0,29	5,6 / 12,8

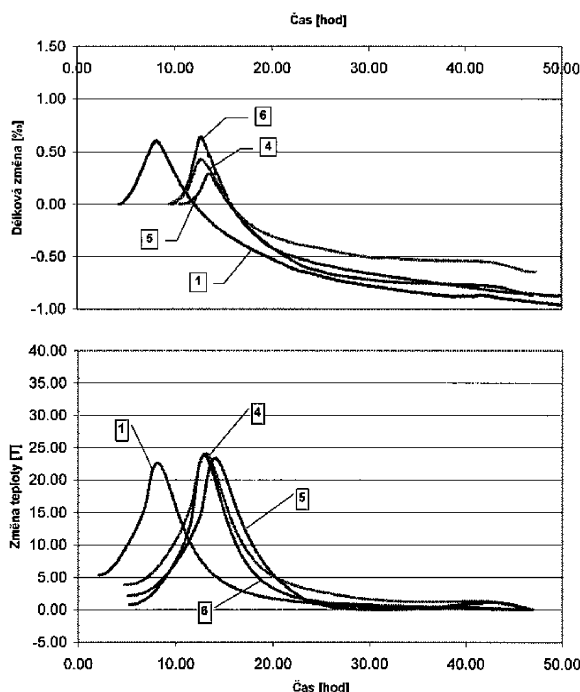
Vliv tepelné dilatace na smršťování (roztážnost) je zřejmý. Teplotní změna koresponduje s počátkem hydratace stanoveným na Vicatově přístroji (tab. 1). Příklad superplastifikátoru Glenium 51 oddaluje počátek hydratační reakce cementového slínku s vodou v závislosti na množství této přísady (obr. 2).

Zásadním poznatkem, který vyplynul z těchto měření, je to, že superplastifikátor Glenium 51 svou chemickou podstatou je schopen dokonale dispergovat cementová zrna, zamezit tvorbě shluků, a tak zvětšit specifický povrch cementového podílu v suspenzní soustavě (cementové kaši), a tím zvýšit účinnost hydratace. To se v měření projevuje zvýšením maxima teploty. V důsledku toho pak přísada plastifikátoru způsobí snížení podílu nezhydratovaných zrn, a tedy se kladně projeví na vzniku pevné struktury cementového kamene. Je však třeba vždy určit optimální a maximálně možné množství daného plastifikátoru v betonové směsi.



Obr. 2. Vliv množství superplastifikátoru Glenium 51

Vliv mikroplniv na hydrataci vycházející ze sestavy cement – voda – plastifikátor udává obr. 3. Počátek hydratace je pravděpodobně díky částečnému blokování cementových zrn v všech třech typech mikroplniv časově posunut a snižuje se i rychlost reakce. Nejmarkantnější změna byla zaznamenána po přísadě mikromletého vápencec.



Obr. 3. Vliv druhu mikroplniva

## Závěr

Z výsledků měření je zřejmé, že:

- objemová změna tvrdnoucího betonu je podstatně ovlivněna tepelnou dilatací úměrnou exotermickému průběhu hydratace cementu, což může vést ke vzniku mikrotrhlin v má-

lo pevné, teprve se vytvářející strukturu cementového kame-  
ne a poruch na styčné ploše s kamenivem;

- **přídavek plastifikátoru Glenium 51** na bázi polykarbo-  
xyléteru podstatně ovlivňuje průběh hydratace, oddaluje po-  
čátek tuhnutí a prodlužuje interval přechodu soustavy ce-  
ment–voda z kašovitě kvazikapalné formy na pevnou hmotu;
- **dokonalá dispergace cementových zrn** v záměsové vodě  
zvětšuje účinnou plochu cementového pojiva a v konečné  
fázi se podílí na vzniku pevné struktury s malou porozitou;
- **přísada mikroplniv** redukuje množství tepla uvolňu-  
jícího se při exotermickém průběhu hydratační reakce, a sni-  
žuje tak riziko vzniku mikrotrhlin v počátečním stadiu tvrd-  
nutí vysokohodnotných betonů.

**Zkoušky a předložená publikace výsledků práce byly  
vypracovány v rámci grantového úkolu č. 103/99/0767  
GA ČR.**

#### Hošek, J. – Litoš, J.: Origination of Cracks in the Initial Stage of Concrete Hardening

Origination of cracks in common concrete in the initial  
stage of its hardening depends on the ratio of its basic  
components, water coefficient and conditions under  
which hardening takes place. The hardening process of  
concrete is, to a certain extent, influenced by additives in  
high-quality and self-compacting concretes. The highest  
probability of failure origination in the structure is in the  
period of autogeneous shrinkage. The method of  
simultaneous measurement of deformations from shrink-  
age due to chemical changes from exothermic heat  
released during the hardening enables monitoring of this  
process from its very beginning. The outcomes have  
shown that the addition of plasticizers based on  
polycarbonether Glenium 51 and microfillers substan-  
tially influences deformation of cement concrete binder  
in the phase of transition from quasiliquid paste to the  
solid form of the material and can be the dominant  
factor of the origination of cracks in new types of high-  
quality concretes.

#### Literatura

- [1] Hua, C. – Acker, P. – Ehrlicher, A.: Analysis and Models of the  
Autogenous Shrinkage of Hardening Cement Paste. *Cement and  
Concrete Research*, 25, 8, 1995, 1457 – 68.
- [2] De Schutter, G. – Taerwe, L.: Degree of Hydration-Based  
Description of Mechanical Properties of Early Age Concrete.  
*Materials and Structures*, 30, 1996, 335 – 44.
- [3] Bjontegaard, O.: Stress Inducing Deformation and Mechanical  
Properties of Concrete at Very Early Ages., *Proceed. of 5th Int.  
Symp., Sandefjord, Norway, 1999*, 1027 – 40.
- [4] Hošek, J. – Litoš, J.: Autogenous Shrinkage of Hardened  
Cement Binder in Self Compacting Concrete Structure,  
*Proceedings of The Second International Symposium on Self  
Compacting Concrete, October 23 – 25 2001, Tokio, Japan*,  
433 – 440.
- [5] Hošek, J. – Vítek, J. L. – Litoš, J. – Kuráž, V. – Matoušek, J.: Te-  
plotní a objemové změny samozhutitelného betonu měřené na  
velkorozměrných modelech. *Beton TKS*, 6, 2001, s. 35 – 39.
- [6] Bentur, A.: Early Shrinkage and Cracking in Cementitious Sys-  
tems. *Proceedings of Int. Workshop about Shrinkage of Con-  
crete, Paris, 2000*, 1 – 20.

#### Hošek, J. – Litoš, J.: Rissbildung im Anfangsstadium der Betonhärtung

Die Entstehung von Rissen in Normalbeton im  
Anfangsstadium der Erhärtung hängt vom Verhältnis  
der Grundbestandteile, dem Wasser-Zement-Faktor und  
den Bedingungen ab, unter denen die Erhärtung abläuft.  
Für die neuen Typen hochwertiger und selbst-  
verdichtungsfähiger Betone wird der Erhärtungsprozess  
bis zu einem bestimmten Maß von den Zusatzmitteln  
beeinflusst. Die größte Wahrscheinlichkeit der  
Entstehung von Störungen in der Struktur besteht im  
Zeitraum des autogenen Schwindens. Das Verfahren der  
Simultanmessung der Verformungen durch das Schwin-  
den unter dem Einfluss chemischer Umwandlungen  
durch die bei der Erhärtung frei werdende exotherme  
Wärme ermöglicht es, diesen Prozess völlig von Anfang  
an zu verfolgen. Die Ergebnisse haben erwiesen, dass  
Zusätze eines Plastifikators auf Basis von Polykarboxyl-  
äther Glenium 51 und Mikrofüllern in der Phase des  
Übergangs von der breiig quasiflüssigen zur festen Form  
die Verformung des Zementbindemittels des Betons  
wesentlich beeinflusst und dass diese bei neuen Typen  
hochwertiger Betone ein dominanter Faktor der  
Rissbildung sein können.

### Nový domov roku 2001

Přehlídkovou neanonymní **jednokolovou soutěž** stej-  
ného názvu připravuje Ministerstvo pro místní rozvoj  
ČR ve spolupráci s Českou komorou architektů. Jejím  
účelem a posláním je podporovat všechny formy kvalit-  
ní architektury pro bydlení a ocenit a popularizovat kva-  
litní realizace staveb bytové výstavby. Předmětem jsou  
obytné budovy realizované na území České republiky  
kolaudované v období od 1.1. do 31.12.2001.

Soutěže se mohou zúčastnit autoři staveb realizo-  
vaných na území České republiky

#### Kategorie:

- novostavba rodinného domu,
- novostavba bytového domu,
- rekonstrukce obytné nebo jiné budovy pro účel bydlení,
- dům s pečovatelskou službou.

Členy poroty, která má sedm řádných členů a dva  
náhradníky, budou zástupci Ministerstva pro místní roz-  
voj ČR, Fakulty architektury ČVUT, městské části Praha  
– Letňany, Svazu měst a obcí, České komory autorizov-  
vaných inženýrů a techniků, Státního fondu rozvoje  
bydlení, Cihlářského svazu Čech a Moravy.

Podmínky je možné bezplatně získat na adrese: **PhDr.  
Václav Chaloupecký – KOMUNIKACE & PROFIT,  
Revoluční 8, budova C, 110 00 Praha 1, tel.: 02/ 21409700;  
fax: 02 / 21409701; e-mail: komunikace.pr@volny.cz  
a e-mail: yvonna.soukupova@centrum.cz.** Vyvšeny  
budou rovněž na [www.mmr.cz](http://www.mmr.cz), na [www.komunikace-  
profit.cz](http://www.komunikace-<br/>profit.cz), informace budou i na internetových stránkách  
České komory architektů a Svazu měst a obcí. Uzávěrka  
příhlášek se předpokládá 24. května 2002.

# Modelování vlivu svorníkové výstroje na diskontinuitní horninový masiv

Dr. Ing. Jan PRUŠKA  
 ČVUT – Fakulta stavební  
 Praha

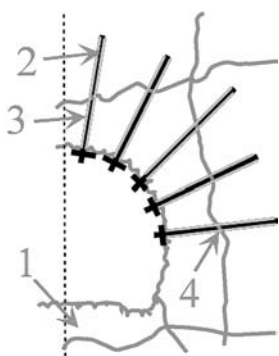
Cílem článku je podat stručný přehled numerického modelování vlivu svorníků na stabilitu podzemních děl v diskontinuitním horninovém masivu.

## Úvod

S úspěšným používáním svorníkové výstroje v praxi podzemního stavitelství a hornictví v posledních letech souvisí i rozvoj metod výpočtu vlivu svorníkové výstroje na napjatost a deformaci horninového masivu. Podle typu použitých svorníků, technologie a aktivace výztuže, vlastností horniny apod. rozeznáváme čtyři základní funkce:

- **podpěrnou**, při níž svorníková výztuž přenáší zatížení z rozvolněné horniny v oblasti horninové klenby;
- **zpevňující**, tj. zvětšující tuhost a pevnost horninového masivu (předpětím svorníků, injektážním účinkem, zpevněním u lepených svorníků);
- **stabilizační**, při níž se snížením koncentrace napětí (což má za následek zvýšení vlastní únosnosti masivu) stabilizuje horninový masiv;
- **ochrannou**, a to při použití svorníků u samonosné horniny.

V konkrétních případech se samozřejmě vliv těchto funkcí v procesu stabilizace různí. Kvalitní výpočetní modely určující chování svorníků a jejich vliv na stabilitu podzemního díla by měly mít schopnost nejen objektivně vystihovat základní funkce, ale také obsahovat moduly pro modelování základních situací (obr. 1).



Obr. 1. Situace modelování svorníkové výstroje  
 1 – diskontinuitní horninový masiv, 2 – svorník, 3 – spolupůsobení svorníku a horniny, 4 – vliv svorníku na diskontinuitu

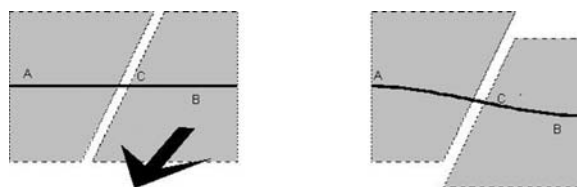
Postižení míry účinků jednotlivých funkcí svorníkové výstroje je velice složité a do odvozených výpočetních postupů bylo zavedeno s různým stupněm zjednodušení. V současné době můžeme pro modelování svorníkové výstroje použít [1]:

- empirické metody,
- klenbové teorie,
- nosníkové teorie,

- empiricko-analytické metody,
- teorie mechaniky kontinua (deformační metody parciální stability),
- metody založené na mechanice porušení,
- numerické metody (např. MKP, UDEC).

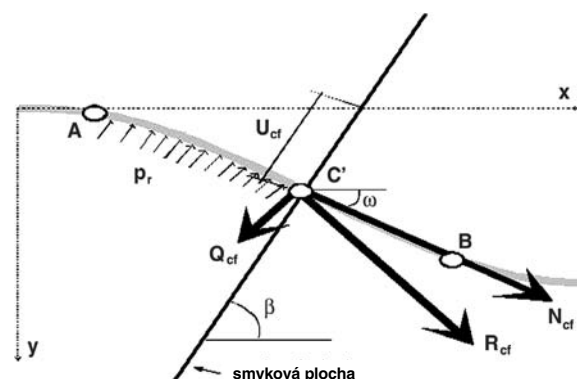
## Analytické řešení vlivu svorníku na plochu nespojitosti

Vliv svorníku na pevnost a deformaci plochy nespojitosti se projeví nárůstem soudržnosti plochy nespojitosti a normálového napětí stlačujícího stěny plochy nespojitosti (vlivem osové síly ve svorníku). Pro vyjádření těchto účinků budeme předpokládat, že se svorník dá modelovat jako nosník (k porušení svorníku dojde dosažením kritického napětí v tažených vláknech a porušení jeho materiálu odpovídá podmínce plasticity podle Trescy). Při posunu bloků horniny podle plochy nespojitosti (obr. 2) dojde k tangenciálnímu



Obr. 2. Posun bloků svorníkové horniny

posunu svorníku (bod C přejde v bod C'), vyvolají se síly ve svorníku, které se následně přenesou do horniny a způsobí podcenění přilehlé horniny. Od jisté velikosti posunu bloků vznikne ve svorníku plastická oblast (určená body A, B) a svorník se začne porušovat. V bodě C' (určeném změnou křivosti svorníku) působí maximální síla, jež je kombinací sil osových a smykových vyvolaných tangenciálním posunem (obr. 3). Je tedy patrné, že smyková pevnost plochy nespojitosti, kterou prochází svorník, je určena deformačním procesem vyvolávajícím porušení. Za předpokladu, že známe osové a smykové síly působící na koncích svorníku a smyková pevnost plochy nespojitosti se dá popsat Mohrovou –



Obr. 3. Síly a posuny při deformaci svorníkové horniny



Coulombovou podmínkou plasticity, můžeme vyjádřit smykovou sílu vyvolanou svorníkem a působící na plochu nespojitosti vztahem [2]

$$T = R_{CT} + R_{CN} \cdot \operatorname{tg} \varphi_J, \quad (1)$$

kde  $T$  je smyková síla vyvolaná svorníkem;

$R_{CT}$  – síla svorníku působící tangenciálně na plochu nespojitosti;

$R_{CN}$  – síla svorníku působící kolmo na plochu nespojitosti;

$\varphi_J$  – úhel tření na ploše nespojitosti.

Nárůst soudržnosti na ploše nespojitosti  $c_b$  a normálového napětí  $\sigma_{nb}$  (vlivem uzavírání plochy nespojitosti) vyvolané svorníkem se dá popsat rovnicemi

$$c_b = \frac{R_{CT}}{A_j}, \quad (2)$$

kde  $c_b$  je nárůst soudržnosti vyvolaný svorníkem;

$R_{CT}$  – síla svorníku působící tangenciálně na plochu nespojitosti;

$A_j$  – plocha diskontinuity, na kterou působí svorník,

$$\sigma_{nb} = \frac{R_{CN}}{A_j}, \quad (3)$$

kde  $\sigma_{nb}$  je nárůst normálového napětí vyvolaný svorníkem;

$R_{CN}$  – síla svorníku působící kolmo na plochu nespojitosti;

$A_j$  – plocha diskontinuity, na kterou působí svorník.

Celkovou smykovou pevnost plochy nespojitosti se svorníkem můžeme zapsat

$$\tau_f = (c_j + c_b) + (\sigma_n + \sigma_{nb}) \cdot \operatorname{tg} \varphi_J, \quad (4)$$

kde  $\tau_f$  je smyková pevnost plochy nespojitosti se svorníkem;

$c_j$  – soudržnost na ploše nespojitosti;

$c_b$  – nárůst soudržnosti vyvolaný svorníkem;

$\sigma_n$  – počáteční normálové napětí;

$\sigma_{nb}$  – nárůst normálového napětí vyvolaný svorníkem;

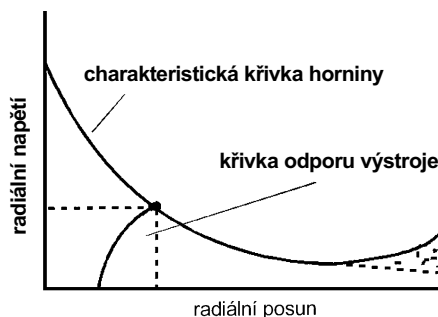
$\varphi_J$  – úhel tření na ploše nespojitosti.

### Koncepce založená na Fennerově – Pacherově křivce

Pacherova teorie (1964) uvažuje při výpočtu deformací líce tunelu nosnou schopnost horninového masivu, jež vzniká spolupůsobením horninového masivu s poddajným výstrojením. Tato teorie dosáhla značného uplatnění s rozšířením nových tunelovacích metod (zvláště NRTM – nové rakouské tunelovací metody). Princip teorie spočívá v tom, že se současně s ražením tunelu opatřuje líc výrubu primární výstrojí (která působí staticky jako klenba) ze stříkaného betonu, popř. kombinací stříkaného betonu, svorníkové a ocelové výstroje (v závislosti na druhu horniny). Jak stříkaný beton, tak svorníková výstroj zajišťují dokonalé spojení s horninou, čímž je zaručeno splnění podmínky spolupůsobení horninového masivu a výstroje ihned po nastříkání primární výstroje. Úplné ustálení deformací (po 3 až 6 měsících) znamená vyrovnání radiálních napětí působících v líci výrubu s napětími působícími ve výstroji. V tomto okamžiku je také primární výstroj maximálně využita. Současně je možné budovat sekundární výstroj, jež zajišťuje bezpečné definitivní vystrojení tunelu.

Chování horninového masivu podle uvedené teorie je možné znázornit Fennerovou – Pacherovou křivkou (obr. 4). Průběh radiálního napětí na líci výrubu se nazývá charak-

teristická křivka horniny a průběh nárůstu zatížení výstroje křivkou odporu výztuže. Metod výpočtu charakteristické křivky horniny a křivky odporu výztuže existuje poměrně mnoho. Liší se hlavně vstupními předpoklady, které určují míru vystižení chování skutečné horniny a výstroje.



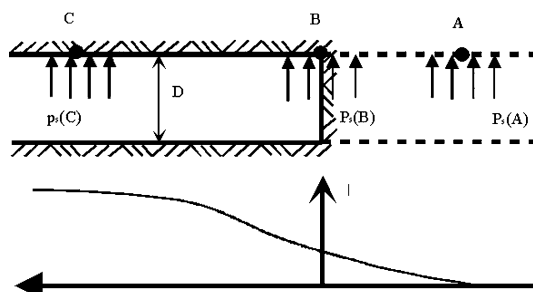
Obr. 4. Fennerova – Pacherova křivka

Protože zatížení svorníkové výstroje je výsledkem spolu-působení systému hornina – svorníková výstroj, je výpočet průběhu charakteristické křivky horniny a odporu výstroje odvozen ze statických rovnic rovnováhy, rovnic mezního stavu, rovnic zákona tečení, rovnic nestlačitelnosti apod. Dále bude popsán výpočet svorníkové výstroje uvažující stabilizační a zpevňující funkce svorníkové výstroje (odvozený na Katedře geotechniky ČVUT FSv). Odvozené řešení je založeno na poznatku, že svorník svým předpětím zvýší pevnost horninového masivu (zvýšením normálových napětí na plochách nespojitosti, a tím i smykové pevnosti) a zavádí do výpočtu charakteristické křivky horniny koncepci zpevněné horniny.

### Základní předpoklady řešení

Odvozený výpočet je založen na těchto předpokladech:

- výrub je kruhový o poloměru  $r_j$ ;
- horninový masiv je homogenní, izotropní a nachází se v hydrostatickém stavu napjatosti (velikost napětí  $p_0$ ), vliv diskontinuit je možný zavést jedině úpravou parametrů masivu;
- zanedbává se tíha horniny v rozvolněné oblasti kolem výrubu;
- délka výrubu je taková, že je možné problém považovat za případ rovinné deformace;
- horninový masiv se chová lineárně pružně a porušení odpovídá Mohrově – Coulombově podmínce plasticity;
- svorníková výstroj je umístěna radiálně (kolmo na stěnu výrubu) po celém obvodu, podélná a příčná vzdálenost svorníků je taková, že na stěnu výrubu vyvozují rovnoměrný tlak;
- svorníky jsou mechanicky upínané a předepnuté silou  $T_k$ ;
- vliv vzdálenosti čelby je zaveden podle Panetovy teorie [3], viz obr. 5;
- kotvením okolí výrubu vytvoříme v horninovém masivu nosný prstenec, jež má vlastnosti tlustostěnného válce.



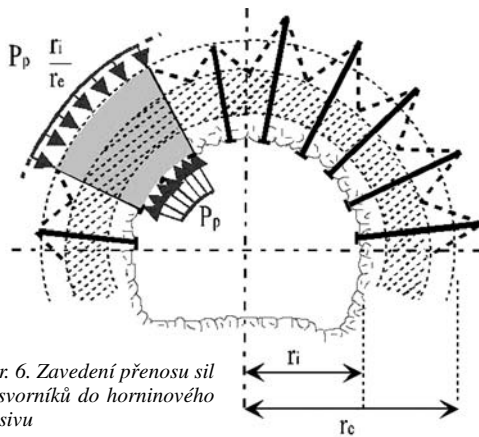
Obr. 5. Vliv vzdálenosti čelby podle Paneta

**Chování systému hornina – svorníková výstroj** popisuje odvozené řešení pomocí těchto fází:

- stav před instalací svorníkové výstroje;
- vlastní instalace svorníkové výstroje a její aktivace předpětím silou  $T_k$ ;
- nárůst tahového napětí ve svorníku;
- plastické chování nosného prstence;
- pružně plastické chování nosného prstence;
- plastické chování nosného prstence.

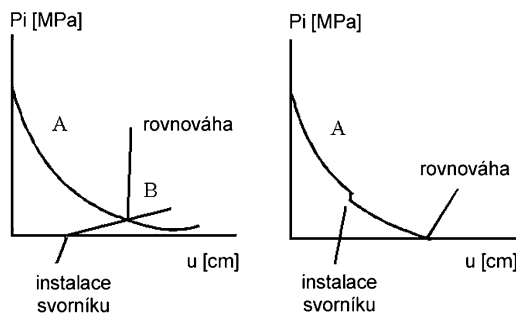
Proti klasickým výpočtům Fennerovy – Pacherovy křivky, popsaných např. v [2], [3], má odvozené řešení následující zlepšení:

- zavádí do výpočtu síly přenášené do horninového masivu v patě svorníku (obr. 6);



Obr. 6. Zavedení přenosu sil ze svorníků do horninového masivu

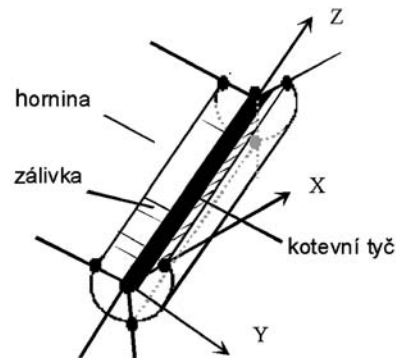
- předpokládá, že svorník svým předpětím silou  $T_k$  zvýší pevnost horninového masivu;
- uvažuje vliv posunů hlavy a paty svorníku na velikost jeho tahových napětí;
- zavádí koncepci zpevněné horniny, tj. okamžitý vliv aktivace svorníkové výstroje na charakteristickou křivku (obr. 7).



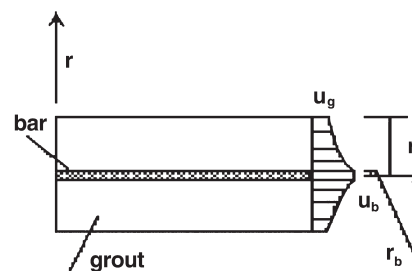
Obr. 7. Porovnání klasické Fennerovy – Pacherovy křivky (vlevo) a křivky podle koncepce zpevněné horniny (vpravo)

**Řešení pomocí speciálního prvku MKP**

Metoda konečných prvků (MKP) je pro řešení statických problémů jednou z nejrozšířenějších. Modelování svorníkové výstroje MKP je proti modelování horniny podstatně složitější a vyžaduje zavedení speciálních prvků (první modely byly odvozeny okolo roku 1968 [4], [5]). Dále je stručně uveden prvek [6], jež popisuje s obecnou platností svorník (obr. 8) jako plošný prvek s šesti uzly (dva jsou svázány s tyčí svorníku a zbývající s okolním horninovým masivem). V daném prvku (obr. 9) jsou uvažovány jak osové a



Obr. 8. Azydaniv prvku



Obr. 9. Posuny svorníkové tyče a prstence

smykové síly svorníku, tak rozhraní mezi svorníkem a horninou. Posuny v ocelové tyči svorníku a relativní posuny prstence cementové zálivky (či jiného upínacího materiálu) jsou závislé pouze na ose z. Přetvoření tyče svorníku a přetvoření prstence cementové zálivky pomocí uzlových posunů lze vyjádřit vztahy

$$\epsilon^b = \mathbf{B}_b \mathbf{U}_b, \quad \epsilon^g = \mathbf{B}_g \Delta \mathbf{U}_g, \quad (5)$$

kde index  $b$  označuje veličiny týkající se svorníku (táhla) a index  $g$  označuje veličiny patřící cementové zálivce, přičemž  $\mathbf{U}$  je matice posunutí a  $\mathbf{B}$  matice diferenciálních operátorů. Pomocí těchto výrazů můžeme zapsat fyzikální rovnice pro lineárně pružné chování tyče a prstence cementové zálivky

$$\sigma^b = \mathbf{D}_b \epsilon^b, \quad \sigma^g = \mathbf{D}_g \epsilon^g, \quad (6)$$

kde  $\mathbf{D}$  jsou příslušné matice tuhosti materiálu.

Použitím diskretizace rovnic virtuální práce konečnými prvky (předpokládá se, že pole napětí  $\sigma$  je staticky přípustné a pole posunů je kinematicky přípustné) dostáváme výrazy pro matice tuhosti

$$\text{tyč } K_b = \int_{\Omega_b} \mathbf{B}_b^T \mathbf{D}_b \mathbf{B}_b d\Omega_b, \quad \text{prstencec } K_g = \int_{\Omega_g} \mathbf{B}_g^T \mathbf{D}_g \mathbf{B}_g d\Omega_g. \quad (7)$$

Integrací v (7) dostaneme matice

$$\text{tyč } \mathbf{K}_b = \begin{bmatrix} K_b^r & 0 & -K_b^r & 0 \\ 0 & K_b^z & 0 & -K_b^z \\ -K_b^r & 0 & K_b^r & 0 \\ 0 & -K_b^z & 0 & K_b^z \end{bmatrix}, \quad (8)$$

kde  $\mathbf{K}_b^r = \frac{G_b A}{L}$   $\mathbf{K}_b^z = \frac{E_b A}{L}$ ,

$A = \pi r_b^2$   
L délka svorníku

prstenec  $\mathbf{K}_g = \begin{bmatrix} 2\mathbf{K}_g^r & 0 & \mathbf{K}_g^r & 0 \\ 0 & 2\mathbf{K}_g^z & 0 & \mathbf{K}_g^z \\ \mathbf{K}_g^r & 0 & 2\mathbf{K}_g^r & 0 \\ 0 & \mathbf{K}_g^z & 0 & 2\mathbf{K}_g^z \end{bmatrix}$ , (9)

kde  $\mathbf{K}_g^r = \pi E_g \frac{L}{3 \ln(r_h/r_b)}$   $\mathbf{K}_g^z = \frac{E_b A}{3 \ln(r_h/r_b)}$ .

Vztah mezi posuny kotevní tyče, relativními posuny prstence (závlivky) a uzlovými posuny je popsán vztahem

$$\mathbf{U}_{b,\Delta g} = \mathbf{A}\mathbf{U}, \quad (10)$$

což rozepsáno

$$\begin{Bmatrix} \mathbf{U}_B \\ \mathbf{U}_E \\ \Delta\mathbf{U}_B \\ \Delta\mathbf{U}_E \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & B & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & B \\ A & 0 & A & 0 & A & 0 & B & 0 \\ 0 & A & 0 & A & 0 & A & 0 & B \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{U}_A \\ \mathbf{U}_C \\ \mathbf{U}_D \\ \mathbf{U}_F \\ \mathbf{U}_B \\ \mathbf{U}_E \end{Bmatrix},$$

kde  $A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} \end{bmatrix} \dots 0 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ ,  $B = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ .

Integrací lze získat matice tuhosti svorníkového prvku v lokálním souřadném systému

$$\mathbf{K}_{\text{local}} = A^T \begin{bmatrix} \mathbf{K}_b & 0 \\ 0 & \mathbf{K}_g \end{bmatrix} A. \quad (11)$$

Matice tuhosti svorníkového prvku v lokálním souřadném systému, vyjádřená v posunech uzlů prvku, má tvar

$$\mathbf{K}_{\text{local}} = \begin{bmatrix} \frac{1}{4}\mathbf{K}_g & \frac{1}{4}\mathbf{K}_g & \frac{1}{4}\mathbf{K}_g & -\frac{1}{2}\mathbf{K}_g \\ \frac{1}{4}\mathbf{K}_g & \frac{1}{4}\mathbf{K}_g & \frac{1}{4}\mathbf{K}_g & -\frac{1}{2}\mathbf{K}_g \\ \frac{1}{4}\mathbf{K}_g & \frac{1}{4}\mathbf{K}_g & \frac{1}{4}\mathbf{K}_g & -\frac{1}{2}\mathbf{K}_g \\ -\frac{1}{2}\mathbf{K}_g & -\frac{1}{2}\mathbf{K}_g & -\frac{1}{2}\mathbf{K}_g & \mathbf{K}_g + \mathbf{K}_b \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Převedení na globální souřadný systém je možný pomocí vztahu

$$\mathbf{K}_{\text{global}} = \mathbf{T}^T \mathbf{K}_{\text{local}} \mathbf{T},$$

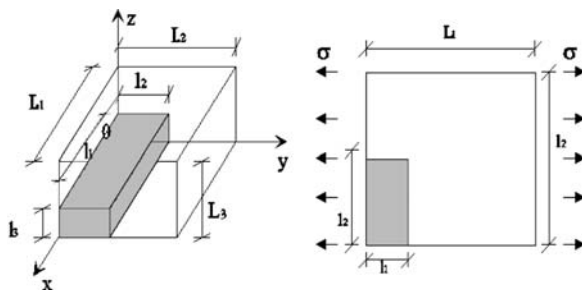
kde  $\mathbf{T}$  je transformační matice mezi lokálním souřadným systémem  $(xyz)$  a globálním souřadným systémem  $(XYZ)$ .

### Model založený na mechanice porušení

Pro tento model, jež vychází ze zobecnění mechanického modelu Kachanova [7], se předpokládá znalost rozložení ploch nespojitosti o konečné délce v daném horninovém masivu. Plochy nespojitosti jsou v tomto modelu chápány jako podoblasti nemající tloušťku a schopnost přenášet napětí. Veškeré zatížení v daném masivu je přenášeno jen neporušenou horninou. Tento zjednodušující pohled na plochy nespojitosti má za následek selhání chování modelu v případě, že diskontinuity jsou vzhledem k rozměrům podzemního díla plynulé (souvislé). Po teoretické stránce jsou zavedeny tyto předpoklady:

- diskontinuity mají v dané řešené oblasti konečný objem;
- jsou jednoznačně popsány konstitutivní vztahy pro neporušenou horninu a plochy nespojitosti;
- je možná lineární superpozice pro napětí a přetvoření;
- řešená oblast je jednoose namáhána;
- charakteristický prvek rozrušeného horninového masivu je řešen jako rovinná úloha.

Prvním krokem řešení je určení charakteristického prvku v horninovém masivu a jeho převedení do roviny (obr. 10).



Obr. 10. Charakteristický prvek horninového masivu a jeho rovinné vyjádření při jednoosém zatěžování

V případě jednoosého zatížení se prvek přetváří pouze ve směru zatížení, a získáváme tak homogenní pole přetvoření. Mechanický popis řešené oblasti (charakteristického prvku) je proveden pomocí složených reologických modelů (jsou schopné popsat i vliv svorníkové výstroje) využívajících základní látky, a to paralelním nebo sériovým způsobem. Při reologickém popisu složené hmoty skládání jednotlivých prvků a skupin řídí přetvárné zákony dvěma reologickými pravidly:

- jestliže se spojují prvky v řadě za sebou, přetvoření se sčítají a napětí jsou ve všech průřezích stejná;
- při řazení prvků vedle sebe mají jejich přetvoření stejné hodnoty a příslušná reologická napětí se sčítají. Tato napětí jsou vždy vztažena na celý průřez, a proto platí součtový zákon (reologická napětí jsou poměrnými silami, jejichž součet dává výsledné napětí v hmotě).

Nejlépe odpovídající výsledek dává modelování pomocí vazkopružné látky. Pro sériové vyjádření platí obecný vztah

$$VP(E, \lambda) = PR(E) - PR(E) | VA(\lambda). \quad (13)$$

Přetvoření této látky vychází sečtením hodnot

$$\varepsilon = \sum_{j=1}^m \left[ \frac{\sigma}{E_j} - \frac{\lambda_j}{E_j} \left( \frac{d\varepsilon}{dt} \right)_j \right] \quad (14)$$

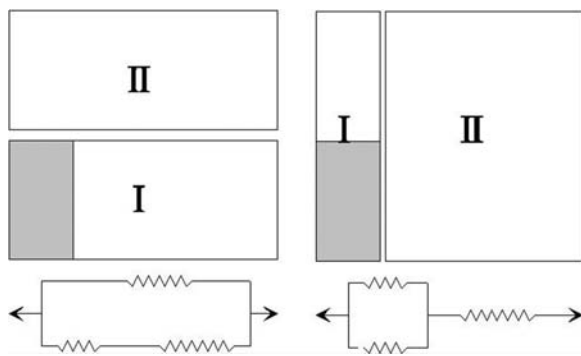
a výsledný modul pružnosti je dán vztahem

$$\frac{1}{E} = \sum_{j=1}^m \frac{1}{E_j}. \quad (15)$$

Pro objasnění principu modelování budeme v reologickém modelu předpokládat pouze použití pružného základního prvku (Hookovy látky) – viz obr. 11. Pro blok I, představující část horninového masivu s diskontinuitami, můžeme výsledná napětí zapsat vztahem

$$\sigma_1 = \frac{l_2}{L_2} \sigma_D + \left(1 - \frac{l_2}{L_2}\right) \sigma_S, \quad (16)$$

kde  $\sigma_1$  je výsledné napětí v bloku I,  
 $\sigma_D$  – napětí části bloku I obsahující diskontinuity,  
 $\sigma_S$  – napětí neporušené části bloku I,  
 $l_2$  – výška části představující rozrušený masiv (obr. 11),  
 $L_2$  – výška bloku I (obr. 11).



Obr. 11. Zjednodušený model charakteristického prvku

Podle reologických pravidel bude výsledné přetvoření dáno součtem přetvoření bloků I a II

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 = \frac{l_1}{L_1} \varepsilon_1 + \left(1 - \frac{l_1}{L_1}\right) \varepsilon_2, \quad (17)$$

kde  $\varepsilon_1$  je přetvoření bloku I,  
 $\varepsilon_2$  – přetvoření bloku II,  
 $l_1$  – šířka části představující rozrušený masiv (obr. 11),  
 $L_1$  – šířka bloku I (obr. 11).

Zavedením konstitutivních vztahů mezi přetvořením a napětím můžeme vyjádřit ekvivalentní modul masivu

$$\frac{1}{E} = \frac{\left(1 - \frac{l_1}{L_1}\right)}{E_S} + \frac{\frac{l_1}{L_1}}{\left(1 - \frac{l_1}{L_1}\right)E_S + \frac{l_2}{L_2}E_D}, \quad (18)$$

kde  $l_2$  je výška části představující rozrušený masiv (obr. 11),  
 $L_2$  – výška bloku I (obr. 11),  
 $l_1$  – šířka části představující rozrušený masiv (obr. 11),  
 $L_1$  – šířka bloku I (obr. 11),  
 $E_S$  – modul pružnosti neporušené části masivu,  
 $E_D$  – modul pružnosti rozrušeného masivu.

Pro **paralelní vyjádření** platí obecný vztah

$$VP(E, \lambda) = \sum [PR(E) - VA(\lambda)] | PR(E). \quad (19)$$

Je zcela logické, že dalším skládáním těchto odvozených modelů jsme schopni popsat horninový masiv s opakujícími se soustavami ploch nespojitosti.

## Závěr

Modelování svorníkové výstroje (zvláště v diskontinuitním masivu) je stále složitá záležitost. Odvozená analytická řešení mají většinou omezenou platnost na poměrně úzký okruh případů. Vhodnost použití speciálních prvků MKP pro modelování svorníků závisí na výběru vhodného prvku a vyžaduje vždy provedení parametrické studie. Řešení svorníků v diskontinuitním masivu pomocí MKP je nejnádhnější zavedením speciálních prvků (svorníkového, diskontinuitního apod.). Obecně však MKP není schopna vystihnout komplexnost diskontinuitního horninového masivu se svorníkovou výstrojí. Výsledky projektu byly z větší části programovány (např. dvojrozměrný generátor sítě MKP, zavedení speciálních prvků MKP, řešení Fennerovy – Pacheryovy křivky, řešení pomocí koncepce zpevněné horniny) a jsou k dispozici pro další výzkum na Katedře geotechniky Fakulty stavební ČVUT.

Článek vznikl v rámci grantu č. 103/98/P237 GA ČR „Matematické modelování vlivu prvků primárního ostění na napjatost a deformaci diskontinuitního horninového masivu“.

## Literatura

- [1] Aldorf, J.: Mechanika podzemních konstrukcí. VŠB TU–Ostrava, 1999.
- [2] Hoek, E. – Kaiser, P. K. – Bawden, W. F.: Support of Underground Excavations in Hard Rock. Rotterdam, Balkema 1998.
- [3] Eisenstein, Z.: Tunnelling in Soft Ground. Lecture Notes of a Course for Practicing Engineering. Řež u Prahy, 1994.
- [4] Aydan, Ö.: A Comparative Numerical Study on the Reinforcement Effects of Rockbolts and Shotcrete Support Systems. In: Computer Methods and Advances in Geomechanics, Rotterdam, Balkema 1991.
- [5] Swoboda, G. – Marenče, M.: FEM Modelling of Rock Bolts. In: 7th Int. Conf. Computer Methods and Advances in Geomechanics, Cairo, 1991.
- [6] Pruška, J.: Matematické modelování vlivu prvků primárního ostění na napjatost a deformaci diskontinuitního horninového masivu. [Výzkumná zpráva], grant GA ČR č. 103/98/P237. ČVUT Praha, 2001.
- [7] Kachanov, L. M.: Introduction to Continuum Damage Mechanics (Mechanics of Elastic Stability, No. 10), Kluwer Academic Publishing 1986.

## Pruška, J.: Modelling of the Impact of Bolts on Discontinuous Rock Massif

The article aims at outlining numerical modelling of the impact of bolts on the stability of underground structures in the discontinuous rock massif.

## Pruška, J.: Modellierung des Einflusses des Ankerbaus auf ein diskontinuierliches Gebirgsmassiv

Ziel des Artikels ist es, einen knappen Überblick über die numerische Modellierung des Einflusses von Ankerbolzen auf die Stabilität von Untertagebauwerken in einem diskontinuierlichen Gebirgsmassiv zu geben.

# Měření posunů a přetvoření v objektu Rádia Svobodná Evropa

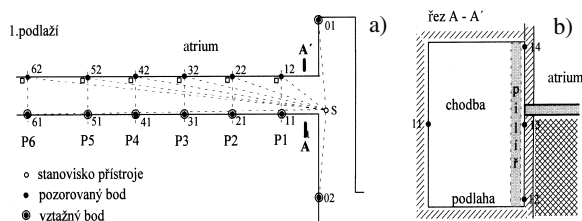
Ing. Jaromír PROCHÁZKA, CSc.  
 ČVUT – Fakulta stavební  
 Praha

V objektu Rádia Svobodná Evropa v Praze bylo třeba zjistit příčiny vodorovných a svislých posunů stěny chodby. Článek hodnotí dosaženou přesnost měřených veličin i výsledných posunů jejich porovnáním s teoretickými hodnotami a objektivně prokazuje a rozlišuje závislost velikosti a směru vodorovných posunů na teplotě a času. Zároveň prokazuje vhodnost použité technologie.

## 1. Úvod

Práce ke zjištění příčin statických poruch v části objektu Rádia Svobodná Evropa v Praze, k jejich vyhodnocení a návrhu opatření k jejich odstranění byly zahájeny na jaře roku 1999. Na stěně chodby, ve které se objevovaly zjevné poruchy (trhliny), statik ve spolupráci s geodety vybral místa pro osazení pozorovaných bodů a stanovil požadavky na další geodetické práce (místa osazení vztažných bodů, požadovanou přesnost výsledků, četnost měření atd.).

Stěna přiléhá k otevřenému atriu se zahradou umístěnou na vodorovných ocelových nosnících profilu I, které jsou na jedné straně zakotveny ve zděné části budovy (lze předpokládat, že pevně) a na druhé uloženy na nosné konstrukci zmíněné stěny (přibližně uprostřed její výšky). Bylo tedy možné očekávat působení délkové změny ocelových nosníků (obr. 1)



Obr. 1. Umístění pozorovaných bodů a stanoviště přístroje (schematický náčrt)  
 a – půdorys, b – nárys

vlivem venkovních teplot na tuto stěnu. Proto bylo rozhodnuto určovat především vodorovné, ale také svislé posuny sledované stěny ve třech výškových úrovních, a to relativně vzhledem ke vztažnému bodu na protější stěně chodby v každém příčném řezu (obr. 1). Jeden příčný řez tedy zahrnuje čtyři body. Příčných řezů bylo zvoleno šest, a to v místech nosných sloupů u sledované stěny (obr. 1). Vzhledem k neznámé rychlosti a velikosti posunů bylo rozhodnuto uskutečnit první fázi měření v pěti etapách včetně základní, a to zhruba ve dvouměsíčním intervalu s tím, že o dalším postupu se rozhodne podle dosažených výsledků.

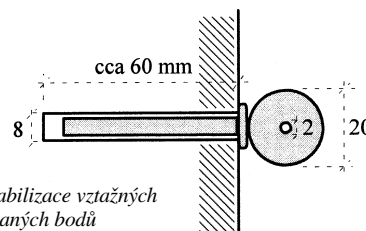
## 2. Technologie

Na základě požadavků statika a provedené rekognoskace byl vypracován projekt geodetických prací. Ke sledování relativních vodorovných i svislých posunů deformované stěny vůči stěně

protější, která nejeví známky poškození, bylo rozhodnuto použít úhlového měření elektronickým tachymetrem Leica TC 1800, kterým lze změřit i vzdálenosti potřebné pro výpočet posunů.

Vzhledem k tomu, že chodba je značně frekventovaná, nebylo možné použít nucenou centraci přístroje. Proto byl přístroj dostředěn optickým dostředovačem v jedné poloze, orientovaným v každé etapě stejným směrem (systematická odchylka dostředovače při použití stále stejného přístroje se na velikosti posunů neuplatní). Stanoviště přístroje *S* bylo stabilizováno v podlaze chodby (obr. 1) mosazným válečkem s jemnou dírkou, což umožňuje dostředění se směrodatnou odchylkou do 0,5 mm. Při krátkých záměrech v chodbě může i tato odchylka ovlivnit přesnost vodorovných a zenitových úhlů, a proto se v každé etapě určovala z měření na vztažné body a uvažovala ve výpočtu posunů. Ze stejných bodů se v každé etapě určovala výška horizontu přístroje.

Jak již bylo uvedeno, pro určení vodorovných, ale i svislých posunů pozorovaných bodů (obr. 1 – půdorys), byly osazeny v šesti příčných řezech čtveřice bodů (obr. 1 – nárys). S ohledem na provoz v chodbě byly stabilizovány zděří se závitem vodorovně zapuštěnou do stěny. Do zděří byl po dobu měření našroubován modrý kruhový cílový terčík se žlutým kroužkem průměru 2 mm (obr. 2). Pro záměry od 30



Obr. 2. Stabilizace vztažných a pozorovaných bodů

do 40 m by bylo vhodnější použít kroužek většího průměru (4 až 5 mm). Mimo dobu měření byla zděř chráněna před poškozením mosazným krytem opatřeným krycí barvou. Jednotlivé terčíky byly označeny čísly a stálost jejich polohy ve všech etapách zajištěna dorazem.

V každé etapě se měřily vodorovné směry a zenitové úhly ve dvou skupinách s dvojitým cílením, jak bylo stanoveno rozbořem přesnosti před měřením (1). Tento rozbor vycházel z požadavku, aby přesnost určovaných vodorovných posunů nepřekročila mezní odchylku  $\delta_{p_{met}} = 0,5$  mm při maximální délce záměr 40 m, šířce chodby zhruba 2 m a směrodatné odchylce vodorovného směru měřeného v jedné skupině s dvojitým cílením  $\sigma_{\varphi_0} \approx 0,2$  mgon. Požadovaný počet skupin  $n_{\varphi}$  měření vodorovného směru byl vypočítán ze vztahu

$$n_{\varphi} = \frac{\sigma_{\varphi_0}^2}{\sigma_{T\varphi}^2} = \frac{0,2^2}{0,16^2} \approx 2 \text{ skupiny}, \quad (1)$$

kde

$$\sigma_{T\varphi} = \sigma_{T\rho} \frac{c \cdot \rho}{2 \cdot d_1 \cdot d_2 \cdot \sin \Delta\varphi} = 0,2 \cdot 10^{-3} \frac{2 \cdot 63 \cdot 662}{2 \cdot 40 \cdot 40 \cdot \sin 3,2} \approx 0,16 \text{ mgon}$$

je požadovaná hodnota směrodatné odchylky měřeného vodorovného směru,

$$\sigma_{Tp} = \frac{\delta p_{met}}{u_p} = \frac{0,5}{2,5} = 0,2 \text{ mm je požadovaná směrodatná odchylka vodorovného posunu,}$$

$c$  – šířka chodby,

$d_1$  – vodorovná délka od stanoviska ke vztažnému bodu na levé stěně chodby,

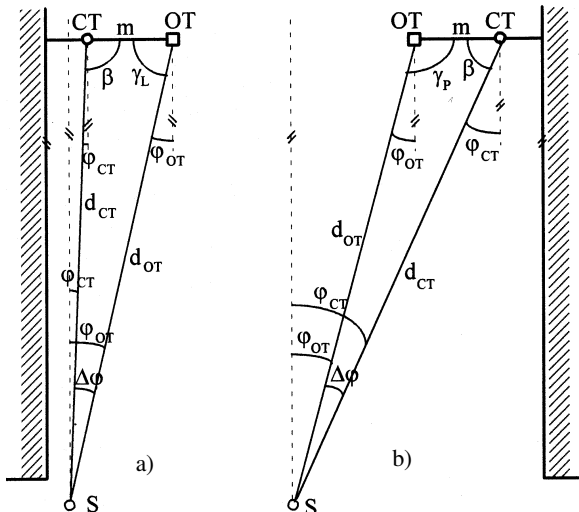
$d_2$  – vodorovná délka od stanoviska k pozorovanému bodu na pravé stěně chodby,

$\Delta\varphi$  – rozdíl směrů mezi pozorovaným a vztažným bodem jednoho příčného řezu,

$u_p$  – koeficient spolehlivosti.

Zenitové úhly se měřily stejným postupem, tedy ve dvou skupinách s dvojitým cílením, a tedy se stejnou přesností jako vodorovné směry. Na terčíky se cílilo středem ryskového kříže a registrace vodorovných směrů i zenitových úhlů probíhala současně.

V základní etapě se navíc měřily délky ke vztažným i pozorovaným bodům s využitím odrazných terčů připevněných k cílovým terčům kolíčkem tak, aby jejich hrana procházela středem terčíku. Tím bylo dosaženo systematického posunu  $m$  stejné velikosti a z rozdílu směrů  $\Delta\varphi$ , měřených na středy obou terčů, a vodorovné délky  $d_{OT}$ , měřené na střed odrazného terče, bylo možné vypočítat řešením kvadratické rovnice z kosinové věty vodorovnou délku  $d_{CT}$  ke středu cílového terče (obr. 3). Toto řešení však dává vzhledem k velmi nepříznivému tvaru trojúhelníka značně



Obr. 3. Zaměření a přepočítání vodorovných vzdáleností  
 a – levá stěna, b – pravá stěna, CT – střed cílového terčíku, OT – střed odrazného terče, S – stanovisko přístroje, m – vzdálenost obou středů,  $\beta = 100 \text{ gon} - \varphi_{CT}$ ,  $\gamma_L = 100 \text{ gon} - \varphi_{OT}$ ,  $\gamma_P = 100 \text{ gon} + \varphi_{OT}$

nepřesné výsledky. Proto byla k převedení měřené délky na délku k cílovému terčíku použita sinová věta s využitím dostatečně přesně známého směru stěny chodby, získaného z měření na vztažné body na levé stěně chodby (2). Kontrolou je výpočet známé vodorovné vzdálenosti  $m$  od okraje odrazného terče, procházejícího středem cílového terčíku, k jeho středu (3). V dalších etapách se již délky neměřily, protože systematické odchylky takto určených délek se na velikosti posunů neprojeví. Změna délek způsobená odchylkou v dostředění byla určena měřením na vztažné body a zavedena do výpočtu posunů.

Vodorovná vzdálenost  $d_{CT}$  od stanoviska ke středu cílového terčíku byla vypočítána ze vztahu

$$d_{CT} = d_{OT} \frac{\sin \gamma_{L(P)}}{\sin \beta} \quad (2)$$

Kontrolou je porovnání vypočítané délky  $m$  ze vztahu

$$m = d_{OT} \frac{\sin \Delta\varphi}{\sin \beta} \quad (3)$$

s hodnotou určenou přímým změřením příslušné strany odrazného terče ( $m.2$ ).

Z rozdílů vodorovných a zenitových úhlů naměřených v jednotlivých etapách byly vypočítány vodorovné  $\Delta c$  a svislé  $\Delta h$  posuny pozorovaných bodů, popř. relativní změny v jednotlivých příčných řezech, ze vztahů (4) a (5). Vodorovný posun

$$\Delta c = c_n - c_o, \quad (4)$$

kde  $c_n = \sqrt{d_1^2 + d_j^2 - 2d_1 \cdot d_j \cdot \cos(\varphi_{jn} - \varphi_{1n})}$  je vzdálenost pozorovaného od vztažného bodu v  $n$ -té etapě měření,

$c_o = \sqrt{d_1^2 + d_j^2 - 2d_1 \cdot d_j \cdot \cos(\varphi_{jo} - \varphi_{1o})}$  je vzdálenost pozorovaného od vztažného bodu v základní etapě měření,

$d_1$  – vodorovná délka od stanoviska ke vztažnému bodu 1 na levé stěně chodby (obr. 1),

$d_j$  – vodorovná délka od stanoviska k pozorovanému bodu  $j$  na pravé stěně chodby,

$\varphi_{1n} (\varphi_{jn})$  – vodorovný směr ke vztažnému (pozorovanému) bodu v  $n$ -té etapě měření,

$\varphi_{1o} (\varphi_{jo})$  – vodorovný směr ke vztažnému (pozorovanému) bodu v základní etapě měření.

Svislý posun

$$\Delta h = h_n - h_o, \quad (5)$$

kde  $h_n = h_{pn} + d_j \cdot \cotg \zeta_{jn}$  je převýšení k pozorovanému bodu  $j$  v  $n$ -té etapě měření,

$h_o = h_{po} + d_j \cdot \cotg \zeta_{jo}$  je převýšení k pozorovanému bodu  $j$  v základní etapě měření,

$h_{pn} (h_{po})$  – průměrné převýšení horizontu přístroje vzhledem k soustavě vztažných bodů v  $n$ -té (základní) etapě měření,

$\zeta_{jn} (\zeta_{jo})$  – zenitový úhel k pozorovanému bodu v  $n$ -té (základní) etapě měření.

Vzhledem k tomu, že bylo možné očekávat velikost svislých posunů na hranici měřitelnosti a horizont přístroje je v každé etapě jiný, byly svislé posuny vztaženy k průměrné výšce horizontu odvozené z výšky bodů vztažné soustavy.

### 3. Přesnost vodorovných a svislých posunů

#### 3.1. Teoretická přesnost měřených veličin

Přesnost vodorovných směrů a zenitových úhlů, měřených ve dvou skupinách s dvojitým cílením, lze charakterizovat směrodatnou odchylkou  $\sigma_\varphi \approx \sigma_\zeta$ , vypočítanou ze vztahu

$$\sigma_\varphi \approx \sigma_\zeta = \frac{1}{2\sqrt{2}} \sqrt{\sigma_z^2 + \sigma_o^2} = \frac{1}{2\sqrt{2}} \sqrt{0,4^2 + 0} \approx 0,15 \text{ mgon}, \quad (6)$$

kde  $\sigma_\varphi$  je směrodatná odchylka vodorovného směru,

$\sigma_\zeta$  – směrodatná odchylka zenitového úhlu,

$\sigma_z$  – směrodatná odchylka v zacílení,

$\sigma_o$  – směrodatná odchylka v odečtení.

Uvedená hodnota směrodatné odchylky v zacílení odpovídá ideálními podmínkami při měření (bez vnějších vlivů a při kvalitních terčích), což bylo možné v uvedeném případě předpokládat. Přesnost délkového měření lze v uvedených podmínkách měření a při použití elektronického dálkoměru

Leica TC 1800 charakterizovat směrodatnou odchylkou  $s_d = 1$  mm. Požadavek, aby odchylka délkového měření neovlivnila výsledný vodorovný ani svislý posun ( $\delta_{\Delta cmet} = 0,1$  mm), při uvažovaném posunu 5 mm a minimální délce záměry 7 m, je splněn při směrodatné odchylce délkového měření  $\sigma_{Td} \approx 70$  mm. Přesnost délkového měření je tedy mnohonásobně větší. Směrodatná odchylka  $\sigma_{Td}$  byla vypočítána ze vztahu (7) vycházejícího ze zjednodušené, ale pro daný účel postačující úvahy, že spojnice vztážného a pozorovaného bodu v jednom příčném řezu je v podstatě kolmá na stěnu chodby (obr. 4). Výchozí rovnice pro vodorovný posun potom je

$$\Delta c = d_j \cdot (\sin \omega_n - \sin \omega_o).$$

Vztah pro náhodnou odchylku je

$$\varepsilon_{\Delta c} = \varepsilon_{dj} \cdot \frac{\Delta c}{d_j} + d_j (\cos \omega_n - \cos \omega_o) \cdot (\varepsilon_{\omega n} - \varepsilon_{\omega o}).$$

Uvažuje-li se pouze vliv délkového měření, pak bude platit

$${}^d\varepsilon_{\Delta c} = \varepsilon_{dj} \cdot \frac{\Delta c}{d_j}$$

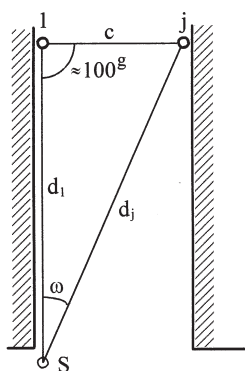
a odtud pro náhodnou odchylku délky

$$\varepsilon_{dj} = {}^d\varepsilon_{\Delta c} \cdot \frac{d_j}{\Delta c}.$$

Pro směrodatnou odchylku pak platí

$$\sigma_{dj} = {}^d\sigma_{\Delta c} \cdot \frac{d_j}{\Delta c} = 0,05 \cdot \frac{7 \cdot 10^3}{5} = 70 \text{ mm.} \quad (7)$$

Pro svislý posun je úvaha analogická a výsledek obdobný.



Obr. 4. Přesnost délky  $d_j$

### 3.2. Přesnost určení relativních vodorovných posunů protějších bodů chodby

Přesnost určení relativních vodorovných posunů protějších bodů chodby ( $i1-i2$ ,  $i1-i3$ ,  $i1-i4$ ) v jednotlivých příčných řezech  $P_i$  (obr. 1) lze charakterizovat směrodatnou odchylkou  $\sigma_{\Delta c}$  vypočítanou ze vztahu

$$\sigma_{\Delta c}^2 = 4 \frac{\sigma_{\varphi}^2}{\rho^2} \cdot d_{i1}^2 \cdot \sin^2 \alpha + \sigma_{es}^2 \cdot (\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta), \quad (8)$$

kde  $\sigma_{\varphi}$  je směrodatná odchylka vodorovného směru v základní a  $n$ -té etapě,

$\sigma_{es}$  – směrodatná odchylka v dostředění přístroje na stanovisku,

$d_{i1}$  – vodorovná vzdálenost vztážného bodu č.  $i1$  od stanoviska přístroje  $S$ ,

$\alpha$  – vodorovný úhel na vztážném bodě č.  $i1$  mezi směrem na stanovisko  $S$  a směrem na protější pozorovaný bod chodby ( $i2$ ,  $i3$  nebo  $i4$ ),

$\beta$  – vodorovný úhel na pozorovaném bodě chodby ( $i2$ ,  $i3$  nebo  $i4$ ) mezi směrem na stanovisko  $S$  a směrem na protější vztážný bod č.  $i1$ ,

$\rho$  – radián.

### 3.3. Přesnost určení svislých posunů bodů chodby vzhledem k průměrné výšce bodů vztážné soustavy

Přesnost určení relativních svislých posunů pozorovaných bodů chodby vzhledem k průměrné výšce bodů vztážné soustavy (obr. 1) lze charakterizovat směrodatnou odchylkou  $\sigma_{\Delta h}$  vypočítanou ze vztahu

$$\sigma_{\Delta h}^2 = 2\sigma_{hp}^2 + \frac{2\sigma_{\zeta}^2}{\rho^2} \cdot d_{ij}^2 + 2\sigma_{es}^2 \cot^2 g^2 \zeta_{ij}, \quad (9)$$

kde  $\sigma_{hp}$  je směrodatná odchylka průměrné výšky horizontu přístroje z vyrovnání,

$\sigma_{\zeta}$  – směrodatná odchylka zenitového úhlu měřeného v základní a  $n$ -té etapě,

$\sigma_{es}$  – směrodatná odchylka v dostředění přístroje na stanovisku,

$d_{ij}$  – vodorovná vzdálenost od stanoviska přístroje k pozorovanému bodu  $ij$  ( $i2$ ,  $i3$  nebo  $i4$ ), v příslušném příčném řezu  $P_i$ ,

$\zeta_{ij}$  – zenitový úhel na pozorovaný bod  $ij$  ( $i2$ ,  $i3$  nebo  $i4$ ),

$\rho$  – radián.

Při splnění teoretické přesnosti měřených veličin a počtím vyloučením odchylky v dostředění přístroje bylo možné očekávat, že se směrodatná odchylka relativního vodorovného  $\sigma_{\Delta c}$  i svislého posunu  $\sigma_{\Delta h}$  bude pohybovat v rozmezí 0,1 až 0,2 mm vzhledem k vzdálenosti příčného řezu od stanoviska přístroje.

## 4. Výsledky zaměření šesti etap

Měření v základní i v šesti následujících etapách bylo provedeno stejnou technologií, stejným přístrojem Leica TC 1800 a jedním měřičem, vzhledem k vyloučení systematických odchylek. V souladu s projektem geodetických prací se délky zaměřovaly pouze v první etapě a centrace přístroje se prováděla optickým dostředňovačem v jedné poloze vždy se stejnou orientací. Pro omezení vlivu dostředění na výsledné posuny bylo mezi dvěma skupinami měřených vodorovných a zenitových úhlů nezávisle přecentrováno.

Z rozdílů naměřených veličin v  $n$ -té a základní etapě měření byly vypočítány vodorovné a svislé posuny pozorovaných bodů  $i2$ ,  $i3$  a  $i4$  (kde  $i$  je číslo příčného řezu – obr. 1) vůči vztážnému bodu  $i1$ , který je pokládán za stabilní, popř. ke vztážné soustavě u svislých posunů. Stabilita vztážných bodů  $i1$  vzhledem k základní etapě se ověřovala v každé etapě vyrovnáním měřených vodorovných směrů na vztážné body 01, 02 a  $i1$ . Z výsledků vyrovnání se v každé etapě hodnotila:

- přesnost měření (odst. 4.1.1 a 4.1.4),
- stabilita vztážných bodů  $i1$  (odst. 4.1.2),
- excentricita přístroje a výška jeho horizontu na pozorovacím bodu  $S$  (stanovisko přístroje) (odst. 4.1.3.).

### 4.1. Aposteriorní přesnost měřených veličin

#### 4.1.1. Přesnost měření vodorovných směrů

Přesnost měření je charakterizována jednotkovou směrodatnou odchylkou  $s_o$  z vyrovnání měření na vztážné body, která odpovídá výběrové směrodatné odchylce rozdílů vodorovných směrů v  $n$ -té a základní etapě  $s_{\Delta\varphi}$ . Hodnoty výběrových směrodatných odchylek  $s_{\Delta\varphi}$  charakterizujících přesnost rozdílů vodorovných směrů jednotlivých etap vůči

etapě základní, jsou uvedeny v tab. 1, a to včetně teplot naměřených uvnitř chodby a v atriu.

Tab. 1. Přehled výběrových směrodatných odchylek rozdílů vodorovných směrů  $s_{\Delta\varphi}$

Veličina	Etapa měření						
	základní	první	druhá	třetí	čtvrtá	pátá	šestá
$s_{\Delta\varphi}$ [mgon]	-	0,17	0,21	0,50	0,22	0,16	0,25
chodba $t$ [°C]	+23	+23	+23	+15	+21	+26	+20
atrium $t$ [°C]	+17	+25	+12	0	+3	+30	-1

Z tabulky, která obsahuje přehled výběrových směrodatných odchylek rozdílů vodorovných směrů ze všech etap měření, je zřejmé, že dosažená přesnost vodorovných směrů velmi dobře koresponduje s přesností teoretickou, uvažovanou v projektu měření, tj.  $\sigma_{\varphi_0} = 0,15$  mgon, a tedy pro rozdíl  $\sigma_{\Delta\varphi} = 0,21$  mgon, a to i přes některé nepříznivé okolnosti během měření. Bez třetí etapy, která je objektivně ovlivněna velmi nepříznivými podmínkami při měření (refrakcí způsobenou prouděním vzduchu při rekonstrukci fasády budovy) je průměrná přesnost vodorovných směrů, vypočítaná ze zbývajících pěti etap, dána výběrovou směrodatnou odchylkou

$$s_{\varphi_0} = \sqrt{\frac{\sum s_{\Delta\varphi}^2}{2 \cdot 5}} \approx 0,145 \text{ mgon.}$$

Pozoruhodná je skutečnost, že horších výsledků bylo dosaženo při nízkých teplotách vzduchu měřených v atriu. To může být způsobeno větším teplotním rozdílem vně a uvnitř chodby. Ten zřejmě v malých mezích ovlivňuje polohu vztažných bodů. Tuto hypotézu by však bylo nutné ověřit dalším měřením při maximálních rozdílech venkovní teploty.

#### 4.1.2. Ověření stability vztažných bodů 01, 02 a i1

Z výsledků vyrovnání sítě vztažných bodů 01, 02 a i1 vyplynula nestabilita trvale stabilizovaného vztažného bodu č. 02, která může mít souvislost se změnou teploty uvnitř a vně budovy (bod je blízko vchodu). K objektivnímu prokázání vlivu teploty by bylo třeba dlouhodobější sledování posunů tohoto bodu. Bod byl ze vztažných bodů vyloučen a byl uvažován ve výpočtech jako nestálý. Výsledky všech šesti etap jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2. Posuny vztažného bodu č. 02 vzhledem k základní etapě

Posun [mm]	Etapa měření					
	první	druhá	třetí	čtvrtá	pátá	šestá
v ose x	-0,3	-0,5	-0,4	-0,5	-0,1	-0,8
v ose z	-0,2	-0,3	-	-0,3	-0,1	0,0

#### 4.1.3. Určení excentricity přístroje na pozorovacím bodě S

Z výsledků vyrovnání sítě vztažných bodů v jednotlivých etapách byly získány změny v souřadnicích pozorovacího bodu S, což jsou vlastně prvky excentrického postavení přístroje vzhledem k základní etapě měření způsobené nepřesností optického dostředění přístroje nad stabilizací. Rozdíly v dostředění mezi dvěma etapami jsou uvedeny v tab. 3. Z údajů je zřejmé, že dosažená přesnost dostředění přístroje v bodě S je vyšší (průměrná hodnota ze sedmi etap je dána

$$\text{hodnotou } s_e = \sqrt{\frac{\sum s_{en}^2}{2 \cdot 6}} \approx 0,25 \text{ mm, kde } s_{en} = \sqrt{s_{enx}^2 + s_{eny}^2}$$

než v projektu uvažovaná přesnost charakterizovaná směrodatnou odchylkou  $\sigma_e = 0,5$  mm. Výsledné posuny nejsou touto nepřesností dostředění ovlivněny.

Tab. 3. Excentricita přístroje na bodě S v jednotlivých etapách vzhledem k základní etapě

Excentricita [mm]	Etapa měření					
	první	druhá	třetí	čtvrtá	pátá	šestá
v ose x	0,3	0,3	0,3	0,2	-0,2	0,0
v ose y	-0,1	-0,3	-0,1	0,1	-0,5	-0,3

#### 4.1.4. Přesnost měření zenitových úhlů

Přesnost měření zenitových úhlů je vypočítána z vyrovnání jednotlivých etap, kde stejně jako u vodorovných směrů jde o výběrovou směrodatnou odchylku rozdílů mezi  $n$ -tou a základní etapou měření  $s_{\Delta\zeta}$ . Průměrná směrodatná odchylka zenitových úhlů pro jednu etapu se vypočítá obdobně jako u vodorovných směrů. V tabulce 4 jsou uvedeny výběrové směrodatné odchylky rozdílů vodorovných směrů, společně s teplotami uvnitř hodnocené chodby a v atriu. Je zřejmé, že dosažená přesnost zenitových úhlů je mírně horší než přesnost teoretická, uvažovaná v projektu měření, tj.  $\sigma_{\zeta_0} = 0,15$  mgon a pro rozdíl  $\sigma_{\Delta\zeta} = 0,21$  mgon. Z toho vyplývá, že některé nepříznivé okolnosti během měření ovlivňují více přesnost zenitových úhlů než vodorovných směrů. To se potvrzuje i výrazným snížením přesnosti měření v již zmiňované třetí etapě, zejména u zenitových úhlů. Využitelnost třetí etapy pro hodnocení svislých, ale i vodorovných posunů, je tedy značně problematická. Průměrná směrodatná odchylka

$$s_{\zeta_0} = \sqrt{\frac{\sum s_{\Delta\zeta}^2}{2 \cdot 5}} \approx 0,16 \text{ mgon.}$$

Rovněž pro zenitové úhly platí úvaha o nižší dosažené přesnosti měření v etapách s nižší venkovní teplotou.

Tab. 4. Přehled výběrových směrodatných odchylek rozdílů zenitových úhlů  $s_{\Delta\zeta}$

Veličina	Etapa měření						
	základní	první	druhá	třetí	čtvrtá	pátá	šestá
$s_{\Delta\zeta}$ [mgon]	-	0,17	0,24	0,63	0,25	0,15	0,30
chodba $t$ [°C]	+23	+23	+23	+15	+21	+26	+20
atrium $t$ [°C]	+17	+25	+12	0	3	+30	-1

Z průměrné přesnosti zenitového úhlu (mimo třetí etapu)  $s_{\zeta_0} = 0,16$  mgon, průměrné délky záměry 25 m a počtu bodů (sedmi), ze kterých se odvozuje výška horizontu přístroje, lze odhadnout přesnost určení výšky točné osy dalekohledu přístroje na bodě S ( $\sigma_{\zeta_0} \approx s_{\zeta_0}$ ),

$$\sigma_v = \frac{\sigma_{\zeta_0}}{\rho \cdot \sqrt{7}} d_{\varnothing} = \frac{0,16 \cdot 25 \cdot 10^3}{6,4 \cdot 10^4 \cdot \sqrt{7}} \approx 0,03 \text{ mm.} \quad (10)$$

## 4.2. Určování posunů pozorovaných bodů

### 4.2.1. Výpočet vodorovných posunů

Vodorovné posuny pozorovaných bodů  $ij$  (kde  $j = 2, 3, 4$  a  $i$  je číslo příčného řezu), stabilizovaných na hodnocené



Tab. 5a. Vodorovné posuny stěny chodby v 1. poschodí

Vodorovné posuny vůči vnitřní (stabilní) stěně chodby											
příčný řez	[mm]			příčný řez	[mm]			příčný řez	[mm]		
P1	12	13	14	P2	22	23	24	P3	32	33	34
1. etapa	0,2	0,2	0	1. etapa	0	0	-0,2	1. etapa	-0,3	-0,1	-0,3
2. etapa	0,5	0,7	0,4	2. etapa	0,3	0,3	0,1	2. etapa	-0,1	0,1	0,1
3. etapa	0,9	1,1	0,7	3. etapa	0,7	0,8	0,5	3. etapa	0,3	0,6	0,5
4. etapa	0,9	1,1	0,5	4. etapa	0,8	0,9	0,2	4. etapa	0,3	0,6	0,2
5. etapa	-0,1	-0,1	-0,1	5. etapa	-0,1	-0,1	-0,3	5. etapa	-0,4	-0,6	-0,2
6. etapa	1,1	1,4	0,4	6. etapa	1	1,3	0,2	6. etapa	0,7	1,1	0,3
příčný řez	[mm]			příčný řez	[mm]			příčný řez	[mm]		
P4	42	43	44	P5	52	53	54	P6	62	63	64
1. etapa	0,1	0,1	0	1. etapa	-0,3	-0,2	0	1. etapa	0	-0,1	0,3
2. etapa	0,2	0,2	0,2	2. etapa	0	0,1	0,3	2. etapa	0,3	0,4	0,4
3. etapa	0,6	0,7	0,5	3. etapa	0,4	0,9	0,5	3. etapa	0,5	0,5	0,8
4. etapa	0,7	0,9	0,5	4. etapa	0,5	0,8	0,5	4. etapa	0,7	0,8	1
5. etapa	-0,2	-0,3	-0,3	5. etapa	-0,4	-0,6	-0,2	5. etapa	-0,1	-0,1	-0,1
6. etapa	1	1,2	0,5	6. etapa	0,9	1,2	0,5	6. etapa	1	1	1

Tab. 5b. Teplotní údaje v jednotlivých etapách

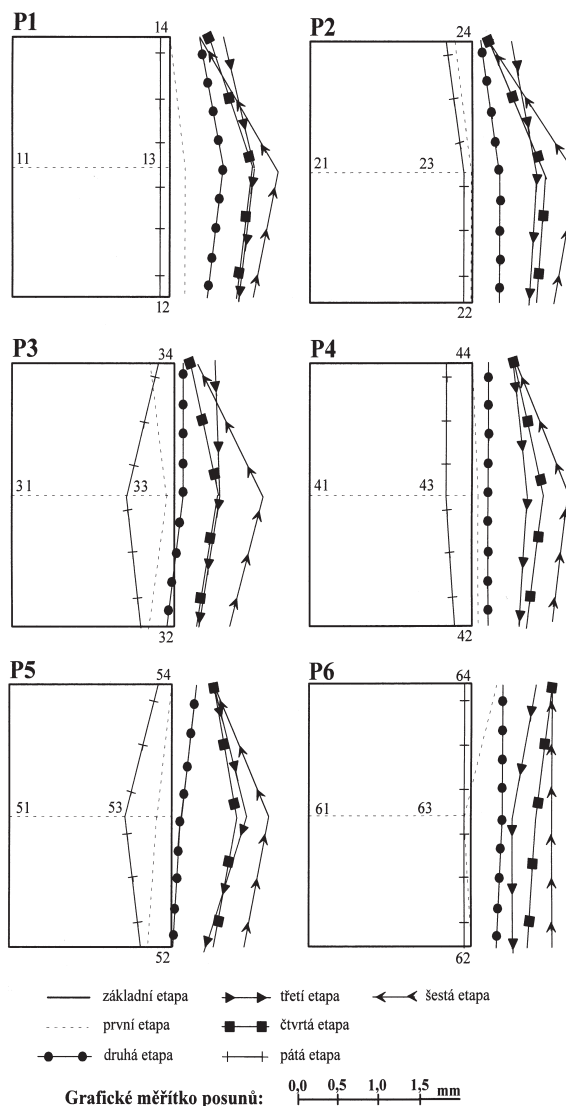
Etapa	Datum	Měřené teploty [°C]			
		v atriu (venku)		v chodbě (uvnitř)	
		$t_n$	$\Delta t_{e,n}$	$t_n$	$\Delta t_{e,n}$
0.	VII.99	17	—	23	—
1.	IX.99	25	8	23	0
2.	XI.99	12	-5	23	0
3.	I.00	0	-17	15	-8
4.	III.00	3	-14	21	-2
5.	VI.00	30	13	26	3
6.	I.01	-1	-18	20	-3

stěně, od pozorovaného bodu  $i1$  na stěně stabilní, byly vypočítány ze změny vodorovné vzdálenosti  $c_{i1-j}$  mezi základní a  $n$ -tou etapou. Naměřené vodorovné posuny v jednotlivých příčných řezech pro první až šestou etapu jsou uvedeny v tab. 5 a graficky znázorněny v obr. 5 a obr. 6. Z číselných údajů i grafického vyjádření je patrná závislost vodorovných posunů na venkovních změnách teploty, ale možná je i závislost na čase. Z grafického vyjádření je zřejmý způsob deformování proměřované stěny, kde až na výjimku (řez č. 6) dochází k největšímu posunu uprostřed stěny, kam přibližně zasahují ocelové nosníky z atria.

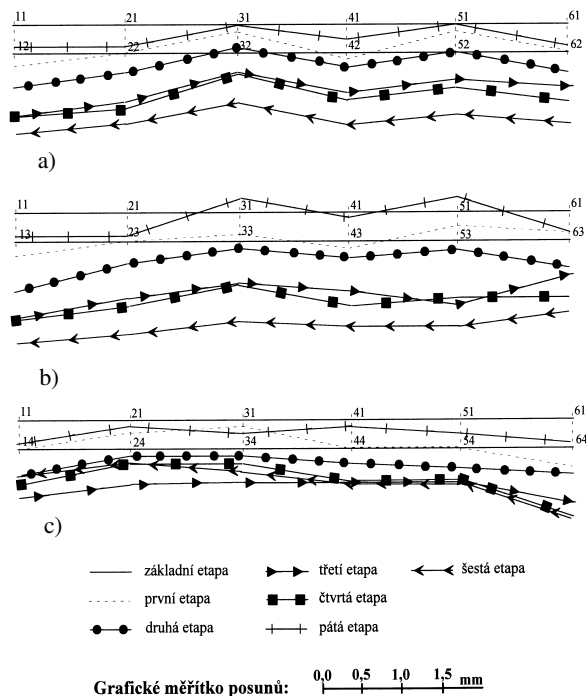
Vzhledem k tomu, že vodorovné posuny vykazují určitou pravidelnost, byl vypočítán pro jednotlivé etapy průměrný posun od základní etapy, a to pro každý příčný řez, vždy z pozorovaných bodů  $i2$ ,  $i3$  a  $i4$ . Z těchto hodnot byl dále vypočítán průměr dvou sousedních příčných řezů (tab. 6 – řádky 1 až 3), které zjednodušeným, ale přehlednějším způsobem charakterizují přetvoření stěny ve třech řezech (zhruba na koncích a uprostřed chodby) v jednotlivých etapách.

Pro jednoduché posouzení nestability stěny v jednotlivých etapách, vyjádřené jediným číslem, byl dále vypočítán průměrný vodorovný posun stěny jako celku (tab. 6 – čtvrtý řádek). Tabulka je dále doplněna přehledem rozdílů průměrných venkovních teplot měřených v atriu vzhledem k průměrné teplotě během základní etapy ( $t_0 = +17^\circ\text{C}$ ).

Protože poslední dvě etapy byly měřeny již s větším časovým odstupem (cca 6 měsíců), je hodnota vodorovného posunu objektivnější. Podrobné hodnocení je uvedeno v odst. 4.2.2.



Obr. 5. Zobrazení vodorovných posunů stěny chodby v 1. poschodí – svislé řezy



Obr. 6. Zobrazení vodorovných posunů stěny chodby – vodorovné řezy  
a – u podlahy, b – uprostřed stěny, c – u stropu

Tab. 6. Průměrné vodorovné posuny v jednotlivých etapách

Příčný řez [mm]	Etapa						Průměr
	první	druhá	třetí	čtvrtá	pátá	šestá	
1 + 2	0	0,30	0,80	0,70	-0,15	0,90	0,43
3 + 4	-0,05	0,10	0,55	0,55	-0,35	0,80	0,27
5 + 6	-0,05	0,30	0,60	0,70	-0,25	0,95	0,38
průměr	-0,03	0,23	0,65	0,65	-0,25	0,88	0,36
$s_{ij}$	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06
rozdíl teplot $\Delta t$ [°C]	8	-5	-17	-14	13	-18	-5,5

Z tabulky 6 (řádky 1 až 3) vyplývá, že vodorovný posun stěny není rovnoměrný, ale uprostřed chodby je nejmenší a k oběma koncům se nepatrně zvětšuje. Výběrová směrodatná odchylka charakterizující přesnost průměrného vodorovného posunu celé stěny  $s_{0} \approx 0,06$  mm je vypočítána ze všech šesti příčných řezů a zahrnuje kromě nepřesnosti měření i vliv nesteromnosti posunů v příčných řezech. Z řádků 4 a 6 je možné dedukovat, že velikost vodorovného posunu stěny jako celku závisí na dvou faktorech, a to na venkovní teplotě a na čase. Proto byl učiněn pokus získat vyrovnáním z dosažených průměrných výsledků velikost části vodorovného posunu závislou na změně venkovní teploty a velikost části vodorovného posunu závislou na časovém faktoru.

#### 4.2.2. Určení velikosti vodorovného posunu v závislosti na změně venkovní teploty a na čase

Za předpokladu, že velikost vodorovného posunu stěny se mění se změnou venkovní teploty (výsledky tomu nasvědčují), ale i s časem (stálá složka?), byly s použitím hodnot uvedených v tab. 6 sestaveny rovnice pro určení výsledného posunu (11). Výpočet vlivu teploty a času byl proveden vy-

rovnáním metodou nejmenších čtverců, která umožňuje určit nejen vyrovnanou hodnotu proměnných  $x$  a  $y$ , ale i jejich směrodatných odchylek  $s_x$  a  $s_y$ . Přestože vodorovné posuny ve třetí etapě byly určeny s menší přesností, dobře zapadají do vyrovnání, a nebyl tedy důvod třetí etapu z vyrovnání vyloučit.

Rovnice pro výpočet posunů

$$p_n = x \cdot \Delta t_n + y \cdot \Delta c_n, \quad (11)$$

kde  $x$  je proměnná označující velikost posunu za jednotku teploty (1 °C),

$y$  – proměnná označující velikost posunu za jednotku času (zvoleny 2 měsíce),

$\Delta t_n$  – teplotní rozdíl mezi  $n$ -tou a základní etapou ( $t_n - t_0$ ),

$\Delta c_n$  – časový rozdíl mezi  $n$ -tou a základní etapou ( $c_n - c_0$ ).

Pro šest etap bylo sestaveno šest rovnic (12) (čtyři nadbytečná měření), z nich stejný počet rovnic oprav (13) pro  $x = x_0 + \partial x$  a  $y = y_0 + \partial y$ , a nakonec dvě normální rovnice pro výpočet dvou určovaných proměnných (14), vyrovnaných metodou nejmenších čtverců.

Rovnice posunů

$$\begin{aligned} p_1 &\equiv -0,03 = x \cdot 8 + y \cdot 1, & p_4 &\equiv +0,65 = x \cdot (-14) + y \cdot 4,1, \\ p_2 &\equiv +0,23 = x \cdot (-5) + y \cdot 1,9, & p_5 &\equiv -0,25 = x \cdot 13 + y \cdot 5,8, \\ p_3 &\equiv +0,65 = x \cdot (-17) + y \cdot 3,2, & p_6 &\equiv +0,88 = x \cdot (-18) + y \cdot 9,1, \end{aligned}$$

Rovnice oprav

$$\text{obecně: } v_i = \partial x \cdot \Delta t_i + \partial y \cdot \Delta c_i + 1_i,$$

kde  $1_i = p_{oi} - p_i$ ,  $p_{oi} = x_0 \cdot \Delta t_i + y_0 \cdot \Delta c_i$  a  $x_0 = -0,038$  a  $y_0 = +0,030$ ;

konkrétně:

$$\begin{aligned} v_1 &= 8 \cdot \partial x + 1 \cdot \partial y - 0,244, & v_4 &= -14 \cdot \partial x + 4,1 \cdot \partial y + 0,005, \\ v_2 &= -5 \cdot \partial x + 1,9 \cdot \partial y + 0,017, & v_5 &= 13 \cdot \partial x + 5,8 \cdot \partial y - 0,070, \\ v_3 &= -17 \cdot \partial x + 3,2 \cdot \partial y + 0,092, & v_6 &= -18 \cdot \partial x + 9,1 \cdot \partial y + 0,077. \end{aligned}$$

Normální rovnice

$$\begin{aligned} \text{obecně: } \partial x \cdot \Sigma a a + \partial y \cdot \Sigma a b + \Sigma a 1 &= 0, \\ \partial x \cdot \Sigma a b + \partial y \cdot \Sigma b b + \Sigma b 1 &= 0, \end{aligned}$$

konkrétně:

$$\begin{aligned} 1\,067 \partial x - 201,70 \partial y - 5,967 &= 0, \\ -201,70 \partial x + 148,11 \partial y + 0,3979 &= 0. \end{aligned} \quad (14)$$

Výsledkem vyrovnání, při zahrnutí všech šesti etap, jsou tyto hodnoty proměnných umožňující výpočet složek vodorovných posunů:

$$\begin{aligned} x &= -0,0311 \text{ mm}, & s_x &= 0,0036 \text{ mm}, & s_0 &= 0,101, \\ y &= +0,0366 \text{ mm}, & s_y &= 0,0096 \text{ mm}. \end{aligned}$$

Z výsledků odpovídajících sledování vodorovných posunů po dobu zhruba osmnácti měsíců lze odvodit, že rozhodující vliv na přetváření chodby má změna teploty. Ta působí hodnotou asi  $-0,031$  mm/1 °C. Vzdálenost sledované stěny (severovýchodní) vzhledem ke stěně vztážené (jihozápadní) se tedy se zvyšující teplotou zmenšuje, a naopak. Za předpokladu maximální teploty +35 °C a minimální teploty -25 °C je interval průměrného vodorovného posunu stěny vlivem změny teploty od -1,1 do +0,8 mm, tedy kolem 2 mm v průběhu jednoho roku. Roční vodorovný posun stěny (oproštněný od teplotních vlivů) odpovídá hodnotě

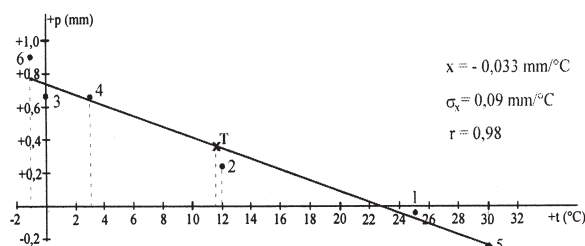
$$y_r \approx +0,22 \text{ mm}$$

při mezní odchylce

$$\delta_{yr} \approx 0,12 \text{ mm.}$$

Působením času se ve sledovaném období vzájemná vzdálenost stěn velmi málo zvětšovala.

Vzhledem k nepatrnému vlivu času na vodorovné posuny byla hodnocena funkční závislost posunů na teplotních změnách rovněž pomocí vyrovnávací přímky. Jak je z obr. 7 patrné, hodnoty  $x$  (vliv teploty na vodorovné posuny) z obou způsobů hodnocení si velmi dobře odpovídají. Koeficient korelace  $r$  svědčí o existenci funkčního vztahu mezi velikostí vodorovných posunů a teplotou.



Obr. 7. Závislost velikosti vodorovných posunů na teplotě – vyrovnávací přímka

Z číselných údajů i grafického znázornění vodorovných posunů vyplývá, že nejvyšších hodnot dosahují uprostřed stěny, zhruba v úrovni ocelových nosníků v atriu. Proto byl výpočet vyrovnaných hodnot vlivu teploty a času na velikost vodorovných posunů proveden pro průměrné posuny uprostřed stěny (body 13 až 63) v jednotlivých etapách:

$$\begin{aligned} x &= -0,0389 \text{ mm}, & s_x &= 0,0050 \text{ mm}, & s_0 &= 0,140, \\ y &= +0,0529 \text{ mm}, & s_y &= 0,0134 \text{ mm}. \end{aligned}$$

Odtud pak

$$y_r = +0,32 \text{ mm}, \quad \delta_{yr} = 0,16 \text{ mm.}$$

#### 4.2.3. Určování svislých posunů

Svislé posuny pozorovaných bodů v jednotlivých etapách, vztahené k základní etapě, jsou s ohledem na přesnost měření téměř neprokazatelné. Hodnoty kolísají od  $\pm 0,1$  do  $\pm 0,3$  mm, aniž by vykazovaly trvalý směr pohybu nahoru či dolů. Stejně jako u vodorovných posunů byly vypočítány pro jednotlivé etapy průměrné svislé posuny ve všech příčných řezech, průměry pro oba konce a střed chodby, a konečně průměrné svislé posuny stěny jako celku. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tab. 7 společně s odpovídajícími výběrovými směrodatnými odchylkami a rozdíly teplot vůči základní etapě.

Tab. 7. Průměrné svislé posuny v jednotlivých etapách

Příčný řez [mm]	Etapa						průměr
	první	druhá	třetí	čtvrtá	pátá	šestá	
1 + 2	0,15	0,05	0,10	0,10	-0,15	-0,35	-0,02
3 + 4	0,15	0,10	0,10	0,05	-0,05	-0,10	0,04
5 + 6	0,05	-0,15	0,10	0,05	-0,25	-0,25	-0,08
průměr	0,12	0,00	0,10	0,07	-0,15	-0,23	-0,02
$s_{nj}$	0,03	0,05	0,03	0,03	0,06	0,06	0,05
rozdíl teplot $\Delta t$ [°C]	8	-5	-17	-14	13	-18	-7

Pro hodnocení průměrných svislých posunů je nutné vypočítat odpovídající mezní odchylku  $\delta_v$  ze vztahu

$$\delta_v = u_p \cdot \sqrt{\sigma_m^2 + 2\sigma_v^2} \approx 2 \cdot \sqrt{0,05^2 + 2 \cdot 0,03^2} \approx 0,13 \text{ mm}, \quad (15)$$

kde  $u_p$  je koeficient spolehlivosti (zvolen 2),

$\sigma_m$  – směrodatná odchylka průměrného svislého posunu jedné etapy, nahrazená kvadratickým průměrem výběrových směrodatných odchylek  $s_{n\phi} = 0,05$  mm,

$\sigma_v$  – směrodatná odchylka v určení vyrovnané výšky horizontu přístroje v jedné etapě (10).

Porovnáním výsledků uvedených v tab. 7 (řádek 4) s mezní odchylkou  $\delta_v$  (15) vyplývá, že průměrné svislé posuny lze považovat za prokázané pouze v páté a šesté etapě.

## 5. Závěr

Z dosažených výsledků je zřejmé, že použitá technologie splnila požadavky objednatele a odpovídá předpokladům uvedeným v projektu měření vodorovných a svislých posunů. Měření prokázalo vodorovné posuny v hodnocené chodbě budovy Rádia Svobodná Evropa, a to jak složku způsobenou vlivem změny teploty (složka periodická), tak složku časovou. Ve sledovaném období převyšuje složka vodorovných posunů způsobená vlivem teploty desetinásobně hodnotu složky časové, která však zřejmě působí stálým směrem. Působení vlivu teploty bylo prokázáno vcelku spolehlivě, a lze tedy pokládat chování konstrukce vlivem teploty za předem určitelné. Časové působení na konstrukci za poměrně krátké období je určeno vzhledem k naměřené velikosti méně spolehlivě a vyžadovalo by měření po delší dobu za pokud možno stejných teplotních podmínek, např. jednou za rok nebo podle dosažených výsledků i za delší časový úsek. Na základě zkušeností je možné doporučit zaměření v zimním období, kdy je rozdíl mezi teplotou v noci a ve dne malý a lze předpokládat, že teplota konstrukce lépe odpovídá teplotě venkovní.

Článek byl zpracován v rámci řešení výzkumného zá-  
měru č. CEZ J04/98:21000001 „Spolehlivost a životnost  
staveb“.

## Literatura

- [1] Soubor technických zpráv k měření posunů a sedání v objektu Rádia Svobodná Evropa. ČVUT Praha, 1999 – 2001.
- [2] Bajer, M. – Procházka, J.: Inženýrská geodézie 10, 20 – Návody ke cvičením. ČVUT Praha, 2001, 192 s.
- [3] Böhm, J. – Radouch, V. – Hampacher, M.: Teorie chyb a vyrovnávací počet. Praha, GKP 1990.
- [4] Hrkal, P.: Vyhodnocení přesnosti určování posunů a přetvoření části objektu Rádia Svobodná Evropa. [Diplomová práce], ČVUT Praha, 2001.

## Procházka, J.: Measurement of Displacements and Deformations in the Radio Free Europe Complex

This article describes the technology used for determining horizontal and vertical displacements of a wall in a corridor of the Radio Free Europe complex. It aims at identifying causes of structural failures and their evaluation. Also, it assesses the achieved accuracy of measured values and resulting displacements by comparing them with theoretical values. Moreover, it objectively proves dependance of the magnitude and direction of horizontal displacements on temperature and time. Finally, it proves suitability of the applied technology for the solution of the presented task.

**Procházka, J.: Messung von Verschiebungen und Verformungen im Gebäude des Senders Radio Freies Europa**

Der Artikel behandelt eine zur Ermittlung von horizontalen und vertikalen Verschiebungen der Wand eines Flurs im Gebäude des Senders Radio Freies Europa in Prag angewandte Technologie, die zur Feststellung der Ursachen statischer Störungen und deren Auswertung dienen soll. Er bewertet die erreichte Genauigkeit der gemessenen Größen und der resultierenden Verschiebungen durch ihren Vergleich mit den theoretischen Werten und weist objektiv nach und unterscheidet die Abhängigkeit der Größe und Richtung der horizontalen Verschiebungen von der Temperatur und der Zeit. Gleichzeitig weist er die Eignung der eingesetzten Technologie für die Lösung des genannten Problems nach.

## ● technologie

### SENDVIX – vícevrstvé zdivo

Jedním z nových výrobků, které budou představeny na IBF v Brně, bude SENDVIX – ucelený systém vícevrstevných konstrukcí. Tento společný produkt společností KM Beta, LB Cemix, Rockwool a Bison&Rose sestává ze čtyř variant obvodových konstrukcí, které se liší navzájem použitými materiály i výsledným vzhledem fasádní vrstvy. Předností tohoto sendvixového systému mají být jeho dokonalé tepelné, technické, akustické a statické parametry, jejichž úroveň si může projektant vybrat podle konkrétních požadavků. Parametry dosažované jednotlivými konstrukcemi SENDVIX přitom začínají na hodnotách, kde možnosti tradičního jednoplášňového zdiva končí. To vše při výrazně menší tloušťce stěn než u jednoplášňových konstrukcí, čímž dochází k významným úsporám zastavěné plochy.

Vnitřní nosnou částí systému je ve všech variantách zdivo z vápenopískových cihel od hodonínského výrobce KM Beta. Vápenopískové bloky jsou vyzdívány na zdicí maltu Cemix mur 910. Z vnitřní strany je zdivo omítnuto vápenocementovou omítkou Cemix ip 20, může být zpracováno i jako zdivo režné. Hlavním formátem pro vyzdívání cihel je vápenopískový kvádr 290 x 240 x 113 mm. Použity mohou být i doplňkové metrické formáty cihel.

Nosná stěna je z vnější strany opatřena libovolně dimenzovatelnou souvislou vrstvou tepelné izolace z minerální vlny Rokwool a v jedné variantě z pěnového polystyrenu. Izolační vrstva je k podkladu přilepena nebo kotvena speciálními prvky. Součástí souvrství je armovací vrstva pro zpevnění izolace. Povrchová vrstva je u kontaktních variant řešena z vnějších omítek společnosti LB Cemix. Ve variantách provětrávaných chrání izolační vrstvu lícová přízdívka z režných vápenopískových cihel nebo fasádní obklad ze dřeva nebo jiných fasádních obkladových prvků.

Systém SENDVIX sestává ze čtyř základních typů – kontaktní konstrukce s tradiční omítkovou fasádní vrstvou (typy M a P) a provětrávaných systémů s netradičními fasádními povrchy (typy L a A). Všechny typy jsou dále zpracovávány a dodávány v deseti až dvanácti skladebných variantách. Jsou navrženy tak, aby umožnily splnění běžných požadavků hromadné výstavby, ale i dosažení individuálních a extrémních parametrů pro moderní nízkooenergetické stavby. Nad rámec navržených a ověřených skladeb (celkem 46 variant) je možné po dohodě s výrobcem sestavit i skladby s jinými než uvedenými tloušťkami nosné konstrukce i izolační vrstvy.

*Tisková informace*

## ● dizertace



### Racionální formulace polymercementových kompozitů

*Ing. Alexander Krascsenits*

Dizertace je věnována problematice racionálního návrhu kompozitních materiálů s polymercementovým pojivem s důrazem na posouzení interakčních vazeb mezi jednotlivými složkami těchto materiálů.

### Určování výškových rozdílů v účelových sítích

*Ing. Marek Prikryl*

Dizertační práce je originálním příspěvkem k minimalizování vlivu vertikální refrakce na určování výškových rozdílů. Je doložena experimenty z ČR i Afriky.

### Design of Distributed Hydrological Model

*Ing. Imad Al-Homsi*

V dizertaci je vytvořen původní model simulace hydrogeologických procesů v povodí zahrnující intercepci, infiltraci, evapotranspiraci povrchový i podpovrchový odtok z území a průtok korytem. Model je integrovatelný do GIS a jeho modulární struktura umožňuje rozšiřování.

### Vodní eroze jako činitel dynamiky krajiny

*Ing. Pavla Paříková*

Práce se zabývá problematikou vodní eroze půdy jako významného krajinotvorného faktoru. Významným činitelem jsou vstupní údaje pro metody, které problém řeší – jde především o dešťový simulátor, jeho modifikaci a experimentální ověřování. Výsledkem je metodika pro používání tohoto simulátoru.

### Plášťové působení tenkostěnných kazet

*Ing. Jan Rybín*

Dizertace se zabývá chováním tenkostěnných ocelových kazet, které jsou hojně používány na obvodové stěny halových staveb. Na teoretickém modelu se prokazuje stěžejní vliv přípojů kazet k nosné konstrukci. Model je ověřen na experimentech provedených ve skutečném měřítku. Výsledkem jsou podklady pro výstižnější dimenzování tohoto typu stěn.

### Elimination of Nitrogen Compounds from Drinking Water

*Ing. Hossam Monier Abd El-Hady Torky*

Práce je originálním příspěvkem ke zdokonalení chemicko-technologických procesů v úpravárenské praxi. Je rozpracována metodika odstraňování dusíkatých sloučenin z pitné vody a práce má výrazně multidisciplinární charakter.

### Styčníky dřevěných konstrukcí s vlepanými závitovými tyčemi

*Ing. Karel Mikeš*

Dizertace se zabývá rozbohem chování rámového rohu dřevěné konstrukce vytvořeného vlepením závitových ocelových tyčí. Experimentální část slouží pro získání hlavních charakteristik jednotlivých komponent styčníku. V teoretické části je sestaven výpočetní model. Výsledky práce jsou použitelné pro navrhování dřevěných konstrukcí.

# Některé fyzikální nepřesnosti tradované ve výuce stavební fyziky

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

Příspěvek pojednává o některých nepřesnostech v definicích a pojmech používaných ve stavební tepelné technice.

## 1. Úvod

Součástí výuky stavební fyziky na stavebních fakultách je kromě akustiky, denního a umělého osvětlení také termodynamika stavebních konstrukcí, zahrnutá do předmětu tepelná technika. Přestože jsou všechny zmíněné disciplíny modifikovány a přizpůsobeny potřebám stavební praxe, jejich základem zůstává fyzika, ze které tyto disciplíny čerpají. Je proto přirozeným požadavkem, aby studentům předávaná látka byla v souladu jak s obecnými fyzikálními pravidly, tak s ustálenými terminologickými zvyklostmi fyziky.

Příspěvek pojednává o dvou nepřesnostech, které se hojně a dlouhodobě vyskytují téměř ve všech učebních textech z tepelné techniky. Ke značnému rozšíření zmíněných nepřesností nepochybně přispěla i nová národní tepelná norma [1], v níž jsou tyto nepřesnosti rovněž zahrnuty. V dalším textu objasníme podstatu problému.

## 2. Nesrovnalosti ve fyzikálních jednotkách

Ve druhé části tepelné normy [1] je zaveden normalizovaný tepelný odpor  $R_N$  stavební konstrukce následovně

$$R_N = \frac{|t_i - t_e|}{q_k e_1 e_2 e_3}, \quad (1)$$

kde  $t_i$ ,  $t_e$  jsou vnitřní a vnější výpočtové teploty udávané normou ve stupních Celsia [ $^{\circ}\text{C}$ ] a  $q_k$  je charakteristická hustota tepelného toku konstrukcí [ $\text{Wm}^{-2}$ ]. Symboly  $e_1$ ,  $e_2$ ,  $e_3$  představují korekční součinitele budovy, typu konstrukce a její tepelné akumulace a norma je ponechává bez jednotek, tedy jako bezrozměrné veličiny.

Je dostatečně známo, že každá fyzikální rovnice musí splňovat nejen požadavek **numerické rovnosti** obou svých stran, ale také **dimenzionální rovnosti**, tj. v podstatě rovnosti fyzikálních jednotek na obou stranách rovnice. Vzhledem k tomu, že jednotkou levé strany rovnice (1) je jednotka tepelného odporu  $\text{m}^2\text{KW}^{-1}$ , musí i pravá strana dávat tuto jednotku. Dosadíme-li za rozdíl teplot  $|t_i - t_e|$  stupně Celsia a za hustotu tepelného toku  $q_k$  jednotku  $\text{Wm}^{-2}$ , získáme jednotku  $\text{m}^2\text{CW}^{-1}$ , která není totožná s požadovanou jednotkou  $\text{m}^2\text{KW}^{-1}$ . Norma by proto měla udávat obě teploty  $t_i$ ,  $t_e$  v kelvinech [K], což je ostatně základní jednotka fyzikální soustavy SI. Přitom součin korekčních součinitelů ( $e_1 \cdot e_2 \cdot e_3$ ) musí být podle rovnice (1) bezrozměrný (bez jednotky). Tento požadavek je sice splněn, neboť druhá část normy [1] nepřisuzuje jednotlivým korekčním součinitelům žádnou jednotku,

avšak v její třetí části je naopak korekčnímu součiniteli  $e_1$  jednotka přisuzována. Děje se tak implicitně na základě definiční rovnice

$$t_{ap} = t_i + e_1, \quad (2)$$

kteřá zavádí výpočtovou teplotu vnitřního vzduchu  $t_{ap}$  a norma ji udávána opět ve stupních Celsia. Má-li být pravá strana rovnice (2) rovněž ve stupních Celsia (nebo kelvinech), musí být v těchto stupních udávána nejen teplota  $t_i$ , ale i součinitel  $e_1$ , což je však v rozporu s požadavkem první definiční rovnice (1), která ponechává součinitel  $e_1$  bezrozměrný, tj. bez jednotky.

Nevyhnutelným závěrem těchto úvah je, že jedna z definičních rovnic (1), (2) musí být nesprávně zavedena, a tudíž fyzikálně neplatná.

## 3. Záměna pojmů

V příloze D čtvrté části normy [1] se hovoří o fázovém posunutí teplotních kmitů  $\psi$ , avšak vztahy pro  $\psi$  dávají podle [1] výsledky v hodinách, a nikoli ve stupních či radiánech, jak by vyžadovalo skutečné fázové posunutí. Jde tedy o **záměnu** fázového, tj. úhlového posunutí s časovým posunutím. Podstata této záměny je dále vyložena.

Mezi nestacionární metody oceňující schopnost vnější konstrukce tlumit okolní změnu teploty patří metoda výpočtu teplotního kmitu. Je založena na předstevě, že změnu vnější teploty během dne ( $T = 24$  h) si lze představit jako harmonickou změnu

$$t_e = t_{em} + A_e \sin \omega \tau, \quad (3)$$

kde  $\tau$  je časová proměnná,  $t_{em}$  průměrná vnější teplota,  $A_e$  amplituda vnější teploty a  $\omega = 2\pi/T$  úhlová frekvence s periodou  $T = 24$  h.

Periodický jednodenní kmit vnější teploty vyvolá podobný jednodenní periodický kmit teploty  $t_{si}$  na vnitřním povrchu konstrukce, avšak s tím rozdílem, že bude utlumen (tj. bude mít menší amplitudu  $A_i < A_e$ ) a bude fázově ( $\psi$ ), resp. časově ( $\Delta\tau$ ), posunut

$$t_{si} = t_{sim} + A_i \sin[\omega\tau + \psi] = t_{sim} + A_i \sin[\omega(\tau + \Delta\tau)], \quad (4)$$

$$\Delta\tau = \frac{1}{\omega} \psi = \frac{T}{2\pi} \psi = 3,82 \psi, \quad (5)$$

kde  $\Delta\tau$  je časové posunutí v hodinách a  $\psi$  úhel fázového posunutí v radiánech. Norma [1] a z ní čerpající učební texty však zaměňují  $\Delta\tau$  za  $\psi$ , tj. nerozlišují jejich pravý fyzikální význam. Ve skutečnosti podávají návod, jak počítat časové zpoždění vnitřního teplotního kmitu v hodinách

$$\Delta\tau = 3,82 \left[ \arctg\left(\frac{a}{b}\right) + k\pi \right], \quad \text{resp. } \Delta\tau \approx 2,7D \quad (6)$$

(význam symbolů  $a$ ,  $b$ ,  $k$ ,  $D$  viz příloha D 2 [1]), přičemž předpis (5) nazývají fázovým posunutím  $\psi$ . Taková záměna je ovšem z fyzikálního hlediska nepřijatelná.

#### 4. Závěr

Příspěvek upozornil na dvě fyzikální nesrovnalosti v technických textech, které slouží jako podklady pro výuku tepelné techniky. První z nich se týkala rozporů v jednotce korekčního součinitele budovy  $e_1$  a z nich vyplývající fyzikální neplatnosti jedné z rovnic (1), (2). Podstatou druhé nesrovnalosti byla záměna pojmů časového a fázového posunutí teplotního kmitu konstrukce.

#### Literatura

[1] ČSN 730540 Tepelná ochrana budov. ČSNi, Praha, 1994.

Ficker, T. – Podešvová, Z.: **Some Physical Inaccuracies Traditionally Taught in Structural and Building Physics**

The paper deals with some inaccuracies in definitions and notions used in building and heat engineering.

Ficker, T. – Podešvová, Z.: **Einige in der Lehre der Bauphysik tradierte physikalische Ungenauigkeiten**

Der Beitrag behandelt einige Ungenauigkeiten in den in der Wärmetechnik des Bauwesens angewendeten Definitionen und Begriffen.

## ● zprávy

### Administrativní budova Florenc

V listopadu loňského roku byl uzavřen největší obchod s kancelářskými prostory v roce. Administrativní budova Florenc, projektovaná developerem AIG/Lincoln, se stane sídlem jedné z největších auditorských firem – společnosti KPMG. Budova nabídne přibližně 10 tis. m<sup>2</sup> plochy na velmi atraktivním místě v bezprostřední blízkosti hotelu Hilton a International Business Centre. Dokončení stavby centra Florenc se plánuje na konec roku 2002.



Projekt řídí společnost VINCI Construction Project SA a stavbu jeho dceřinná společnost FCC. Stavba centra a jeho dlouhodobé financování je zajištěno Rheinische Hypothekenbank. Poradcem KPMG v průběhu celé transakce byla společnost Jones Lang LaSalle a poradcem AIG/Lincoln byla společnost DIZ.

*Tisková informace*

## Stavební veletrhy Brno

23. – 27. 4. 2002



**Doprovodný program**

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

**23. 4. 2002**

**IBF Inovace a technologie v rozvoji regionů**  
konference – Administrativní budova BVV, sál 102  
**Zlaté medaile IBF 2002** – vyhlášení výsledků soutěže  
**Interiér roku** – pavilon V

**SHK Regenerované panelové domy**  
seminář – Kongresové centrum Brno, sál D  
**Zlaté medaile SHK BRNO 2002**  
vyhlášení výsledků soutěže

**URBIS**

**Inovace a technologie v rozvoji regionů**  
konference – Administrativní budova BVV, sál 102

**24. 4. 2002**

**IBF Den architektury**  
architekt ZVI-HECKER – pavilon A3, sál Morava  
**Humanizace dopravy ve městech**  
seminář – Administrativní budova BVV, sál 103

**Konference o bydlení**  
Administrativní budova BVV, sál 300

**URBIS**

**Rozvoj průmyslových zón a vstup zahraničních investorů II**  
seminář – Kongresové centrum, sál C

**25. 4. 2002**

**IBF Stropní systémy z CSD Hurdis**  
seminář – Administrativní budova BVV, sál č. 300

**SHK Energetické úspory**  
seminář – Kongresové centrum Brno, sál B

**URBIS**

**IX. celostátní kongres starostů a primátorů měst a obcí ČR** – pavilon A, Rotunda  
**Program obnovy venkova**  
seminář – Kongresové centrum Brno, sál C

**26. 4. 2002**

**SHK Diskusní klub o vytápění II**  
Kongresové centrum Brno, sál B

**23. – 24. 4.**

**IBF Dřevo – stavební materiál třetího tisíciletí**  
mezinárodní konference – Kongresové centrum sál A

**23. – 26. 4.**

**URBIS**

**Ochrana před povodněmi** – konference, pavilon E

**23. – 27. 4.**

**IBF Pažení, bednění, lešení**  
posterová sekce – hala Kongresového centra Brno  
**ENVIKONGRES s mezinárodní výstavou**  
pavilon A3, sál Morava; pavilon C

**25. – 26. 4.**

**IBF Návrat do města**  
mezinárodní konference – Kongresové centrum, sál A; Technické muzeum v Brně – národní sekce  
**Mosty**  
mezinárodní sympozium – Hotel Voroněž

# Hodnocení ekonomické výhodnosti nabídek veřejné zakázky

Ing. Jana KORYTÁROVÁ, PhD.

Ing. Alena TICHÁ, PhD.

VUT – Fakulta stavební

Brno

Hodnocení ekonomické výhodnosti nabídek veřejné zakázky není podrobně upraveno žádným právním předpisem. V příspěvku je uvedena metodika hodnocení s využitím metod hodnotové analýzy a souhrnného ekonomického kritéria.

## 1. Úvod

Nejdůležitějším úkonem zadavatele při zadávání veřejných zakázek je rozhodnutí o výběru nejvýhodnější nabídky. Pokud nebude prováděn správně, pak veškerá zadávací řízení budou jen plýtváním peněz daňových poplatníků.

Veřejné zakázky jsou jedním z hlavních finančních zdrojů pro většinu subjektů působících na trhu stavebních prací. Zdroje financování plynou ze státního, krajských a obecních rozpočtů a také z různých fondů mezinárodních organizací. V případě, že je investorem veřejné zakázky stát, má zhotovitel víceméně stoprocentní jistotu, že sjednaná cena bude uhrazena v plné výši. Proto jsou středem zájmu pravidla, jimiž se zadávání a vyhodnocování veřejných zakázek řídí. Tato pravidla upravuje zákon č. 199/1994 Sb., o zadávání veřejných zakázek, ve znění pozdějších novel. Domníváme se, že zejména v oblasti stavebních zakázek, hodnocení nabídek podle nejnižší nabídkové ceny nepostihuje výhodnost nabídky v plné šíři. Tento příspěvek hovoří o možnosti posuzování nabídky podle její ekonomické výhodnosti.

Ekonomická výhodnost nabídky může být posuzována metodami hodnotové analýzy nebo souhrnného ekonomického kritéria.

## 2. Stanovení ekonomické výhodnosti metodami hodnotové analýzy

Hodnotová analýza popisuje předmět hodnocení kritérii, jejichž hodnoty (parametry) dávají možnost vyjádřit celkovou užitečnost hodnoceného předmětu. Metody hodnotové analýzy jsou nástrojem, který umožňuje kvantifikovat užitečnost pro stanovení efektivity. Efektivnost vyjadřuje poměr užitečnosti k nabídkové ceně

$$E = U/C, \quad (1)$$

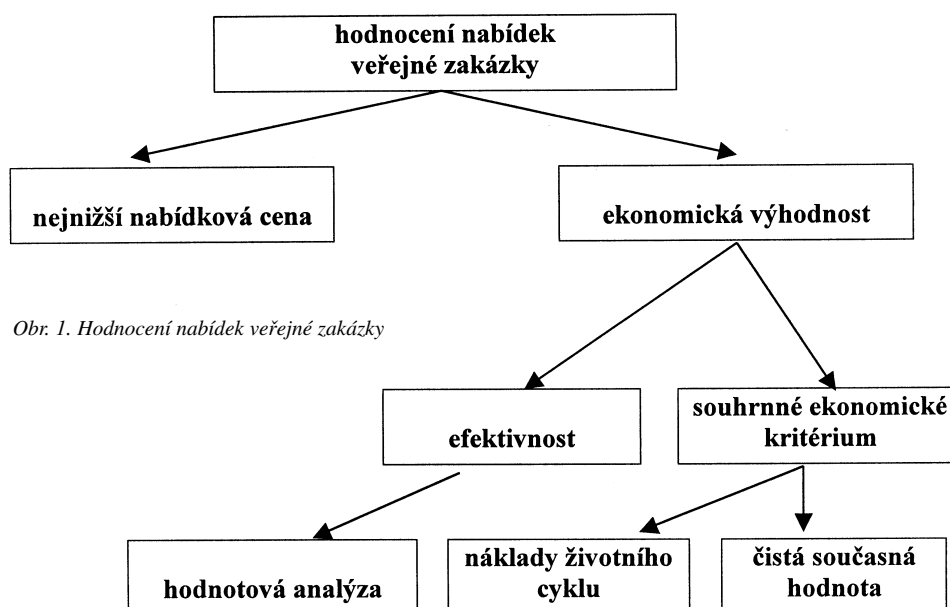
kde  $E$  je efektivity,

$U$  – celková užitečnost nabídky,

$C$  – nabídková cena.

Pro každou předloženou nabídku je třeba stanovit její efektivity a jednotlivé míry efektivity porovnat mezi sebou. Nabídka s nejvyšší efektivity je považována za nejvýhodnější. Jestliže je možné  $U$  vyjádřit v peněžních jednotkách stejně jako  $C$ , pak je vhodné posuzovat jednotlivé nabídky veřejné zakázky podle souhrnného ekonomického kritéria (nákladů životního cyklu nebo čisté současné hodnoty), vyjadřujícího jak investiční, tak provozní náročnost navržených řešení. Pokud to možné není, pak je vhodné posuzovat jednotlivé nabídky veřejné zakázky podle ekonomické výhodnosti a užitečnosti nabídky vyjádřit metodami hodnotové analýzy.

Z celé škály metod hodnotové analýzy byly vybrány ty, které se z hlediska hodnocení nabídek veřejné zakázky jeví jako nejvhodnější. Jde jednak o delfskou metodu, kterou lze uplatnit při výběru a hodnocení jednotlivých kritérií nabídky, jednak o metodu diskriminační analýzy pro stanovení celkové užitečnosti nabídek, která svým postupem odpovídá požadavku komplexnosti hodnocení.



Obr. 1. Hodnocení nabídek veřejné zakázky

### Definování, výběr a třídění kritérií pro hodnocení nabídek

Způsobem zpracování a vyhodnocení se pro fázi výběru kritérií hodnoceného předmětu veřejné zakázky osvědčuje **delfská metoda**. Spočívá v rozeslání a následném vyhodnocování dotazníků vyplněných respondenty. Je možné postupovat v těchto krocích:

- stanovení předmětu hodnocení;
- výběr respondentů a stanovení jejich počtu;
- v **prvním kole** je možné respondenty vyzvat k vyjmenování dílčích kritérií analyzovaného předmětu z hlediska:
  - architektonického,
  - estetického,
  - technického,
  - technologického,
  - jakostního,
  - nákladového,
  - časového,
  - regionálního,
  - záruk dodávky,
  - ekologického,
  - sociálního,
  - sociologického,
  - jiného;
- pracovní tým hodnotové analýzy údaje od respondentů vyhodnotí a seřídí podle četnosti výskytu jednotlivých kritérií. Omezí jejich množství na předem dohodnutý počet a vybraná kritéria odešle stejným respondentům, aniž uvede četnost výskytu jednotlivých kritérií;
- ve **druhém kole** jsou respondenti vyzváni ke stanovení pořadí důležitosti jednotlivých kritérií;
- pracovní tým hodnotové analýzy opět pomocí četnosti výskytu sestaví pořadí kritérií pro výpočet celkové užitečnosti;
- stejný tým vytvoří matici vstupních dat pro další rozhodování, kterou předloží zadavateli. Vstupními daty jsou jednak exaktně měřitelná kritéria nebo kritéria, jejichž hodnota je určena subjektivními metodami (bodovací, procentní, klasifikační).

### Stanovení užitečnosti jednotlivé nabídky

Pro stanovení užitečnosti jednotlivých nabídek veřejné zakázky je vhodná zejména **diskriminační analýza**. V podstatě jde o určení odchylky mezi hodnocenými nabídkami. Úvodním podkladem je matice vstupních dat (tab. 1). V řádcích jsou uvedena sestupně podle důležitosti jednotlivá kritéria veřejné zakázky včetně slovního popisu a měřicí jednotky. Na prvním řádku se tedy uvede kritérium nejdůležitější. Kritéria vymezi a seřídí tým odborníků, např. pomocí delfské metody. Sloupce tvoří jednotlivé nabídky. V políčkách tabulky jsou uvedeny hodnoty kritéria v dané nabídce ( $h_{ij}$ ).

Tab. 1. Matice vstupních dat

Kritérium	Slovní popis	Měřicí jednotka	Nabídka			
			V1	V2	V3	V4
K1			$h_{11}$	$h_{12}$	$h_{13}$	$h_{14}$
K2						
K3						
K4						
K5			$h_{51}$	$h_{52}$	...	$h_{54}$

Pro vyhodnocení nabídek je nutné vytvořit **základní porovnávací nabídku** neboli **fiktivní nabídku**. Ta může být dána nejhoršími hodnotami jednotlivých kritérií, takže jde

o minimální fiktivní nabídku  $V^-$ , nebo nejlepšími hodnotami kritérií, pak jde o maximální fiktivní nabídku  $V^+$ . Rozdíl mezi dvěma porovnávanými nabídkami představuje celkový **diskriminační efekt**. **Odchylku** zkoumané nabídky od základní porovnávací nabídky vypočítáme s využitím matematicko-statistických operací. Jde o Ivanovičovu odchylku  $D$  [1], která je dána vzorcem

$$D = \sum_{i=1}^n \frac{|d_i|}{s_i} \cdot \prod_{j=1}^{i-1} (1 - r_{ij}), \quad (2)$$

kde  $d_i$  je rozdíl vyjadřující plnění jednotlivých kritérií,

$s_i$  – směrodatná odchylka,

$r_{ij}$  – korelační koeficient,

$n$  – počet kritérií,

$i$  – počet řádků matice (počet kritérií),

$j$  – počet sloupců matice (počet nabídek).

Ivanovičova odchylka se vypočítá postupným řešením série matic, které vyplývají z formulace vzorce (2). Vyjadřuje celkovou užitečnost nabídky, tj.  $D \equiv U$ .

### Vyhodnocení nejvhodnější nabídky

Výpočet efektivity  $E$  je proveden v tab. 2. Do jednotlivých řádků se uvedou údaje o užitečnosti  $U$ , nabídkové ceně  $C$  a efektivity  $E$ . Efektivnost se zjistí podle vzorce (1). Ve sloupcích tabulky jsou uvedeny hodnoty pro jednotlivé nabídky. Na základě vypočítané efektivity jednotlivých nabídek stanovíme jejich pořadí. Nabídka s nejvyšší efektivitou je hodnocena jako nejlepší (tab. 3).

Tab. 2. Výpočet efektivity  $E$

Efektivnost	Nabídka			
	V1	V2	V3	V4
$U$				
$C$				
$E = U / C$				

Tab. 3. Stanovení pořadí nabídek

Ukazatel	Nabídka			
	V1	V2	V3	V4
$E$				
pořadí				

## 3. Stanovení ekonomické výhodnosti nabídky s využitím souhrnného ekonomického kritéria

### Stanovení nákladů životního cyklu nabídky

Metoda výpočtu nákladů životního cyklu ( $N\check{Z}C$ ) je založena na stanovení současných i budoucích nákladů v okamžiku hodnocení nabídky. Jestliže se náklady nabídky posuzují v přítomnosti, tedy v okamžiku hodnocení nabídky, musí být všechny budoucí náklady s ní spojené přepočítány na svou současnou hodnotu. Pro přepočítání budoucích nákladů se používá metoda diskontování (odúročování), která je založena na tomto výpočtu podle vztažu

$$SH = \sum_{i=0}^n \frac{N_i}{(1+r)^i}, \quad (3)$$

kde  $SH$  je současná hodnota provozních nákladů spojených s nabídkou [Kč],



- $N$  – provozní náklady v jednotlivých letech [Kč],  
 $i$  – počet let od 0 do  $n$ ,  
 $r$  – diskontní sazba (časová hodnota peněz) [%/100].

Náklady životního cyklu nabídky se vypočítají podle vztahu

$$N\dot{Z}C = SH + C, \quad (4)$$

kde  $N\dot{Z}C$  jsou náklady životního cyklu nabídky [Kč],  
 $C$  – nabídková cena [Kč].

Kroky při použití metody výpočtu nákladů životního cyklu:

- identifikace nákladů během celého životního cyklu,
- stanovení nákladů v jednotlivých letech [Kč],
- výpočet diskontovaných hodnot nákladů s použitím odůročitele [Kč],
- výpočet nákladů životního cyklu nabídky.

#### Stanovení nejvýhodnější nabídky

Na základě nákladů životního cyklu stanovíme pořadí nabídek. Nabídka s nejnižšími náklady je hodnocena jako nejvýhodnější (tab. 4).

Tab. 4. Stanovení pořadí nabídek

Ukazatel	Nabídky			
	V1	V2	V3	V4
$N\dot{Z}C$				
pořadí				

#### Stanovení čisté současné hodnoty nabídky

Metoda čisté současné hodnoty ( $\dot{C}SH$ ) se používá k hodnocení výnosových nabídek. Je založena na stanovení rozdílu současné hodnoty budoucích výnosů a nabídkové ceny. Jestliže se výnosy nabídky posuzují v přítomnosti, tedy v okamžiku hodnocení nabídky, musí být všechny budoucí výnosy s ní spojené přepočítány na současnou hodnotu. Pro tento přepočet se používá metoda diskontování (odúročení), založená na výpočtu podle vztahu

$$SH = \sum_{i=0}^n \frac{V_i}{(1+r)^i}, \quad (5)$$

kde  $SH$  je současná hodnota budoucích výnosů spojených s nabídkou [Kč],

- $V_i$  – výnosy po odečtení provozních nákladů v jednotlivých letech [Kč],  
 $i$  – počet let od 0 do  $n$ ,  
 $r$  – diskontní sazba (časová hodnota peněz) [%/100].

Čistá současná hodnota se vypočítá podle vzorce

$$\dot{C}SH = SH - C, \quad (6)$$

kde  $\dot{C}SH$  je čistá současná hodnota nabídky [Kč],  
 $C$  – nabídková cena [Kč].

#### Stanovení nejvýhodnější nabídky

Na základě čisté současné hodnoty stanovíme pořadí nabídek. Nabídka s nejvyšší  $\dot{C}SH$  je hodnocena jako nejvýhodnější (tab. 5).

Tab. 5. Stanovení pořadí nabídek

Ukazatel	Nabídka			
	V1	V2	V3	V4
$\dot{C}SH$				
pořadí				

## 4. Závěr

V současné době se pro hodnocení veřejných zakázek používají zejména bodovací a klasifikační metody. Nejčastěji hodnotitelé sáhnou k výběru podle nejnižší ceny. Praxe zadávání a hodnocení veřejných zakázek ukazuje potřebu uplatnění komplexních metod hodnocení. V této souvislosti jsou v článku představeny metody hodnotové analýzy – delfská metoda a diskriminační analýza – pro výpočet míry efektivity i metody pro stanovení souhrnného ekonomického kritéria. Předpokládáme, že připravovaná novela zákona o zadávání veřejných zakázek bude tyto metody podporovat.

## Literatura

[1] Vlček, R: Příručka hodnotové analýzy. Praha, SNTL 1983.

#### Korytářová, J. – Tichá, A.: Economic Expedience Assessment of Public Tender Responses

The assessment of economic expedience of public tender responses is not described in any legal norm in detail. This paper presents methodology of economic expedience assessment of public tender responses by methods of value analyses and cumulative economic criterion.

#### Korytářová, J. – Tichá, A.: Bewertung der ökonomischen Vorteilhaftigkeit von Angeboten für einen öffentlichen Auftrag

Die Einschätzung der ökonomischen Vorteilhaftigkeit von Angeboten für einen öffentlichen Auftrag ist durch keine detaillierte Rechtsvorschrift geregelt. Im Beitrag wird eine Methodik zur Bewertung der ökonomischen Vorteilhaftigkeit von Angeboten für einen öffentlichen Auftrag unter Anwendung von Wertanalysemethoden und des zusammenfassenden ökonomischen Kriteriums angeführt.

## • zpráva

### Vývoj trhu s kancelářskými prostory v Praze

Vývoj trhu s kancelářskými prostory ve městě začaly v poslední době nejvíce ovlivňovat telekomunikační společnosti a firmy zabývající se počítačovými technologiemi a internetem. Na otázku, zda je trh s kancelářskými prostory přesycen a zda není v Praze administrativně obchodních center příliš mnoho, odpovídají následující fakta. Poptávka po kvalitních kancelářských plochách je uspokojena zhruba z jedné osminy. V hlavním městě je zhruba 880 tis. m<sup>2</sup> takových ploch a je reálné předpokládat, že dlouhodobá potřeba bude činit několik milionů metrů čtverečních. Vzdělání města západní Evropy, početně srovnatelná s Prahou, mají až dvacetinásobně větší plochu moderních kancelářských prostor.

Po listopadu 1989 vznikalo mnoho kanceláří úpravou bytů, mnoho firem sídlilo v centru. Dnes již tyto prostory expandujícím firmám nestačí a sídlit v centru není pro mnohé ani nezbytné, ani vhodné. Centrum je stále obtížněji dopravně dostupné, což je nevýhodné zejména pro zákaznický orientované firmy. Celkově se očekává, že části Prahy 1, 4, 5 a 8 budou v dohledné době stále atraktivnější jak pro developery, tak pro nájemce. Největší zájem je o prostory třídy A, tedy o kanceláře s vysokým standardem lépe umístěných a vybavených bez ohledu na geografické hranice.

Pro následující období se předpokládá zvyšování nájmu u prvotřídních prostor, neboť nabídka nebude schopna uspokojit poptávku. U méně kvalitních objektů v centru města se zřejmě zlepší obsazenost. Bude pokračovat výstavba mimo centrum a stoupat zájem nájemců o tyto objekty. Neobsazenost se bude ve střednědobém horizontu snižovat, avšak bude celkově držena na určité úrovni v důsledku výstavby objektů mimo centrum, uváděných do provozu v období do roku 2003.

Zdroj: Healey & Baker, Český statistický úřad

# STAVEBNÍ OBZOR

## ROČNÍK 11 ČÍSLO 5/2002

Navigace v dokumentu

### OBSAH

Witzany, J. – Čejka, T. – Karas, J. <b>Analýza poruch předsazených prefabrikovaných lodžii panelových domů</b>	<b>129</b>
Vašek, M. – Lojík, O. <b>Nelineární výpočty ve stavebně inženýrské praxi</b>	<b>135</b>
Menčík, J. <b>FMEA – metoda analýzy způsobů a následků poruch</b>	<b>142</b>
Witzany, J. – Čejka, T. – Pašek, J. <b>Funkční způsobilost a trvanlivost kontaktních zateplovacích systémů panelových domů</b>	<b>145</b>
Schütze, B. – Weber, H. <b>Měřicko-technické zkušenosti při sanaci budovy Vysoké školy výtvarných umění v Drážďanech</b>	<b>152</b>
Pavlíková, J. <b>Vliv mapových podkladů na kvalitu územních plánů</b>	<b>156</b>

5 • 2002

ročník 11

# 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**

Witzany, J. – Čejka, T. – Karas, J. <b>Analýza poruch před- sazených prefabrikovaných lodžii panelových domů</b> ..... 129
Vašek, M. – Lojík, O. <b>Nelineární výpočty ve stavebně inženýrské praxi</b> ..... 135
Menčík, J. <b>FMEA – metoda analýzy způsobů a následků poruch</b> ..... 142
Witzany, J. – Čejka, T. – Pašek, J. <b>Funkční způsobilost a trvan- livost kontaktních zateplo- vacích systémů panelových domů</b> ..... 145
Schütze, B. – Weber, H. <b>Měřicko-technické zkušební při sanaci budovy Vysoké školy výtvarných umění v Drážďanech</b> ..... 152
Pavlíková, J. <b>Vliv mapových podkladů na kvalitu územních plánů</b> ..... 156

**CONTENTS**

Witzany, J. – Čejka, T. – Karas, J. <b>Analysis of Failures of Overhanging Prefabricated Recessed Balconies</b> ..... 129
Vašek, M. – Lojík, O. <b>Non-Linear Calculations in Civil Engineering Practice</b> ..... 135
Menčík, J. <b>FMEA – A Method of Failure Mode and Effect Analysis</b> ..... 142
Witzany, J. – Čejka, T. – Pašek, J. <b>Functionality and Durability of External Thermal Insulation Composite Systems in Prefabri- cated Panel Housing</b> ... 145
Schütze, B. – Weber, H. <b>Measuring and Technical Experience from Rehabilitation of the Building of the Academy of Fine Arts in Dresden</b> ..... 152
Pavlíková, J. <b>The Impact of Source Map Data on Urban Planning Quality</b> ..... 156

**INHALT**

Witzany, J. – Čejka, T. – Karas, J. <b>Analyse von Schäden an vorgefertigten Loggien von Plattenbauten</b> ..... 129
Vašek, M. – Lojík, O. <b>Nichtlineare Berechnungen in der Bauingenieurpraxis</b> .... 135
Menčík, J. <b>FMEA – eine Methode für Fehler-Möglichkeit-und Einfluss-Analyse</b> ..... 142
Witzany, J. – Čejka, T. – Pašek, J. <b>Funktionsfähigkeit und Dauerhaftigkeit von Kontaktwärmedämm- systemen</b> ..... 145
Schütze, B. – Weber, H. <b>Messtechnische Erfahrungen bei der Sanierung eines Gebäudes der Hochschule der bildenden Künste in Dresden</b> ..... 152
Pavlíková, J. <b>Der Einfluss von Kartenunterlagen auf die Qualität von Gebietsplänen</b> ..... 156

Toto číslo bylo vydáno za podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR (projekt LP 0002).

**REDAKČNÍ RADA****Předseda:**

prof. Ing. Jiří STUDNÍČKA, DrSc.

**Místopředseda:**

doc. Ing. O. GARTNER, CSc.

**Tajemníci:**

doc. Ing. Milan KAŠPAR, CSc.  
doc. Ing. Jindřich ŠMEJČKÝ, CSc.  
doc. Ing. Jiří VÁŠKA, CSc.

**Členové:**

Ing. Miroslav BAJER, CSc.  
doc. Ing. Pavel HÁNEK, CSc.  
Ing. Jiří HIRŠ  
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. Milošlav PAVLÍK, CSc.  
Ing. Petr PLICHTA, CSc.  
prof. Ing. J. PROCHÁZKA, CSc.  
Ing. Jaroslav SOLAŘ  
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: 02/2435 4596,  
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: 02/4177 0220, 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 4. 4. 2002. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

## Analýza poruch předsazených prefabrikovaných lodžii panelových domů

prof. Ing. Jiří WITZANY, DrSc.  
Ing. Tomáš ČEJKA  
Ing. Jiří KARAS, CSc.  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

Numerická analýza MKP prokázala, že účinkem změny teploty předsazených lodžiových stěn propojených s vnitřní nosnou konstrukcí tuhými ocelovými prvky dochází, ve stadiu před porušením betonu v oblasti kotevních profilů otlacením, ve vodorovných stycích „stěna–strop–stěna“ a stěnových dílcích ke vzniku normálových napětí v tlaku, která překračují jejich mezní únosnost a jsou příčinou jejich porušení. Normálová napětí v tahu (zimní období) jsou následně příčinou rozevírání vodorovných spár a narušování styků („zavěšení“ lodžiové konstrukce na kotevní ocelové prvky).

Lodžie panelových domů jsou konstrukce s nejčastějším a nejrozsáhlejším výskytem poruch. Nosnou konstrukci předsazených lodžii tvoří stěnové dílce, probíhající postupně přes celou výšku budovy a kotvené k vnitřním stěnovým dílcům, a stropní lodžiové dílce, uložené v čelech na stěnové dílce. Stěnové a stropní lodžiové dílce jsou v tomto případě předsazené před probíhající obvodový plášť. Mezi charakteristické poruchy lodžii patří:

■ **narušení styku stěnových a stropních lodžiových dílců, porušení a drolení stykového betonu a výplní ložných spár trhlinami, porušení zhlaví stěnových dílců odlupováním hran, vznik svislých tahových trhlin v patě a zhlaví stěnových dílců a ve stykovém betonu, „vysouvání“ stropních dílců ze styku, postupně se zmenšující uložení stropních dílců, narušení styku a kotvení stěnových lodžiových dílců s nosnou konstrukcí budovy, obnažení a koroze kotevní výztuže, narušení dílců v okolí kotevní výztuže.**

Příčinou těchto poruch jsou dilatační pohyby ve svislém a vodorovném směru konstrukce předsazené lodžie, způsobené účinkem teploty a vlhkosti, nedostatečná ochrana kotevní výztuže, nevhodný materiál spojovacích prvků a konstrukční závady.

Narušení styku stropních a stěnových lodžiových dílců lze částečně řešit rozšířením úložné délky stropních dílců pomocí ocelových nebo betonových příložek kotvených prostřednictvím svorníků ke stávajícím stěnovým dílcům, opravou narušených zhlaví dílců, včetně nátěru a ochrany obnažené výztuže a injektáže styku (mezi čely stropních dílců a výplní ložných spár). Popsané provedení rekonstrukce

styku neodstraňuje základní příčiny uvedených poruch, a tím nevylučuje následný vznik obdobných poruch.

Spolehlivým řešením je poddajné pružné uložení stropních dílců ve styku použitím např. nekontaktního styku dílců (na konzoly, na trny, výstupky apod.). Uvedené řešení je obtížně realizovatelné ve stávající konstrukci a předpokládá úplnou rekonstrukci předsazených lodžii.

Narušení kotvení konstrukce lodžie k nosné konstrukci budovy je velmi závažnou poruchou, která může v krajním případě vést až ke ztrátě její stability a zřícení. Rekonstrukce vyžaduje opravu narušené původní kotevní konstrukce, včetně její spolehlivé ochrany před korozi, a opravu dílců v přílehlých průřezech.

Pokud je stávající kotvení nevyhovující, je nutné provést nové kotvení umožňující v požadovaném rozsahu dilatační pohyby předsazené lodžiové konstrukce, respektující požadavky na poddajnost, pevnost a spolehlivost v čase při působení cyklických klimatických účinků. Vodorovný a svislý styk lodžiových stěnových a stropních dílců s obvodovým pláštěm je nutné řešit jako pružný styk;

■ **povrchový rozpad betonu dílců, obnažení a koroze výztuže, narušování betonu dílců, oslabování výztuže, způsobené korozními účinky vlhkosti od zatékání do styku, expanzními silami od účinku koroze výztuže dílců a styku, nekvalitním betonem, nedostatečným krytím výztuže a zatékáním srážkové vody.**

Povrchový rozpad betonu a krycích vrstev vyžaduje úplné odstranění narušených a nepříliš pevných částí betonu, provedení dodatečné ochrany výztuže a nové vrstvy betonu ze speciálních směsí na bázi plastbetonu včetně úpravy styčné spáry starého a nového betonu;

■ **narušení dílců v místech kotvení a uložení konstrukce zábradlí, jejíž příčinou jsou dilatační pohyby zábradlí účinkem změny teploty společně s chybně řešenými styky, které neumožňují tyto dilatační pohyby;**

■ **zatékání vody do styku lodžie s hlavní konstrukcí, způsobené narušením styku a nesprávným sklonem nášlapné, popř. hydroizolační vrstvy na lodžiové desce.**

Návrhu rekonstrukce lodžie musí předcházet analýza příčin poruch a posouzení, do jaké míry navrhovaná opatření omezují, popř. vylučují, tyto příčiny nebo jinak dostatečně sanují konstrukci. Rekonstrukce a sanace stávající lodžiové konstrukce vyžaduje ověření kotvení lodžii k vnitřní konstrukci, popř. rozsah koroze ocelových kotevních prvků způsobené zatékáním vody do styků.

Úplná rekonstrukce může být provedena demontáží stávající konstrukce lodžii v důsledku jejich chybné koncepce a z toho vyplývající nerealnosti dosáhnout jejich opravou dlouhodobě spolehlivého řešení a provedení nové konstrukce respektující v plném rozsahu zvláštnosti a extrémní podmínky, jimž je konstrukce lodžie vystavena. Méně vhodným řešením je obnova původní železobetonové konstrukce předsazené lodžie s použitím kvalitních železobetonových dílců s krycí vrstvou výztuže minimálně 15 mm, s použitím poddajných suchých styků dílců a poddajného kotvení k nosné konstrukci budovy. K osvědčeným řešením, používaným zejména v zahraničí, patří provedení předsazené lodžie z lehké ocelové konstrukce s povrchovou úpravou oceli, např. pozinkováním, u nižších budov použití dřevěné konstrukce předsazených lodžii apod.

Uzavřením konstrukce lodžie skleněnou stěnou dosáhneme částečného zlepšení celoroční spotřeby energie, omezení zejména přímého působení vlhkosti a srážkové vody na konstrukci a její styky. Účinky teploty na stávající konstrukci lodžie zůstávají i při tomto řešení téměř nezměněné. Například kotvení předsazených lodžii u soustavy T-06 B je provedeno profily z betonářské výztuže, u soustavy VVÚ-ETA jsou předsazené lodžie s vnitřní nosnou konstrukcí spojeny ocelovými pásy nebo svařovanými profily T. Namáhání styku „lodžiová stěna–obvodový plášť–vnitřní nosná stěna“ závisí zejména na tuhosti propojení stěnových lodžiových dílců a vnitřních stěn (vzájemně odlišně teplotně namáhaných).

Hlavní příčinou vzniku poruch předsazených lodžii, poruch styku mezi lodžiovými stěnovými a stropními dílci, poruch kotvení lodžie k vnitřní nosné konstrukci a poruch styků lodžiových dílců a obvodového pláště jsou nesilové účinky teploty a vlhkosti. Důsledkem cyklického charakteru těchto účinků je postupné porušování a rozvoj trhlin ve stycích a dílcích. Porušení nastává dosažením mezního namáhání, popř. dosažením mezní deformace styku a dílců postupným narůstáním trvalých deformací po každém zatěžovacím cyklu.

### Výsledky numerické analýzy namáhání předsazených lodžii účinkem teploty

Lineární numerická analýza MKP, jejíž dílčí výsledky jsou dále uvedeny, byla provedena pro případ předsazených lodžii stavební soustavy VVÚ-ETA. Nosná konstrukce lodžii této stavební soustavy je tvořena předsazenými lodžiovými celostěnovými betonovými dílci (s konstrukční výztuží) šířky 1 200 mm, tloušťky 190 mm, na které jsou ukládány

stropní dutinové předpjaté lodžiové dílce skladebné délky 6 000 mm, šířky 1 200 mm, tloušťky 190 mm – třída betonu dílců B250, stykový beton B250, cementová malta M 20. Krajní boční stěny lodžii z celostěnových sendvičových dílců sestávají z nosné betonové stěny s konstrukční výztuží tloušťky 190 mm, tepelné izolace z pěnového polystyrenu tloušťky 40 mm a vnější železobetonové desky tloušťky 50 mm.

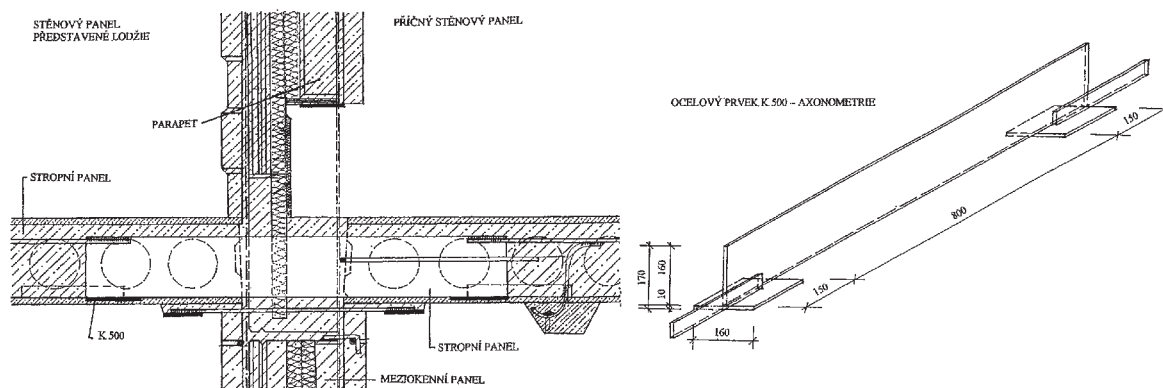
Kotvení konstrukce lodžii k vnitřní nosné konstrukci je podle typového projektu ocelovým profilem 10/160 mm, délky 1 100 mm, vloženým vždy mezi čela stropních dílců ve vodorovných stycích „stěna–strop–stěna“ lodžii a vnitřní konstrukce. K ocelovému profilu je přivařena závlčková výztuž  $\varnothing 14$  mm probíhající nad stěnami. Lodžie jsou od vnitřní konstrukce odděleny předsazeným sendvičovým obvodovým pláštěm tloušťky 190 mm (obr. 1).

Pro stanovení napětí ve stěnách lodžii, stěnách vnitřní konstrukce, v jejich vzájemném spojení vodorovnými vazbami a pro výpočet deformace stěn byl použit výsek stěnové konstrukce. Rozměry a materiálové charakteristiky byly převzaty z projektové dokumentace. Pro posouzení konstrukce bylo uvažováno svislé zatížení a změna teploty lodžiových stěn v letním a zimním období:

- svislé extrémní zatížení stropní konstrukce, tj. hmotnost stropních dílců, hmotnost podlahy a užité zatížení činí  $7,14 \text{ kN/m}^2$ ; hmotnost stěny  $14,6 \text{ kN/m}^2$  podlaží;
- pro stanovení rozdílu teplot mezi předsazenou konstrukcí lodžii a vnitřní nosnou konstrukcí byla uvažována pohltivost slunečního záření 0,70 a západní orientace lodžii. Zatěžovací teploty v letním období byly stanoveny použitím modelu dvourozměrného nestacionárního vedení tepla, v zimním období užitím stacionárního modelu vedení tepla. Rozdíl teplot střednic lodžiových a vnitřních stěn v letním období s vlivem stínění lodžiových a stěnových dílců činí  $+18 \text{ }^\circ\text{C}$ . V zimním období rozdíl teplot vnějších a vnitřních stěn činí  $\Delta t = -35 \text{ }^\circ\text{C}$ . Výpočet byl proveden pro 1 + 4 nadzemní podlaží, 1 + 8 a 1 + 12 nadzemních podlaží.

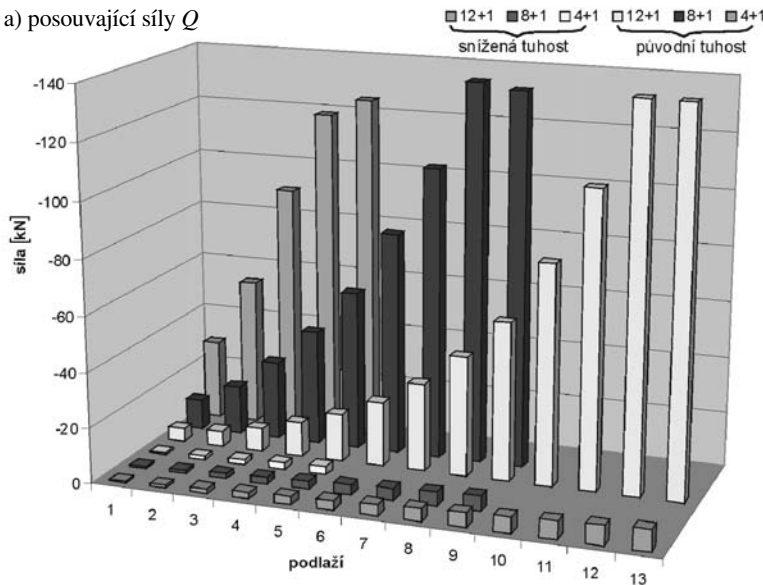
### Shrnutí výsledků numerické analýzy

- počet podlaží z hlediska číselných hodnot posouvajících sil  $Q_{\max}$  a normálových sil  $N_{\max}$ , vznikajících ve vodorovných kotevních profilech (spojkách) v nejvyšších podlažích (obr. 2), nemá rozhodující vliv ( $Q_{\max,4} \approx 0,9 Q_{\max,12}$ ;  $N_{\max,4} \approx 0,9 N_{\max,12}$ );
- v oblasti kotvení vodorovných profilů dochází, až na výjimky v nejnižších podlažích, k překročení meze porušení betonu v otlaceni (obr. 2).



Obr. 1. Schéma kotvení lodžie k vnější nosné konstrukci (VVÚ-ETA)

a) posouvající síly  $Q$

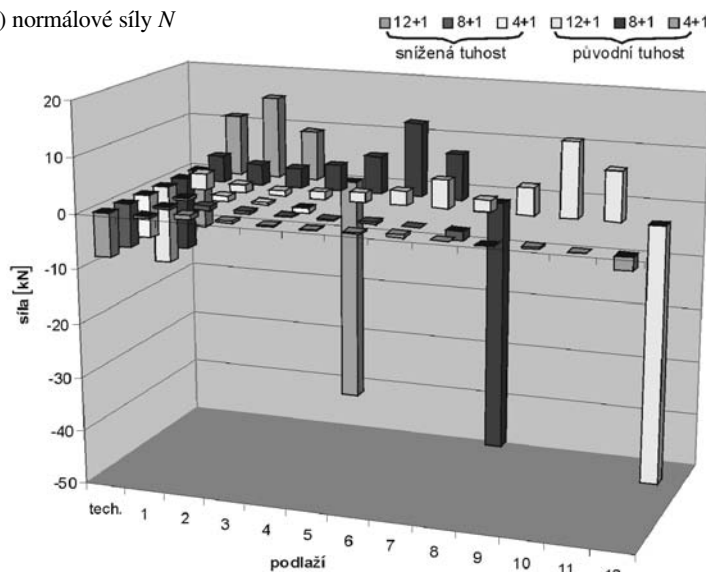


Výpočtová posouvající síla při dosažení meze porušení otláčení betonu v oblasti kotvení vodorovné spojky  $Q_{\text{vyp}}^{\text{tl}} = 29,9 \text{ kN}$ , při uvážení skutečné pevnosti betonu  $Q_{\text{max}}^{\text{tl}} = 24/11,5 \cdot 29,9 = 60 \text{ kN}$ .

- svislé deformace po překročení mezního napětí betonu v otláčení (ve stadiu rádivého poklesu tuhosti vodorovných kotevních profilů  $10^{-3}$ krát) dosahují na horním volném konci přibližně 100% nárůstu počátečních hodnot (obr. 3);

- ve vodorovném styku „stěna–strop–stěna“ vnitřní nosné konstrukce vznikají v letním období v oblastech přiléhajících k obvodové konstrukci účinkem teploty normálová napětí v tahu (v kombinaci se svislým zatížením), která jsou příčinou vzniku vodorovných trhlin v ložné spáře (obr. 4, obr. 5);

b) normálové síly  $N$



- normálová napětí v tlaku od účinku svislého zatížení a teploty ve vodorovném styku „stěna–strop–stěna“ lodžiových dílců i dílců vnitřní nosné konstrukce ve stadiu počáteční tuhosti vodorovných kotevních profilů (před porušením betonu v oblastech kotvení vodorovných spojek otláčením betonu) překračují výpočtovou únosnost styku v tlaku ( $N_{\text{ju}} \in (3,7 \div 7,1) \text{ MPa}$ , obr. 4 a obr. 5);

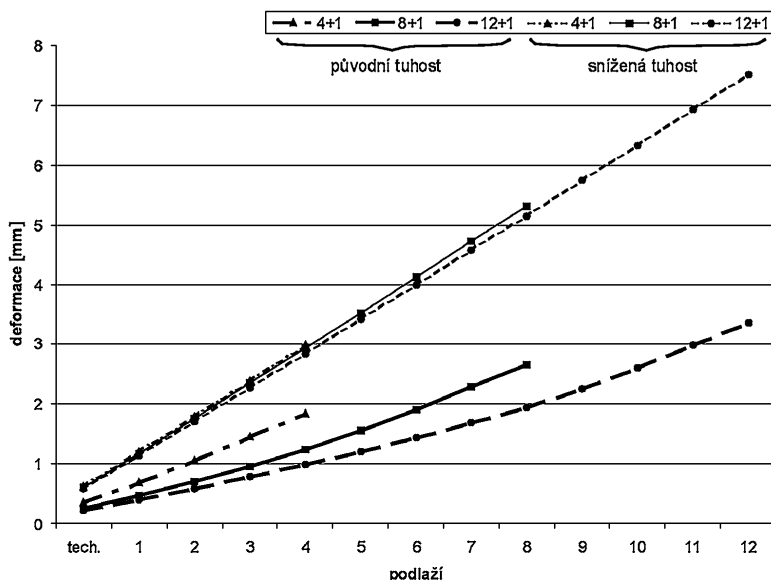
- normálová napětí v tlaku v lodžiových i vnitřních stěnových dílcích od účinku svislého zatížení a teploty ve stadiu počáteční tuhosti vodorovných kotevních profilů překračují výpočtovou a únosnost stěnových dílců v tlaku ( $N_{\text{ju}} \in (4,4 \div 7,6) \text{ MPa}$ , obr. 4 a obr. 5);

- v zimním období ve stadiu počáteční tuhosti vodorovných kotevních profilů (před porušením betonu otláčením) dochází k „zavěšení“ lodžiové konstrukce na vnitřní nosnou konstrukci (vznik vodorovných tahových trhlin ve styku „stěna–strop–stěna“);

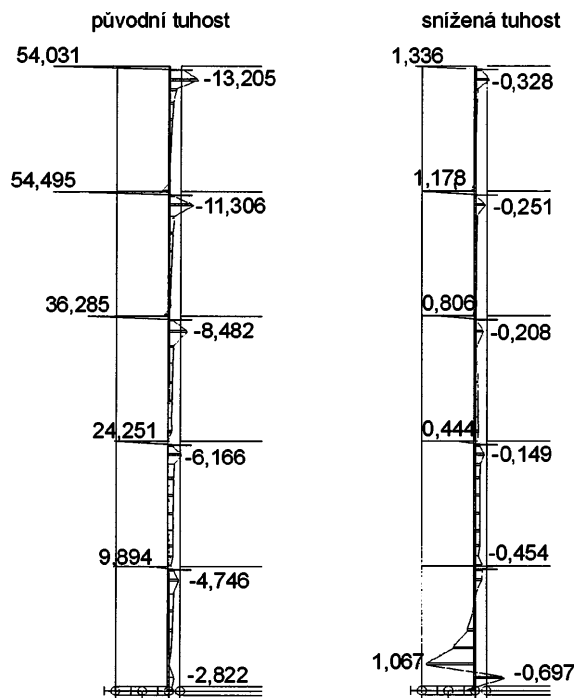
- pokles relativní tuhosti kotevních prvků v důsledku narušování betonu dosažením meze porušení otláčení betonu má za následek snížení smykových sil v kotevních prvcích a normálových napětí ve vodorovných stycích, lodžiových a vnitřních stěnách při současném zvýšení svislých deformací účinkem změny teploty;

- i ve stadiu „uvolnění“ vodorovných kotevních profilů překročením meze porušení otláčení betonu  $Q_{\text{max}} \in (30 \div 60 \text{ kN})$ , poklesem tuhosti kotevních spojek na relativní hodnotu 0,1 počáteční tuhosti spojek, dochází v části vodorovných styků „stěna–strop–stěna“ a v části lodžiových a vnitřních stěn k překročení výpočtových únosností styků, popř. stěn v tlaku, popř. ke vzniku tahových napětí a vodorovných tahových trhlin ve stycích „stěna–strop–stěna“ (obr. 6).

Obr. 2. Posouvající a normálové síly [kN] ve vodorovných kotevních profilech (léto)



Obr. 3. Velikost svislých deformací [mm] předsazené lodžiové stěny v jednotlivých podlažích ve stadiu počáteční a snížené tuhosti vodorovných kotevních profilů (léto) ( $10^{-3}$ krát)



Obr. 4. Průběh svislých normálových napětí ve svislém řezu v lodžiové stěně ve stadiu počáteční a snížené tuhosti – 1 + 4 n. p., letní období [MPa]

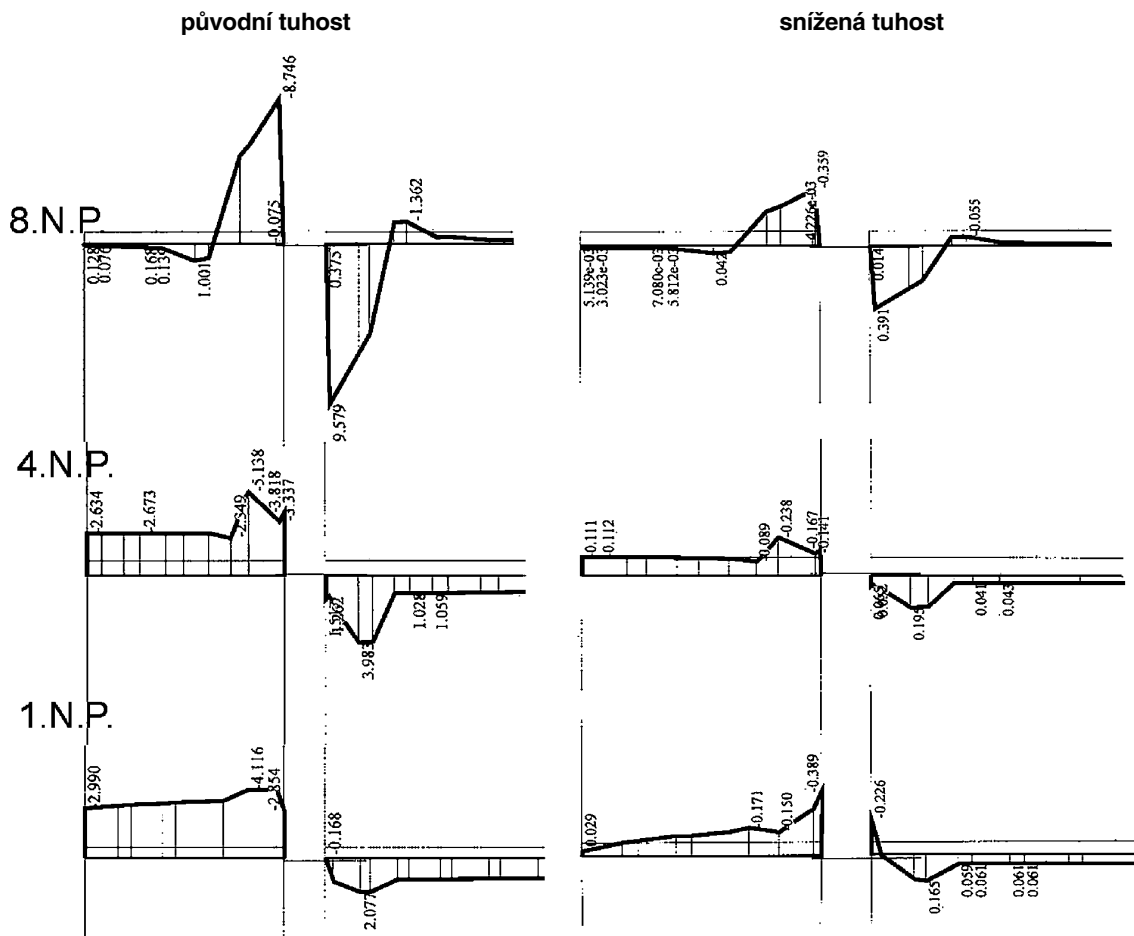
### Shrnutí

Numerická analýza MKP prokázala, že účinkem teploty lodžiových stěn propojených s vnitřní nosnou konstrukcí tuhými ocelovými prvky (obr. 1) dochází ve stadiu před „uvolněním“ kotevních prvků (porušení betonu otláčením v oblasti kotevních profilů) zejména ve vodorovných stycích „stěna–strop–stěna“ ke vzniku normálových napětí v tlaku, která překračují výpočtovou únosnost styků a stěnových dílců v tlaku a mohou být příčinou jejich porušení, popř. normálových napětí v tahu, která mohou být příčinou rozvírání vodorovných spár a narušování styků („zavěšení“ lodžiové konstrukce na kotevní ocelové prvky).

V části vodorovných styků a stěnových dílců (lodžiových a vnitřních nosných stěn) dochází k těmto mechanismům porušení i ve stadiu postupného poklesu tuhosti kotevních prvků dosažením meze porušení betonu otláčením (pokles posouvajících sil v kotevních profilech,  $Q_{\max} \in (30 + 60 \text{ kN})$ ).

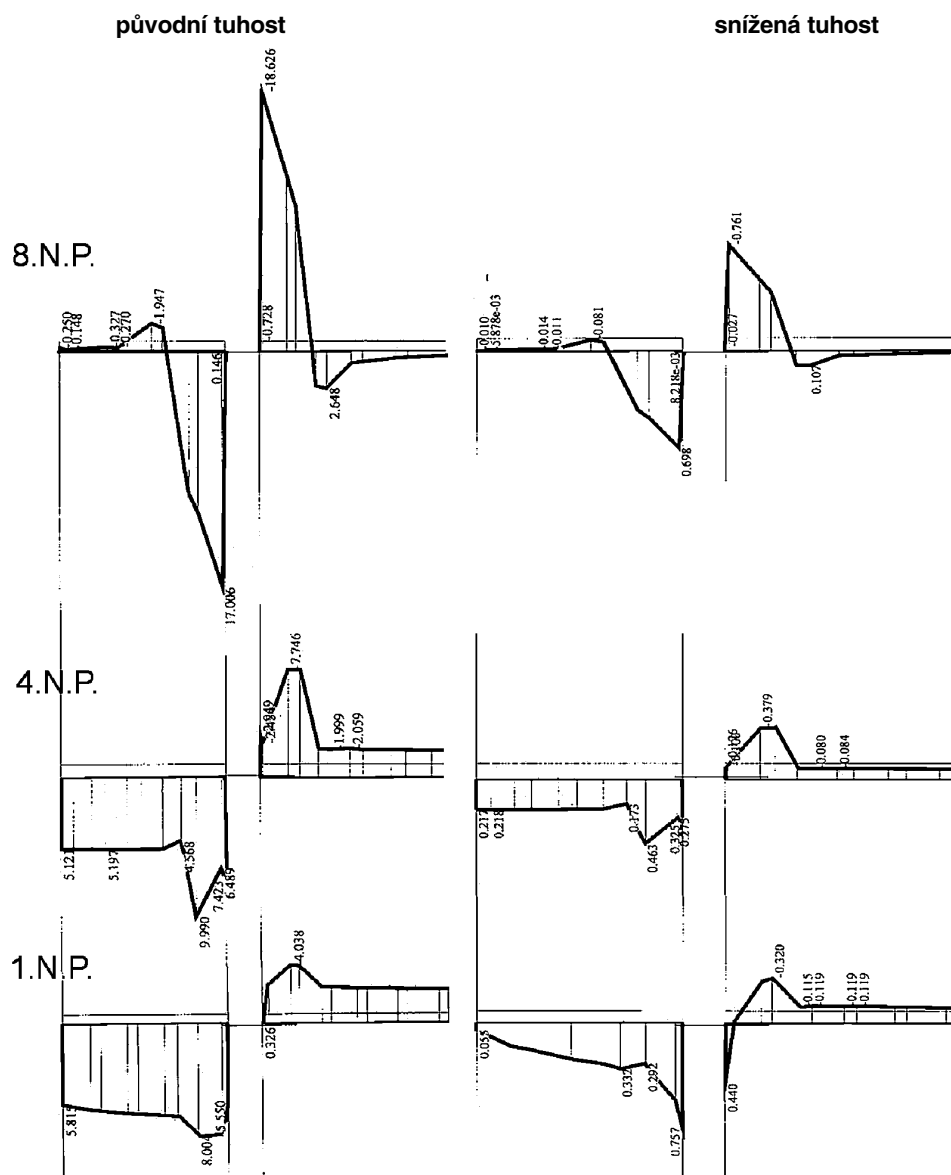
Porušování vodorovných styků, popř. stěnových dílců v okolí kotevních ocelových prvků, má charakter postupného procesu způsobeného cyklickým účinkem teploty (popř. vlhkosti) a provázeného postupným poklesem tuhosti kotevních prvků.

K podobnému procesu dochází i ve vodorovném směru účinkem vynuceného přetváření lodžiových stropních dílců změnou teploty a vlhkosti v případech, kdy předsazené lodžie jsou provedené ve větší části průřelí. V tomto případě lze očekávat progresivní porušování styků a oblastí v okolí kotevních profilů, zejména po obvodu předsazené lodžiové konstrukce.



Obr. 5. Průběh svislých normálových napětí ve vodorovných řezech ve stadiu počáteční a snížené tuhosti (0,1 původní tuhosti) – 1 + 8 n. p., letní období [MPa]





Obr. 6. Průběh svislých normálových napětí ve vodorovných řezech ve stadiu počáteční a snížené tuhosti – 1 + 8 n. p., zimní období [MPa]

Cyklické deformace lodžiových stěn je třeba respektovat při návrhu sanace lodžiové konstrukce a jejich styků, kotevních prvků, styků lodžiové konstrukce a obvodového pláště, zábradlí, podlah, střechy i povrchových úprav lodžii, aby nedošlo k jejich narušení ve stycích s obvodovým pláštěm. Deformace konstrukce předsazených lodžii ve svislém i vodorovném směru mají vliv nejen na řešení styků lodžiové konstrukce, ale i styků s navazujícími konstrukcemi (např. podlahové konstrukce lodžii a obvodového pláště, lodžiových stěn a obvodového pláště).

Uvedené hodnoty normálových napětí stěnových dílců a styků, posouvajících a normálových sil v kotevních prvcích a celkové deformace předsazených lodžiových stěn stanovené lineárním výpočtem idealizovaného materiálového a teplotního zatěžovacího modelu lodžiové konstrukce, představují teoretické a limitní hodnoty. Zpravidla nižší hodnoty normálových a smykových namáhání a deformací (skutečné roztažení teplotních polí, lokální nepružné přetváření) reálné lodžiové konstrukce jsou vzhledem k cyklickému charakteru účinku teploty společně s účinkem vlhkosti prokazatelnou příčinou mechanického narušování lodžiových konstrukcí.

Funkční způsobilost a životnost při provedení rekonstrukce předsazené lodžie spočívající v obnovení původního řešení je závislá pouze na velikosti a počtu zatěžovacích cyklů, po nichž je dosaženo mezní deformace předcházející vzniku trhlin a narušování lodžiových dílců a jejich styků.

Článek byl vypracován za podpory výzkumného záměru MSM 210000001 a grantového projektu č. 103/99/0944 GA ČR.

#### Literatura

- [1] Witzany, J. a kol.: Regenerace panelových domů. [Zpráva], grantový projekt MPO ČR, PZ/S2-04/97, ČVUT Praha 1997 až 2000.

Witzany, J. – Čejka, T. – Karas, J.: Analysis of Failures of Overhanging Prefabricated Recessed Balconies

Numerical analysis by the finite element method has proved that temperature changes in walls of over-

hanging recessed balconies connected with the load-bearing structure by means of rigid steel elements lead to development of normal compressive stresses. The stresses occur in the area of anchor sections as a result of indenting in horizontal joints wall - floor - wall and wall units at the stage preceding concrete damage. They exceed the ultimate bearing capacity of the walls and, therefore, bring about their failure. In winter time, normal compressive stresses cause opening of horizontal joints and damaging of joints ("suspension" of the structure of the recessed balcony on anchor steel elements).

Witzany, J. – Čejka, T. – Karas, J.: Analyse von Schäden an vorgefertigten Loggien von Plattenbauten

Eine numerische Analyse hat erwiesen, dass es in Auswirkung der Temperaturänderung in vorgesetzten Loggiawänden, die mit dem inneren Tragwerk verbunden sind, im Stadium vor einer Beschädigung des Betons im Bereich der Ankerprofile zum Abdrücken in den horizontalen Stößen Wand-Decke-Wand und in den Wandelementen zur Entstehung von Normaldruckspannungen kommt, welche deren Grenztragfähigkeit überschreiten und die Ursache ihrer Beschädigung sind. Die Normalzugspannungen (im Winterzeitraum) sind folglich die Ursache eines Aufklaffens der Fugen und einer Beschädigung der Stoßbereiche (der „Aufhängung“ der Loggiakonstruktion an den Stahlanker-elementen).

## •dizertace



### Tradiční a adaptivní model tepelné pohody

Ing. Lada Centnerová

Hlavním cílem práce je definování nového přístupu k tepelné pohodě, který vychází z adaptivního modelu. Ten se porovnává s modelem tradičním. Přínosem je empiricky získaná závislost teploty vnitřního vzduchu na teplotě vzduchu venkovního. Použití adaptivního modelu dává předpoklady pro snížení spotřeby energie v budovách.

### Object Data Model for Urban Drainage Domain

Ing. Tomáš Metelka

V dizertaci je sestaven datový model rozsáhlé sítě městského odvodnění a je aplikován na pražské poměry. Práce je významným příspěvkem v rozvíjejícím se oboru hydroinformatiky.

### Konstrukce gramatiky s neúplnými derivačními pravidly pro vzájemnou přeložitelnost procesů

Ing. Jana Klečáková

Autorka se zabývá konstrukcí gramatiky s neúplnými odvozovacími pravidly a aplikací na přeložitelnost procesů. V práci se identifikuje pětice relevantních úloh přeložitelnosti a dvě (přeložitelnost počátečního stavu procesu do stavu koncového a vzájemná přeložitelnost procesů) jsou podrobně rozpracovány.

## •symposium

### Towards a Better Built Environment – Innovation, Sustainability, Information Technology

11. – 13. září 2002  
Melbourne



Tradiční symposium IABSE, kterému předchází výroční zasedání této mezinárodní inženýrské organizace, se bude konat za spolupřátelství Monash University a Institution of Engineers v hlavním městě státu Victoria a druhém největším australském velkoměstě Melbourne. Místem konání je Hilton on the Park.

Hlavním tématem symposia jsou informační technologie pro návrh, hodnocení a monitorování pozemních staveb i mostů, a zejména diskuse o budoucím potenciálu těchto nových technologií. Pozornost bude věnována též souladu mezi životním prostředím a lidskými činnostmi tak, aby nové konstrukce co nejlépe sloužily budoucím potřebám společnosti.

Symposium je určeno stavebním inženýrům ze všech oblastí, architektům, výzkumným pracovníkům a ostatním odborníkům spojeným se stavebnictvím. Pořadatelé kladou zvláštní důraz na to, aby se zúčastnilo co nejvíce mladých inženýrů, pro něž je zaměření nadmíru vhodné. Účastníci narození před 1.1.1967 budou proto platit jen poloviční konferenční poplatek a budou-li na sympoziu prezentovat vlastní příspěvek, bude jim vložně zcela odpuštěno, a navíc se jim v předběžném oznámení slibuje ještě nespecifikovaná finanční podpora.

#### Témata:

- dopravní stavby
- kulturní střediska
- sportovní stavby
- průmyslové stavby
- stavby pro energetiku
- nové materiály
- vyspělé materiály a konstrukce
- oceňování nákladů
- prodloužení životnosti staveb
- zmírnění účinků katastrof
- management

Informace lze získat na [www.iabse.eth.ch/melbourne](http://www.iabse.eth.ch/melbourne)  
nebo u předsedy Národní skupiny IABSE  
(studnicka @fsv.cvut.cz).

# Nelineární výpočty ve stavebně inženýrské praxi

doc. Ing. Milan VAŠEK, CSc.  
Ing. Ondřej LOJÍK  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

Článek se zabývá používáním inženýrských výpočetních programů ve stavebním inženýrství pro nelineární řešení konstrukcí. Prezentovány jsou různé nelineární způsoby chování a metody jejich řešení. Výsledky porovnání geometricky nelineárních řešení rovinného ocelového rámu pomocí programu IDANEXIS a FEAT jsou dále porovnány s výstupy referenčního programu ANSYS, jímž je rám řešen též s uvažováním materiálové nelinearity. Poukazuje se na důležitost správného vystižení materiálově nelineárního chování konstrukcí. V praxi obvykle používaná řešení jsou většinou pouze geometricky nelineární. Při výpočtu železobetonových konstrukcí programem FEAT2000 a IDANEXIS se uvažuje vznik trhlin, což je rovněž projev materiálově nelineárního chování. V článku je dokumentován výrazně vyšší vliv této nelinearity na chování běžných konstrukcí, než je vliv geometrické nelinearity. Poukazuje se na nebezpečí vznikající opomenutím vlivu materiálově nelineárního chování při návrhu konstrukce.

## Úvod

Navrhování nosných konstrukcí je v posledním desetiletí vázáno velmi úzce na využívání komerčních výpočetních programů umožňujících statická a dynamická řešení konstrukcí prutových i plošných. Programy umožňují řešení rozsáhlých úloh a vytváření prostorových modelů konstrukcí složených z rovinných vazeb (průmyslových hal, skeletů). Takový přístup, který je mnohdy statiky praktikován, vede v těchto případech k nevhodnému, nepřehlednému výstupu výsledků, k definování špatných modelů, resp. okrajových podmínek jednotlivých konstrukčních celků, a současně zvyšuje riziko chyb. Rovněž navrhování přípojů a řešení konstrukčních detailů se často ve statických výpočtech opomíjí. Předkládané výpočty obsahují nepřehledné množství výstupů z počítače u problému, kde postačí vytisknout pouze podstatné veličiny (vždy úplné vstupní údaje, tvar deformace, extrémní síly a posudky reprezentačních průřezů pro skupiny prutů stejně namáhaných).

V programech se používá metoda konečných prvků. Jejím zavedením do běžného užívání bylo umožněno řešení nelineárních úloh, které bylo v době „ručních“ výpočtů nesmírně pracné a provádělo se jen výjimečně. Jako příklad uvedme rozsáhlý výpočet Žďákovského mostu, který zpracoval v šedesátých letech minulého století prof. A. Schindler podle teorie druhého řádu (geometrická nelinearita). Běžně dostupné programy dnes vesměs nabízejí možnost nelineárních výpočtů. V této souvislosti je třeba si uvědomit, že jde převážně o geometricky nelineární výpočty. Materiálově nelineární výpočty, tj. výpočty konstrukcí nebo jejich částí v plastické oblasti, dosud nejsou součástí programů běžně užívaných ve stavebním inženýrství. Je to způsobeno výrazně vyšší programátorskou náročností těchto úloh. Rovněž časová náročnost výpočtu materiálově nelineárních úloh je většinou výrazně vyšší než výpočty pouze geometricky ne-

lineárních úloh srovnatelného rozsahu. Materiálová nelinearita bývá zastoupena (FEAT2000) většinou pouze při výpočtu železobetonových konstrukcí uvažováním vzniku trhlin.

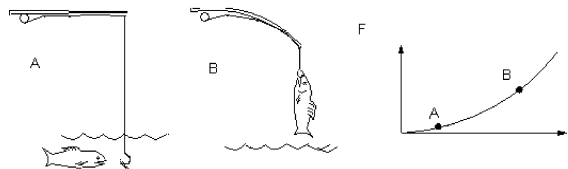
## Hlavní charakteristiky nelineárních úloh

Z pohledu statika můžeme rozlišit tři skupiny nelineárního chování konstrukcí. Jsou to typy úloh:

- řešící změny chování a statického působení konstrukce;
- uvažující geometricky nelineární chování konstrukce;
- uvažující materiálově nelineární chování konstrukcí.

■ Do první skupiny patří například kontaktní úlohy. Chování konstrukce závisí bezprostředně na působícím zatížení a změně vzájemné polohy jednotlivých dotýkajících se částí konstrukce. Při změně kontaktu se mění tuhost jednotlivých oblastí konstrukce a dochází k výraznému přerozdělení napjatosti. Pokud výpočetní model uvažuje kontaktní síly mezi částmi konstrukce, je vypočítaná únosnost spojů bližší skutečnému působení spoje a bývá vyšší než únosnost zjištěná na jednodušším modelu.

■ Druhá skupina obsahuje celou škálu geometrických nelinearit. Na obrázku 1 je princip geometricky nelineárního chování (změna vnitřní síly  $F$  v závislosti na přemístění konstrukce  $u$ ).



Obr. 1. Geometricky nelineární chování

Základním rysem nelineární geometrie je, že rovnováha sil v konstrukci je uvažována na pretvořené konstrukci. V těchto úvahách lze běžně předpokládat malé úhlové změny, takže tangenty úhlů jsou přibližně rovny těmto úhlům ( $\tan \alpha = \alpha$ ). Pro často řešené prutové konstrukce postačí pro stanovení křivosti deformovaného prvku přibližný vztah  $w'' = 1/r$ , kde  $r$  je poloměr křivosti ohýbaného prutu a  $w''$  je druhá derivace průhybu prutu.

Při nejjednodušším modelování nelineárního chování konstrukcí se uvažují malá přemístění (deflections) a malá relativní pretvoření (strains). Tato úloha se také někdy nazývá „stress stiffening“ a je popsána rovnicí

$$\mathbf{P} = (\mathbf{K}_E + \mathbf{K}_G) \mathbf{u}, \quad (1)$$

kde  $\mathbf{P}$  je matice zatížení,  
 $\mathbf{u}$  – matice přemístění uzlů konečných prvků,  
 $\mathbf{K}_E$  – matice elastické tuhosti konstrukce,  
 $\mathbf{K}_G$  – matice geometrické tuhosti konstrukce.

Pro běžné konstrukce (s rozpětím nosných prvků do 30 m nebo s malou štíhlostí, kde není vliv ztráty stability dominantní) stačí uvažovat pro geometricky nelineární řešení malá přemístění a malá pretvoření.

V geometricky nelineárním řešení můžeme také uvažovat velká přemístění (deflections) a malá přetvoření. U velkých přemístění můžeme uvažovat malá pootočení nebo velká pootočení, nebo jinou kombinaci uvedených vztahů. Pokud v rovnici (1) měníme matici elastické tuhosti i matici geometrické tuhosti v každém kroku řešení, dostaneme výsledná přetvoření obdobně, jako bychom uvažovali velká přemístění a pootočení pro jednotlivé prvky. Tímto způsobem řeší geometrickou nelinearitu IDANEXIS a FEAT2000. Program ANSYS uvažuje velká přemístění a pootočení pro jednotlivé použité prvky. Nelineární úlohy v oboru nelineární geometrie (nazývané často v inženýrské praxi úlohami podle teorie druhého řádu) jsou užitečné pro řešení úloh stability nebo řešení konstrukcí velkých rozponů vykazujících značné deformace, které je třeba uvažovat při stanovení vnitřních sil.

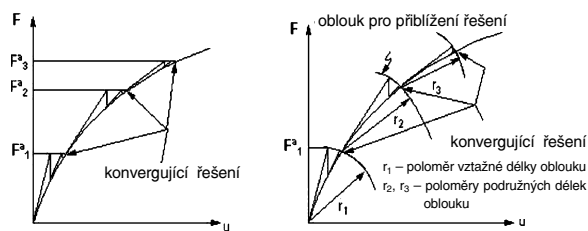
■ Pokud vlastnosti materiálu umožňují vznik velkých přetvoření, je situace složitější. Tento případ nastává u materiálů, které umožňují vznik plastických přetvoření (např. ocel) nebo materiálů hyperelastických vlastností (např. pryž). Přípoje ocelových prutů jsou velmi často plastizovány i při provozním zatížení.

Tyto vlastnosti se projevují jako **materiálově nelineární chování**. Můžeme rozlišit několik typů materiálově nelinearity. Z nejvýznamnějších jmenujme závislost:

- napětí na přetvoření pro daný materiál,
- napětí a přetvoření na čase,
- vlastností materiálu na teplotě,
- tuhosti konstrukce na zatížení (vznik trhlin v železobetonu).

Vliv materiálově nelinearity je u běžných konstrukcí významnější než geometricky nelineární chování.

V České republice se v inženýrské praxi nejčastěji používají výpočetní programy IDANEXIS, FEAT a FINE. Všechny nabízejí geometricky nelineární řešení, která vycházejí z řešení rovnice (1). Nelineární úlohy se řeší převážně iteračními postupy a vedou k hledání co nejrychlejších a konvergujících řešení. Obvyklá je přírůstková metoda nebo metoda délky oblouku (arc-length) (obr. 2). Změny tuhosti

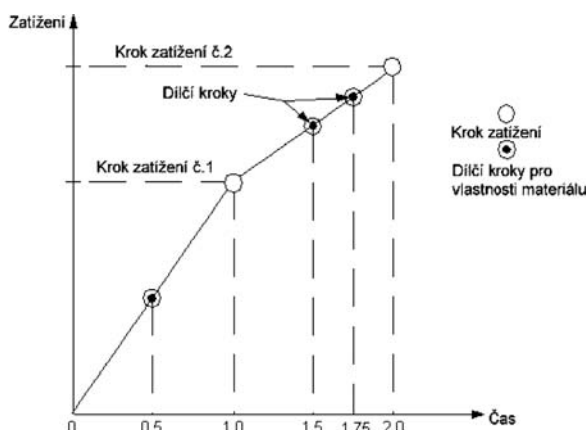


Obr. 2. Obvyklé iterační postupy

způsobené materiálově nelineárním chováním (zplastizování částí průřezu, vznik trhlin v železobetonu) nelze ve většině případů správně odhadnout a konstrukci věrohodně navrhnout. Proto je třeba při řešení vycházet z funkčních závislostí vyjadřujících proměnu vlastností materiálu v závislosti na velikosti působícího zatížení. Zatížení je třeba rozdělit na dílčí kroky, přičemž se pro každý krok uvažuje odpovídající materiálová veličina (obr. 3).

V této souvislosti je vhodné zdůraznit, že řešení železobetonových konstrukcí v elastickém výpočtu neuvažuje **nelineární proměnu modulu pružnosti železobetonu** při zatěžování ani **vznik trhlinek v betonu**, což jsou také projevy materiálově nelineárního chování. Pro návrh konstrukce na mezní stav únosnosti postačí obvykle hodnoty vnitřních sil zjištěné z elastického výpočtu. Pro posouzení přetvoření je však třeba uvažovat vliv vzniku trhlin a provést nový výpočet. Teprve takto získaná přetvoření je možné porovnávat

s povolenými hodnotami v normách. Tento postup bývá zařazen v programech až za posudkem mezního stavu únosnosti. Opomene-li statik provést výpočet železobetonové desky s vlivem trhlin, provedená konstrukce vykáže **nadměrná přetvoření** a je jí třeba případně rekonstruovat.



Obr. 3. Rozdělení zatěžovacích kroků na dílčí kroky s různými materiálovými vlastnostmi

V programu FEAT2000 a IDANEXIS je k dispozici výpočet železobetonových konstrukcí s přibližným uvažováním vlivu trhlin na tuhost konstrukce. V chystaných verzích mají být zastoupeny některé výpočty nelineárního chování železobetonových prvků. Ostatní obecné typy materiálových nelinearit nejsou dosud v uvažovaných inženýrských programech zastoupeny. Nelze tudíž těmito programy řešit úspěšně jakékoliv obecné problémy, kde dochází k redistribuci napjatosti a vnitřních sil v konstrukci vzhledem k jejímu zplastizování nebo při uvažování skutečných materiálových (téměř vždy nelineárních) vlastností. Řešení úloh s materiálovými vlastnostmi proměnnými v závislosti na velikosti zatížení nebo také na teplotě lze řešit programy, které umožňují takovéto nelineární řešení, např. programovým systémem ANSYS.

*V současné době je aktuální oprava Karlova mostu, kdy materiálové vlastnosti a napjatost v konstrukci závisí na teplotě, a také na vlhkosti materiálu. Pokud bychom řešili napjatost v této konstrukci bez uvažování nelineárních vlastností stavebního materiálu a nelineární proměny vlastností materiálu s teplotou, nezískáme dostatečně realistický výsledek. Jakékoli závěry z řešení provedeného programy typu FEAT, FINE nebo IDANEXIS nemohou tedy sloužit jako průkazné.*

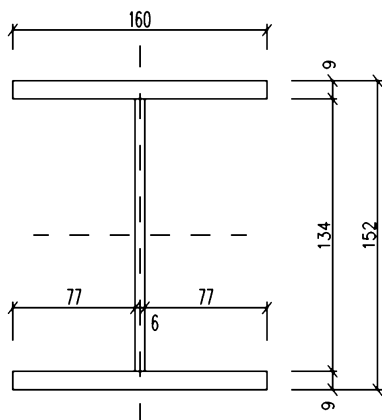
## Porovnávací studie nelineárního řešení konstrukcí

Cílem studie bylo porovnat výsledky výpočtů provedených pomocí některých programů pro řešení prutových konstrukcí. Jde především o porovnání výsledků geometricky nelineárního výpočtu a také způsobů zadávání konstrukce. Jako referenční program byl použit programový systém ANSYS (verze 5.7) s certifikací podle ISO 9002, používaný na mnoha renomovaných pracovištích a prověřený jednáctiletou praxí i autory tohoto článku. Tento systém nepatří mezi programy běžně užívané v inženýrské praxi. Systém je rozsáhlý, s velmi obecnou teoretickou základnou, a používá se většinou pro řešení komplexních a neobvyklých úloh, které jsou řešitelné metodou konečných prvků. Porovnávali jsme dva programy – IDANEXIS, verze 3.20, a FEAT2000. Jako příklad pro porovnávací studii byl zvolen ocelový rovinový rám vetknutý v podporách. Průřezy sloupů a příčle

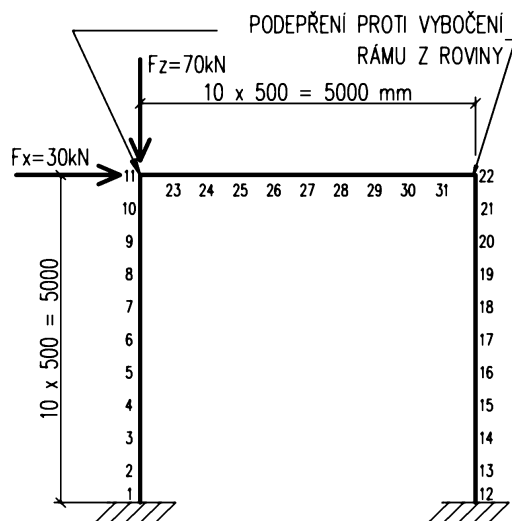
byly zvoleny podle obr. 4. Uspořádání rámu a zatížení je na obr. 5. Pruty rámu byly rozděleny na deset prvků. Souřadný systém má vodorovnou osu  $X$  a svislou osu  $Z$ , osa  $Y$  směřuje kolmo na rovinu rámu. Vstupní parametry konstrukce řešené ve všech programech:

- materiál: ocel S235,
- průřezové charakteristiky: momenty setrvačnosti  $I_y = 15,946 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$ ,  $I_z = 6,147 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$ , průřezová plocha  $A = 3\,684 \text{ mm}^2$ .

Konstrukce je zatížena styčnickým zatížením v uzlu č. 11 svislou silou  $F_z = 70 \text{ kN}$  a vodorovnou silou  $F_x = 30 \text{ kN}$ .



Obr. 4. Průřez sloupů a příčle rámu



Obr. 5. Výpočetní model ocelového rámu

### Zadávání vstupních údajů pro geometrickou nelinearitu

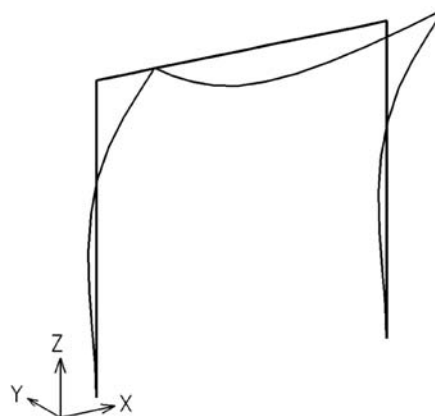
Způsob zadání průřezových charakteristik u obou porovnávaných programů a referenčního programu ANSYS je obdobný. Pro výpočet geometricky nelineárního přetvoření je třeba zadat geometrický tvar konstrukce, což může být např. geometrická imperfekce prutů nebo jiný tvar konstrukce. Dále popíšeme podrobněji způsoby zadání v programu IDANEXIS a FEAT.

#### Program IDANEXIS

Tvar konstrukce se zadává pro lineární výpočet skutečným tvarem, jaký uvažujeme pro výpočet. Pro nelineární

výpočet můžeme použít dva způsoby zadání konstrukce.

■ Při prvním způsobu se zadá výchozí tvar konstrukce. Dále se zadají „nelinearity“ (v programu jsou tím myšleny odchylky prutů od ideálního tvaru, tj. imperfekce). Tyto imperfekce se mohou zadat buď absolutní výchylkou uprostřed prutu, nebo relativně, poměrem k jeho délce. Lze tedy zadat prut se zakřivením  $L/500$  (např. imperfekce podle platné normy) a program vygeneruje ohybovou křivku (obr. 6). Křivky se zadávají ve směru hlavních centrálních os příčného řezu. Další možností je zadání předpětí prutů (initial stress), které v konstrukci vznikne při změně geometrie od zatížení a uvažování rovnováhy na přetvořené soustavě (jde o způsob zadání matice geometrické tuhosti).



Obr. 6. Imperfekce řešeného rámu

■ Druhý způsob zadání konstrukce vychází ze sledovaného imperfektního tvaru. Zadávají se přímo souřadnice imperfektního tvaru konstrukce. Tento způsob je vhodný pro počáteční imperfekci konstrukce v rovinách  $XZ$  a  $YZ$ . Je možné volit mezi globálním a lokálním souřadnicovým systémem prutu. Osa  $X$  lokálního systému prutu musí být proložena jeho podélnou osou. Program nabízí několik generátorů imperfektního tvaru. Je možné zadat souřadnice styčnicků, lineární změnu geometrie nebo sinusovou proměnu tvaru prutů. Usnadněním je, že se tyto imperfekce zadávají v milimetrech, přestože je nastaven např. metr jako základní délková jednotka. Zadání imperfekce vodorovného prvku nelze provést ve směru osy  $Z$ . V tomto případě jsou souřadnicové systémy totožné. Proto nelze pro vodorovné pruty zadat deformaci ve dvou libovolných příčných rovinách prutu. Tato obtíž nenastane u svislého sloupu a je možné pro sloup zadat libovolnou geometrii.

Tento postup má však podstatné úskalí. Průřez prutu se natočí tak, že hlavní centrální osa průřezu musí ležet v rovině určené svislou globální osou  $Z$ , která vychází z prvního uzlu a je totožná s lokální osou tohoto prutu. V praxi to znamená, je-li např. sloup zakřiven v obou rovinách, je třeba ručně vypočítat a opravit natočení průřezu. V našem případě jde o natočení průřezu deseti částí sloupu. To je dosti pracné. Po zadání geometrie se zadá zatížení a provede se výpočet.

Před výpočtem je třeba ještě standardně zadat nelineární kombinaci zatížení, zvolit počet iterací a iterační metodu, např. Timoshenkovu nebo Newtonovu-Raphsonovu. V našem případě byla vybrána iterační metoda Newtonova-Raphsonova pro 10 přírůstků zatížení a 30 iterací.

#### Program FEAT2000

V programu se nejprve musí vymodelovat počáteční tvar, což jsou obvykle ideální (přímé) pruty, a potom jednotlivé styčnický posunout tak, aby vznikl požadovaný imperfektní

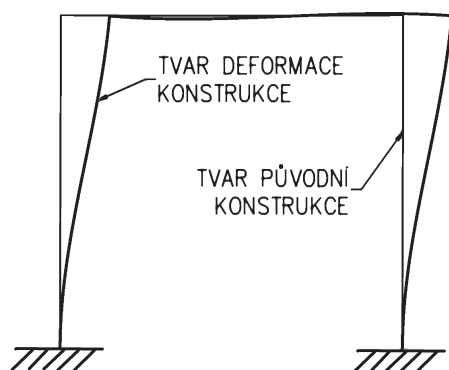
tvary konstrukce. V podstatě lze však vymodelovat jakkoliv imperfektní konstrukci. Vhodnější možností je zadání imperfektního tvaru jako afinního tvaru k libovolnému tvaru deformace nebo ke tvaru vytvoření, které se získá výpočtem v předchozím řešení. Pokud je za základní délkovou míru zvolen metr, imperfekce styčníků je třeba zadávat v milimetrech. To lze obejít, změníme-li základní jednotky během zadávání na milimetry, ale pak není možná dostatečná vizuální kontrola zadané imperfekce.

Před výpočtem je třeba ještě zadat kombinaci zatížení pro nelineární výpočet, zvolit počet iterací a iterační metodu. K dispozici je iterační metoda arc-length a Newtonova-Raphsonova. V našem případě byla opět vybrána iterační metoda Newtonova-Raphsonova: 10 kroků přitížení, výstup pro každý krok a max. 30 iterací. Povolena relativní chyba řešení byla zvolena  $1 \cdot 10^{-6}$ .

## Výsledky

### ● Program IDANEXIS

Nejprve byl rám vyřešen lineárně (tab. 2a). Pro geometricky nelineární řešení byla geometrie konstrukce zadána v programu IDANEXIS oběma možnými způsoby a výsledky řešení byly porovnány. V tabulce 1 jsou uvedeny počáteční



Obr. 7. Přetvořený rám – IDANEXIS, FEAT

Tab. 1. Počáteční imperfekce rámu jako odchylky od ideálně přímých prutů odpovídají  $L/500$

Uzel č.	Zadané imperfekce prutů podél osy prutů		
	x	y	z
[mm]			
1;12	0,00	0,00	0,00
2;13	0,18	0,69	0,00
3;14	0,77	2,52	0,00
4;15	1,75	4,98	0,00
5;16	3,07	7,45	0,00
6;17	4,60	9,29	0,00
7;18	6,17	10,00	0,00
8;19	7,62	9,29	0,00
9;20	8,80	7,16	0,00
10;21	9,61	3,89	0,00
11;22	10,00	0,00	0,00
23;31	10,00	3,09	-3,09
24;30	10,00	5,88	-5,88
25;29	10,00	8,09	-8,09
26;28	10,00	9,51	-9,51
27	10,00	10,00	10,00

imperfekce rámu. Imperfektní tvar je patrný z obr. 6. Obě metody daly téměř shodné výsledky, a uvádíme je tedy pouze jednou v tab. 2b. Přetvoření rámu v jeho rovině je znázorněno na obr. 7.

Tab. 2. Program IDANEXIS, FEAT

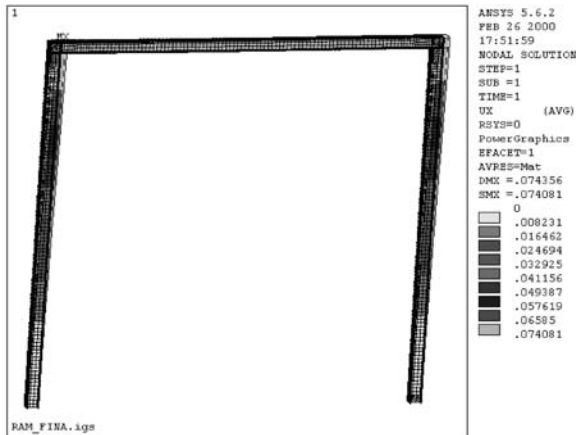
Styčnick č.	a) lineární řešení			b) geometricky nelineární řešení (velká přemístění a malá přetvoření)		
	$U_x$	$U_y$	$U_z$	$U_x$	$U_y$	$U_z$
	[mm]					
1	0,00			0,000	0,000	0,000
2	1,63	0,00	-0,04	1,683	0,051	-0,04
3	5,91	0,00	-0,07	6,133	0,174	-0,102
4	12,28	0,00	-0,11	12,782	0,333	-0,197
5	20,17	0,00	-0,15	21,045	0,491	-0,324
6	29,03	0,00	-0,18	30,332	0,608	-0,476
7	<b>38,29</b>	0,00	<b>-0,22</b>	<b>40,047</b>	<b>0,655</b>	<b>-0,637</b>
8	<b>47,41</b>	<b>0,00</b>	<b>-0,26</b>	<b>49,592</b>	<b>0,612</b>	<b>-0,792</b>
9	<b>55,80</b>	<b>0,00</b>	<b>-0,3</b>	<b>58,375</b>	<b>0,479</b>	<b>-0,927</b>
10	<b>62,93</b>	<b>0,00</b>	<b>-0,33</b>	<b>65,813</b>	<b>0,267</b>	<b>-1,032</b>
11	<b>68,22</b>	<b>0,00</b>	<b>-0,37</b>	<b>71,334</b>	<b>0,000</b>	<b>-1,106</b>
12	0,00	0,00	-0,00	0,000	0,000	-0,000
13	1,63	0,00	-0,01	1,698	0,005	-0,012
14	5,90	0,00	-0,02	6,166	0,007	-0,046
15	12,26	0,00	-0,02	12,822	0,005	-0,112
16	20,14	0,00	-0,03	21,077	-0,003	-0,210
17	28,99	0,00	-0,04	30,34	-0,015	-0,332
18	38,24	0,00	-0,05	40,023	-0,031	-0,465
19	<b>47,34</b>	<b>0,00</b>	<b>-0,06</b>	<b>49,534</b>	<b>-0,048</b>	<b>-0,591</b>
20	<b>55,73</b>	<b>0,00</b>	<b>-0,07</b>	<b>58,286</b>	<b>-0,054</b>	<b>-0,697</b>
21	<b>62,84</b>	<b>0,00</b>	<b>-0,07</b>	<b>65,700</b>	<b>-0,042</b>	<b>-0,773</b>
22	<b>68,13</b>	<b>0,00</b>	<b>-0,08</b>	<b>71,198</b>	<b>0,000</b>	<b>-0,815</b>
23	<b>68,21</b>	<b>0,00</b>	<b>-3,22</b>	<b>71,296</b>	<b>0,136</b>	<b>-4,088</b>
24	68,20	0,00	-4,15	71,279	0,236	-5,077
25	68,19	0,00	-3,64	71,271	0,300	-4,565
26	68,18	0,00	-2,18	71,263	0,328	-3,046
27	68,17	0,00	-0,24	71,251	0,321	-1,018
28	68,16	0,00	1,71	71,235	0,281	-1,016
29	68,15	0,00	3,17	71,218	0,216	-2,554
30	68,15	0,00	3,68	71,205	0,137	-3,094

### ● Program FEAT

Výsledná přetvoření z geometricky nelineárního řešení programem FEAT se liší pouze v desetínách milimetru od programu IDANEXIS, a proto nejsou zvlášť uvedena. Oba programy dávají v podstatě stejné hodnoty (tab. 2b).

### ● Program ANSYS

V programu jsme vymodelovali rám pomocí nosníkového prvku (BEAM 188) a řešili jej geometricky nelineárně, a to nejprve pouze s uvažováním geometrické tuhosti (stress-stiffening). Uvažovaný prvek může zahrnovat také vliv vázaného kroucení a jeho báze funkce jsou poněkud odlišné od běžného trojrozměrného nosníkového prvku uvažovaného v programech IDANEXIS a FEAT. Dále jsme uvažovali vliv velkých přemístění, který programy FEAT a IDANEXIS zahrnují v nabízeném geometricky nelineárním řešení. Deformace rámu z lineárního výpočtu programem ANSYS je na obr. 8.



Obr. 8. Přetvořený rám – ANSYS

**Porovnání**

Hodnoty pro geometricky nelineární řešení pro malá přemístění získané z programu ANSYS jsou poněkud odlišné než přemístění styčnicků stanovená programem FEAT nebo IDANEXIS. Tyto rozdíly jsou způsobeny zejména vlastnostmi použitého prvku v programu ANSYS a jinou stavbou programu. Rohový styčník 11 vykazuje vodorovné přemístění při lineárním výpočtu 68,22 mm, nelineární výpočet

Tab. 3. Program ANSYS – geometricky nelineární řešení

Styčník č.	Malá přetvoření a přemístění			Malá přetvoření a velká přemístění		
	$U_x$	$U_y$	$U_z$	$U_x$	$U_y$	$U_z$
	[mm]					
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	1,572	0,038	-0,040	1,616	0,039	-0,044
3	5,800	0,137	-0,085	5,977	0,144	-0,108
4	12,122	0,271	-0,137	12,519	0,284	-0,203
5	19,978	0,405	-0,196	20,664	0,425	-0,329
6	28,805	0,506	-0,261	29,827	0,530	-0,479
7	<b>38,037</b>	<b>0,544</b>	<b>-0,327</b>	<b>39,42</b>	<b>0,570</b>	<b>-0,637</b>
8	<b>47,111</b>	<b>0,506</b>	<b>-0,390</b>	<b>48,849</b>	<b>0,530</b>	<b>-0,79</b>
9	<b>55,464</b>	<b>0,390</b>	<b>-0,446</b>	<b>57,524</b>	<b>0,409</b>	<b>-0,921</b>
10	<b>62,532</b>	<b>0,212</b>	<b>-0,494</b>	<b>64,859</b>	<b>0,222</b>	<b>-1,023</b>
11	<b>67,755</b>	<b>0,000</b>	<b>-0,535</b>	<b>70,275</b>	<b>0,000</b>	<b>-1,093</b>
12	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
13	1,574	0,008	-0,006	1,628	0,009	-0,010
14	5,804	0,031	-0,017	6,007	0,032	-0,041
15	12,127	0,060	-0,036	12,557	0,063	-0,103
16	19,980	0,090	-0,064	20,696	0,094	-0,199
17	28,799	0,112	-0,099	29,839	0,117	-0,318
18	62,532	0,212	-0,494	64,859	0,222	-1,023
19	<b>47,080</b>	<b>0,112</b>	<b>-0,171</b>	<b>48,797</b>	<b>0,117</b>	<b>-0,572</b>
20	<b>55,415</b>	<b>0,086</b>	<b>-0,200</b>	<b>57,441</b>	<b>0,09</b>	<b>-0,677</b>
21	<b>62,461</b>	<b>0,047</b>	<b>-0,222</b>	<b>64,749</b>	<b>0,049</b>	<b>-0,753</b>
22	<b>67,655</b>	<b>0,000</b>	<b>-0,237</b>	<b>70,138</b>	<b>0,000</b>	<b>-0,798</b>
23	<b>67,729</b>	<b>0,082</b>	<b>-3,414</b>	<b>70,239</b>	<b>0,087</b>	<b>-4,082</b>
24	67,716	0,147	-4,366	70,223	0,155	-5,072
25	67,709	0,190	-3,869	70,216	0,202	-4,557
26	67,704	0,209	-2,403	70,209	0,222	-3,035
27	67,696	0,204	-0,448	70,197	0,217	-1,006
28	67,685	0,177	1,513	70,181	0,189	1,030
29	67,670	0,134	2,999	70,163	0,144	2,571

dává 71,33 mm. Hodnota z nelineárního výpočtu při malých přemístěních v programu ANSYS je 67,75 mm a při uvažování velkých přemístění dostaneme 70,27 mm. Vidíme, že rozdíl mezi lineárním a nelineárním řešením v programu IDANEXIS je cca 4,6 % a obdobně vliv velkých přemístění proti malým přemístěním v programu ANSYS je asi 3,7 %. U konstrukcí štíhlejších nebo s větším rozpětím a odlišnou tuhostí bude vliv geometricky nelineárního chování větší.

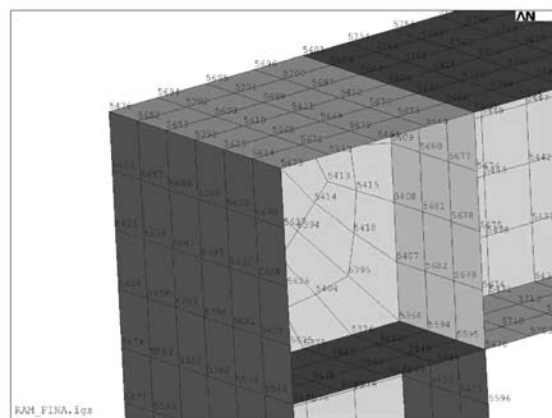
Hodnoty napětí ze všech programů pro styčník 22 jsou uvedeny v tab. 4. Napětí stanovené programy IDANEXIS a FEAT v daném místě je menší než návrhové hodnoty. Vyšší napětí je ve vetknutí rámu ve styčníku 1, kde jsou téměř na mezi kluzu (234,6 MPa).

Tab. 4. Napětí ve styčníku 22 a 1

Styčník č.	Velikost napětí v krajních vláknech [MPa]					
	FEAT 98		IDANEXIS		ANSYS	
	max.	min.	max.	min.	max.	min.
22	trám	rozdíl na napjatosti je způsoben působením rozdílné normálové síly v prutu				
	156	-164,5	157,1	-165,4	142	-148,8
	sloup	rozdíl na napjatosti je způsoben působením rozdílné normálové síly v prutu				
	157,2	-164,3	157,9	-165,0	141,8	-149,9
1	202,2	-233,0	203,9	-234,6	193,4	-224,6

**Vliv materiálové nelinearity**

Účinky materiálově nelineárního chování zjistíme programem ANSYS na podrobném modelu řešeného rámu s využitím skořepinových prvků, jejichž síť je rozložena na pásnicích a stěnách prutů. Zatížení osamělými břemeny ve styčníku 11 bylo rozděleno na jednotlivé uzly prvků na pásnicích sloupu a přičle v těsném sousedství styčníku 22. Aby byl zřejmý vliv materiálové nelinearity, provedli jsme také lineární výpočet modelu se skořepinovými prvky. Na obrázku 9 je vidět síť konečných prvků v rámovém rohu. Použité jednotky

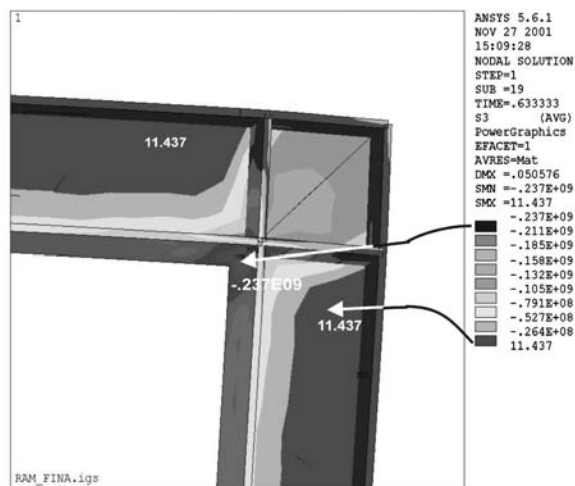


Obr. 9. Síť konečných prvků v okolí rámového rohu – použité jednotky [kN] a [m]

jsou kN a m (numerická stabilita řešených úloh). Největší přemístění styčníku 22 ve vodorovném směru X je 73 mm. Tato hodnota přemístění je o cca 4 % větší než výsledek nelineárního výpočtu s prutovým prvkem, což není významné. Na obrázku 10 jsou vidět napětí ve směru osy X.

Největší hodnoty napětí ve vnitřním koutu rámového rohu přesahují mez kluzu použité oceli, a na rámu tedy vznikají

plastické oblasti. Vypočítané hodnoty na vnitřní straně rámového rohu jsou od  $411\text{E}+9$  N/m<sup>2</sup> (251 MPa) do  $462\text{E}+9$  N/m<sup>2</sup> (462 MPa). Hodnoty napětí vyšší než mez kluzu jsou v okolí styčnicku 22, tj. na nezatiženém rohu rámu. Výpočet podrobného modelu dává pro zatížení, které vyhovuje při použití nosníkového modelu, zcela nepřijatelné výsledky. Tyto špičky napětí se změní při materiálově nelineárním modelu, kdy dojde k tečení podle uvažované závislosti deformace a napětí.



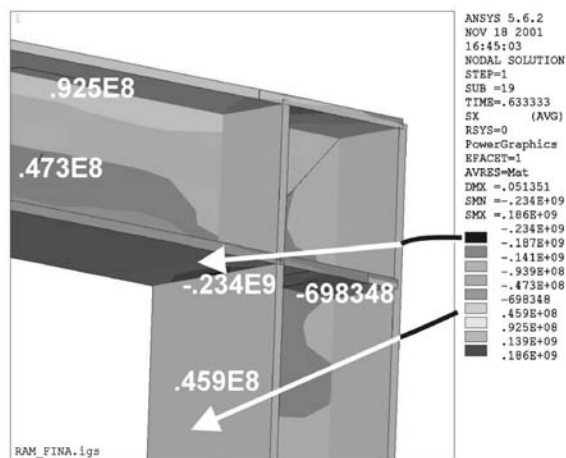
Obr. 10. Hlavní napětí S3 okolí styčnicku 22 – nelineární řešení

Dále podrobně uvádíme výsledky **materiálově nelineárního výpočtu**, kterým získáme věrohodná redistribuovaná napětí. Rám je uvažován opět s imperfektními pruty, je zahrnuta geometrická nelinearita včetně velkých přemístění. Pracovní diagram je uvažován bilineární (Von Miseses) s hodnotou modulu pružnosti  $2,1 \cdot 10^{12}$  N/m<sup>2</sup>. Tečný modul na mezi kluzu je uvažován hodnotou  $1 \cdot 10^3$  N/m<sup>2</sup>. Výsledná přemístění rohových styčnicků rámu v uzlech odpovídajících styčnickům 1 a 22 jsou uvedena v tab. 5. Redistribuce pokračuje tak dlouho, dokud vypočítaná přetvoření budou v numericky přípustných hodnotách. Další výpočet je možný pouze při zavedení další části pracovního diagramu nad mezi kluzu (strain hardening), a pak můžeme dojít k zatížení, při němž nastane skutečný kolaps rámu.

Tab. 5. Největší přemístění styčnicků 11 a 22 při uvažování materiálově nelinearity

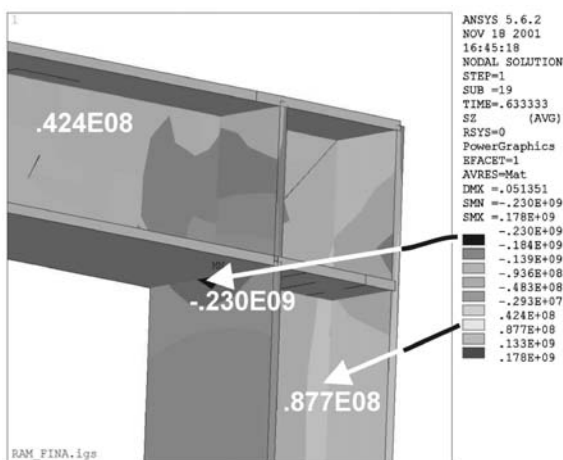
Styčnick č.	$U_x$	$U_y$	$U_z$
	[mm]		
11	50,194	-0,061	-0,634
22	50,121	0,028	-0,439

Je zřejmé, že model rámu s plošnými prvky uvažující materiálovou a geometrickou nelinearitu a velká přemístění dává výrazně odlišná přetvoření při zplastizování rámového rohu. Vodorovný posun směru X ve styčnicku 11 je cca o 38 % menší než na modelu uvažujícím nosníkový prvek i při uvažování geometrické nelinearity. Na obrázcích 10, 11 a 12 je vidět průběh napětí S3 a ve směru os X a Z v okolí styčnicku 22, kde je dosaženo největších hodnot. Meze kluzu je dosaženo v poměrně malé oblasti na spodní pásnici rámové přičle a na vnitřní stěně sloupu, kde došlo k plastickým deformacím. Hodnoty zatížení, při nichž byl výpočet ukončen, jsou dány součtem zatížení z jednotlivých zatěžovacích kroků a jejich hodnota je cca 63,3 % zadaného maximálního



Obr. 11. Napětí SX okolí styčnicku 22 – nelineární řešení

zatížení (na toto zatížení byl vypočítán rám lineárně s uvažováním nosníkového prvku). Dosažené svislé zatížení je 44,31 kN a vodorovné 18,99 kN. Podrobnější model lépe vyjadřuje chování skutečné konstrukce než model sestavený z nosníkových prvků. Nosníkový model postačí pro celkové řešení konstrukce, pro řešení konstrukčních detailů je třeba pro určení lokální napjatosti provést materiálově nelineární výpočet.



Obr. 12. Napětí SZ okolí styčnicku 22 – nelineární řešení

## Závěr

Porovnání řešení geometricky nelineárních výpočtů dvěma běžnými inženýrskými programy IDANEXIS a FEAT ukázalo velmi dobrou shodu výsledků. Je zřejmý velmi malý vliv geometrické nelinearity při výpočtu běžných konstrukcí. Použití tužšího nosníkového prvku (program ANSYS) vede k poněkud menším průhybům, ale odchylka geometricky nelineárních výpočtů není podstatná ani při uvažování velkých přemístění. Lze říci, že vliv geometrické nelinearity na návrh běžné konstrukce **není zásadní**, pokud neřešíme **úlohu stabilitního charakteru**. Porovnáváme-li způsoby zadávání geometrické nelinearity v uvedených inženýrských programech, nelze jednoznačně říci, že je některý výrazně lepší než druhý. Lze konstatovat, že programy IDANEXIS a FEAT jsou na obdobné úrovni zadávání i přesnosti řešení geometricky nelineárních úloh. Je třeba zdůraznit, že použití geometricky nelineárního řešení pro obvyklé konstrukce není zárukou výrazně přesnějšího, a tím správnějšího návrhu konstrukce.



Provedeme-li výpočet rámu podrobně vymodelovaného plošnými prvky, zjistíme, že při lineárním výpočtu mají lokální místa rámu napětí výrazně větší, než je mez kluzu, a rám nevyhovuje. Výpočítané hodnoty napětí nejsou reálné, ve skutečnosti dojde k plastickému tečení a rozdělení napětí se změní. Výsledky lineárních výpočtů, které přesahují mez kluzu, nelze bez respektování nelineárního chování použít bez úprav pro návrh konstrukce. Pro zjištění věrnějšího rozdělení napjatosti je nezbytné provést materiálově nelineární výpočet.

Po provedení materiálově nelineárního výpočtu dojde při zvětšování zatížení k přerozdělení napjatosti. K lokálnímu překročení meze kluzu přesto dojde a výpočet je ukončen při zatížení, které je nižší než zatížení, na které byl rám navržen na základě nosníkového modelu. Ve skutečnosti dojde ještě k dalšímu tečení nad oblastí meze kluzu a k další redistribuci napětí. Teprve pak můžeme zjistit skutečné rozdělení napjatosti při zhroutení rámu.

Konstrukce se nyní běžně navrhuje programy, které neřeší materiálovou nelinearitu. Uvedená studie upozorňuje, že plastické vlastnosti oceli takovýto přístup umožňují pouze při řádném konstrukčním řešení rámu. Pokud jsou detaily navrženy tak, že respektují skutečnou napjatost v konstrukci, která není lineárním výpočtem postižena, lze konstatovat, že běžný návrh při uvažování nosníkových prvků postačí.

Detailní konstrukční řešení ocelového rámu by většinou umístilo rohovou výztuhu na vnitřní stranu rámu a diagonální výztuhu stěny rámového rohu, sledující tečně křivky největších napětí, ve stěně. Řešení takto vyztuženého rámu by již lokální překročení meze kluzu nevykázalo.

Materiálově nelineární řešení vnitřních sil v konstrukci pomáhá zejména správnému návrhu konstrukčních detailů, které jsou obvykle řešeny na základě inženýrského citu a jednoduchými modely vhodnými pro ruční výpočet. Vliv nelineárních vlastností materiálu na skutečné chování konstrukcí je zcela zásadní a nelze jej, zejména u komplexních problémů, zanedbávat. Stále je třeba věnovat maximální pozornost návrhu konstrukčních detailů a definování okrajových podmínek výpočetního modelu v souladu se skutečným provedením a působením.

**Práce vznikla v rámci výzkumného záměru VZ MSM – 210000003 „Počítačová simulace“ a výzkumného záměru VZ MSM – 210000001 „Optimalizace stavebních konstrukcí“.**

#### Literatura

- [1] Manuál k programu IDA NEXIS, verze 3.10.06. Brno, IDA-NEXIS 2000.
- [2] Manuál k programu Feat 2000. Praha, Smartsoft 2000.
- [3] Teoretický manuál programu ANSYS, rel. 5.7.1. Canonsburg, ANSYS Inc. 2001.
- [4] Richard Liew, J. Y. – Chen, W. F.: Trends Toward Advanced Analysis. In: Advanced Analysis of Steel Frames, Chen, W. F., and Toma, S. Editors, Inc., Boca Raton, CRC Press 1994, pp. 1 – 45.
- [5] Vašek, M.: The Non-Linear Behavior of Large Space Bar and Beam Structures. [Proceedings], 4th Conference on Space Structures, London, Thomas Telford Services Ltd. 1993, pp. 665 – 674.
- [6] Vašek, M.: Non-Linear Small Strain Separate Effects Solution for 3D Bar System. [Proceedings], 4th World Congress on Computer Mechanics. Buenos Aires, IACM 1998.
- [7] Argyris, J.: An Excursion into Large Rotations. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol. 32, 1982, pp. 85 – 155.

[8] Torkamani, M. – Sonmez, M. – Cao, J.: Second Order Elastic Plane Frame Analysis Using FEM Method. Journal of Structural Engineering ASCE, Vol. 123, 1997, No. 9.

[9] Fajman, P.: Modelování a výpočty lanových a plastových konstrukcí. Ocelové konstrukce, 2001, č. 5, s. 25 – 28.

#### Vašek, M. – Lojík, O.: Non-Linear Calculations in Civil Engineering Practice

The possibility to solve structures with respect to geometrical non-linearity by software frequently used in the Czech Republic is studied. A brief description of non-linear structural behaviour is provided. The importance of material non-linearity is emphasised in contrast to the usually provided geometrical non-linear solutions. A comparative study of the steel plane frame solved with respect to geometrical non-linearity by the IDANEXIS, FEAT and ANSYS is given. The results of the material non-linear solution are presented and the substantial difference from the commonly used substitution in engineering practice is shown.

#### Vašek, M. – Lojík, O.: Nichtlineare Berechnungen in der Bauingenieurpraxis

Der Artikel behandelt die Anwendung von ingenieurmäßigen Berechnungsprogrammen im Ingenieurbau für nichtlineare Konstruktionslösungen. Es werden verschiedene Verhaltensweisen und die Art und Weise ihrer Lösung vorgestellt. Die Ergebnisse des Vergleichs geometrisch nichtlinearer Lösungen eines ebenen Stahlrahmens mit Hilfe der Programme IDANEXIS und FEAT werden weiterhin mit den Ausgaben des Referenzprogramms ANSYS verglichen, durch das der Rahmen auch mit Erwägung einer materialmäßigen Nichtlinearität gelöst wird. Es wird auf die Wichtigkeit der richtigen Auslastung des materialmäßig nichtlinearen Verhaltens der Konstruktionen verwiesen. Die in der Praxis üblicherweise angewendeten Lösungen sind meistens nur geometrisch nichtlinear. Bei der Berechnung von Stahlbauteilen mit den Programmen FEAT2000 und IDANEXIS wird eine Rissbildung in Betracht gezogen, was ebenso ein Ausdruck materialmäßig nichtlinearen Verhaltens ist. Im Artikel wird ein erheblich höherer Einfluss dieser Nichtlinearität auf das Verhalten üblicher Bauteile als der Einfluss geometrischer Nichtlinearität dokumentiert. Es wird auf die durch Vernachlässigung des Einflusses materialmäßig nichtlinearen Verhaltens beim Entwurf eines Bauteils entstehende Gefahr hingewiesen.

Seminář

**Ocelové konstrukce v Praze**

4. června 2002

Fakulta stavební ČVUT, Thákurova 7, Praha 6

Informace: pí. Zuzana Kalinová, tel.: 02/2435 4773

# FMEA – metoda analýzy způsobů a následků poruch

prof. Ing. Jaroslav MENČÍK, CSc.  
Dopravní fakulta Jana Pernera  
Univerzita Pardubice

V příspěvku je popsána metoda FMEA pro systematické odhalování poruch konstrukcí nebo procesů a jejich odstraňování již během návrhu. Spočívá v týmovém vyhledávání možných příčin poruch, jejich klasifikování z hlediska závažnosti důsledků, četnosti výskytu a pravděpodobnosti včasného zjištění. Následuje vyjádření míry rizika a návrh opatření pro odstranění nebo zmírnění nejnebezpečnějších vad.

## Úvod

Základní myšlenkou analýzy způsobů a následků poruch, označované jako FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) je, že prevence poruch je lepší a levnější než jejich pozdější odhalování a opravy. Metoda se proto snaží zjistit všechny možné příčiny poruch již v etapě návrhu nebo projektu a odstranit je [1] – [6]. Slovo porucha znamená v širším slova smyslu jakoukoli ztrátu schopnosti objektu plnit řádně své funkce. Analýza způsobů a následků poruch FMEA je tedy těsně spjata i s jakostí.

FMEA byla poprvé použita v projektu Apollo před více než třiceti lety. Dnes je povinná při stavbě letadel, velmi často se používá v automobilovém a elektrotechnickém průmyslu, a postupně se rozšiřuje i do dalších odvětví. Její použití je doporučováno normami pro jakost, jako je ISO 9000. Může přinést užitek také stavebnictví a někteří projektanti a stavebníci podobný přístup používají. Koneckonců i stavební zákon a příslušné předpisy požadují, aby projektant udělal vše z hlediska návrhu, výpočtů i volby materiálů a subdodávek, aby konstrukce nebo stavba byla kvalitní a bezpečná [7]. Výhoda metody FMEA spočívá v tom, že jde o systematickou proceduru, která zajišťuje, že bylo vykonáno vše pro vyloučení očekávatelných závažných poruch jednotlivých dílců nebo celé konstrukce či stavby, anebo závad v procesech při stavbě nebo montáži. Velmi důležité je, že není záležitostí pouze jediného odborníka, ale že využívá znalosti a zkušenosti lidí z několika profesí. Jejich spolupráce tak může mít synergický efekt a vést k dalšímu zdokonalení projektu. Celou proceduru lze rozdělit do deseti základních kroků.

## Základní kroky

### 1. Formulace problému a vytvoření týmu

FMEA může být provedena pro výrobek (dílec nebo celou konstrukci) nebo pro výrobní proces, jako je příprava betonu nebo montáž ocelové konstrukce. Pro daný úkol se obvykle vytvoří zvláštní tým, který po jeho splnění může být rozpuštěn. Tým (obvykle 4 až 6 osob) by měl sestávat z projektantů a technologů, pracovníka odpovědného za výrobu, stavbu nebo montáž a zástupce budoucího uživatele nebo provozovatele, jejichž zkušenosti z provozu a údržby podobných objektů jsou neocenitelné. V tomto ohledu existuje podobnost s připomínkovým řízením, obvyklým u některých projektů.

Každý tým FMEA by měl mít svého vedoucího, buď jmenovaného managementem podniku, nebo vybraného ze svých řad. Úlohou vedoucího je organizovat setkání týmu, zajišťovat zdroje potřebné pro jeho práci, pomáhat dosáhnout konsensu a zajišťovat, aby tým postupoval k dokončení úkolu.

Před zahájením analýzy je nezbytné definovat její účel, vztah týmu k managementu a jeho pravomoci a odpovědnost (provedení analýzy a návrh zlepšení, nebo také jejich uskutečnění). Je též nezbytné stanovit její rozpočet a termín ukončení. Toto vše, včetně jmen vedoucího a členů kolektivu a způsobu komunikace s managementem, musí být zapísáno do zvláštního dokumentu.

### 2. Analýza konstrukce nebo procesu

Existují dva druhy analýzy způsobů a následků poruch – pro výrobky a procesy. Účelem analýzy výrobku je zjistit problémy, které by mohly ohrozit bezpečnost, vést ke špatné funkci nebo zkrácení životnosti výrobku. Hlavní otázka: „*Jakým způsobem může objekt selhat?*“

Analýza procesu by měla odhalit problémy vztahující se k výrobě, stavbě nebo montáži objektu. Je užitečné uvažovat z hlediska následujících prvků:

- lidé,
- materiály,
- stroje a pracovní pomůcky,
- metody,
- okolní prostředí.

Hlavní otázka: „*Jak může porucha procesu ovlivnit výrobek, účinnost procesu nebo bezpečnost?*“

Během první schůzky by všichni členové týmu již měli znát a chápat nezbytné detaily konstrukce nebo procesu a jejich vzájemné vztahy. Proto je třeba, aby každý člen dostal v předstihu potřebnou dokumentaci (výkresy konstrukce nebo objektu, popř. podrobný harmonogram procesu). Je užitečné mít k dispozici odborníka, který bude schopný odpovědět na případné dotazy.

### 3. Zjištění všech možných způsobů poruch

Jakmile se každý člen týmu podrobně seznámí s výrobkem (nebo procesem), mohou všichni společně začít přemýšlet o potenciálních způsobech poruch, které by mohly ovlivnit jakost, spolehlivost a bezpečnost daného objektu během celé doby životnosti. Toto by mělo probíhat během jednoho, popř. několika porad organizovaných podle pravidel brainstormingu.

Při takovéto schůzce se nemá odmítnout žádná myšlenka. Může se však stát, že lidé, kteří se osobně podílejí na projektu, se mohou cítit dotčeni, jestliže někdo v jejich projektu najde chyby. Vedoucí týmu má proto důležitý úkol usnadňovat celý proces, povzbuzovat členy týmu, aby vznášeli nápady a připomínky, a zmírňovat nepříznivé psychologické efekty. Kolektivní myšlení může tak přijít na nedostatky, které mohl přehlédnout i dobrý projektant, a pomoci mu tak zlepšit jeho projekt.

#### 4. Stanovení možných následků poruch

Všechny možné způsoby poruch by měly být zaznamenány do formuláře nebo pracovního sešitu (obr. 1). Na základě těchto údajů tým posuzuje jednotlivé poruchy a identifikuje jejich možné následky. Určitý typ poruchy může mít jeden, nebo i více různých následků. Opět se vše zapíše do formuláře. Tento krok je velmi důležitý, protože je základem pro kvantitativní hodnocení každého způsobu poruchy. Doporučuje se uvažovat způsobem: „*Jestliže nastane porucha, jaké by mohly být následky?*“. U každé poruchy je vhodné zapsat do formuláře i její možné příčiny. To pomůže později při hledání opatření pro jejich předcházení nebo zmírnění následků.

#### 5. Hodnocení závažnosti, četnosti výskytu a pravděpodobnosti zjištění poruchy

Každému následku jednotlivé poruchy se přiřadí tři čísla, charakterizující jeho závažnost, pravděpodobnost výskytu a pravděpodobnost včasného odhalení, a zapíše se do formuláře (obr. 1). V desetibodové stupnici hodnocení č. 1 odpo-

vídá nejlepšímu případu, č. 10 nejhoršímu (příklady jsou uvedeny níže).

Neexistují pevné stupnice, klasifikace závisí na typu objektu. Je však důležité vytvořit stupnici tak, aby všichni členové týmu se v hodnocení jednotlivých stupňů shodovali.

Při přiřazování závažnosti jednotlivým poruchám je nutné mít na zřeteli, že jedna porucha může mít více následků, a každý následek může mít jinou závažnost. (Pro analýzu v případech, kdy se mohou vyskytnout poruchy s velmi závažnými důsledky, se někdy používá označení FMECA – Failure Modes, Effects and Criticality Analysis.)

Nejlepší metodou při hodnocení četnosti nebo pravděpodobnosti výskytu je použít skutečné údaje z provozu. Pokud nejsou k dispozici, musí tým odhadnout, jak často může příslušná porucha nastat.

Hodnocení detekovatelnosti vypovídá, jak pravděpodobné je včasné odhalení vady. Pokud nejsou žádné kontroly, je pravděpodobnost nízká a bodové ohodnocení vysoké (8 až 10). Nejprve by měly být vypsány stávající způsoby kontroly pro všechny možné poruchy, a potom přiřazeno hodnocení.

##### • Stupnice hodnocení závažnosti následků

Počet bodů	Následky
10	nebezpečně vysoké
8	velmi vážné
6	mírné
4	velmi malé
3	nepatrné
1	žádné

##### • Stupnice četnosti výskytu

Počet bodů	Pravděpodobnost výskytu
10	velmi vysoká
8	vysoká
6	mírná
3	nízká
1	zanedbatelná

##### • Stupnice snadnosti detekce

Počet bodů	Pravděpodobnost včasného odhalení
10	nulová
8	nízká
3	vysoká
1	téměř stoprocentní

Formulář FMEA																
Výrobek (objekt) : _____										FMEA č. : _____						
Tým FMEA: _____										Datum analýzy : _____						
Vedoucí týmu: _____										Datum revize : _____						
										Strana č.: _____ z _____						
Proces FMEA										Nápravná opatření			Výsledky			
Identif. číslo	Předmět, funkce, proces	Způsob poruchy	Následek poruchy	Závažnost	Příčina poruchy	Výskyt	Současná kontrola	Detekce	Míra rizika MR	Doporučené opatření	Zodpovědná osoba a datum provedení	Opatření provedeno	Závažnost	Výskyt	Detekce	Míra rizika MR
Celková míra rizika :										Výsledná míra rizika po úpravách :						

Obr. 1. Formulář pro analýzu způsobů a následků poruch FMEA

## 6. Výpočet míry rizika

Nejprve se vypočítá míra rizika (MR) pro každou poruchu, resp. její následek, a to tak, že se navzájem vynásobí body hodnotící závažnost, pravděpodobnost výskytu a pravděpodobnost detekce, tedy

$$MR = \text{závažnost} \times \text{výskyt} \times \text{detekce} .$$

Toto číslo může nabýt hodnoty mezi 1 a 1 000. Potom se čteme hodnoty míry rizika (v angličtině RPN – Risk Priority Number) pro všechny způsoby poruch a dostaneme míru rizika pro celou konstrukci. Tato míra sama o sobě nemá žádný význam, protože každá FMEA má rozdílný počet poruch a jejich následků. Poslouží však pro porovnání účinnosti navržených nápravných opatření.

## 7. Výběr nejzávažnějších poruch

Jednotlivé poruchy se nyní seřadí podle míry rizika, např. běžným tabulkovým procesorem, jako je Excel. Také lze sestavit Paretův diagram pro přehledně znázornění četností výskytu různých druhů poruch nebo jejich příčin.

Řešitelský tým musí dále rozhodnout, kterými poruchami se bude zabývat s cílem snížit jejich míru rizika. Obvykle se členové dohodnou na určité mezní hodnotě MR\*, a zabývají se pouze poruchami, jejichž míra rizika je vyšší. Zvláštní pozornost je však nutné věnovat poruchám s velmi nebezpečnými následky, u kterých byla závažnost hodnocena body 8 až 10.

## 8. Návrh nápravných opatření

Každá z poruch s velkou mírou rizika je diskutována a členové týmu navrhnou opatření pro zmírnění její závažnosti. Míra rizika je součinem tří veličin (závažnosti důsledků, četnosti výskytu a pravděpodobnosti odhalení) a zmírnění jakékoli z nich sníží výslednou míru rizika. Nejlepší však v každém případě je odstranění příčiny poruchy, a mělo by se vždy začínat v tomto směru. Není-li porucha zjištěna, není ani nutné omezovat její následky, četnost výskytu nebo zlepšovat možnosti jejího odhalení.

Následují opatření pro zmírnění závažnosti poruchy nebo snížení četnosti výskytu (některé poruchy mají podobné příčiny). Zlepšení je možné dosáhnout novým návrhem, použitím jiných materiálů nebo dílců, ale také zlepšením jejich vstupní kontroly. Další možností je zlepšení detekovatelnosti poruch nebo vad v raném stadiu (např. trhlin), např. zabudováním speciálních snímačů anebo periodickými prohlídkami. Tento způsob však neznamená skutečné zlepšení konstrukce.

## 9. Opakování analýzy a výpočet výsledné míry rizika

Pro každou opravenou položku se provede nové hodnocení (závažnost, četnost a detekovatelnost) a vypočítá míra rizika. Potom se spočítá MR pro celou konstrukci. Toto číslo je často o několik desítek procent nižší, než bylo v původním návrhu, zčásti díky odstranění příčin některých poruch. Porovnání původní a nové celkové hodnoty MR ukazuje, jak byla FMEA efektivní. Může také pomoci při rozhodování, jaká opatření uskutečnit, jestliže jsou možné různé způsoby zlepšení, s různými hodnotami MR.

## 10. Nápravná opatření

Doporučená opatření se zapíše do formuláře FMEA (obr. 1) včetně hodnocení a MR. Nejdůležitější však je zajistit, aby byla uskutečněna. Je proto také třeba navrhnout pracovníky odpovědné za nápravu, datum dokončení a osobu, která

zkontroluje její provedení (s přihlédnutím ke kompetencím týmu FMEA). Vyplněné formuláře FMEA se potom předají managementu.

## Závěr

Analýza způsobů a následků poruch FMEA může významně omezit počet vad vznikajících v projektu, při výrobě nebo stavbě, anebo v průběhu životnosti objektu. Tímto způsobem snižuje celkové náklady a zvyšuje bezpečnost, spolehlivost, životnost a kvalitu objektu. Velmi často se zlepši i konstrukční řešení. Důležitou podmínkou pro úspěšnou aplikaci FMEA je, aby ji chápal management výroby nebo stavby a chtěl využívat její výhody.

Článek vznikl za podpory grantu č. 103/01/0243 GA ČR a výzkumného záměru MSM 255100002.

## Literatura

- [1] ČSN 01 0675 (IEC 812) Metody analýzy spolehlivosti systému. Postup analýzy způsobů a následků poruch (FMEA). Praha, ČSN 1992.
- [2] Analýza možných vad a jejich důsledků (FMEA). Uživatelská příručka. Česká společnost pro jakost, Praha, 1998. (Překlad příručky Potential Failure Mode and Effects Analysis. Chrysler Corporation – Ford Motor Company – General Motors Corporation, 1995.)
- [3] MIL-STD-1629A. Procedure for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis. Department of Defense, Washington, D.C., 1980.
- [4] McDermott, R. E. – Mikulak, R. J. – Beauregard, M. R.: The Basics of FMEA. Resource Engineering, Portland, 1996.
- [5] VDA 4.2 Management jakosti v automobilovém průmyslu. Zabezpečování jakosti před sériovou výrobou – systémová FMEA. (Překlad z němčiny.) Česká společnost pro jakost, Praha, 1996
- [6] Úloha a aplikační možnosti metody FMEA při zabezpečování spolehlivosti. Materiály z 5. setkání odborné skupiny pro spolehlivost. Česká společnost pro jakost, Praha, 2001.
- [7] Stavební zákon a prováděcí předpisy po novele – veřejná zakázka po novele. Informační centrum ČKAIT, Praha, 1998.

## Menčík, J.: FMEA – A Method of Failure Mode and Effect Analysis

The paper describes a procedure for systematic revealing of failures in components or structures, or in processes of building or assembly, and their avoidance during the design stage. The procedure consists of team searching for all possible causes of failures, and their classification according to the significance of effects, frequency of occurrence and probability of timely revealing. Then, a risk priority number is assigned to each failure mode, and measures are proposed for mitigating their effects.

## Menčík, J.: FMEA – eine Methode für Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse

Der Beitrag beschreibt eine Prozedur für die systematische Entdeckung von möglichen Fehlern in Baukonstruktionen oder -prozessen, und deren Beseitigung schon während des Entwurfes. Der Vorgang besteht aus einer gemeinsamen Suche nach möglichen Fehlersachen, deren Klassifizierung nach der Bedeutung ihrer Folgen, der Häufigkeit und Wahrscheinlichkeit ihrer rechtzeitigen Entdeckung. Es folgt die Darstellung des Risikoausmaßes und ein Vorschlag für die Beseitigung oder Milderung der gefährlichsten Fehlern.

# Funkční způsobilost a trvanlivost kontaktních zateplovacích systémů panelových domů

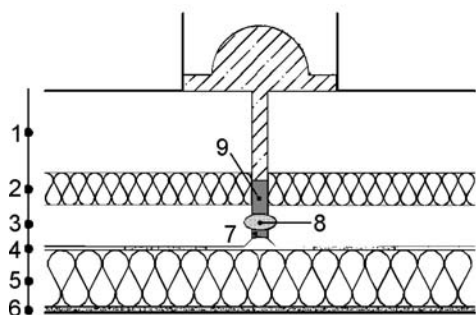
prof. Ing. Jiří WITZANY, DrSc.  
Ing. Tomáš ČEJKA  
Ing. Jan PAŠEK, PhD.  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

Numerická analýza prokázala, že porušení celistvosti tenkovrstvé povrchové úpravy kontaktního zateplovacího systému s polystyrenovými deskami beze spár představuje významný rizikový faktor snižující životnost a funkční způsobilost zateplovacího systému. Vlivem cyklického namáhání tenkovrstvé omítky lineárními a tvarovými změnami podkladu dochází v kritických místech v oblasti spár mezi sendvičovými dílci ke vzniku tahových trhlin narušujících celistvost a vodotěsnost tenkovrstvé povrchové úpravy.

Obvodové pláště panelových budov vykazují řadu závad a poruch. Především nedostatečný tepelný odpor, tepelné mosty v ploše obvodových dílců, zatékání, infiltrace a tepelné mosty v oblasti styků obvodových dílců, trhliny v ploše obvodových dílců, nedostatečné krytí a koroze výztuže dílců a styků, kondenzace v oblasti styků a v neposlední řadě nekvalitní povrchové úpravy dílců a styků, značné tolerance dílců a narušené hrany dílců.

Zateplení obvodového pláště panelových domů patří v praxi k nejčastěji používaným metodám sanace vad a poruch obvodových plášťů, které současně umožňuje snížení namáhání obvodového pláště a jeho styků účinkem objemových změn způsobených teplotou a vlhkostí.

Nejčastějším řešením zateplení obvodového pláště panelových budov je použití kontaktního zateplovacího systému, který sestává z tepelné izolace upevněné k nosnému podkladu a opatřené tenkovrstvou povrchovou úpravou. Jako tepelné izolace se používají desky z pěnového polystyrenu, popř. z minerálních vláken, lepené a mechanicky kotvené k obvodovým dílcům a následně opatřené vnější bezspárovou tenkovrstvou omítkou vyztuženou plastovou sítí (obr. 1).



Obr. 1. Schéma kontaktního zateplovacího systému aplikovaného na sendvičovou obvodovou konstrukci

1 – železobeton 100 až 150 mm, 2 – pěnový polystyren 40 až 80 mm, 3 – železobeton 50 až 80 mm, 4 – lepicí tmel cca 5 mm, 5 – zateplovací desky (PPS nebo minerální vlákna), 6 – tenkovrstvá omítky 3 až 6 mm, 7 – tmel, 8 – mikroporézní pryž Ø 30 mm, 9 – mikroporézní pryž 2 x 18/38 mm

## Analýza z tepelně technického hlediska

Zateplením původní obvodové konstrukce dochází ke změně celoročního tepelně vlhkostního režimu obvodového pláště. Tepelně vlhkostní režim zatepleného obvodového pláště je především ovlivněn:

- tepelně technickými vlastnostmi původní obvodové konstrukce;
- zabudovanou vlhkostí v původní obvodové konstrukci;
- tepelně technickými vlastnostmi jednotlivých vrstev kontaktního zateplovacího systému (zejména difúzním odporem, tepelnou vodivostí).

V porovnání s původními tepelně technickými vlastnostmi obvodového pláště dochází po zateplení (obr. 2):

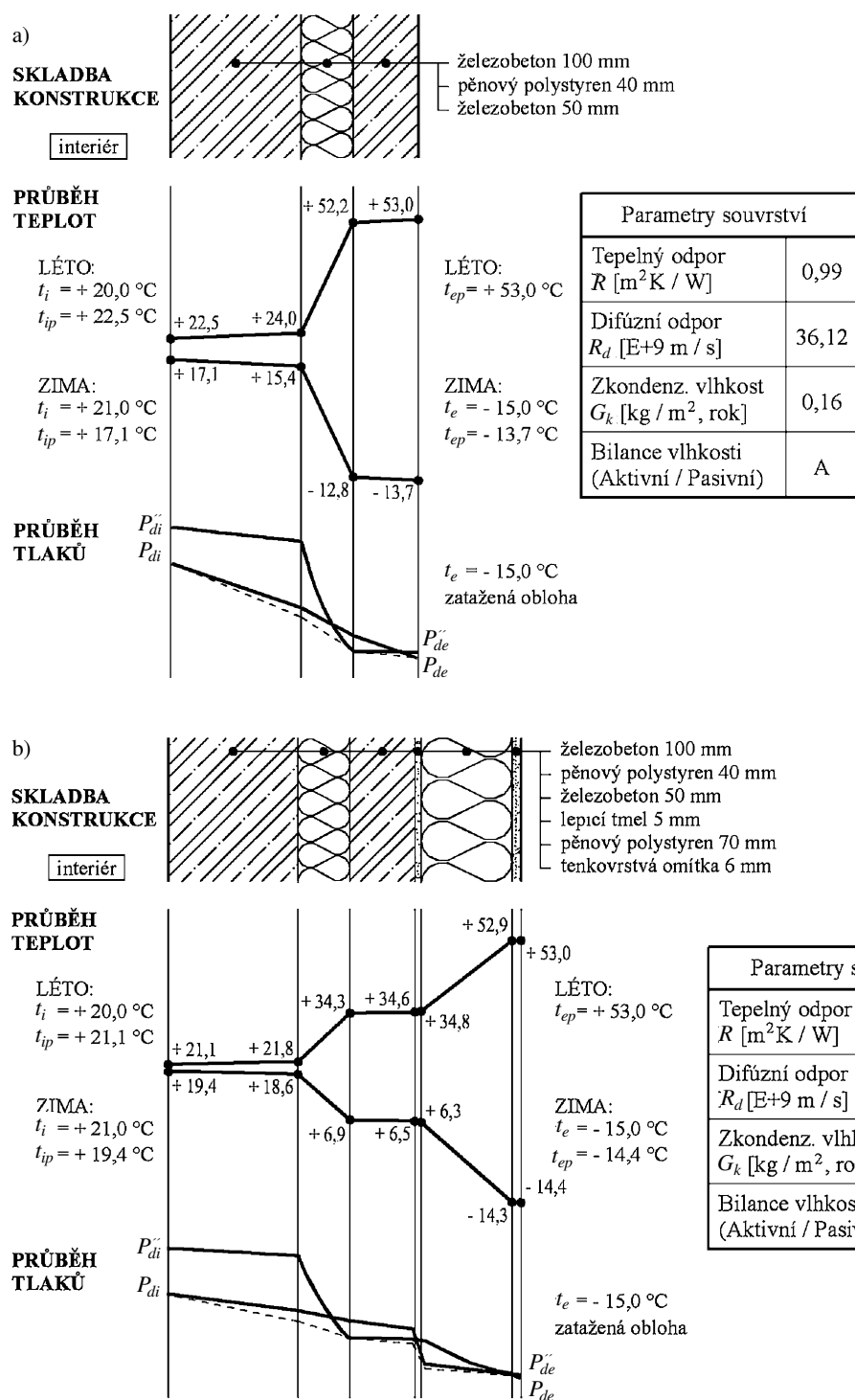
- ke zvýšení tepelného odporu  $R$ ,
- ke snížení povrchové teploty  $t_{ip}$  v letním období,
- ke zvýšení povrchové teploty  $t_{ip}$  v zimním období,
- ke zvýšení difúzního odporu  $R_d$ ,
- k výraznému snížení z kondenzované vlhkosti  $G_k$ ,
- k celkovému zlepšení tepelně vlhkostního režimu obvodového pláště včetně zamezení infiltrace, vodopropustnosti a tepelných mostů.

I po zateplení dochází ke kondenzaci vlhkosti v obvodové konstrukci, ovšem ve výrazně menším rozsahu, přičemž bilance z kondenzované a vypařené vlhkosti je příznivější. Dochází ke zvýšení celkového difúzního odporu souvrství a kondenzační zóna se posunuje blíže k vnějšímu povrchu. Mezi oblastí kondenzace a vnějším povrchem se nacházejí vrstvy s menším difúzním odporem, než tomu bylo u původní konstrukce. Na obrázku 2 jsou uvedeny výsledky tepelně vlhkostní analýzy původního a zatepleného obvodového pláště stavební soustavy VVÚ-ETA.

Použití lepicí hmoty (při celoplošném lepení), polystyrenu, a zejména tenkovrstvé omítky s vysokým difúzním odporem, může způsobit narušení kontaktního zateplovacího systému. Přetlakem difundujících vodních par v důsledku vysoké vlhkosti zabudované, popř. z kondenzované v konstrukci obvodového pláště, a vysokého difúzního odporu povrchové vrstvy dochází k porušení tenkovrstvé povrchové úpravy projevující se narušením adheze, boulením povrchové vrstvy a vznikem tahových trhlin (obr. 3).

## Analýza z hlediska mechanických stavů napjatosti účinkem změny teploty

Nekonstantní průběh teploty v průřezu vícevrstvé obvodové konstrukce a rozdílné dilatační vlastnosti jednotlivých vrstev jsou příčinou mechanických stavů napjatosti, které mohou předcházet vzniku trhlin a narušování celistvosti. Na obrázku 4 jsou znázorněny experimentálně změřené dilatační pohyby obvodových dílců v oblasti jejich styku. Z uvedených průběhů jsou patrné větší dilatační pohyby vnější pohledové železobetonové desky (monierky) sendvičových dílců. V důsledku spolupůsobení vnějších povrchových vrstev jednovrstvých obvodových dílců prostřed-

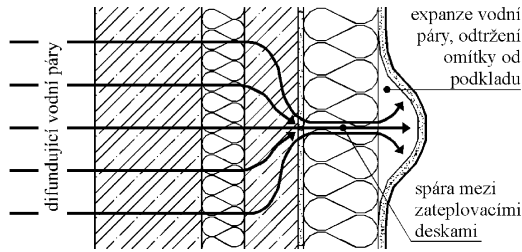


Obr. 2. Průběh teplot v letním a zimním období a průběh částečných tlaků nasycené a nenasycené vodní páry v původní sendvičové obvodové konstrukci soustavy VVÚ-ETA (a) a po zateplení kontaktním zateplovacím systémem (b)  
 $t_i$  ( $t_e$ ) – teplota interiéru (exteriéru),  $t_{ip}$  ( $t_{ep}$ ) – teplota vnitřního (vnějšího) povrchu dílce,  $P_{di}^{\sim}$  ( $P_{de}^{\sim}$ ) – částečný tlak nasycené vodní páry v interiéru (exteriéru),  $P_{di}$  ( $P_{de}$ ) – skutečný částečný tlak vodní páry v interiéru (exteriéru)

nictvím smykových sil jsou celkové dilatační pohyby v místě styků těchto dílců relativně menší v porovnání s dilatačními pohyby vnějších pohledových železobetonových desek sendvičových dílců. Se zvyšující se tuhostí smykového sprázení jednotlivých vrstev obvodových dílců, např. vnější železobetonové moniérky s vnitřní nosnou konstrukcí obvodového dílce, se snižují lineární dilatační pohyby, zvyšuje

normálové a smykové namáhání obvodových dílců a v závislosti na jejich kotvení k vnitřní panelové konstrukci mohou narůstat i tvarové změny dílců.

Z hlediska historie zatížení, tj. závislosti „zatížení x čas“, lze účinek teploty zařadit mezi účinky v čase proměnné, se změnou směru zatížení. Pro mechanismus porušení a vznik trhlin je charakteristické dosažení mezního přetvoření (de-



Obr. 3. Porušení kontaktního zateplovacího systému difúzí vodních par (boulení, vznik trhlin a narušování tenkovrstvé omítky v místě spáry mezi deskami polystyrenu)

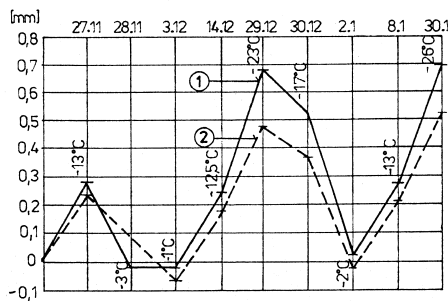
formace) při cyklickém zatížení, jehož intenzita je menší než mezní zatížení (napětí). Porušení nastává dosažením mezní deformace, nikoli dosažením mezní pevnosti.

Intenzita zatížení (napětí) způsobená mechanickými stavy napjatosti je závislá především:

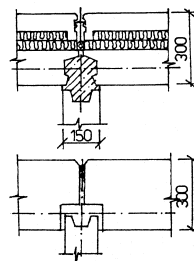
- na dilatačních vlastnostech a modulech pružnosti jednotlivých vrstev,
- na rozdílu teplot jednotlivých vrstev obvodové konstrukce.

Významnou úlohu z hlediska trvanlivosti a spolehlivosti kontaktního zateplovacího systému mají fyzikálně mechanické, dilatační a tepelné technické vlastnosti tepelně izolačních desek a vnější tenkovrstvé omítky (modul pružnosti, tažnost, pevnost v tahu, difúzní odpor, objemová stálost). V důsledku normálových a smykových napětí vyvolaných účinkem teploty může nastat porušení tenkovrstvé omítky přetržením (tahová normálová napětí) nebo usmyknutím (smyková napětí např. na rozhraní tmavé a světlé barvy tenkovrstvé omítky).

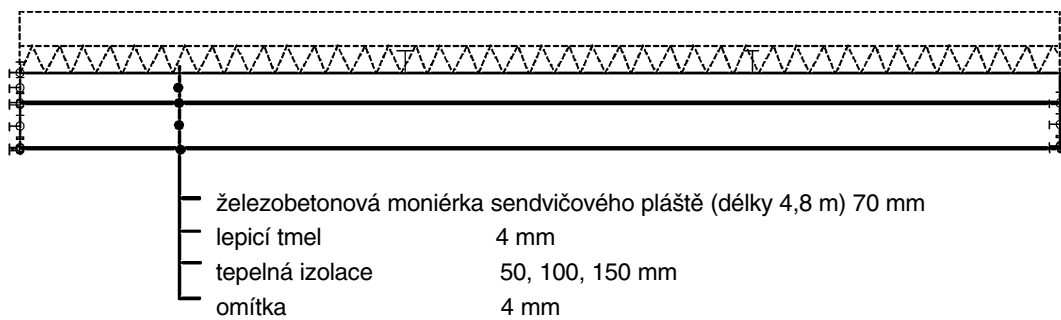
Výsledky numerické analýzy provedené pro případ sendvičové vícevrstvé konstrukce (pásu) složené ze železobetonové desky tl. 70 mm (pohledová moniérka sendvičových obvodových dílců), z tepelné izolace (pěnový polystyren, minerální vlákna) a vnější tenkovrstvé omítky prokazují



- ① vícevrstvý obvodový dílec
- ② jednovrstvý obvodový dílec



Obr. 4. Průběh dilatačních pohybů ve svislé spáře mezi obvodovými dílci způsobený účinkem teploty a vlhkosti

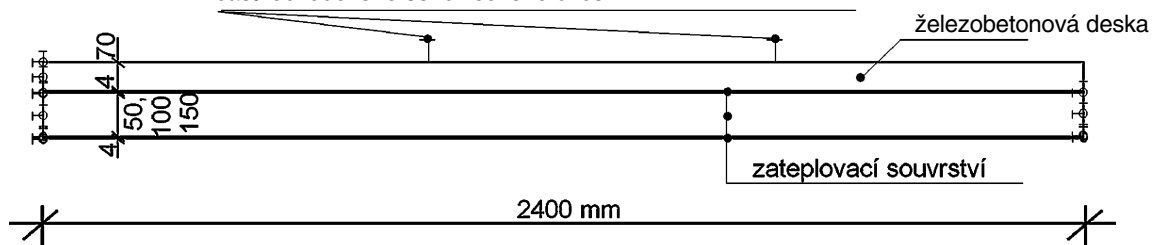


Vyšetřované varianty:

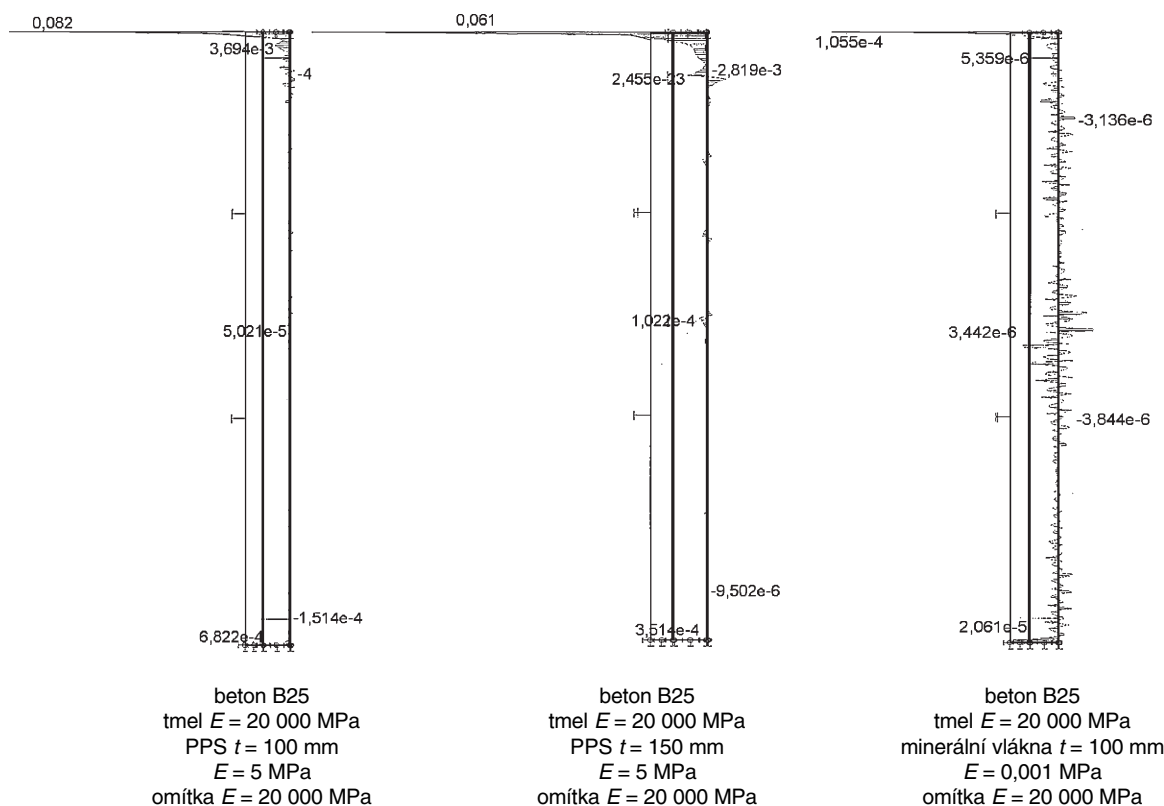
- tepelná izolace: PPS tloušťka 50, 100, 150 mm,  $E = 5 \text{ MPa}$   
minerální vlákna tloušťka 100 mm,  $E = 1 \text{ MPa}$ ;  $0,001 \text{ MPa}$
- lepicí tmel: tloušťka 4 mm,  $E = 20\,000 \text{ MPa}$
- tenkovrstvá omítky: tloušťka 4 mm,  $E = 10\,000 \text{ MPa}$ ;  $20\,000 \text{ MPa}$

Statické schéma: vyšetřována 1/2 sendvičového pláště délky 2 400 mm

poddajné spojky (kotvení) vnější moniérky k nosné části obvodového sendvičového dílce



Obr. 5. Schéma vyšetřovaných variant skladby kontaktního zateplovacího systému – výpočtový model



Obr. 6. Průběh smykových sil ve spáře mezi tepelně izolační deskou a tenkovrstvou omítkou,  $\Delta t_{bet.desky} = -1 \text{ } ^\circ\text{C}$  [MPa]

vysoké riziko snížení funkčnosti a životnosti kontaktních zateplovacích systémů v důsledku lokálního porušování adheze mezi vnější tenkovrstvou omítkou a tepelnou izolací a vznikem trhlin v povrchové úpravě (s následným pronikáním srážkové vody do zateplovacího systému).

Numerická analýza deformací a stavu napjatosti jednotlivých vrstev kontaktního zateplovacího systému byla provedena pro tepelně izolační desky tvořené pěnovým polystyrenem tloušťky 50 mm, 100 mm a 150 mm s modulem pružnosti  $E = 5 \text{ MPa}$ , popř. deskami z minerálních vláken tloušťky 100 mm s modulem pružnosti  $E = 1 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$  a 1 MPa, diskretně spojené se železobetonovou deskou (monírkou) lepicím tmelem tl. 4 mm s modulem pružnosti  $E = 20 \cdot 10^3 \text{ MPa}$  ve vzdálenosti 600 mm. Vnější povrchová úprava je tvořena tenkovrstvou omítkou tl. 4 mm s modulem pružnosti  $E = 10 \cdot 10^3 \text{ MPa}$  a  $20 \cdot 10^3 \text{ MPa}$  (obr. 5).

Výsledky numerické analýzy pro různé kombinace tloušťek a modulů pružnosti tepelně izolační vrstvy, různé moduly pružnosti vnější tenkovrstvé omítky a zatěžovací teplotu  $\Delta t_{bet.desky} = -1 \text{ } ^\circ\text{C}$  jsou uvedeny na obr. 6 a obr. 7. Průběh a velikost celkových deformací jsou znázorněny na obr. 8.

### Závěry numerické analýzy

- Dilatační pohyby podkladu tvořeného železobetonovými monírkami sendvičových obvodových dílců a zateplovacího souvrství způsobené účinkem změny teploty se soustřeďují do oblasti spár (styků) mezi jednotlivými obvodovými dílci;

- účinkem rozdílné teploty a rozdílných dilatometrických vlastností jednotlivých vrstev zateplovacího souvrství dochází v důsledku nesymetrie vícevrstvé konstrukce nejen k lineárním, ale i k výrazným tvarovým deformacím;

- smyková napětí (obr. 6) na rozhraní mezi vnější tenkovrstvou omítkou a tepelnou izolací, pro případ  $\Delta t_{bet.desky} = -17,75 \text{ } ^\circ\text{C}$  (montážní teplota  $+15 \text{ } ^\circ\text{C}$ , střední teplota betonové desky v zimním období  $t_{bet.desky} = -2,75 \text{ } ^\circ\text{C}$ ) pro vyšetřované případy leží v intervalu  $\tau_{max} \in (-0,0019 \text{ MPa}$  (min. vlákna  $t = 100 \text{ mm}$ ,  $E = 0,001 \text{ MPa}$ );  $-1,881 \text{ MPa}$  (PPS  $t = 50 \text{ mm}$ ,  $E = 5 \text{ MPa}$ )). Pro případ  $\Delta t_{bet.desky} = +27 \text{ } ^\circ\text{C}$  (letní období, viz obr. 2) leží hodnoty extrémních špičkových smykových napětí pro vyšetřované případy  $\tau_{max} \in (0,00297 \text{ MPa}$  (min. vlákna  $t = 100 \text{ mm}$ ,  $E = 0,001 \text{ MPa}$ );  $2,862 \text{ MPa}$  (PPS  $t = 50 \text{ mm}$ ,  $E = 5 \text{ MPa}$ ));

- špičková normálová napětí (obr. 7) a nejvyšší hodnoty normálových napětí v tahu (zimní období), popř. v tlaku (letní období), ve vnější tenkovrstvé omítce vznikají v oblasti spár mezi vnějšími betonovými deskami (pohledové monírky sendvičových obvodových dílců). Pro případ  $\Delta t_{bet.desky} = -17,75 \text{ } ^\circ\text{C}$  (montážní teplota  $+15 \text{ } ^\circ\text{C}$ , střední teplota betonové desky v zimním období  $t_{bet.desky} = -2,75 \text{ } ^\circ\text{C}$ ) leží hodnoty extrémních špičkových normálových napětí pro vyšetřované případy v intervalu  $\sigma \in (0,00284 \text{ MPa}$  (min. vlákna  $t = 100 \text{ mm}$ ,  $E = 0,001 \text{ MPa}$ );  $3,053 \text{ MPa}$  (PPS  $t = 50 \text{ mm}$ ,  $E = 5 \text{ MPa}$ )). Pro případ  $\Delta t_{bet.desky} = +27 \text{ } ^\circ\text{C}$  (letní období, viz obr. 3) leží hodnoty extrémních špičkových normálových napětí pro vyšetřované případy  $\sigma \in (-0,00432 \text{ MPa}$  (min. vlákna  $t = 100 \text{ mm}$ ,  $E = 0,001 \text{ MPa}$ );  $-4,644 \text{ MPa}$  (PPS  $t = 50 \text{ mm}$ ,  $E = 5 \text{ MPa}$ ));

- normálová napětí v tahu ve vnější tenkovrstvé omítce při uvážení reálných zatěžovacích teplot  $\Delta t_{bet.desky}$  (obr. 7) dosahují hodnot, které mohou jednorázově, popř. v důsledku nízkocyklické únavy, způsobit trhliny na vnější tenkovrstvé omítce;

- číselné hodnoty smykových a normálových napětí spolu s cyklickým charakterem namáhání způsobeným účinkem



změny teploty jsou prokazatelnou příčinou vzniku trhlin v zateplovacím systému a jeho následné degradace;

■ z hlediska číselné velikosti normálových a smykových napětí a následného porušování vnější tenkovrstvé omítky systémem tahových trhlin a rozvrstvení tepelně izolačního souvrství má podstatný vliv zejména tloušťka a modul pružnosti tepelně izolačních desek a modul pružnosti a difúzní odpor vnější tenkovrstvé omítky;

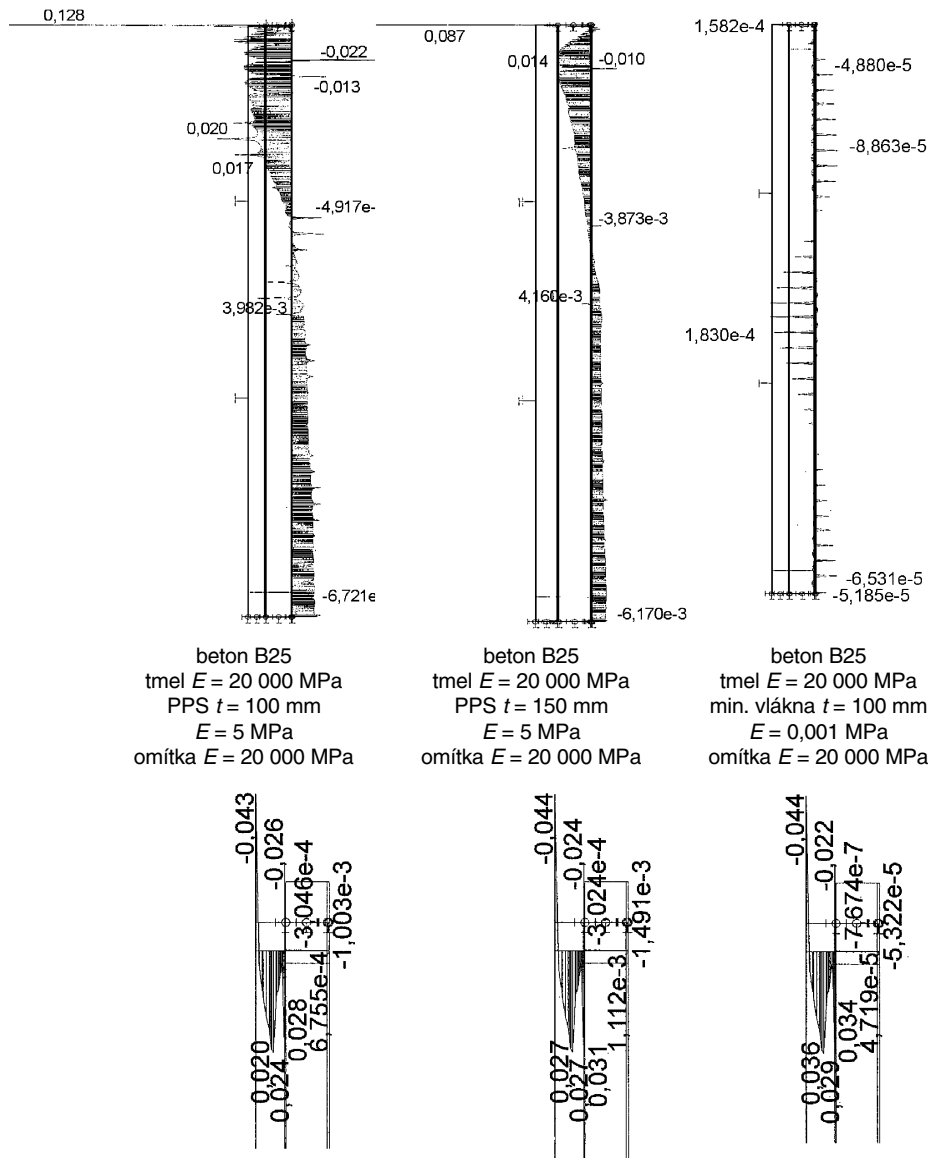
■ vyšší difúzní odpor, zejména tenkovrstvé omítky, společně se vzduchovými dutinami mezi tepelně izolačními deskami (místa kondenzace difundující vodní páry), má za následek vznik příčných tahových napětí od účinku přetlaku difundující vodní páry, která mohou předcházet rozvrstvení a porušení celistvosti zateplovacího systému a výrazné tvarové změny tenkovrstvé omítky (vyboulené pásy tenkovrstvé omítky v místech spár mezi tepelně izolačními deskami, obr. 4).

### Závěr

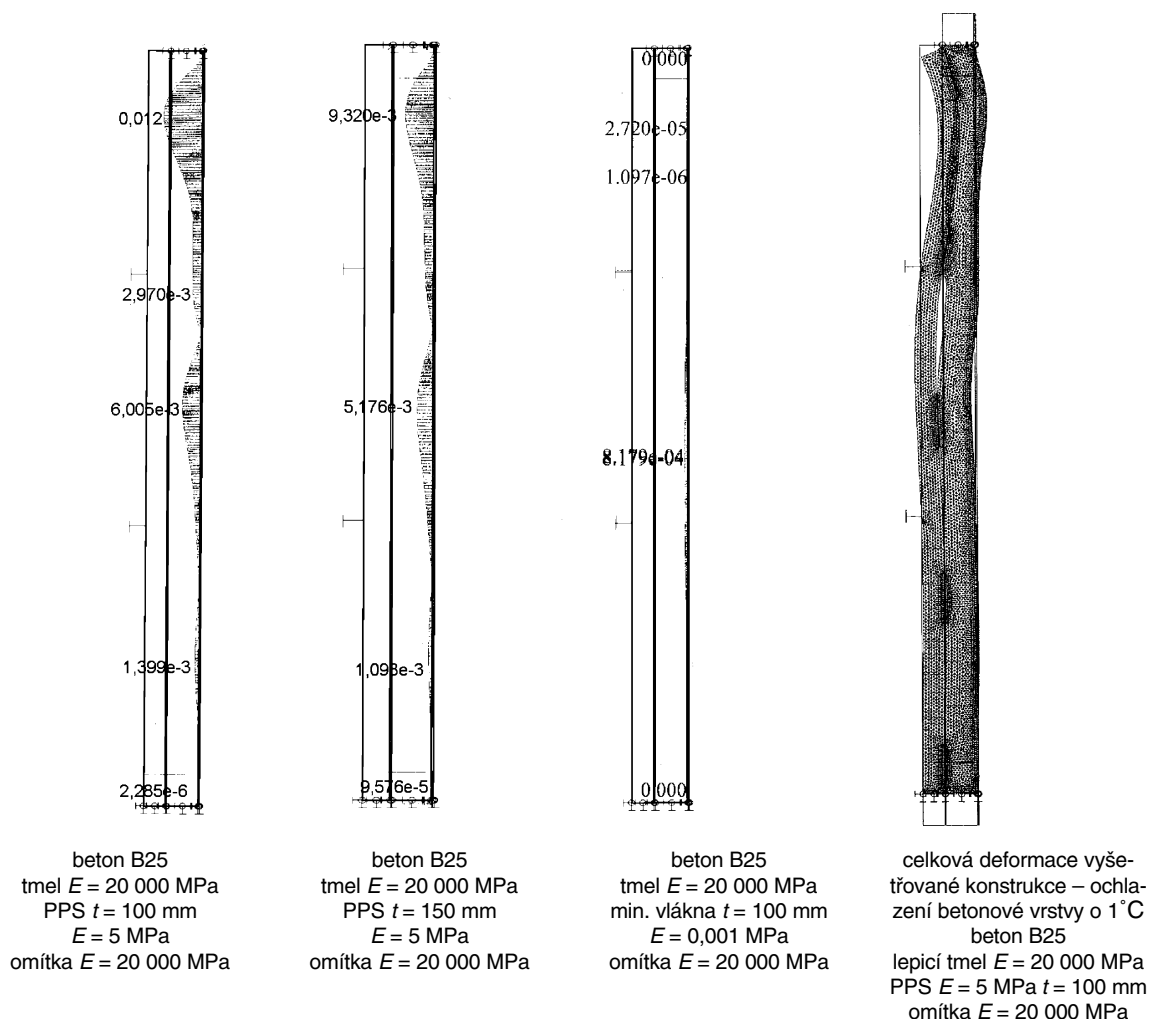
Numerická analýza kontaktního zateplovacího systému z hlediska tepelně vlhkostního režimu a cyklických mecha-

nických stavů napjatosti prokázala reálná rizika snížení funkčních vlastností a trvanlivosti tohoto systému zateplování panelových domů s obvodovou konstrukcí tvořenou sendvičovými železobetonovými dílci, zejména v případech použití tepelné izolace z polystyrenových desek, nevhodných vlastností tenkovrstvé omítky, bez dodatečného přikotvení vnějších pohledových železobetonových moniérků a odpovídající úpravy styků obvodových dílců.

Míra rizika vzniku poruch projevujících se zejména systémem tahových a smykových trhlin v tenkovrstvé omítce v oblasti spár mezi obvodovými dílci v důsledku tahových a smykových napětí způsobených účinkem teploty, boulením tenkovrstvé omítky v oblasti spár účinkem tlaku difundujících vodních par (nevyplněné spáry tvoří místa s výrazně nižším difúzním odporem), rozvrstvením tepelně izolačního souvrství účinkem smykových napětí, narůstá při použití „tuhých“ tepelně izolačních desek s vyšším modulem pružnosti (pěnový polystyren), s menší tloušťkou tepelné izolace (relativně vyšší smykové tuhosti a větší  $\Delta t_{\text{bet.desky}}$ ), s vysokou hodnotou modulu pružnosti a nízkou tažností tenkovrstvé omítky, s vyššími hodnotami difúzního odporu tepelné izolace a vnější tenkovrstvé omítky. Pro mechanické



Obr. 7 Průběh normálových sil v tenkovrstvé omítce a vybraných vodorovných řezech [MPa]



Obr. 8. Průběh celkových deformací v tenkovrstvé omítce [m]

porušování a vznik trhlin ve vnější tenkovrstvé omítce je charakteristický časový rozměr tohoto problému.

Dosažení mezní tahové deformace a vznik tahových trhlin v povrchové úpravě nastává postupným přírůstkem trvalých deformací po každém zatěžovacím cyklu. Porušení nastává až po proběhnutí určitého počtu cyklů, jejichž počet – čas, v němž dochází k cyklickým změnám teploty – závisí na diskutovaných fyzikálně mechanických vlastnostech zejména tepelně izolační vrstvy a povrchové úpravy. Vznik vlasových trhlin v tenkovrstvé omítce umožňuje pronikání srážkové vody do tepelně izolačního souvrství, a v důsledku toho zvyšující se intenzitu a dynamiku degradačních procesů znehodnocujících funkčnost a životnost zateplení.

Z hlediska výrazného snížení rizika nízké životnosti kontaktního bezspárového zateplovacího systému aplikovaného na panelových domech s obvodovou konstrukcí ze železobetonových sendvičových dílců lze doporučit:

- dodatečné přikotvení vnějších pohledových železobetonových monírek sendvičových obvodových dílců tak, aby bylo dosaženo požadovaného účinku spolupůsobení vnější a vnitřní železobetonové konstrukce sendvičových dílců;
- zaplnění spár mezi vnějšími pohledovými železobetonovými monírkami cementovým nebo polymercementovým tmelem;
- použití tepelně izolačních polotuhých desek z minerálních vláken tl. min. 100 mm s nízkým modulem pružnos-

ti ( $E < 1$  MPa) a s utěsněnými kontaktními spárami mezi jednotlivými deskami;

- použití tenkovrstvé vyztužené omítky s nízkým difúzním odporem, nízkým modulem pružnosti ( $E < 10^4$  MPa) a s vysokou pevností v tahu a tažností.

Numerická analýza prokázala, že porušení celistvosti relativně tuhé tenkovrstvé povrchové úpravy bezspárového kontaktního zateplovacího systému s polystyrenovými deskami představuje významný rizikový faktor snižující životnost a funkční způsobilost zateplovacího systému. Vlivem cyklického namáhání tenkovrstvé omítky lineárními a tvarovými změnami podkladu dochází v kritických místech v oblasti spár mezi sendvičovými dílci ke vzniku tahových trhlin narušujících celistvost a vodotěsnost tenkovrstvé povrchové úpravy.

*Poznámka:* Výše uvedené riziko odstraňuje použití, z hlediska pořizovací ceny náročnějšího, nekontaktního zateplovacího systému.

**Příspěvek byl vypracován za podpory výzkumného záměru MSM 210000001 „Funkční způsobilost a optimalizace stavebních konstrukcí“ a grantu č. 103/99/0944 GA ČR „Teoretická analýza reziduální statické bezpečnosti panelových domů“.**

**Literatura**

[1] Witzany, J. a kol.: Regenerace panelových domů. [Zpráva], grantový projekt MPO ČR, PZ/S2-04, ČVUT Praha 1997 až 2000.

Witzany, J. – Čejka, T. – Pašek, J.: **Functionality and Durability of External Thermal Insulation Composite Systems in Prefabricated Panel Housing**

Numerical analysis has shown that integrity failure of thin-layer surface treatment of a joint-free external thermal insulation composite system with polystyrene boards represents a significant risk factor. This factor can reduce the life cycle and functionality of the thermal insulation system. Cyclic loading of thin-layer plaster from linear and shape changes of the background leads to development of tension cracks in critical spots of joints between sandwich elements. The cracks damage integrity and watertightness of thin-layer surface treatment.

Witzany, J. – Čejka, T. – Pašek, J.: **Funktionsfähigkeit und Dauerhaftigkeit von Kontaktwärmesystemen**

Eine numerische Analyse hat erwiesen, dass eine Störung des Zusammenhalts der dünn-schichtigen Oberflächenbehandlung eines fugenlosen Kontaktwärmesystems mit Polystyrolschaumplatten einen bedeutenden Risikofaktor darstellt, der die Lebensdauer und die Funktionsfähigkeit eines Wärmesystems herabsetzt. Unter dem Einfluss der zyklischen Beanspruchung des dünn-schichtigen Putzes durch lineare und Gestaltänderungen des Untergrundes kommt es an kritischen Stellen im Bereich der Fugen zwischen den Sandwichteilen zur Bildung von Zugrissen, die den Zusammenhalt und die Wasserdichtigkeit der dünnen Oberflächenschicht beeinträchtigen.

Český svaz geodetů a kartografů  
Vysoká škola báňská TU – Ostrava  
pořádají

18. 9. až 20. 9. 2002  
v prostorách VŠB TU – Ostrava

**VIII. mezinárodní konferenci  
GEODÉZIE A KARTOGRAFIE  
V DOPRAVĚ 2002**

**Program:**

- přibližně 42 patnáctiminutových českých a slovenských referátů a 4 polské příspěvky k tématům geodeti na dopravních stavbách, geodézie a kartografie v územním plánu dopravní infrastruktury, v územním a stavebním řízení dopravních staveb, v dokumentaci dopravních staveb, v katastru nemovitostí a v GIS dopravních staveb
- výstava měřické techniky, zeměměřických společností a odborných vysokých škol
- společenský večer.

Informace: sekretariát ČSGK, Novotného lávka 5,  
116 68 Praha 1, tel/fax: 02/2108 2374

**● zprávy****Dálnice D1, stavba 0133  
Vyškov – Mořice**

Po mnohaleté odmlce pokračuje stavba nejstarší české dálnice D1. Za účasti představitelů vlády, investora, dodavatelů a dalších významných hostů byl 11. dubna 2002 u Vyškova položen základní kámen nového úseku. Po dokončení bude dálnice D1 pokračovat na Kroměříž a Přerov do Lipníka nad Bečvou.

Připravovaný úsek, stavba 0133 Vyškov – Mořice, navazující na dokončený úsek Praha – Brno – Vyškov, bude součástí páteřního dálničního tahu České republiky. Délka budovaného úseku je 16,084 km v návrhové kategorii D 26,5/120. Již zahájená výstavba potrvá do května roku 2006.

Součástí stavby, budované na území okresů Vyškov a Prostějov, jsou tři dálniční křižovatky a středisko správy a údržby dálnice. Nejvýznamnější dopravní vazbou je napojení rychlostní silnice I/46 od Olomouce ve Vyškově, další se silnicí II/428 je navržena v Ivanovicích na Hané a se silnicí II/433 v Mořicích. Navazující stavbou je úsek 0134.1 Mořice – Kojetín v celkové délce zhruba 8 km.

Velká pozornost byla věnována ochraně životního prostředí. Na základě dokumentace o hodnocení vlivů stavby na životní prostředí bylo provedeno začlenění stavby dálnice do krajiny, jemuž slouží především rozsáhlé vegetační úpravy. Dále byla značná pozornost věnována odvedení srážkových vod z povrchu vozovek a ochraně obyvatel před účinky provozu na dálnici. Podél dálnice bude vybudováno 11 protihlukových zdí a valů o celkové délce přes 6 980 m.

Náročnost stavby, budované na katastrech obcí Vyškov, Topolany, Hoštice – Heroltice, Medlovice, Ivanovice na Hané, Tištín, Těšice, Nezamyslice, Vrchoslavice a Němčice nad Hanou, dokládá např. nutnost odstranění 662 tis. m<sup>3</sup> ornice a vyhloubení 1 620 tis. m<sup>3</sup> výkopů, vybudováno bude celkem více než 1 870 tis. m<sup>3</sup> násypů, z toho 430 tis. m<sup>3</sup> materiálu bude nutné dovézt ze zemníku. Bude vybudováno celkem 342 tis. m<sup>2</sup> dálniční vozovky, z toho 305 tis. m<sup>2</sup> cementobetonové, přes 30 km přeložek a oprav komunikací II. a III. třídy a účelových komunikací. Stavba obsahuje tři mimoúrovňové křižovatky, devět objektů přeložek silnic I., II. a III. třídy, pět objektů provizorních přeložek komunikací, dvacet dva mosty v celkové délce přes 1 322 m, opěrnou zeď, sedm protihlukových zdí a čtyři zemní valy.

Zadavatelem je Ředitelství silnic a dálnic ČR, projektovou dokumentaci vypracovala firma HBH Projekt, spol. s r. o., Brno. Dodavatelem je Sdružení D1 Vyškov – Mořice, jehož partnery jsou Dopravní stavby holding, a. s., jako vedoucí člen sdružení, a Stavby silnic a železnic, a. s., Praha.

*Tisková informace*

**ROADWARE 2002**

28. – 30. května

## Měřicko-technické zkušenosti při sanaci budovy Vysoké školy výtvarných umění v Drážďanech

prof. Dr.-Ing. Bettina SCHÜTZE

Hochschule Zittau / Görlitz

Dr.-Ing. Harald WEBER

Büro für Industrievermessung, Dresden

Článek uvádí historii významného stavebního objektu Akademie umění (nyní Vysoké školy výtvarných umění) na Brühlových terasách v Drážďanech, těžce poškozeného na konci války v roce 1945. Těžištěm je popis geodetických prací, prováděných od roku 1999 pro dokumentaci a pro projekt sanace dosud nerekonstruovaného jihovýchodního křídla, a pokračujících v průběhu stavební sanace. Ke zdaru přispělo použití totálních stanic s pasivním odrazem dálkoměrného paprsku a počítačové zpracování a vyhodnocení měřických dat.

### Úvod

Drážďany, hlavní město Svobodného státu Sasko, jsou známé svou mimořádnou architekturou. Brühlovy terasy (Brühlschen Terrassen), s oblibou nazývané „balkonem Evropy“, poskytují zajímavý pohled na labské stráně a říční přístaviště. Zwinger, nejznámější stavební dílo města, Semperova opera (Semperoper), zámek (Residenzschloss), katolický Dvorní kostel (Hofkirche) nebo po rozsáhlém archeologicko-stavebním průzkumu znovu stavěný chrám P. Marie (Frauenkirche, [1]) patří stejně jako terasy neoddělitelně k obrazu města.

Zajímavou část Brühlových teras představuje budova Akademie umění a Spolku umělců (obr. 1), postavená v le-



Obr. 1. Pohled ze střechy chrámu P. Marie na jihovýchodní křídlo Akademie umění

tech 1891 až 1894 v novorenesančním slohu Constantinem Lipsiusem (1832 až 1894) na místě Brühlovy galerie a kavárny Reale. Budova je bohatě sochařsky zdobena (obr. 2) a je korunována prosklenou žebrovitou kupolí (tzv. lis na citrony) s pozlacenou postavou anděla na vrcholu. Tato pět metrů vysoká skulptura je dílem Roberta Henze.



Obr. 2. Portál jihovýchodního křídla

Jako většina staveb ve středu Drážďan byla i Akademie umění na sklonku války v roce 1945 těžce poškozena. Po válce proběhla dílčí rekonstrukce objektu a obnovené prostory se staly sídlem Vysoké školy výtvarných umění. Prostory Spolku umělců zůstaly nadále v ruinách. Vysoká vrstva sůlů a nečistot, vlhkost v základech, drobní živočichové a plíseň ve stěnách poskytovaly chmurný pohled na toto mimořádné stavební dílo s nezaměnitelným členěním do oválných nebo pětibokých či osmibokých prostor. V srpnu 1999 bylo přistoupeno k dlouho potřebným sanačním pracím v interiérech, zatímco opravy střech a fasád byly zahájeny už v předjaří. Rozpočet přesáhl devět milionů marek. Jedním z účastníků při projekci a v průběhu stavebních prací se stala na podkladě zakázky Státního stavebního úřadu v Drážďanech (Staatshochbauamt) také měřická kancelář autorů tohoto článku.

Cílem sanace stavebních hmot jihovýchodního křídla komplexu se stalo jeho opětovné zpřístupnění a zprovoznění. Těžištěm prací je zejména osmiúhelníkový tzv. okto-

gon, jádro a těžiště působivosti celého křídla. Zbytky štukování a výmalby dávají tušit bývalou nádheru [2]. Hrubé zdivo lodžii, neobvyklé členění hmoty oktogonu, obou pentagonálních prostor a staré knihovny, mírně skloněné stropy s izolačním prosklením, dovolující pohled do 43 m vysoké kopule, budou po sanaci charakterizovat tuto zajímavou stavbu (obr. 3).



Obr. 3. Pohled do vestibulu po sanaci

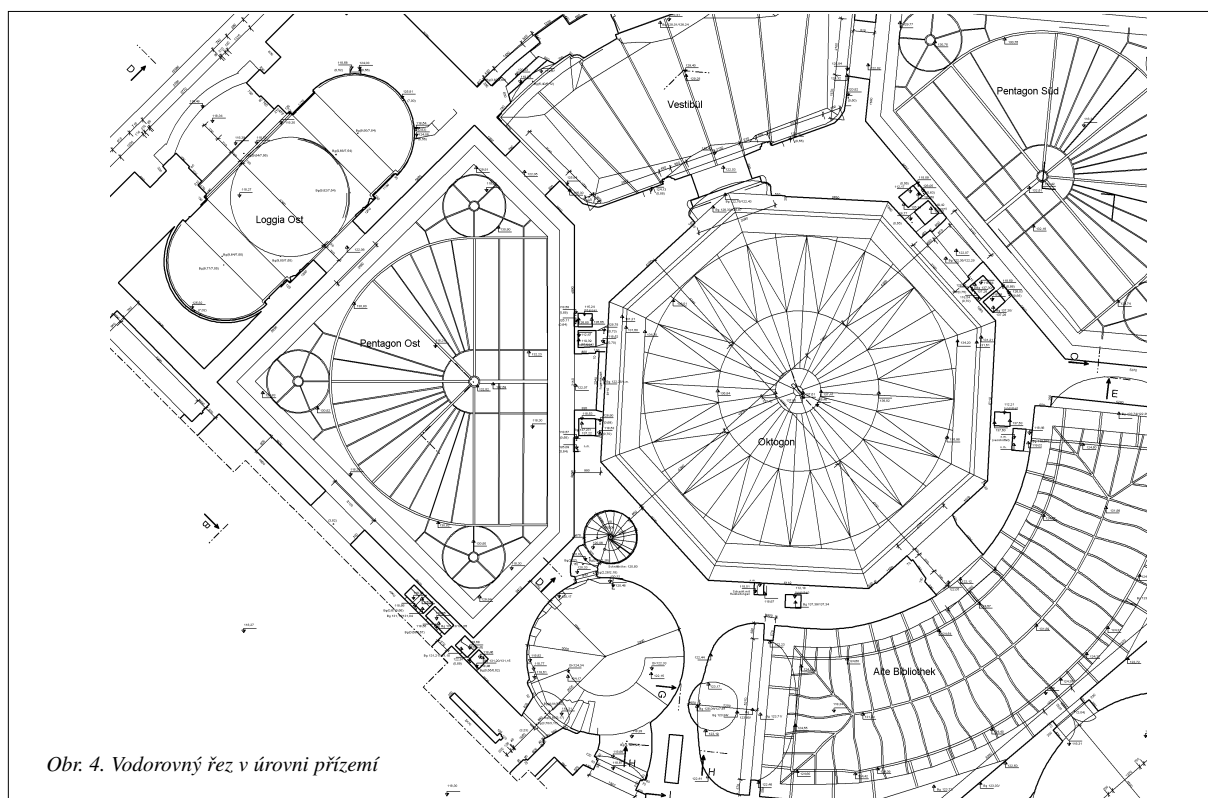
### Dokumentace stávajícího stavu pro projekt

Před zahájením plánovacích a projekčních prací sanace bylo nezbytně nutné zajistit aktuální a přesné podklady o stavu stavebních konstrukcí a hmot. Stávající výkresová dokumentace byla neúplná, pro předpokládané práce nedostatečně přesná a nevyhovující pro počítačem podporované projekční práce.

Sanaci vnitřních prostor byl pověřen architektonický ateliér Dr. Pfau. V úzké součinnosti s ním byl navržen rozsah potřebných měřických prací. Vodorovné řezy byly vedeny v úrovni základů s chodbičkami místy jen 0,6 m širokými a 0,8 m vysokými, v úrovni podezdívky, dále přízemím s četnými úzkými, velmi vysokými prostorami (obr. 4), v úrovni galerie, prostorami nad stropem a ve dvou úrovních pod střechami. Svislé řezy (obr. 5) zachycují mimo jiné i svisle probíhající šachty rozvodů s délkou až přes 20 m při šířce pouhých 0,6 m, které byly měřicky postižitelné jen provažováním. Přístup k těmto šachtám je pouze slaňováním ze střechy. Architekti dále obdrželi plán rozvinutých průběhů stěn oktogonu a pentagonů jako podklad dokumentace štukování.

Po dohodě s architektonickým ateliérem byly plány poríženy v měřítku 1 : 50 v třídě přesnosti I a II, tj. s polohovou přesností měřeného bodu 10 až 20 mm. Tato přesnost poskytuje při vysoké věrnosti detailu dostatek kvalitních informací pro tvorbu výrobních plánů. Pro dosažení této vysoké přesnosti byl navržen uzavřený obvodový polygonový pořad v souřadnicovém systému nezávislém na stavbě. Z něj byly zaměřeny všechny konstrukční prvky potřebné pro úplnost řezů. Z obvodového polygonu vycházely jednotlivé pořady do interiérů. Takto vzniklá síť byla vyrovnána v celku a byly vypočteny souřadnice jednotlivých bodů.

Náročnost měřických prací vyžadovala použití nejmodernějších pomůcek a postupů. Klasické metody „ručního“ zaměřování stavebních objektů byly používány jen ojediněle nebo pro doplnění. Prostorová polární metoda, využívající totálních stanic (elektronických tachymetrů) s odrazným



Obr. 4. Vodorovný řez v úrovni přízemí

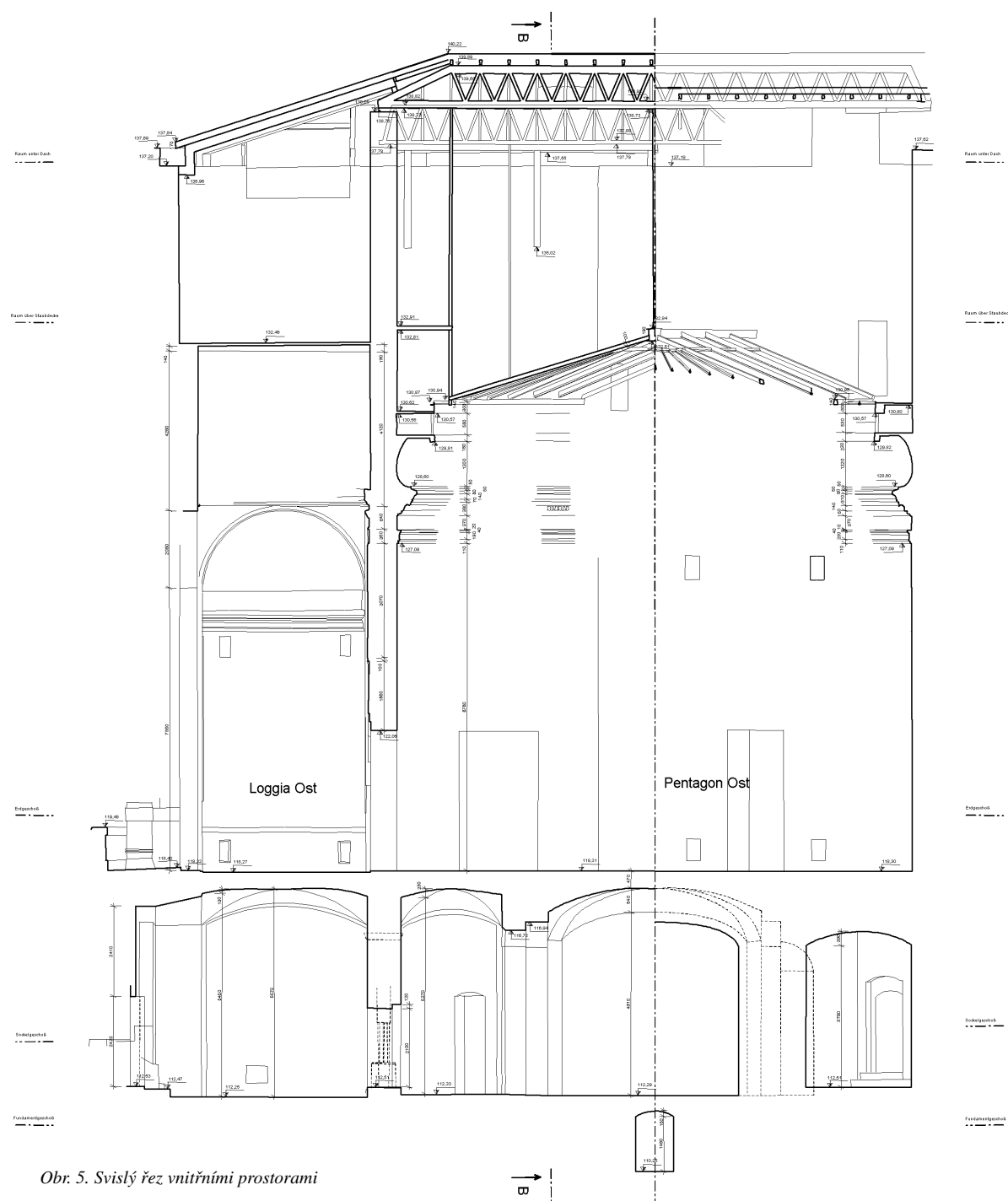
hranolem pro měření délek v cíli, byla s ohledem na výšku sálů a nepřístupnost bodů používána jen výjimečně, stejně jako metoda prostorového protínání, omezená nedostatkem místa pro volbu základny. Většina měření byla provedena totální stanicí s laserovým dálkoměrem s pasivním odrazem Leica TCR 1105 s příslušenstvím, doplněných měřením ručním laserovým dálkoměrem Leica DISTO a dalšími pomůckami. Funkce přístrojů a způsoby použití jsou popsány v dostupné literatuře, např. [3].

Použití dálkoměrů s pasivním odrazem výrazně rozšiřuje pole působnosti geodeta též v oblasti stavebních měření. Tato problematika není nová, což dokládá i článek [4]. K výrazným přednostem totálních stanic s dálkoměrem s pasiv-

ním odrazem proti stanicím s dálkoměrem s odrazným hranolem patří:

- vyšší efektivnost měření (větší rychlost, úspora pracovníků);
- dosažitelnost nepřístupných bodů bez nutnosti stavby lešení a jiných konstrukcí;
- hustota bodů může být bez vyšších nákladů zvýšena s ohledem na potřeby zvoleného měřítka;
- možné kódování spojnic bodů přímo v přístroji snižuje nároky na vyhodnocovací práce.

Přesto nasazení totálních stanic s pasivním odrazem dálkoměrného paprsku neřeší všechny problémy. Je nutno si uvědomit, že dosah je poměrně výrazně omezen a je ovliv-



Obr. 5. Svislý řez vnitřními prostory



Obr. 6. Měřická kontrola výroby ocelových konstrukcí  
(foto: ateliér Pfau)

ňován strukturou cíle. Přímé měření do rohů a na hrany může být zkruseno. Výhodnější je konstrukce rohů a hran jako průřezu dvou ploch. Přístrojové a programové vybavení vyžaduje značné vstupní investice, nelze se však bez něj obejít. Uživatelé v architektonických a inženýrských kancelářích musí disponovat dobrými znalostmi geodézie.

Výsledným produktem jsou plány stávajícího stavu. Při jejich tvorbě a hodnocení je nutno mít na zřeteli, že architekt, pracovník památkové péče a geodet se na objekt dívají poněkud odlišně, očima své profese. Přesto mají společný cíl, co nejvěrněji dokumentovat existující situaci. „Objektivní“ popis stavby je obtížný a je vždy profesně zabarven. Snaha o stoprocentní objektivnost zůstává iluzí.

Současné technické možnosti dovolují úplný prostorový popis libovolného objektu. Přesto jsou nadále potřebné konvenční výkresy ve formě vodorovných a svislých řezů a pohledů. Současné svědčí finanční náklady jednoznačně ve prospěch dvourozměrných výkresů. Ačkoli jsou plány vyhotovovány počítačovými programy CAD, předávány na disketách, kompaktních discích nebo dokonce internetem, význam si uchovaly i dosavadní nosiče – papír a fólie.

### Vytyčování a kontrolní měření při výstavbě

Rozsáhlé dlouhodobé působení vyvolalo potřebu různých měřických postupů. Složitě stavební vztahy a požadavky investora a projektantů vyžadují shodu mezi vedením stavby, dodavatelskými firmami a geodety. Z mnoha geodetických výkonů jmenujme vytyčení:

- výškových značek v různých úrovních digitálním nivelačním přístrojem Leica NA 3000;
- bodů na podlaze přízemí pro vrtání otvorů pro vestavbu vzduchotechniky;
- bodů pro kotvení bednění, pro vrty a pro průlomky;
- os pro stavbu obslužných lávek ve staré knihovně a v obou pentagonech ve výšce 19 m a pro vestavbu stropu;
- oktagonu a os pro zachycení štukatur v oktagonu ve výšce 16 m.

Pro dodržení tolerancí přikládalo vedení stavby velký význam kontrolním měřením, a proto se ověřovala:

- výška výložníků proskleného stropu v oktagonu;
- hrubá výška podlah v úrovni základů a podezdívky;
- geometrie ocelových konstrukcí stropů oktagonu a pentagonů při zkusmém smontování před vestavbou.

Geometrické vztahy ocelových konstrukcí se měřicky ověřovaly formou výstupní kontroly přímo ve výrobním závodě (obr. 6). Pro dosažení potřebné přesnosti byly založeny geodetické mikrosítě a body konstrukcí byly měřeny protínáním vpřed.

### Závěr

Použití totální stanice s pasivním odrazem dálkoměrného paprsku bylo předpokladem splnění požadavků projektantů na věrné zaměření aktuálního stavu jihovýchodního křídla budovy Vysoké školy výtvarných umění v Drážďanech. Vodorovné a svislé řezy a pohledy byly vyhotoveny počítačovými programy CAD a v průběhu sanace byly podle potřeby doplňovány. Pro vyhotovení situačních a prováděcích plánů a pro všechny vytyčovací práce a stavební měřické kontroly byla zbudována síť s místním souřadnicovým systémem.

Plány, vyhotovené geodety za použití nejmodernější techniky, jsou podkladem nejen pro projekt a výstavbu, ale i pro dokumentaci, památkovou péči a architektky. Použité postupy jsou příkladem spolupráce specialistů různých oborů pro dosažení optimálních výsledků.

### Literatura

- [1] Schütze, B. – Weber, H.: Geodetické práce při znovuvýstavbě chrámu P. Marie v Drážďanech. Geodetický a kartografický obzor, 43 (85), 1997, č. 10, s. 208 – 213.
- [2] Möller, S.: Weniger ist mehr. Wohnen – Freizeit, 2001, č. 2.
- [3] Schütze, B. a kol.: Vermessung – Grundlagen. Dresden, Verlag Schütze – Engler – Weber 2001.
- [4] Sekulla, W.: Über die Windarbeit. Vermessungstechnik, 1969, č. 2.

Přeložil doc. Ing. Pavel Hánek, CSc.

### Schütze, B. – Weber, H.: Measuring and Technical Experience from Rehabilitation of the Building of the Academy of Fine Arts in Dresden

This paper shows the history of a significant building belonging to the Academy of Fine Arts situated on Brühl's terraces in Dresden. The building was heavily damaged at the end of the World War II in 1945. The emphasis is on the description of geodetical works performed since 1999 for documentation and for the rehabilitation design of the unreconstructed south east wing. The works continued throughout the entire rehabilitation process. Success of this intervention was enhanced by the use of total stations with passive reflection of the distance meter beam and computer processing of measurement data.

### Schütze, B. – Weber, H.: Messtechnische Erfahrungen bei der Sanierung eines Gebäudes der Hochschule der bildenden Künste in Dresden

Der Artikel beschreibt die Geschichte des zu Kriegsende im Jahre 1945 stark beschädigten bedeutenden Bauobjektes der Kunstakademie (jetzt Hochschule der bildenden Künste) auf den Brühlschen Terrassen in Dresden. Den Schwerpunkt bildet die Beschreibung der seit 1999 durchgeführten und im Verlauf der baulichen Sanierung fortgeführten Vermessungsarbeiten zur Dokumentation und für das Sanierungsprojekt des bisher nicht rekonstruierten Südostflügels. Zum Gelingen trug auch die Anwendung von Totalstationen mit passiver Widerspiegelung eines Fernmessstrahls und die Computerverarbeitung und Auswertung der Messdaten bei.

# Vliv mapových podkladů na kvalitu územních plánů

Ing. Jana PAVLÍKOVÁ  
 ČVUT – Fakulta stavební  
 Praha

Účelem příspěvku je informovat o využití digitální formy dat v územním plánování usnadňující rozhodování o daném území a zpřístupňující údaje o něm široké veřejnosti. Hlavní část příspěvku se zabývá důležitými mapovými podklady již existujícími a nově vzniklými, jejich využitím pořizovateli, orgány státní správy a dalšími uživateli. Možnost aplikace geografických informačních systémů je ovlivněna nejen ustanovením zákonů a norem v České republice, rychlostí vývoje výpočetní techniky, ale i vědomostmi a znalostí ovládnání výpočetní techniky. Přístup ke geoinformacím by měl být usnadněn zákony a podpůrnou politikou státu.

## Úvod

Nástroje územního plánování mají několik podob, k hlavním patří územně plánovací dokumentace a podklady zpracováváné:

- pouze v grafické podobě, a nikoli v digitální, která přináší řadu problémů nejen při vytváření, ale i při běžném užívání. Jde např. o nejčastěji zpracováváné územní plány, vytvořené v „pastelkové“ podobě na podkladu mapy získané způsobem dnes běžným – z katastrálního úřadu. Působí spíše jako omalovánky než jako dokumentace opřené o aktuální podklad a normou stanovené způsoby zakreslování. Taková dokumentace je sice v souladu s vyhláškou, ale většinou se její využívání střetává v praxi s problémy;

- v digitální podobě, na podkladech různě kvalitních map. Mapové podklady bývají často v podobě dané katastrálním úřadem scanovány, tím ztrácejí přesnost a v případě, že nejsou vektorizovány, je objem takto nabytých dat tak velký, že nemůže být ani řeč o nějakém jejich přenosu na médiích (snad kromě přenosného pevného disku). Tyto výstupy bývají nejčastěji vytištěny a jejich digitální podoba se dále nevyužívá;

- současně vytvářený informační systém, který dále používají pořizovatelé, popř. ostatní uživatelé.

Každý z těchto způsobů zpracování má svá specifika. Tím se stává dokumentace nesrozumitelnou, a proto zvláště zpracovatelé a uživatelé požadují a volají vzhledem ke snazší orientaci mezi dvěma sousedícími oblastmi po sjednocení obsahu, zjednodušení a zpřesnění používání pojmů a grafických značek – legend, a tím i zjednodušení systému zpracování územně plánovací dokumentace a podkladů. Pořizovatelé se potýkají s problémy při zadání otázkami typu „jak má vypadat to, či ono“. Zpracovatelům není jasný způsob vyhotovení ani požadovaný vzhled dokumentace.

Za hlavní nedostatky územně plánovací dokumentace je možné považovat:

- neaktualizované a nepřesné podklady map již v době přípravy podkladů, na kterých např. územní plány vznikají;
- nezjištěné majetkové poměry v území, které ani po schválení územního plánu neumožňují jeho kontinuální rozvoj;
- obsahově nedostatečné mapy, na kterých územně plánovací dokumentace vzniká (mnohdy jde o mapy měřítek

1 : 5 000 a 1 : 10 000), u kterých, nejsou-li elektronicky propojeny s podkladem katastrální mapy, mnohdy nelze jednoznačně určit podle čísla parcelního ani funkční využití daného území;

- neaktualizované mapové podklady po schválení územního plánu. Tuto aktualizaci podmiňuje využívání elektronické podoby dat územního plánu spojeného s katastrem, protože bez tohoto propojení dochází ke ztrátě informací o vlastních pozemků atd.

## Současný stav

Podchycení současného stavu ovlivňuje několik aspektů:

- chybějící koncepce rozvoje v období před rokem 1989 a v letech následujících (1994);

- s rychlým rozvojem dochází na území ČR k mnoha souběžným iniciativám v rámci projekčních atelierů (např. Hydrosft, Terplan), výzkumných ústavů (např. VUGTK), orgánů státní správy (např. Okresní úřad Znojmo), asociací (např. AUUP) a mnoha dalších organizací. Zpracovatelé územně plánovací dokumentace a podkladů si do svých systémů CAD a GIS vnášejí vlastní „standards“, které bývají buď zcela nově vytvořené, nebo částečně či úplně převzaté z cizích zdrojů. To vede k problémům, např. při spojování dvou územních plánů obcí, při porovnávání a zjišťování jejich návaznosti;

- rychlý rozvoj výpočetní techniky a technologií v posledních letech (včetně požadavků uživatelů);

- současná právní úprava nedefinuje způsoby zpracování, požadované podklady ani značení legend, což způsobuje různorodost v územním plánování.

V České republice je několik společností, které řeší problematiku samostatně:

- katastrální úřad připravuje mapové podklady a další produkty jako digitální, přístupné z internetu, čímž vzniká první důležitá databáze;

- Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický (VUGTK) se zabývá výzkumem a vývojem v oboru zeměměřičství a katastru, vývojem a ověřováním nových technik, postupů a programů.

*Příklady posouzení současného stavu na některých obecních úřadech:*

- Obecní úřad Černošice využívá pro územní správu informační systém vytvořený na podkladech digitální katastrální mapy. Ten je spojený s katastrem nemovitostí tak, že lze vyhledat např. vlastníka pozemku a údaje s pozemkem spojené.

- Úřad městské části Praha 7 využívá program MISYS, který umožňuje snadnou orientaci, vyhledávání v území a nahlížení do celého územního plánu propojeného s katastrálním operátem. Spojení s katastrem nemovitostí funguje tak, že lze vyhledat např. vlastníka pozemku a údaje s tím spojené. Aktualizace katastru probíhá jedenkrát za šest měsíců, neprobíhá však aktualizace územního plánu (ve smyslu změn a úprav územního plánu). Databáze je vytvořena pro celé Hlavní město Prahu. Je zpřístupněna pro pracovníky magistrátu, obvodních úřadů a dalších institucí.

## Metody řešení

Protože je územně plánovací dokumentace významným právním dokumentem, je třeba již od počátku pořizování a

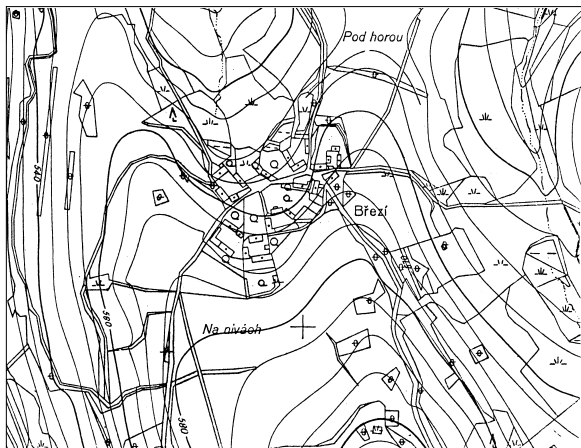


zpracování věnovat zvýšenou pozornost všemu, co má vliv na její kvalitu. Tu podstatně ovlivňují právě mapové podklady, na kterých je zpracována. Úroveň dokumentace je tak poznamenána aktuálním stavem katastru. Po právní stránce upravuje tuto problematiku § 21 odst. 6 vyhlášky č. 84/1976 Sb., o územně plánovací dokumentaci, ve znění vyhlášky č. 377/1992 Sb.: „*Veškeré části územně plánovací dokumentace, územně technických podkladů a rozborů se vypracovávají zásadně na jednotných mapových podkladech.*“ Termín „*jednotný mapový podklad*“ je vymezen v čl. 3.1.

Na základě celosvětových zkušeností s GIS je možné stanovit v ČR strukturu tvorby územních plánů, avšak s ohledem na místní poměry v řešeném území. Takovéto struktury by měly obsahovat katalog jevů, slovník, definice postupů pro formální správnost dat a katalog uživatelských požadavků (datový model, CAD, SW, HW). V podstatě by mělo jít o standard zahrnující zvláště jednoznačně vymezený pojem „jednotný mapový podklad“. Protože při projednávání územně plánovací dokumentace (např. s vlastníky) by mělo být zřejmé, jaká regulační opatření se konkrétní nemovitosti dotýkají a kdo je dotčen jakýmkoliv omezením vztahujícím se k pozemku, musí se dokumentace od prvopočátku opírat o mapové dílo zaručující dostatečnou přesnost. Proto se jednotnými mapovými podklady rozumějí především státní mapová díla.

■ Pro veřejné použití jsou podle vládního nařízení č. 116/1995 Sb. **státními mapovými díly**:

- katastrální mapy;
- Státní mapa odvozená 1 : 5 000, která však není spojena s databází katastru nemovitostí (*obr. 1*);
- Základní mapa České republiky 1 : 10 000, 1 : 25 000, 1 : 50 000, 1 : 100 000, 1 : 200 000;
- Mapa České republiky 1 : 500 000;
- tematická mapová díla vytvořená pro celé území státu na podkladech vojenských topografických map 1 : 25 000, 1 : 50 000, 1 : 100 000, 1 : 200 000, 1 : 500 000 a 1 : 1 000 000.



Obr. 1. Státní mapa odvozená – obsah normou dané mapy pro zpracování územních plánů

Již při zpracování zadání územně plánovací dokumentace je vhodné stanovit, že podkladem pro vytvoření dokumentace bude digitální katastrální mapa generalizovaná, aktualizovaná v průběhu zpracování územně plánovací dokumentace nebo rozborů a průzkumů. Tam, kde v digitální formě data dosud neexistují, by měl pořizovatel stanovit, že se má pro digitální zpracování územně plánovací dokumentace použít účelově vytvořený mapový podklad. To je třeba stanovit zejména ve smlouvě o dílo. Územní plán je pak možný, právě díky generalizaci spočívající v uložení dat do vrstev (hladin), ve vyhovující grafické podobě vytisknout i v měřítku 1 : 5 000, popř.

1 : 10 000 v různých detailech. Vzhledem k finanční náročnosti takového zpracování je třeba počítat s podpůrnou politikou státu a vládní iniciativou.

Další možností využití map pro účely územních plánů je využití Státní mapy odvozené 1 : 5 000. Ta je pro celé území ČR připravena na papírových podkladech a v dohledné době by měla být zpracována v digitální podobě.

Od roku 2001 provádí Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický obnovu katastrálního operátu. Probíhá digitalizace souboru popisných informací, digitalizace souboru geodetických informací (mapových podkladů – polohopisných i výškopisných). Digitalizované informace jsou uloženy ve vrstvách, ty jsou doplněny o černobílou ortofotomapsu, avšak s menší přesností (proto může sloužit jen jako informativní). Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický uvádí přesnost těchto map 0,5 až 1 m pro polohopis a 3 m pro výškopis. Prozatím byly vytvořeny takové mapy pro okresy Uherské Hradiště a Pardubice. Zůstává však otázkou, zda tato skladba vrstev pro potřeby urbanistů a potřebu příslušných úřadů postačuje.

Podle VUGTK bylo pro mapy menších měřítek 1 : 50 000 a 1 : 25 000 dokázáno, že stačí kosmické snímky, na základě nichž lze stanovit polohopis i výškopis příslušné mapy.

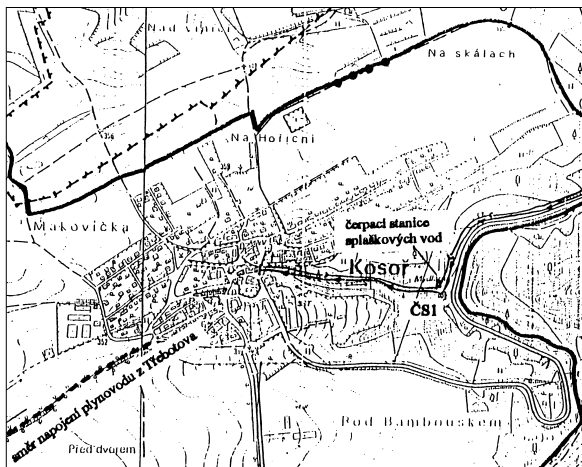
■ Informační systém je soubor dat, který vypracovává zpracovatelská skupina pro uživatele. Z hlediska územního plánování zahrnuje:

- informační systém o území (ISU),
- městský informační systém (MIS),
- informační systém životního prostředí (ISZP),
- katastrální informační systém apod.

Geografický informační systém zachycuje obraz okolí prostřednictvím modelu krajiny. Ten je nejznámější ve dvou- a trojrozměrném provedení v podobě mapy. Pomocí počítačového návrhářství se v současné době řeší problematika územního plánování také formou digitálních modelů terénu v třírozměrném prostoru.

Města a obce si již mnohdy nechávají zpracovat v rámci např. územního plánu nebo celého informačního systému digitální katastrální mapy nebo katastrální mapy digitalizované, popř. digitální technické mapy a územní informační systémy, které jsou jedním z nástrojů pro řídicí procesy, správu a rozvoj území (*obr. 2*). Výhody porízení informačního systému:

- v podobě digitální katastrální mapy, digitální technické mapy a územního informačního systému (GIS) získají moderní a dokonalý nástroj pro řídicí procesy, správu a rozvoj území;
- přehled o poloze všech staveb a pozemků, o územní infrastruktuře;
- postupným vytvářením GIS a zavedením počítačů se přesunou do jejich paměti veškeré aktuální informace o objektech, osobách a jevech ve spravovaném území bez nutnosti zjišťovat časově a finančně nákladně tyto informace na katastrálním úřadu nebo formou individuálních místních průzkumů, telefonování, faxování apod.;
- aktuální podklady pro majetkoprávní řízení, územní a regulační plán, územní a stavební řízení, požární ochranu, ochranu životního prostředí, místní dopravu atd.;
- vložené finanční prostředky se vrátí vysokou efektivností územní správy, zejména časovými a finančními úsporami za účelné soustředění informací atd.;
- využití podlahové plochy kancelářů zabrané „papírovou“ nehygienickou a obtížně přístupnou dokumentací, jejíž forma se stává dnes již historickým a do budoucna ekonomicky neudržitelným přežitkem;
- geografický informační systém je bezesporu nepostradatelným nástrojem v distribuci reklamních materiálů.



Obr. 2. Kvalita mapy v měřítku 1 : 10 000, na které je znázorněna situace širších vztahů – napojení vodovodu, kanalizace a plynovodu obce Kosoř

Nevýhodou je finanční a časová náročnost aktualizace katastru, popř. vytváření odděleného zaměření polohopisného, popř. i výškopisného (podle potřeb a stavu katastru).

#### ■ Přístup k údajům katastru:

- nahlížení do katastru nebo podání ústní informace;
- výpisy, opisy nebo kopie ze souboru geodetických informací a ze souboru popisných informací a identifikace parcel ve formě veřejných listin;
- ověřené opisy nebo kopie listin ze sbírky listin katastru;
- reprografické kopie z katastrálního operátu v případech, ve kterých nejde o poskytnutí údajů ve formě veřejných listin podle písmen b) a c);
- tiskové výstupy v případech, ve kterých nejde o poskytnutí údajů ve formě veřejných listin podle písmene b);
- dálkový přístup, poskytovaný Zeměměřickým úřadem, umožňuje získávat údaje z katastru nemovitostí pro celé území ČR prostřednictvím internetu;
- na technických nosičích dat v případě údajů vedených v elektronické podobě;
- kopie katastrální mapy s orientačním zákresem pozemkové držby podle dřívější pozemkové evidence;
- srovnávací sestavení parcel posledního dochovaného stavu dřívějších pozemkových evidencí s parcelami katastru.

Vláda stanovila „Systém úhrad nákladů při poskytování informací podle zákona č. 106/1999 Sb.“ pro tento přístup, vyjma bodu f), kde je systém náhrad specifický: „Věcné náklady spojené s vytištěním informace, pořízením kopie nebo záznamu informace a zasláním informace žadateli zahrnují náklady:

- na pořízení jedné strany výtisku formátu A4 (či jiného) nebo kopie (s rozlišením jednostranného a oboustranného výtisku či kopie);
- na 1 ks nenahrané diskety, pokud tuto formu vyžaduje žadatel;
- na 1 ks nenahraného CD, pokud tuto formu vyžaduje žadatel;
- náklady za použitou nebo požadovanou poštovní službu.

Náklady na materiál (kopie, nosiče dat) se mohou lišit v závislosti na konkrétních podmínkách při pořízování tohoto materiálu. V případě informací obsažených v publikacích a tiskovinách vydávaných povinným subjektem se výše úhrady nákladů určí ve výši ceny za příslušný výtisk. Nepřesáhne-li úhrada za informace poskytnuté jednomu žadateli částku 50 Kč, lze je poskytnout zdarma. Pokud se bude jednat o informaci, kterou je třeba vyhledat v archivu, zaplatí žadatel osobní náklady ve výši, kterou poskytovatel vyhlásí a žadateli sdělí předem.“

Pro dálkový přístup platí zákon o katastru nemovitostí (č. 344/1992 Sb., naposledy novelizovaný zákonem č. 120/2000 Sb.) v praxi následovně:

- podle § 21, kde se hovoří o veřejnosti katastru – katastr je veřejný a každý má do něj za přítomnosti pracovníka katastrálního úřadu nahlížet a pořizovat si z něj pro svou potřebu opisy, výpisy nebo náčrtky. Veřejnost katastrálního operátu je možno omezit jen z důvodů stanovených zákonem (např. zákonem č. 148/1998 Sb., o ochraně utajovaných skutečností, novelizovaným v roce 1999);

- podle § 22, kde se hovoří o poskytování údajů z katastru – k údajům katastru vedeným ve formě počítačových souborů může každý získat dálkový přístup pomocí počítačové sítě za úplaty a za podmínek stanovených prováděcím právním předpisem (nyní vyhláškou ČÚZK č. 162/2001 Sb.). Takto poskytnuté informace mají podle této vyhlášky pouze informativní charakter, nejsou veřejnou listinou, a přesto za ně musí oprávněný uživatel platit. Prostě, zajímají-li vás informace z katastru, jděte na příslušný katastrální úřad (mnohé z nich mají detašovaná pracoviště), a tam můžete pod dohledem prohlížet jednotlivé operáty, to můžete, a zdarma. Pokud však chcete k informacím přistupovat z internetu a ušetřit čas sobě i pracovníkům katastrálních úřadů, nejprve požádejte Zeměměřický úřad o zřízení dálkového přístupu a složte předem zálohu za přístup k informacím přes internet.

Rovněž stanovení ceny za nahlížení do operátu a pořizování opisů a výpisů z katastru nemovitostí přes internet (úmyslně zde není uvedeno poskytování údajů, protože vše, co dostanete, má pouze informativní charakter) je pozoruhodné. Přesto, že výstupy z katastru nemovitostí pořízené z internetu, např. výpis z katastru nemovitostí a další sestavy, mají výlučně informativní charakter, a třebaže jsou formálně i věcně shodné s dokumenty vydanými katastrálním úřadem, nelze je zatím použít jako veřejné listiny ve smyslu § 22 zákona č. 344/1992 Sb. ve znění pozdějších předpisů (zák. č. 89/1996 Sb., zák. č. 103/2000 Sb. a zák. č. 120/2000 Sb.). Za každý i započatý formát A4 výstupní sestavy (za digitální informace se platí podle formátu papíru) zaplatíte při přístupu přes internet 50 Kč.

Otevřená datová politika státu a státních organizací (podobně jako je tomu u obchodního rejstříku) – to je, pravděpodobně, správné řešení. Informace (včetně geografických) spravované státem by měly být součástí společenské infrastruktury a společným statkem. Společnosti, které sdílejí informace a znalosti, jsou ve svém vývoji úspěšnější než ostatní. A to bychom přece měli chtít. Víme, že citované zákony nejsou zákony přírodními, a doufejme, že máme velkou šanci stávající situaci změnit.

#### Závěr

Mapové podklady tvoří hlavní podklad pro územní plánování a geoinformace. Na nich jsou různými grafickým způsobem navrženy možnosti využití území. Špatný mapový podklad má výrazný vliv na kvalitu územního plánu a jeho následné využití. Čím jsou při zadání zpracování územního plánu kladeny větší požadavky na jeho všestrannost, tím by mapy měly být voleny důsledněji. Vznikající databáze by měly být přístupné širokému okruhu uživatelů.

**Práce je podporována interním grantem CTU č. 300101211.**

#### Literatura

- [1] Kuba, B. – Olivová, K.: Katastr nemovitostí po novele. Praha, Linde 1999.

[2] Mejsnarová, J.: Územní plánování v informačním systému o území. ČVUT Praha, 1998.

[3] Urbanismus a územní rozvoj. Ústav územního rozvoje, 2000.

[4] GEOinfo: specializovaný dvoumísíčník pro geoinformační tech-

nologie. Computer Press, 1999.

[5] Doležal, J. – Mareček, J. – Vobořil, O.: Stavební zákon v teorii a praxi. Praha, Linde 1998.

[6] Michal, J. – Podhorský, I.: Mapování. ČVUT Praha, 1992.

### Pavlíková, J.: The Impact of Source Map Data on Urban Planning Quality

The purpose of this paper is to encourage the use of the digital form of data in urban planning in order to facilitate decision making about a particular area and make the data available to the general public. The main part of this contribution discusses some important both existing and newly created source map data, and their use by customers, public authorities and other users. Opportunities to apply GIS will be determined not only by the Czech Republic's legislation and standards and the speed of IT development, but also by the level of expert knowledge and computer skills. Access to this geographical information should be enhanced by laws and proactive government policy.

### Pavlíková, J.: Der Einfluss von Kartenunterlagen auf die Qualität von Gebietsplänen

Der Zweck des Beitrags ist es, über die Anwendung der digitalen Datenform in der Territorialplanung zu informieren, welche die Entscheidungsprozesse erleichtert und sie der breiten Öffentlichkeit zugänglich macht. Der Hauptteil des Beitrages befasst sich mit den bereits bestehenden und neu entstehenden wichtigen Kartenunterlagen, ihrer Nutzung durch die Erwerber, staatliche Behörden und weitere Nutzer. Die Möglichkeit der Anwendung geografischer Informationssysteme wird nicht nur durch gesetzliche Bestimmungen in der Tschechischen Republik beeinflusst, sondern auch von der Entwicklungsgeschwindigkeit der EDV und der Kenntnisse über die Bedienung der EDV. Der Zugriff zu den Geoinformationen sollte durch Gesetze und eine unterstützende Politik des Staates erleichtert werden.

## ● recenze

### Kašpar, M. – Voštová, V.

### Lasery ve stavebnictví a navigaci strojů

ČKAIT, Praha, 2001, 148 s., ISBN 80-86364-61-5

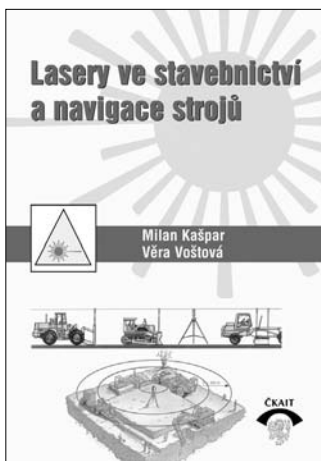
Jak je zřejmé z názvu knihy, je její obsah zaměřen na problematiku aplikace laserů ve stavebnictví a navigaci strojů. Kniha je rozdělena do deseti kapitol, z nichž první je věnována objasnění základních pojmů v oblasti automatického řízení stavebních strojů. Druhá kapitola se zabývá historií řízení stavebních strojů, zejména problematikou pohonu a řízení stavebních strojů, stabilizovanou základnou a regulačními obvody. Následující kapitola je zaměřena na optoelektroniku ve stavebnictví. Je zde vysvětlena fyzikální podstata funkce laseru a jsou popsány vlastnosti laserového záření. Dále je zde pojednáno o vývoji laserů pro stavební stroje, vysílačích a přijímačích laserového záření a způsobech kontroly polohy pracovního orgánu stavebního stroje. Čtvrtá kapitola je věnována laserovým přístrojům pro vytyčování, přístrojům pro pokládku potrubí a víceúčelovým laserovým přístrojům. Je zde dále pojednáno o detektorech laserového záření, a to se zaměřením na stavebnictví, skenovacích systémech a laserových trackerech. Pátá kapitola je zaměřena na problematiku ultrazvukových systémů v řízení stavebních strojů. Je zde pojednáno o vlastnostech a zdrojích zvuku a ultrazvuku a aplikacích ultrazvukových systémů ve stavebnictví. Šestá kapitola se zabývá výběrem stavebních strojů fideletních laserem. Jsou zde obsáhle popsány stavební stroje a jejich vlastnosti od celé řady firem. Sedmá kapitola je věnována zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci s laserem a

jsou zde uvedeny příslušné normy. Osmá kapitola pojednává o nových směrech v řízení stavebních strojů, a to jak pomocí GPS, tak i pomocí laserové navigace. Závěr kapitoly je pak věnován logistice a řízení stavebních strojů. Devátá kapitola obsahuje souhrnné zhodnocení využití popsanych metod ve stavebnictví, a to jak po stránce technické, tak ekonomické. Poslední, desátá kapitola, tvoří závěr celé knihy a obsahuje velké množství odborné literatury ve sledované oblasti. Dále jsou zde uvedeny tři velmi rozsáhlé tabulky parametrů laserových a jiných systémů pro řízení stavebních strojů, a to po nejnovější systémy významných firem zabývajících se jejich výrobou.

Po stránce grafické je kniha velmi pěkně provedena a obsahuje velké množství černobílých i barevných obrázků, které usnadňují pochopení principů jednotlivých zařízení, ukazují jejich vzhled a velikost.

Jak je z výše uvedeného patrné, přináší kniha mnoho cenných informací z oblasti řízení stavebních strojů, a lze ji proto doporučit všem pracovníkům, kteří přicházejí do styku s touto technikou nebo ji využívají na svých pracovištích a mají zájem se seznámit s nejnovějším stavem ve světě. Dále je kniha vhodná pro zájemce o pořízení nové techniky z této oblasti, kteří zde naleznou potřebné technické a ekonomické informace, na jejichž základě pak mohou kvalifikovaně rozhodnout o nákupu nevhodnější techniky.

Antonín Mikš



# • z historie ČVUT

Historie technického školství v Čechách, je zároveň historií Českého vysokého učení technického a trvá již téměř tři sta let. První podnět k veřejnému provozování výuky technických disciplín u nás je spojen se jménem Christiana Josefa Willenberga, který se roku 1705 rozhodl získat souhlas císaře s tím, aby mohl v Čechách vyučovat inženýrskému umění. Přes podporu císaře Josefa I., projevenou v císařském reskriptu z roku 1707, nebyla tehdy, patrně z důvodů finančních, jeho myšlenka realizována. Teprve o devět let později císaři a českým stavům opakoval Willenberg svůj záměr – za stanovený plat vést inženýrskou profesuru a zdarma po dva roky vyučovat dvanáct přidělených posluchačů. Dekretem zemských stavů z 9.11.1717 byla profesura pro Willenberga ustavena a na leden 1718 stanoven počátek vyučování.

Trvalo dalších téměř sto let, než inženýrská profesura získala jednoznačnější postavení, než se výuka přestěhovala z bytů profesorů do prostor k tomu účelu určených, než nabyla civilního rázu a než počet posluchačů přesahoval trvale dvě stovky. To, že si tehdy inženýrská škola udržela kontinuitu a vyvíjela se, což nebylo zdaleka běžné, bylo jistě zásluhou i jejích prvních profesorů – po Willenbergovi Jana Ferdinanda Schora, umělce a proslulého stavitele hydrotechnických staveb v povodí Vltavy, Františka Antonína Hergeta, zároveň profesora praktické matematiky na filozofické fakultě, vrchního zemského stavebního ředitele, významného zeměměřiče a stavitele.

V roce 1803 císař schválil návrh na přetvoření inženýrské stavovské školy na polytechniku. Nová polytechnika, první ve střední Evropě, kterou koncipoval František Josef Gerstner po vzoru nedlouho předtím zřízené polytechniky pařížské, zahájila činnost v listopadu 1806 v budově, kde od roku 1786 sídlila i inženýrská škola, tj. v dnešní Husově ulici. Byla přítom i nadále (z rozhodnutí císaře od roku 1787) součástí pražské univerzity, a teprve v září 1815 se stala i formálně samostatnou.

František Josef Gerstner, astronom, profesor matematiky a mechaniky, vědec v oboru teorie vlnění a hydromechaniky, organizátor vědeckého života a průmyslu v Čechách, autor projektu koněspřežní železnice z Českých Budějovic do Lince z roku 1828 a nepochybně také Christian Doppler, profesor matematiky a praktické geometrie na polytechnice v letech 1837 až 1847 byli nepochybně největšími osobnostmi této školy devatenáctého století.

Významným mezníkem v historii byl rok 1863. První statut školy tehdy vydaný se stal základem nové organizace výuky i řízení polytechnického ústavu jako vysoké školy, v jejímž čele po vzoru univerzit stál volený rektor. Studium dostalo pevný řád rozdělením do čtyř odborů – vodního a silničního stavitelství, pozemního stavitelství, strojínského a odboru pro technickou lučbu (chemii). Čeština se stala rovnoprávným vyučovacím jazykem s němčinou.

Rozpory mezi českou a německou částí profesorského sboru vedly v roce 1869 k rozdělení ústavu na dva ústavy samostatné, český a německý. Pro český ústav byla podle projektu profesora I. Ullmanna postavena v letech 1872 až 1874 nová budova na Karlově náměstí. V roce 1875 byly



oba tyto dosud zemské ústavy zestátněny a od roku 1879 mohla škola užívat ve svém názvu termín vysoká škola technická.

Pro poslední desetiletí devatenáctého a začátek dvacátého století, až do počátku první světové války, je pro školu charakteristický všestranný rozvoj v souvislosti s všeobecným rozmachem českého průmyslu, vznikem nových oborů vyvolaných potřebami společnosti a rychlým vývojem techniky. Počet posluchačů přesáhl v roce 1909 již tři tisíce. Během prvních dvou desetiletí dvacátého století byla řada panovníkových rozhodnutí směřována ke zvýšení prestiže technických vysokých škol v monarchii. V roce 1901 získaly techniky právo udělovat doktoráty technických věd, jejich rektorům od roku 1904 příslušelo po dobu výkonu funkce oslovení Magnificence a rektorovi České vysoké školy technické bylo již v roce 1906 povoleno při akademických slavnostech nosit čestný řetěz. Tento vývoj dovršilo nepochybně císařské nařízení o právu užívat stavovské označení 'inženýr' těmi, jež vykonali na vysokých školách technických dvě státní zkoušky (zavedené říšským zákonem v roce 1878).

Potřebné změny studijní i organizační, jež se za Rakouska-Uherska již nepodařilo prosadit, byly v okamžiku vytvoření Československé republiky připravené natolik, že již v srpnu 1920 ministerský rada schválil nový organizační statut, který zaváděl novou organizaci školy. Její název se změnil na České vysoké učení technické, odbory v čele s přednosty byly nahrazeny vysokými školami s děkány, rektor stál v čele akademického senátu. Podle tohoto statutu a dodatků k němu z let 1920 až 1921 mělo ČVUT až do roku 1949 sedm vysokých škol – inženýrského stavitelství, architektury a pozemního stavitelství, strojínského a elektrotechnického inženýrství, chemicko-technologického inženýrství, zemědělského a lesního inženýrství, speciálních nauk a obchodní. Původně tříletá Vysoká škola obchodní měla podle zákona z roku 1919, kterým byla zřízena, nejprve tři roky existovat na technice jako samostatný odbor. V roce 1923 schválil senát návrh na její definitivní začlenění do ČVUT, což však fakticky provedl teprve zákon o reorganizaci VŠO z roku 1929.

Při některých vysokých školách ČVUT existovaly výzkumné a zkušební ústavy nebo pokusné stanice a laboratoře. Jedním z nich byl Výzkumný a zkušební ústav hmot a konstrukcí stavebních při Vysoké škole inženýrského stavitelství, zřízený v roce 1921. Iniciátorem myšlenky na jeho vybu-

dování a jeho prvním přednostou byl prof. Ing. František Klokner. Dnešní Kloknerův ústav je přímým pokračovatelem tohoto ústavu, který patřil v době meziválečné k největším výzkumným ústavům u nás i v cizině.

Téměř šest let násilného uzavření českých vysokých škol za fašistické okupace, od 17.11.1939 do 4.6.1945, kdy byla opět zahájena výuka na všech fakultách ČVUT, mělo pro školu dalekosáhlé následky. Kromě nevyčíslitelných materiálních ztrát, také četné oběti na životech učitelů a studentů a několikaletou izolaci od vývoje techniky a vědy ve světě. Jedním z důsledků bylo např. i to, že reformy studia připravované před okupací i stavba budov ČVUT v Dejvicích, započatá v roce 1925, zůstaly nedokončené.

Rok 1948, konkrétně represe vůči studentům a učitelům, připravené a bezprostředně uplatněné po 25. únoru, tzv. studijní prověrka na všech vysokých školách, mající na ČVUT za následek vyloučení několika set studentů, postupné rušení největší fakulty ČVUT – Vysoké školy obchodní, tehdy již věd hospodářských, to vše byly skutečnosti, které signalizovaly další vývoj. Začala jimi mimo jiné celková přestavba ČVUT, během níž zejména v letech 1949 až 1960 došlo k mnoha zásadním změnám především v organizaci fakult. Vznikla pracoviště s celoškolskou působností, jako byly katedry vojenské, marxismu – leninismu, branné výchovy. V roce 1952 se osamostatnily Vysoká škola chemicko-technologická a Vysoká škola zemědělská. Legislativním základem pro změny v organizaci a ve všech oblastech činnosti ČVUT, postavení týkající se zaměstnanců a práv a povinností studentů, ale i majetku školy a studentských spolků, byl zákon o vysokých školách č. 58/1950 Sb. Po roce 1960 mělo ČVUT čtyři fakulty – stavební, strojí, elektrotechnickou a dnešní fakultu jadernou a fyzikálně inženýrskou. V roce 1976, jako pátá, byla zřízena fakulta architektury. Na této struktuře nic nezměnily ani pozdější zákony o vysokých školách, které byly v letech 1950 až 1980 postupně vydány celkem čtyři (stejně tak i statuty ČVUT).

Nesporným kladem z hlediska rozvoje školy i jeho podmínkou bylo pokračování v dostavbě dejvického areálu v letech 1958 až 1988 a výstavba kolejí pro studenty ČVUT v Podolí, na Strahově a v Bubenči. Čtyřicetiletou etapu v dějinách školy ukončil 17. listopad 1989, kdy se podruhé v tomto století dostala její existence a rozvoj do závislosti na politické moci. Umožnil zahájit postupnou přeměnu ČVUT v duchu demokratických tradic a požadavků kladených v současnosti na technickou inteligenci. Od roku 1993, kdy byla zřízena Fakulta dopravní, má České vysoké učení technické šest fakult a pracoviště a účelová zařízení s celoškolskou působností, jako jsou Masarykův ústav vyšších studií, Kloknerův ústav, Výpočetní a informační centrum, Podnikatelské a inovační centrum (BIC), Správa účelových zařízení, Vydavatelství (členěné na Ediční středisko, Audiovizuální a technické centrum a Prodejnu technické literatury), Centrum biomedicínského inženýrství (CBMI) a Archiv. V roce 1995 bylo otevřeno detašované pracoviště Fakulty dopravní a Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Děčíně.

# STAVEBNÍ OBZOR

ROČNÍK 11 ČÍSLO 6/2002

## Navigace v dokumentu

### OBSAH

Korouš, J. – Marek, P. <b>Odhad spolehlivosti prutu vystaveného korozi a určení plánu inspekci metodou SBRA</b>	161
Ficker, T. – Benešovský, P. <b>Negativní vlivy statické elektřiny v budovách</b>	167
Jokl, M. <b>Závažnost čistého prostředí – prach a kapalně aerosoly</b>	170
Valentová, J. – Valenta, P. <b>Vliv výstavby tunelů Mrázovka na režim proudění podzemní vody</b>	178
Kuráž, V. – Matoušek, J. – Litoš, J. <b>Měření vlhkosti a teploty v průběhu hydratace samozhutnitelného betonu</b>	184
Gabriel, P. <b>Úprava a obnova příbřežních zón labské vodní cesty</b>	187

6 • 2002

ročník 11

# 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

Korouš, J. – Marek, P.

**Odhad spolehlivosti prutu vystaveného korozi a určení plánu inspekci metodou SBRA** ..... 161

Ficker, T. – Benešovsky, P.

**Negativní vlivy statické elektřiny v budovách** ..... 167

Jokl, M.

**Závažnost čistého prostředí – prach a kapalně aerosoly** ..... 170

Valentová, J. – Valenta, P.

**Vliv výstavby tunelů Mrázovka na režim proudění podzemní vody** ..... 178

Kuráž, V. – Matoušek, J. – Litoš, J.

**Měření vlhkosti a teploty v průběhu hydratace samozhutnitelného betonu** ..... 184

Gabriel, P.

**Úprava a obnova příbřežních zón labské vodní cesty** ..... 187

## CONTENTS

Korouš, J. – Marek, P.

**Reliability Assessment of a Steel Bar Exposed to Corrosion and Determination of Inspection Intervals Using SBRA Method** ..... 161

Ficker, T. – Benešovsky, P.

**Negative Impact of Static Electricity in Buildings** .. 167

Jokl, M.

**The Importance of Clean Building Interiors – Dust and Liquid Aerosols** ..... 170

Valentová, J. – Valenta, P.

**The Impact of Mrázovka Tunnels on Groundwater Flow** ..... 178

Kuráž, V. – Matoušek, J. – Litoš, J.

**Measurement of Moisture and Temperature During Hydration of Self-Compacting Concrete** ..... 184

Gabriel, P.

**Adjustment and Restoration of Riverside Zones on the Labe Waterway** ..... 187

## INHALT

Korouš, J. – Marek, P.

**Schätzung der Zuverlässigkeit eines der Korrosion ausgesetzten Stabs und Festlegung eines Inspektionsplans mit der SBRA-Methode** ..... 161

Ficker, T. – Benešovsky, P.

**Negative Einflüsse statischer Elektrizität in Gebäuden** .. 167

Jokl, M.

**Über die Bedeutung einer sauberen Umwelt – Staub und Flüssigaerosole** ... 170

Valentová, J. – Valenta, P.

**Der Einfluss der Mrázovka Tunnel auf das Regime der Grundwasserströmung** ..... 178

Kuráž, V. – Matoušek, J. – Litoš, J.

**Messung der Feuchtigkeit und Temperatur im Verlauf des Abbindens selbstverdichtenden Betons** ..... 184

Gabriel, P.

**Anpassung und Erneuerung der Uferzonen an der Elbewasserstraße** ..... 187

Toto číslo bylo vydáno za podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR (projekt LP 0002).

## REDAKČNÍ RADA

### Předseda:

prof. Ing. Jiří STUDNÍČKA, DrSc.

### Místopředseda:

doc. Ing. O. GARTNER, CSc.

### Tajemníci:

doc. Ing. Milan KAŠPAR, CSc.  
doc. Ing. Jindřich ŠMEJČKÝ, CSc.  
doc. Ing. Jiří VÁŠKA, CSc.

### Členové:

Ing. Miroslav BAJER, CSc.  
doc. Ing. Pavel HÁNEK, CSc.  
Ing. Jiří HIRŠ  
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.  
Ing. Petr PLICHTA, CSc.  
prof. Ing. J. PROCHÁZKA, CSc.  
Ing. Jaroslav SOLAŘ  
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: 02/2435 4596, 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: 02/4177 0220, 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 2. 5. 2002. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

## Odhad spolehlivosti prutu vystaveného korozi a určení plánu inspekcí metodou SBRA

Ing. Jan KOROUSH

prof. Ing. Pavel MAREK, DrSc.

Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR  
Praha

Použitím pravděpodobnostní metody SBRA [1] je analyzována trvanlivost (tj. bezpečnost v závislosti na čase) osově zatíženého ocelového prutu vystaveného účinkům koroze. Vstupní parametry jsou zavedeny jako náhodné veličiny. Přířímou metodou Monte Carlo je podle SBRA určen časový průběh pravděpodobnosti poruchy  $P_f(t)$ . Na základě tohoto apriorního výpočtu jsou se zřetelem k zadané návrhové pravděpodobnosti  $P_d$  plánovány prohlídky konstrukce. V závislosti na výsledku prohlídky je upřesněn korozní model a korigována predikce funkce  $P_f(t)$ .

### Úvod

Rychlý rozvoj výpočetní techniky v poslední dekádě ovlivňuje vývoj a aplikace pravděpodobnostních metod posuzování spolehlivosti konstrukcí. Pozornost je v následujícím textu zaměřena na jednu z metod využívajících simulační techniku a vedoucích ke kvalitativně novému přístupu k posudku bezpečnosti, použitelnosti a trvanlivosti konstrukcí aplikovatelnému v projekční praxi.

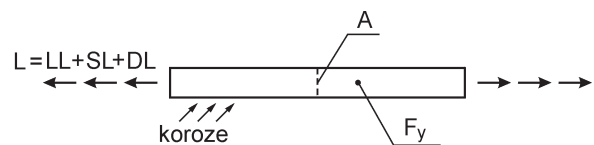
Simulační technika, jmenovitě přímá metoda Monte Carlo, a filozofie mezních stavů jsou základními nástroji metody SBRA (Simulation-Based Reliability Assessment Method) podrobně popsané v [1] a [2]. V porovnání s metodami posuzování spolehlivosti aplikovanými v současných normách představuje SBRA pravděpodobnostní koncepci založenou na vyjádření jednotlivých stochastických proměnných useknutými histogramy, přičemž projektant analyzuje interakci náhodně proměnných veličin přířímou metodou Monte Carlo a spolehlivost vyjadřuje porovnáním vypočtené pravděpodobnosti poruchy  $P_f$  s návrhovou pravděpodobností  $P_d$  požadovanou např. v ČSN 73 1401-1998 Příloha A. Použité počítačové programy (M-Star™, AntHill™, LoadCom™, ResCom™ a DamAc™ [2]) navazují na databáze odpovídajících histogramů.

Náhodná vstupní veličina je v přístupu SBRA obvykle vyjádřena součinem dvou parametrů. Nechť je např. náhodná veličina  $X$  vyjádřena výrazem  $X = X_0 \cdot X_{var}$ . Parametr  $X_0$  je deterministická hodnota, která určuje nominální, popř. maximální velikost veličiny  $X$ . Obvykle se tedy značí  $X_{nom}$ , popř.  $X_{max}$ . Parametr  $X_{var}$  vyjadřuje náhodnost dané veličiny a je reprezentován v metodě SBRA převážně useknutým histogramem [1] až [3], [5].

Použitelnost metody SBRA byla již demonstrována na stovkách příkladů, viz např. [1], [2], [4] a publikace uvedené na [www.itam.cas.cz/SBRA](http://www.itam.cas.cz/SBRA). Následující studie se zabývá posudkem spolehlivosti ocelového prutu vystaveného korozi. Metoda SBRA umožňuje výpočet časově závislé pravděpodobnosti poruchy  $P_f(t)$ , což dovoluje využití metody např. pro plánování termínů inspekcí konstrukcí, ke korekci předem určeného průběhu akumulace poškození prutu korozi a výsledně k upřesnění odhadu životnosti konstrukce.

### 1. Popis zadaného problému

Pro analýzu byl zvolen příklad jednoduchého konstrukčního dílce namáhaného tahem. Obrázek 1 schematicky naznačuje vstupní data k tomuto příkladu.



Obr. 1. Namáhání prutu kombinací osových sil

$DL$  – od stálého zatížení,  $LL$  – od dlouhodobého nahodilého zatížení,  $SL$  – od krátkodobého nahodilého zatížení,  $L$  – výsledné osově zatížení,  $A$  – plocha průřezu,  $F_y$  – mez kluzu

#### 1.1. Rozměry

Geometrickou charakteristikou prvku je v tomto případě plocha průřezu prutu  $A$ . Počáteční (nezkorodovaná) nominální plocha je  $A_{nom} = 450 \text{ mm}^2$  a s předpokládaným výrobním rozptylem v rozsahu  $\pm 10 \%$  nominální hodnoty. Proměnná hodnota plochy průřezu je vyjádřena rovnicí  $A = A_{nom} \cdot A_{var}$ , kde veličina  $A_{var}$  popisuje rozptyl plochy a je definována neparametrickým useknutým histogramem bezrozměrné veličiny. Tento histogram, označený v databázi jako AREA-S, je znázorněn na obr. 2.



Obr. 2. Histogram AREA-S slouží k vyjádření rozptylu plochy průřezu

#### 1.2. Účinek zatížení

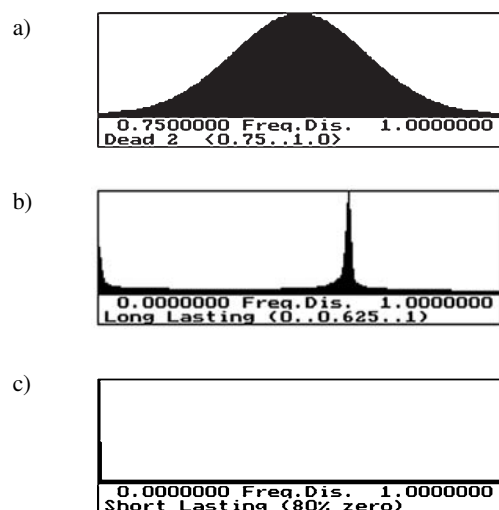
Účinek zatížení (vyjádřený osovou silou  $S$ ) sestává ze tří složek – z účinků stálého zatížení (síla  $DL$ ), dlouhodobého



nahodilého zatížení (síla  $LL$ ) a krátkodobého nahodilého zatížení (síla  $SL$ ). Každá složka je určena jako součin její maximální hodnoty a proměnného bezrozměrného koeficientu vyjadřujícího její rozptyl. Koeficienty jsou reprezentovány histogramy uvedenými v *tab. 1* a znázorněnými na *obr. 3*.

Tab. 1. Charakteristiky účinků zatížení vyjádřené maximálními hodnotami a neparаметrickými histogramy

Zatížení	Maximální hodnota účinku zatížení		Proměnná veličina	
	označení	hodnota [kN]	označení	histogram [2]
stálé	$DL_{max}$	50	$DL_{var}$	DEAD2
dlouhodobé nahodilé	$LL_{max}$	30	$LL_{var}$	LONG1
krátkodobé nahodilé	$SL_{max}$	40	$SL_{var}$	SHORT1



Obr. 3. Histogramy zatížení

a – DEAD2 stálé zatížení, b – LONG1 dlouhodobé nahodilé zatížení, c – SHORT1 krátkodobé nahodilé zatížení

Maximální hodnoty účinků stálého a dlouhodobého nahodilého zatížení jsou uvažovány jako časově závislé veličiny. V případě stálého zatížení je uvažován a modelován nárůst o 10 % na konci desetiletého provozu, tzn. že maximální hodnota osově síly je 55 kN pro čas  $t > 10$  let. Tento efekt lze vyjádřit rovnicí

$$DL_{max}(t) = DL_{max} + 0.1 \cdot DL_{max} \cdot \text{NEG}(10 - t) \text{ [kN]}, \quad (1)$$

kde  $\text{NEG}(10 - t)$  je speciální funkce dostupná v programech AntHill a M-Star a má význam:

- a)  $\text{NEG}(10 - t) = 1$  pro  $10 - t < 0$ , tj.  $10 < t$ ,  
 b)  $\text{NEG}(10 - t) = 0$  pro  $10 - t \geq 0$ , tj.  $10 \geq t$ . (2)

Výsledně je účinek stálého zatížení  $DL(t)$  dán součinem časově závislé maximální hodnoty  $DL_{max}(t)$  podle rovnice (1) a proměnné  $DL_{var}$  (*tab. 1*)

$$DL(t) = DL_{max}(t) \cdot DL_{var} \text{ [kN]}. \quad (3)$$

Pro dlouhodobé nahodilé zatížení je v zadání příkladu předpokládán monotónní nárůst maximální hodnoty osově

síly podle vztahu

$$LL_{max}(t) = LL_{max} \cdot (1 + 0.7 \cdot (t / t_{tot})^{1.5}) \text{ [kN]}, \quad (4)$$

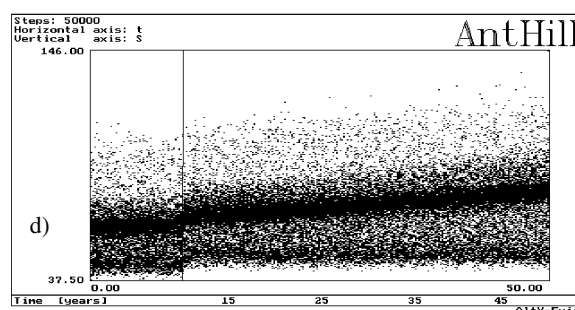
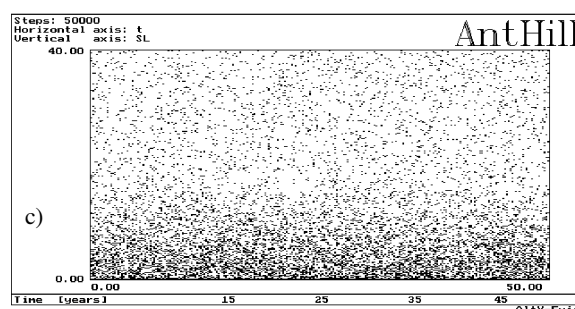
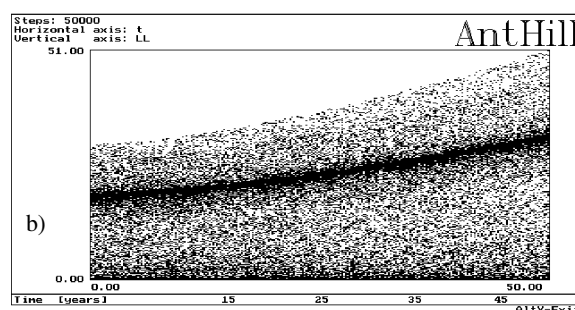
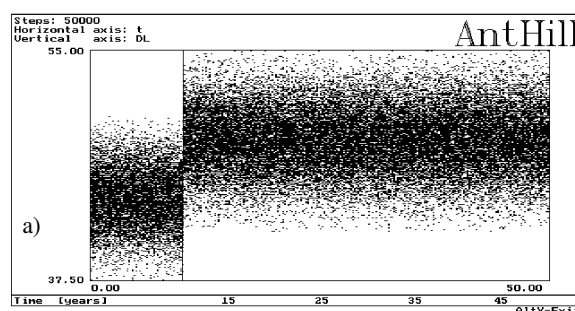
kde  $t_{tot} = 50$  let a pro  $t = t_{tot}$  je nárůst maximální hodnoty 70 % vzhledem k výchozímu stavu. Podobně jako u stálého zatížení je i zatížení dlouhodobé nahodilé vyjádřeno silou

$$LL(t) = LL_{max}(t) \cdot LL_{var} \text{ [kN]}. \quad (5)$$

Maximální hodnota krátkodobého zatížení  $SL$  je uvažována konstantní podle *tab. 1*.

Výslednou kombinaci vnějšího zatížení  $L(t)$  všech tří složek lze zapsat jako

$$L(t) = DL_{max}(t) \cdot DL_{var} + LL_{max}(t) \cdot LL_{var} + SL_{max} \cdot SL_{var} \text{ [kN]}. \quad (6)$$



Obr. 4. Rozptyl jednotlivých zatížení a jejich kombinace v závislosti na čase  $t$

a – stálé, b – dlouhodobé nahodilé, c – krátkodobé nahodilé, d – výsledná kombinace zatížení

Obrázek 4 znázorňuje rozptyl („mravenišť“) uvažovaných složek zatížení, jakož i jejich výslednou kombinaci v závislosti na čase  $t$ .

Odezva na zatížení  $L(t)$  je vyjádřena osovou silou  $S(t)$ . V tomto příkladě je  $L(t) = S(t)$ .

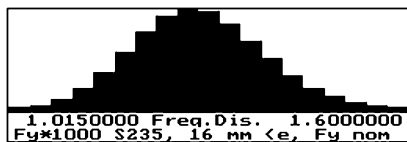
**1.3. Odolnost**

Součin meze kluzu  $F_y = F_{ynom} \cdot F_{yvar}$  a plochy průřezu  $A = A_{nom} \cdot A_{var}$  vyjadřuje časově nezávislou odolnost prutu  $R$  (tj. referenční hodnotu použitou při výpočtu pravděpodobnosti poruchy  $P_f$  prutu neoslabeného korozi). U prutu vystaveného účinkům koroze závislých na čase je v tomto příkladě vyjádřena odolnost  $R(t)$  výrazem

$$R(t) = R \cdot C(t) / 1\,000 \text{ [kN]}, \tag{7}$$

kde  $C(t)$  je součinitel zvoleného korozního modelu závislý na čase.

Nominální hodnota meze kluzu  $F_{ynom}$  pro použitý materiál je 235 MPa. Rozptyl meze kluzu je vyjádřen součinem  $F_{ynom}$  a bezrozměrného proměnného součinitele  $F_{yvar}$  reprezentovaného histogramem FY235A (obr. 5). Funkce



Obr. 5. Histogram FY235A

$C(t)$  vyjadřuje úbytek průřezové plochy v důsledku koroze. V tomto příkladě je k osvětlení aplikace metody SBRA použit jednoduchý model. Účinek koroze je zahrnut do výpočtu úbytkem průřezové plochy. Funkce  $C(t)$  je zavedena ve tvaru

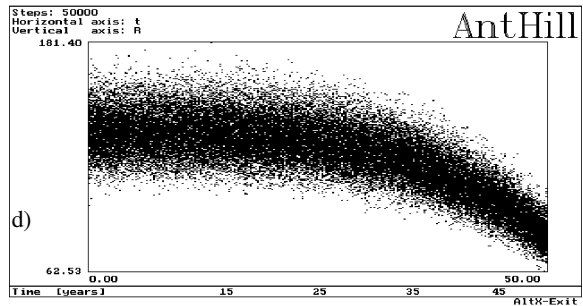
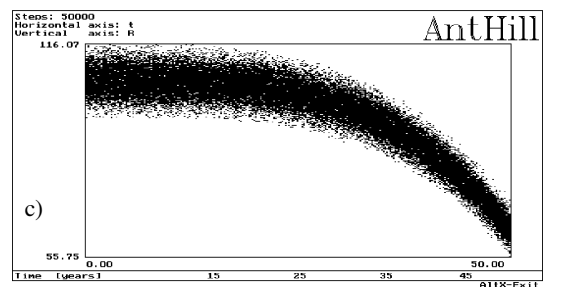
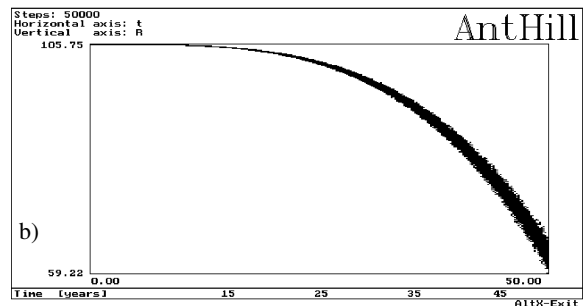
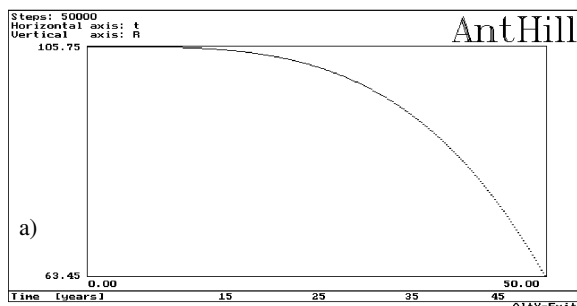
$$C(t) = 1 - K \cdot (t / t_{tot})^n, \tag{8}$$

kde  $K$  je koeficient definovaný jako  $K_{nom} \cdot K_{var}$ . Hodnota  $K_{nom}$  byla v daném příkladě zavedena zvolenou hodnotou 0,4 a proměnná  $K_{var}$ , která přibližně popisuje rozptyl koeficientu  $K$ , je uvažována  $\pm 10\%$  a vyjádřena histogramem AREA-S (jako v případě variabilní složky plochy průřezu  $A_{var}$  – viz obr. 2). Exponent  $n$  je zaveden deterministickou hodnotou 3,5.

Kombinací vztahů (7) a (8) lze vyjádřit výslednou odolnost prutu  $R(t)$  ve tvaru

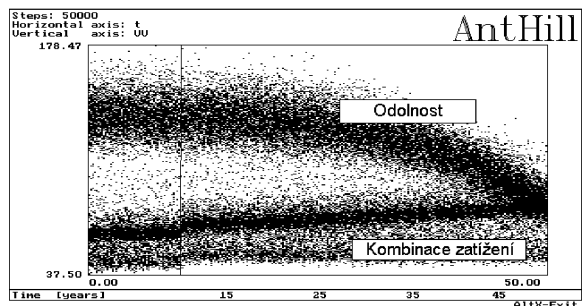
$$R(t) = F \cdot A \cdot C(t) = (F_{ynom} \cdot F_{yvar}) \cdot (A_{nom} \cdot A_{var}) \cdot (1 - (K_{nom} \cdot K_{var}) \cdot (t / t_{tot})^n). \tag{9}$$

Vliv proměnnosti koeficientu  $K$ , plochy průřezu  $A$  a meze kluzu  $F_y$  na odolnost  $R(t)$  je uveden na obr. 6.



Obr. 6. Vliv vstupních parametrů na odolnost, viz rovnice (7)  $a - K, A, F_y, n$  deterministické konstanty,  $b - K$  variabilní ( $A, F_y, n$  konstantní),  $c - K, A$  variabilní ( $F_y, n$  konstanty),  $d - K, A, F_y$  variabilní ( $n$  konstanta)

Vztah odolnosti prutu  $R(t)$  (obr. 6d) a výsledné kombinace účinků zatížení  $S(t)$  (obr. 4d) lze ke zvýšení názornosti řešení vyjádřit dvěma „proudy“ bodů, viz výstup z AntHillu na obr. 7.



Obr. 7. Odolnost  $R(t)$  a kombinace zatížení  $S(t)$  jako funkce času

**2. Apriorní odhad pravděpodobnosti poruchy**

Apriorní odhad pravděpodobnosti poruchy je určen pomocí časové funkce spolehlivosti  $RF(t)$ . Tato funkce je definována jako

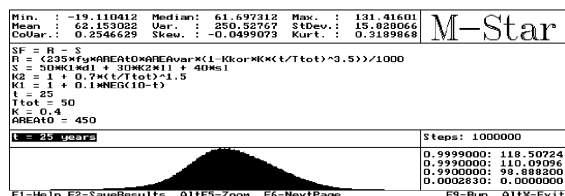
$$RF(t) = R(t) - S(t), \tag{10}$$

kde funkce  $R(t)$  a  $S(t)$  jsou dány rovnicemi (7) a (6). Pravděpodobnost poruchy konstrukčního prvku vyplývá z analýzy funkce  $RF(t)$  použitím simulační metody Monte Carlo. Pro každý časový okamžik  $t_i$  koresponduje pravděpodobnost poruchy  $P_f(t) = P[R(t) < S(t)]$ , tj. pravděpodobnost, že odolnost konstrukce  $R(t)$  je menší než  $S(t)$ , s ana-

logickou podmínkou vyjádřenou výrazem

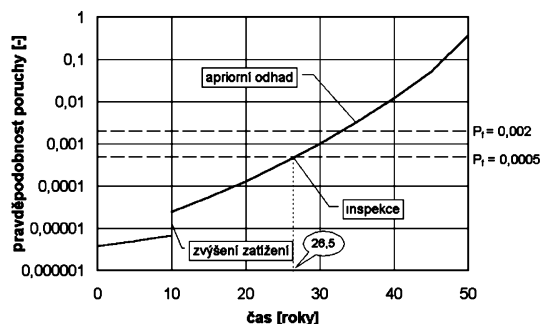
$$P_f(t) = P[RF(t) < 0]. \quad (11)$$

Rovnici (11) lze analyzovat programem M-Star. Při výpočtu se provádí postupně simulace pro zvolenou posloupnost časů  $t_i$  a získají se odpovídající histogramy funkce  $RF(t_i)$ . Například pro čas  $t_i = 25$  let je výsledek znázorněn na obr. 8. Právěpodobnost poruchy odpovídající tomuto času je  $P_f = 0,000283$ .



Obr. 8. Analýza funkce spolehlivosti  $RF(t)$  pro čas  $t = 25$  let programem M-Star

Výsledky výpočtů vedou k určení závislosti pravděpodobnosti poruchy  $P_f(t)$  na čase (obr. 9). Toto je „apriorní“ odhad. Termín „apriorní“ je použit vzhledem k tomu, že při analýze funkce spolehlivosti byla ve vztazích pro korozní model použita data, která byla uvažována (odhadnuta apod.) v okamžiku uvedení konstrukce do provozu. Korekci korozního modelu lze provést na základě vyhodnocení výsledků prohlídky konstrukce. Prohlídka by měla poskytnout informace o skutečném stavu zkoumaného prutu konstrukce v době prohlídky, což by mělo vytvořit podklad pro korekci výchozích předpokladů a zpřesnění parametrů korozního modelu, a tím i časového průběhu pravděpodobnosti poruchy prutu. Je vhodné připomenout, že výstižné zhodnocení stavu konstrukce vystavené korozi je pro inspekční týmy velice náročný úkol, jehož zvládnutí je třeba věnovat zvýšenou pozornost.



Obr. 9. Odhad pravděpodobnosti poruchy  $P_f(t)$  a návrh času první inspekce

### 3. Plán inspekcí sestavený na základě odhadu pravděpodobnosti poruchy

Čas  $t_1$  první prohlídky konstrukce může být stanoven např. na základě odhadu pravděpodobnosti poruchy. Blíží-li se vypočtená pravděpodobnost poruchy k návrhové pravděpodobnosti poruchy např.  $P_d = 0,002$  (stanovené provozovatelem zařízení, normou, či jiným předpisem) je třeba uskutečnit inspekci a na základě výsledků této inspekce rozhodnout o dalším provozu konstrukce. V předloženém příkladě je použito následující kritérium: kontrolu konstrukčního prvku je nutno provést tehdy, dosáhne-li hodnota pravděpodobnosti poruchy (vypočtená na základě apriorních předpokladů, dat či odhadů) jedné čtvrtiny hodnoty návrhové pravděpo-

dobnosti. To znamená, že inspekce konstrukce se naplánuje na čas, kdy apriorní vypočtená pravděpodobnost poruchy má dosáhnout této hodnoty. Podle údajů v obr. 9 je v souladu se zavedenými předpoklady čas první inspekce  $t_1 = 26,5$  let po uvedení konstrukce do provozu.

### 4. Korekce korozního modelu

Informace, které jsou výsledkem inspekce konstrukce, lze pro korekci modelu použít např. takto:

a) úbytek plochy průřezu zjištěný při kontrole konstrukčního prvku budiž označen  $\Delta A$ ;

b) měřením plochy průřezu po 26,5 letech bylo zjištěno, že maximální úbytek plochy průřezu způsobený korozi je  $\Delta A_{\max} = 8 \text{ mm}^2$ . Vzhledem k tomu, že je tato hodnota jistě ovlivněna m. j. přesností měření, volbou místa měření, chybějící informací o skutečné původní velikosti plochy na počátku atd., je zcela na místě předpokládat, že tento výsledek bude zatížen jistou chybou. Tuto nepřesnost lze zohlednit zjednodušeně např. tím, že bude úbytek plochy průřezu  $\Delta A$  považován za náhodnou proměnnou. Za předpokladu, že zaznamenaná hodnota úbytku  $\Delta A$  má exponenciální rozdělení, lze vyjádřit úbytek plochy průřezu  $\Delta A$  ve formě

$$\Delta A = \Delta A_{\max} \cdot \Delta A_{\text{var}} = \Delta A_{\max} \cdot (1 + (EX)/20). \quad (12)$$

Náhodný parametr  $EX$  je popsán histogramem EXPON1 (obr. 10). Hodnota  $EX$  se podle tohoto obrázku pohybuje od 0 do 5. Dosazením do vztahu (11) se tedy hodnota  $\Delta A$  bude za daných předpokladů pohybovat v rozmezí 8 až 10 mm<sup>2</sup>.



Obr. 10. Useknutý histogram EXPON1  $\mu = 1, s = 1$

Rovnice (12) může být nyní zahrnuta do výpočtů pravděpodobnosti poruchy a může být určen nový odhad (model) pro čas  $t > 26,5$  let. K tomu lze využít vztah pro odolnost prutu (9). Degradace korozi je vlastně představována úbytkem nosné plochy, takže podle vztahu (9) lze časovou závislost plochy průřezu  $A(t)$  vyjádřit

$$A(t) = (A_{\text{nom}} \cdot A_{\text{var}}) \cdot (1 - (K_{\text{nom}} \cdot K_{\text{var}}) \cdot (t / t_{\text{tot}})^n). \quad (13)$$

Jelikož je aktuální plocha průřezu  $A(t)$  dána rozdílem původní plochy a jejím úbytkem, tj.  $A(t) = A(t=0) - \Delta A(t)$ , lze úbytek  $\Delta A(t)$  vyjádřit z rovnice (13) takto

$$\Delta A(t) = (A_{\text{nom}} \cdot A_{\text{var}}) \cdot (K_{\text{nom}} \cdot K_{\text{var}}) \cdot (t / t_{\text{tot}})^n. \quad (14)$$

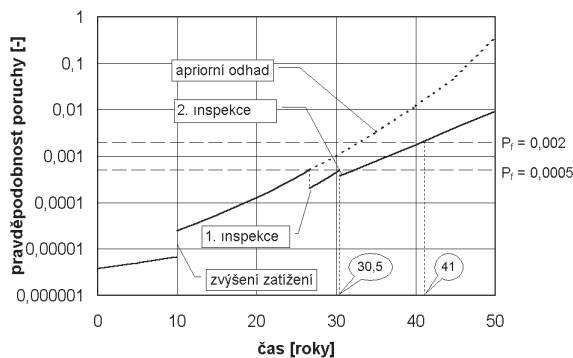
Rovnice (12) a (14) je pak možné použít k určení korigovaných hodnot korozního modelu. Exponent  $n$  v rovnici (14), jako deterministický parametr, lze určit podle vztahu s využitím nominálních, resp. maximálních hodnot vstupních veličin. Veličiny s indexem var jsou v tomto případě rovny jedné. Korigovaná hodnota exponentu  $n$  je označena jako  $n_c$ , kterou lze snadno vyjádřit z rovnice (14) následovně

$$n_c = \frac{\log \frac{\Delta A_{\max}}{K_{\text{nom}} \cdot A_{\text{nom}}}}{\log \frac{t_i}{t_{\text{tot}}}} = \frac{\log \frac{8}{0,4 \cdot 450}}{\log \frac{26,5}{50}} = 4,95. \quad (15)$$

Obdobně lze též modifikovat proměnnou  $K_{var}$ , přesněji řečeno, její histogram. S pomocí rovnice (16) je vypočtena při každém simulačním kroku hodnota  $K_{var,c}$  (veličiny  $A_{nom}$  a  $A_{var}$  jsou popsány v oddíle 2.1).

$$K_{var,c} = \frac{\Delta A_{max} \cdot \Delta A_{var}}{A_{nom} \cdot A_{var} \cdot \left(\frac{t_i}{t_{tot}}\right)^{n_c}} \quad (16)$$

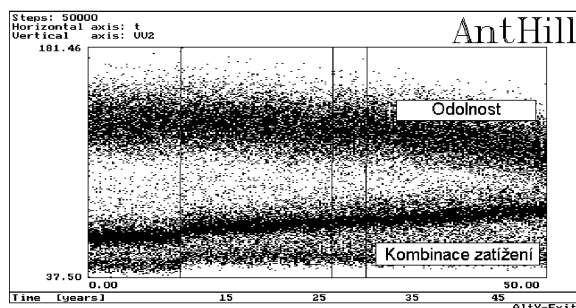
Takto opravené vstupy poskytnou nové hodnoty funkce spolehlivosti  $RF(t)$  pro dobu provozu  $t > 26,5$  let. Výsledky jsou znázorněny na obr. 11, z něhož vyplývá, že odhad pravděpodobnosti poruchy byl konzervativní a korigované hodnoty korozního modelu jsou nižší.



Obr. 11. Oprava odhadu pravděpodobnosti poruchy

Podobně jako v předchozím případě lze naplánovat čas dalších prohlídek konstrukce. Aplikací stejného postupu vyjde, že další kontrola by měla být provedena v době  $t_i = 30,5$  let od zahájení provozu. Využijí-li se opět výsledky druhé kontroly, lze opětovně korigovat korozní model a lze provést další predikci pravděpodobnosti poruchy. Obecně řečeno, tento postup je možné opakovat podle potřeby vícekrát. Ve zde uvedeném příkladě by inspekční intervaly pro čas  $t > 30,5$  let byly poměrně krátké. Vzhledem k tomu, že hlavním cílem studie je návrh metodiky simulačních postupů při posuzování trvanlivosti, nebyly již další intervaly prohlídek určovány.

Lze ještě poznamenat, že všechny naznačené opravy odpovídají modifikaci odolnosti konstrukčního prvku  $R(t)$  vzhledem k oslabení korozi. Závislost odolnosti  $R(t)$  na čase je tedy změněna, což je evidentní z porovnání obr. 7 a obr. 12.



Obr. 12. Časová závislost opravené odolnosti  $R(t)$  a kombinace zatížení  $S(t)$

## 5. Závěr

Jednoduchý příklad posudku bezpečnosti taženého ocelového prutu vystaveného účinkům koroze naznačuje možnosti metody SBRA při hodnocení trvanlivosti (spole-

hlivosti závislé na čase) konstrukcí a při plánování prohlídek. Intervaly prohlídek mohou být stanoveny na základě analýzy pravděpodobnosti poruchy zvoleného konstrukčního prvku. Vzhledem k tomu, že prohlídky konstrukce mají přínést cenné informace o skutečném stavu konstrukce, byl ve studii naznačen jeden z postupů vedoucích k zahrnutí získaných informací do následné analýzy a jejich využití ke zpřesnění apriorních odhadů.

V uvedeném příkladě jsou na základě výpočtů navrženy dvě prohlídky konstrukčního prvku. I tento malý počet navržených inspekci naznačuje možnosti předloženého řešení, např. to, že za příhodných podmínek lze očekávat prodloužení předpokládané životnosti konstrukce. Podle obr. 11 je po dvou kontrolách stanovena životnost prvku (odpovídající hodnotě návrhové pravděpodobnosti  $P_d = 0,002$ ) celkem 41 let, což je nárůst v porovnání s hodnotou 33 let pro případ, kdy by byl uvažován pouze odhad pravděpodobnosti poruchy bez inspekci.

Navržený postup je závislý na použitém modelu agresivnosti koroze. K ověření parametrů, které nejvíce ovlivňují spolehlivost konstrukčního prvku, je vhodné provést citlivostní analýzu, dále porovnat různé korozní modely včetně údajů z literatury apod. Přístup SBRA vytváří předpoklady pro použití názorných komplexních modelů. Výrazný vliv na výsledek rozboru trvanlivosti má především výstižnost dat získaných při prohlídce konstrukce. V uvedeném příkladě byl zvolen konzervativní apriorní odhad v porovnání se skutečností. Obdobně lze očekávat, že výsledky inspekce mohou ve skutečných případech upozornit na podcenění degradačního procesu, tj. na zkrácení životnosti odpovídající požadované návrhové pravděpodobnosti. V takovém případě je nutno přerušit provoz, zajistit výměnu oslabeného dílce, snížení zatížení apod. K názornému sledování rozdílu mezi odhadem akumulace poškození prutu korozi a korigovanou akumulací poškození (na základě výsledků prohlídek) může posloužit porovnání obr. 7 a obr. 12 (získaných metodou SBRA a odpovídajícím programem AntHill, tj. technikou „mraveniště“).

**Příspěvek byl vypracován v rámci řešení grantových projektů č. 103/01/1410 a č. 105/01/0783 GA ČR.**

## Literatura

- [1] Marek, P. – Guštar, M. – Anagnos, T.: Simulation-Based Reliability Assessment for Structural Engineers. Boca Raton, CRC Press 1995, 365 p.
- [2] Probabilistic Assessment of Structures using Monte Carlo Simulation. Basics, Exercises, Software. Marek, P. – Brozzetti, J. – Guštar, M. (editors). ÚTAM AV ČR 2001, 472 p. + CD.
- [3] Guštar, M. – Marek, P. – Popela, P.: Ověření spolehlivosti ocelové konstrukce pravděpodobnostním výpočtem (Část 3 – Simulace Monte Carlo = mocný nástroj). Stavební obzor, 7, 1998, č. 3, s. 76 – 79.
- [4] Korouš, J. – Marek, P.: Probabilistic Modelling of Corrosion and Inspection using SBRA Concept. [Proceedings], International Workshop "Risk Based Inspection and Maintenance Planning". Zürich, 2001, pp. 67 – 74.
- [5] Soubor článků věnovaných SBRA. Stavební obzor č. 2, 10/1997, č. 1, 3, 5/1998, č. 2, 6/1999, č. 6, 10/2000.

**Korouš, J. – Marek, P.: Reliability Assessment of a Steel Bar Exposed to Corrosion and Determination of Inspection Intervals Using SBRA Method**

**Durability of a steel bar exposed to variable load combination and to corrosion is evaluated using SBRA (Simulation-Based Reliability Assessment) method.**

Input quantities are assumed to be random variables. Using the direct Monte Carlo simulation technique and the SBRA method, the time dependent probability of failure  $P_f(t)$  is calculated. Considering the a priori calculation of the time dependent probability of failure, inspection intervals can be proposed. The obtained data resulting from the inspection are used for modification of corrosion model parameters and consecutively for correction of function  $P_f(t)$ .

**Korouš, J. – Marek, P.: Schätzung der Zuverlässigkeit eines der Korrosion ausgesetzten Stabs und Festlegung eines Inspektionsplans mit der SBRA-Methode**

Durch Anwendung der Wahrscheinlichkeitsmethode SBRA [1] wird die Dauerhaftigkeit (d.h. die Sicherheit in Abhängigkeit von der Zeit) eines axial belasteten Stahlstabs analysiert, der Korrosionswirkungen ausgesetzt ist. Die Ausgangsparameter wurden als Zufallsgrößen eingeführt. Durch die direkte Monte-Carlo-Methode wird nach der SBRA der zeitliche Verlauf der Wahrscheinlichkeit einer Störung  $P_f(t)$  bestimmt. Auf Grund dieser A-priori-Berechnung der Wahrscheinlichkeit einer Störung werden unter Berücksichtigung der vergebenen Entwurfswahrscheinlichkeit  $P_d$  augenscheinliche Überprüfungen der Konstruktion geplant. In Abhängigkeit von den Ergebnissen der augenscheinlichen Überprüfungen wird das Korrosionsmodell präzisiert und die Prädiktion der Funktion  $P_f(t)$  präzisiert.

## • veletrhy

### Denkmal

**30. října – 2. listopadu 2002, Lipsko**

Jako místo mezinárodního setkání pro památkáře, restaurátory, architekty, plánovače, kunsthistoriky, archeology, muzeology, řemeslníky, komunální politiky, investory a vlastníky památkových objektů je Lipsko ideálním místem, kde lze prezentovat odborné veřejnosti produkty, znalosti a know-how. Na pátém evropském veletrhu tohoto oboru očekávají pořadatelé na 580 vystavovatelů z Evropy i zámoří. Také v letošním roce půjde o kombinaci výstavy a mezinárodního kongresu, zvláštních přehlídek a exkurzí, burz a informačních center, jejichž hlavním tématem bude průmyslová architektura. Sdružení památkové péče organizuje například v rámci tohoto tématu kolokvium a výstavu. Jeden seminář pracovní skupiny stavebních techniků se bude věnovat problematice poškození vlhkostí. Také během veletržní akademie se bude jednat o problémech průmyslové výstavby a památkové péče. Studenti a absolventi z oborů architektury a památkové péče zde budou prezentovat své koncepty nového využití průmyslových staveb ve středním Německu. Na dorost se obrací Fórum mládeže, na kterém se představí vzdělávací instituce pro restaurátory a řemeslníky jak z Německa, tak ze zahraničí.

Ve stejném termínu se bude konat již třetí kongresový veletrh EUREGIA – regionální vývoj v Evropě a HolzTec, odborný veletrh pro zpracování dřeva a vnitřní výstavbu.

*Tisková informace*

## • dizertace



### Numerical Modelling of the Long-Term Performance of Concrete

*Ing. Martin Kulhavý*

V dizertaci se sledují dlouhodobé deformace betonových konstrukcí. V teoretické části se uvádějí modely pro predikci dotvarování a smršťování betonu a výsledky se porovnávají s experimenty dosaženými na betonových válci uložených v teplotně vlhkostní klimatizační komoře. Postup se aplikuje na výpočet kolektoru.

### Aplikace databázových technologií v digitální kartografii

*Ing. Martin Soukup*

Práce je zaměřena na aplikace databází s důrazem na internetové technologie. Dizertant vypracoval atlas orientačních map, informační systém místních jmen a provedl generalizaci digitální katastrální mapy pro vyhledávání lokalit při dálkovém přístupu k datům.

### Využití paralelních výpočtů v geodézii

*Ing. Martin Jeřábek*

Autor se zaměřil na využití paralelních výpočtů v geodézii a kartografii a jako první u nás využívá metodu LTS, kterou obohatil o dva typy genetických algoritmů. Na úlohách dálkového průzkumu Země prokázal možnosti vyplývající z paralelního zpracování.

### Behaviour of Continuous Composite Girders Prestressed by External Unbonded Deviated Tendons

*Ing. Mohamed Abd El Azis Safan*

V dizertaci je navržen model predikce chování sřaženého předpjatého nosníku včetně vlivu předpětí a vzniku trhlin. Model je porovnán s experimentem. Výsledkem práce je programový modul do rozsáhlejšího programu.

### Matematické modelování objektů stokové sítě

*Ing. Jaroslav Pollert*

Řešení problematiky je založeno na Reynoldsově přístupu k řešení Navierových - Stokesových rovnic. Pro simulační modelování byl použit programový prostředek FLUENT. Dizertace přinesla původní výsledky týkající se přístupu a metodiky tvorby geometrie složitých hydraulických objektů a vytvoření výpočetní mřížky. Komplexní program byl implementován pro řešení podmínek množství i jakosti vody.

### Viskoelastické vlastnosti ortotropního biokompozitu

*Ing. Lenka Melzerová*

Práce pojednává o experimentálním a analytickém ověření viskoelastických vlastností stehenní kosti člověka se zřetelem k věku, pohlaví a velikosti fyziologického zatížení. Předkládá se matematický model chování kostní tkáně při krátkodobém i dlouhodobém dynamickém zatížení. Výsledky najdou uplatnění v klinické i kriminalistické praxi a v kosmonautice.

# Negativní vlivy statické elektřiny v budovách

*doc. RNDr. Tomáš FICKER, DrSc.  
Mgr. Petr BENEŠOVSKÝ  
VUT – Fakulta stavební  
Brno*

V příspěvku jsou diskutována možná rizika statické elektřiny ve vnitřních prostorech budov. V této souvislosti je věnována zvláštní pozornost podlahovým konstrukcím a jejím nášlapným vrstvám.

## Úvod

Elektrostatické efekty, tj. působení elektrického pole znehybněných elektrických nábojů v jejich okolí, nejsou novým jevem. Projevy statické elektřiny znali již antičtí Řekové. V průběhu další doby se ukázalo, že projevy tohoto působení mohou být jak příznivé (např. využití v xerografii, v nástřikovém nanášení barev), tak nepříznivé (nebezpečí jiskry, znehodnocení technologických procesů, dráždění organismu). Tento příspěvek je věnován zejména nepříznivým vlivům statické elektřiny v budovách a jejich bezpečnostním rizikům.

Protipožární opatření v budovách jsou nezbytnou součástí jejich bezpečného provozu. V případech, kdy má budova sloužit rizikovému provozu, např. výrobě či skladování těkavých látek, vystupuje nutnost protipožárních opatření zvlášť naléhavě do popředí. V rizikových provozech může dojít k iniciaci požáru či výbuchu nejen selháním lidského faktoru, ale také opomenutím fyzikálních zákonitostí, na které by mělo být pamatováno i během projektových prací. Náhornou ilustrací tohoto požadavku jsou např. rizika spojená s výskytem statické elektřiny, která každoročně v celosvětovém měřítku způsobují značné škody nejen jako zdroj požárů a výbuchů v průmyslových prostorech, ale také jako znehodnocující činitel mnoha průmyslových výrobků při jejich běžném užívání. Rovněž nelze pominout nepříznivé vlivy statické elektřiny na pohodu vnitřního klimatu budov a s tím spojené zdravotní ovlivnění lidí. Celý tento komplex problémů je přitom vyvolán na první pohled velmi jednoduchou fyzikální zákonitostí, tj. schopností elektricky nevodivých materiálů udržovat na svém povrchu po určité době elektrické náboje, které svým statickým polem zasahují i do okolí. Dostoupí-li jejich plošná hustota kritické meze, dochází neodvratně k povrchovému mikrovýboji často pozorovanému vizuálně nebo akusticky, a rovněž nelibě pocíťovanému lidským organismem, avšak v každém případě s tragickými následky, pokud je okolí naplněno výbušnými parami nebo hořlavým materiálem.

## Statická elektrizace materiálů

Podstatou elektrizace těles je porušení jejich nábojové neutrality. Existuje několik způsobů elektrizace. Tuhá tělesa, kapaliny a jejich dvoufázové systavy se mohou nabíjet kontaktováním a následným rozdělením. Tuhá dielektrika se mohou nabíjet koronovým výbojem, rychlou změnou teploty nebo třením. Vodiče i dielektrika mohou být elektrizována indukci, resp. polarizací.

Pro elektrizaci kontaktem existuje triboelektrická řada. Materiály jsou seřazeny v pořadí, které respektuje polaritu a

velikost náboje vzniklého kontaktováním, a to tím způsobem, že materiály ležící více vlevo se nabíjejí kladným nábojem při kontaktu s materiálem ležícím více vpravo, přičemž vzniklé náboje jsou tím větší, čím příslušné materiály leží v řadě dále od sebe.

Zvláštním případem elektrizace je nabíjení částic látky, které jsou dispergovány v jiné látce, např. nabíjení částic jedné kapaliny uvnitř jiné kapaliny nebo prachových částic v kapalině, ale také dispergovaných kapalin v plynech, nebo prachových částic v plynech. Většinou jde o dvoufázové systémy, v nichž malé dispergované částice třením o druhou fázi na sebe váží elektrický náboj.

Způsoby elektrizace můžeme tedy shrnout do čtyř základních skupin – elektrizace kontaktem, třením, primárním výbojem a indukci (resp. polarizací). Pro účinnou ochranu před bezpečnostními a zdravotními riziky statické elektřiny je především nutné určit, který z těchto mechanismů v daném případě převažuje, a na základě toho volit odpovídající ochranná opatření.

## Stavební materiály a statická elektřina

Existuje celá řada problematických materiálů používaných ve stavebnictví, zejména v interiérech budov, které s sebou mohou přinášet nejen bezpečnostní rizika statické elektřiny, ale také zdravotní potíže vyplývající z působení elektrických nábojů na lidský organismus. Zde se soustředíme pouze na vybranou třídu interiérových prvků, a to povrchy podlah.

Na trhu s podlahovinami je k dispozici velké množství různých nášlapných vrstev podlah, především:

- **koberce** – vyráběné nejen z přírodních materiálů (vlny), ale často také z materiálů syntetických (hlavně polyamidu, polypropylenu, jejich kombinace, popř. polyakrylonitrilu);
- **linolea** – vyrábějí se z lněných vláken, dřevité moučky, kalfuny, vápence a dalších, především přírodních materiálů;
- **PVC** – polyvinylchlorid, známý termoplast;
- **parkety a vlysy** – tradiční podlahy z masivního dřeva;
- **korek** – přírodní materiál;
- **laminátové podlahy** – ve formě několikavrstvých desek obvykle se systémem per a drážek, svrchní ochrannou vrstvou, nejspodnější vrstvou bývá vysoce odolný laminát (HPL), střední vrstvy tvoří dekor a dřevovláknitá deska (HDF);
- **dláždice** – z přírodního kamene (žuly, mramoru) nebo pálené keramiky;
- **speciální podlahy** – do operačních a počítačových sálů, tělocvičen, některých výrobních provozů apod.

Z přehledu je patrné, že velká část podlahovin (PVC, koberce, laminát) se vyrábí z organických amorfních látek (polymerů), které se téměř bez výjimky vyznačují vysokou rezistivitou (řádově až  $10^{20} \Omega\text{m}$ ). Vysoká rezistivita je charakteristická také pro keramiku a ani přírodní materiály jako dřevo či korek nejsou typickými vodiči.

Módním interiérovým prvkem posledních let jsou laminátové plovoucí podlahy, jejichž povrch bývá z vysoce rezistivního materiálu (např. melaninové pryskyřice apod.). Ma-



Obr. 1. Větvené povrchové elektrostatické náboje [2]

terialy tohoto druhu, pokud nejsou ošetřeny některým anti-statickým činidlem, jsou velmi náchylné k povrchové akumulaci elektrostatického náboje. Tímto nedostatkem trpí nejen plovoucí podlahy, ale i podlahy povlakové, tj. podlahové povlaky z PVC, pryže nebo umělého textilu (koberce kovralového typu obsahující polymerní látky, jako jsou polyamidy a polypropyleny). Při chůzi po podlaze s vysoce rezistivním povrchem může lidské tělo přijmout značně velký elektrický náboj. V literatuře se uvádí [1], že elektrický potenciál lidského těla při takové chůzi může dosahovat 10 až 15 kV (elektrická kapacita lidského těla se pohybuje kolem 200 pF, takže elektrický náboj dosahuje řádově velikosti mikrocoulombu). V důsledku toho může vzniknout jiskrový výboj se značným proudem, i když s krátkým trváním ( $10^{-8}$  až  $10^{-9}$  s). Zda skutečně dojde k přeskočení mikrojiskry ovšem záleží také na dalších faktorech, jako je vlhkost ovzduší, vodivost obuvi apod. Není třeba zdůrazňovat, že mikrovýboj tohoto druhu ve výbušném nebo hořlavém prostředí může znamenat téměř jistou katastrofu.

Zdravotní rizika spojená se statickou elektřinou nejsou sice tak okamžitá a přímočará jako možnost exploze či požáru v nebezpečných prostorech, avšak vzhledem k plošnému působení na velkou část populace znamenají rovněž



Obr. 2. Preparované povrchové elektrostatické náboje [2]

velké hospodářské ztráty. Pomineme-li „diskutabilní“ nepříznivý účinek samotného elektrického pole povrchových nábojů na lidský organizmus, pak rozhodně nelze zanedbat jejich prokazatelně nepříznivý vliv na alergiky nebo lidi náchylné k alergiím. Povrchové náboje totiž elektricky přitahují drobné prachové částice a hromadí je na povrchu nosné látky, v našem případě podlahy. Elektrostatické vazby jsou natolik silné, že často ani pečlivé setření vlhkou stěrkou povrchové částice zcela neodstraní. Ty se naopak mohou uvolnit při chůzi, a být tak zdrojem neustálých alergických potíží. Na obrázcích 1 a 2 je vidět povrchové náboje ve formě strimerního větvení na povrchu polyetylentereftalátové fólie. Náboj byl zviditelněn [2] díky elektrostaticky přilnutým kontrastním prachovým částicím mikroskopické velikosti.

### Metody eliminující statickou elektřinu

Je třeba zdůraznit, že neexistuje univerzální metoda odstranění statické elektřiny. V každém případě je však třeba rozpoznat dominující mechanismus elektrizace a podle typu nabíjení volit vhodné opatření. Metody můžeme rozdělit zhruba na dvě velké skupiny podle toho, zda jde o ochranu elektricky vodivých látek, nebo elektrických izolantů.

U elektricky vodivých látek volíme různé typy uzemnění. Z hlediska elektrostatiky se vodivý objekt považuje za uzemněný, je-li jeho elektrický odpor menší než  $1 \text{ M}\Omega$ . Tato hodnota byla stanovena na základě průmyslových potřeb. V průmyslu se totiž vyskytují elektrické proudy vzniklé z elektrizace řádově  $10^{-6}$  až  $10^{-4}$  A, které na odporu  $1 \text{ M}\Omega$  dávají napětí  $U = RI = 10^6 \cdot 10^{-4} = 100 \text{ V}$ , což je hodnota ležící bezpečně pod minimální zápalnou hodnotou Paschenova napětí pro iniciaci vzdušné jiskry ( $\sim 350 \text{ V}$ ). Lidské tělo je z hlediska elektrostatiky vodivým objektem. K tomu je třeba přihlížet jak při stanovování bezpečnostních kritérií v průmyslových objektech, tak v občanských bytech. O akumulaci značného elektrického náboje na povrchu lidského těla při chůzi po podlaze se silně rezistivním umělým povrchem jsme se zmínili již v předešlém odstavci. Ochrana proti tomuto jevu je použití zvodivých (antistatických) povrchů u umělých podlah a ve zvlášť kritických provozních místnostech také použití antistatické obuvi (za horní limit rezistance takové obuvi se považuje hodnota  $1,5 \cdot 10^6 \Omega$ ). Větší snížení rezistance obuvi naráží na opačný požadavek elektrické bezpečnosti v elektroprovozech s pracovním napětím vyšším než 250 V.

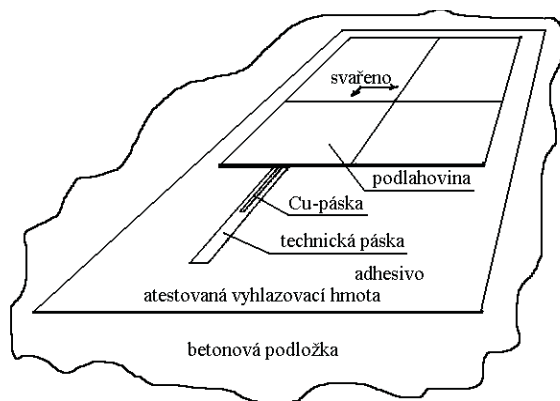
U elektrických izolantů mohou náboje  $Q$  relaxovat v čase  $t$  dvěma způsoby – objemově, nebo povrchově. V obou případech exponenciálně, ale s různou relaxační dobou  $\tau$

$$Q = Q_0 \exp(-t / \tau) . \quad (1)$$

Aby se náboj nahromaděný ať již v objemu, nebo na povrchu izolantu rychle rozplynul, je třeba dosáhnout toho, aby relaxační konstanta  $\tau$  byla co nejmenší. Jednou z nejjednodušších metod, jak toho dosáhnout, je zvýšení relativní vlhkosti okolního vzduchu. Dojde tím ke zvýšení vlhkosti povrchu izolantu, v důsledku čehož se zvýší vodivost a hodnota relaxační konstanty klesne. Tento jev funguje při relativní vlhkosti vyšší než 30 % a dosahuje maxima při 65 až 70 %. Vytvoření vlhkého povlaku na povrchu rovněž záleží na tom, zda je povrch látky hydrofilní (smáčivý), nebo hydrofobní (nesmáčivý). Často se používá i metoda antistatických aditiv. Malé množství (obvykle zlomky procent) se přidává k polymerní látce, čímž se mírně zvýší její elektrická vodivost [3] a sníží relaxační konstanta  $\tau$ . Existují vnitřní a vnější aditiva. Vnější se aplikují, většinou mecha-

nicky, na povrch izolantu; jejich působení je však časově velmi omezené. Vnitřní aditiva [4] se vpravují do látky (během její přípravy), tzn. že zvyšují její objemovou vodivost. Časem však difundují k povrchu, čímž zvyšují i povrchovou vodivost. Působení většiny objemových aditiv je rovněž časově omezené, avšak jejich životnost bývá podstatně delší než u povrchových aditiv.

Zvláštní kapitolu tvoří umělé materiály používané pro zhotovení elektrostaticky vodivých podlah umísťovaných ve speciálních prostorách, např. v operačních a počítačových sálech, elektronických laboratořích. U těchto materiálů se musí dosáhnout trvalého elektrostatického zvodivění předepsaného ČSN 32 2030. K lepení nášlapné vrstvy se používá vodivých lepidel. Nášlapná vrstva se pokládá na vodivou síť vytvořenou z měděných pásových vodičů (obr. 3), které jsou uzemněny. Správná funkce elektrostaticky vodivé podlahy by měla být ověřena státní zkušebnou.



Obr. 3. Antistaticky vodivá podlaha [5]

## Závěr

Z předešlého výkladu vyplývá, že hlavní rizika statické elektřiny jsou trojího druhu – bezpečnostní, zdravotní a technologická. Bezpečnostní rizika s sebou přinášejí nebezpečí požáru nebo výbuchu v prostorech vznětlivých nebo výbušných. Zdravotní rizika jsou spojena s nepříznivým ovlivňováním lidského organismu drážděním pokožky, změnou hodnot biologických potenciálů apod. Technologická rizika představují především výrobní ztráty, např. znehodnocování citlivých výrobků, jako jsou fotografické emulze, elektronické systémy a zařízení nebo rušení elektrických signálů. Eliminace elektrických nábojů je tedy nezbytná, mají-li být vnitřní prostory budov bezpečné, hygienicky nezávadné a přijatelné pro technologicky náročné výrobní postupy. Zvláštní antistatické ošetření je třeba provádět ve speciálních prostorách operačních a resuscitačních sálů, elektronických a počítačových laboratořích, výroben výbušných a vznětlivých látek apod. Zde je nutné antistatické ošetření rezistivních povrchů, na nichž by mohlo docházet k hromadění elektrického náboje, ať již lidskou činností, nebo v důsledku výrobního procesu. K těmto kritickým povrchům patří zejména nášlapné vrstvy podlah, jejichž antistatickému zvodivění musí být věnována zvláštní péče.

Na uvedené zásady bezpečnosti, hygieny a technologické nezávadnosti vnitřních prostor by mělo být pamatováno již v projektové fázi, neboť dodatečná opatření, realizovaná náhradními antistatickými pomůckami, mají většinou jen dočasný účinek a nezabezpečují trvalé řešení elektrostatických problémů.

## Literatura

- [1] Horvath, T. – Berta, I.: Static Elimination. New York, J. Wiley 1982.
- [2] Ficker, T.: Electrostatic Discharges and Multifractal Analysis of their Lichtenberg Figures. Journal of Physics D: Applied Physics, 32 (1999) 219 – 226.
- [3] Ficker, T. – Šikula, J.: Spark and Glow DC-Partial-Discharges in Dielectrics. Japanese Journal of Applied Physics, 23 (1984) 1263 – 1264.
- [4] Ficker, T.: Elektrické degradační procesy v tuhých izolantech a způsoby jejich potlačování. Elektrotechnický obzor, 75 (1986) 274 – 280.
- [5] Steiner, L. – Matucha, M.: Podlahoviny – technologie podlahářství. Praha, ABF 1995.

## Ficker, T. – Benešovský, P.: Negative Impact of Static Electricity in Buildings

In this paper possible risks of static electricity in inner spaces of buildings are discussed. In this respect, special attention is paid to floor structures and their surface layers.

## Ficker, T. – Benešovský, P.: Negative Einflüsse statischer Elektrizität in Gebäuden

Im Beitrag werden die möglichen Risiken statischer Elektrizität in den Innenräumen von Gebäuden diskutiert. In diesem Zusammenhang wird den Fußbodenkonstruktionen und deren Trittschichten besondere Aufmerksamkeit gewidmet.

## ● zprávy

### Prorážka tunelu Mrázovka

Dne 22. května byl slavnostně proražen východní tunel Mrázovka, čímž byly dokončeny tunelářské práce na této části městského dopravního okruhu. Do konce stavby, který je stanoven na druhou polovinu roku 2004, bude v tunelech probíhat montáž izolací proti vodě, betonáž druhotné obezdvíky tunelů a montáž technologických zařízení (větrání, informačních, signalizačních a zabezpečovacích prvků apod.). Stavba tunelu této části městského dopravního okruhu, jehož oficiální název je „Radlická – Strahovský tunel“, začala v prosinci 1998 a do provozu měla být uvedena v září 2001. Průběh stavby však o tři roky zdržela řada odvolání jejích odpůrců, takže poslední stavební povolení na ražbu východního tunelu bylo vydáno až v květnu 2001. Navazující úsek „Zlíchov – Radlická“ bude zprovozněn letos na podzim. Po dokončení tunelu Mrázovka bude propojen městský dopravní okruh od ulice Patočkovy v Praze 6 přes Smíchov a Barrandovský most až do Prahy 10 do prostoru Skalky a centrum města začne být chráněno kapacitní a bezpečnou komunikací. Tunel byl ražen novou rakouskou tunelovací metodou, která byla zvolena proto, že nejlépe umožňuje reagovat na proměnlivé geologické podmínky.

Investorem stavby je hl. m. Praha, zastoupená Odborem městského investora magistrátu hl. m. Prahy, výkon investorské činnosti zajišťuje VIS, a. s., generálním projektantem je PÚDIS, a. s., tunel včetně technologických zařízení projektuje SATRA, a. s. Zhotovitelem stavby je Sdružení Metrostav, a. s. – SUBTERRA, a. s., pod vedením Metrostavu. Metrostav razil tunely od severu od ulice Plzeňské, SUBTERRA od jihu od ulice Radlické. Stavba probíhala v prostoru ulic Ostrovského a U Nikolajky velice nízkou pod terémem (nejnižší nadloží bylo cca 12 m) a tomu byl přizpůsoben i způsob ražby. Pro omezení poklesu byl hlavně v těchto částech tunel ražen po několika menších částech členěným porubem. Tento postup umožnil dodržet velice přísná kritéria na velikost poklesu terénu a zajistil, že všechny domy, které se nad tunely nacházejí, byly trvale obývány a nemusely být vyklizeny.

Tisková informace



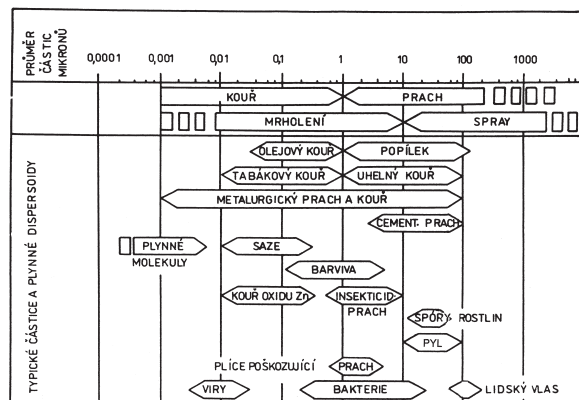
# Závažnost čistého prostředí – prach a kapalně aerosoly

prof. Ing. Miloslav JOKL, DrSc.  
 ČVUT – Fakulta stavební  
 Praha

Prach a kapalně aerosoly vstupují do interiéru jednak z venkovního ovzduší, jednak vznikají přímo uvnitř budovy v důsledku činnosti člověka. Pro člověka jsou nejnebezpečnější částice, které se drží v ovzduší, procházejí horními cestami dýchacími až do plic, kde se usazují. V článku jsou uvedeny zásady pro volbu a provoz čistěček vzduchu, jež v mnoha případech jsou nejúčinnějším řešením.

## Úvod

Prach, tj. pevné aerosoly, a kapalně aerosoly, vytvářející aerosolové mikroklima, jsou závažnými činiteli čistoty prostředí v interiéru budov, které působí na celkový stav člověka. Aerosoly jsou pevné nebo kapalně částice od velikosti cca 0,8 mm, rozptýlené v ovzduší (obr. 1). Mikroby se vzhle-



Obr. 1. Druh a velikost aerosolů

dem ke specifickým účinkům na lidský organizmus považují za složky zvláštního druhu mikroklimatu, a to mikrobiálního. Rovněž radioaktivní aerosol je složka zvláštního mikroklimatu – ionizačního [1].

## Zákonitosti výskytu aerosolů

### ■ Pevné aerosoly

Pevné aerosoly, běžně nazývané prach, vznikají při činnosti člověka, např. při opracovávání pevných materiálů, při spalování organických látek (kouř) nebo při oxidaci anorganických látek (kovových par vzdušným kyslíkem). Prach lze třídit podle různých hledisek. Základní dělení je podle původu, a to na prach **organický**, **anorganický** a **smíšený**. Mezi anorganické patří prach **nekovový** (křemičitany, SiO<sub>2</sub> atd.) a **kovový** (měď, nikl, olovo atd.). Organický prach je jednak původu **živočišného** (z rohoviny, perleti, žíní, peří, chlupů), jednak **rostlinného** (ze dřeva, bavlny, konopí, lnu, tabáku, mouky, cukru, rostlinný pyl). Prachové částice rostlinného a živočišného původu jsou lehčí než částice anorganické. Většinou jsou vláknité, rozvětvené v chomáčcích, zatímco nerostné částice jsou hranolovité nebo kulovité

s hladkými nebo ostrými hranami, často hranaté nebo špičaté. Smíšený prach se nachází v průmyslových provozech, v dolech, při zpracování lnu a bavlny, při sklizni obilí a dalších plodin.

Speciálním problémem ve stavebnictví je **azbestový prach**, který se uvolňuje do vzduchu jednak při zpracování azbestocementu, jednak při jeho zvětvávání. Účinkem erozivních pochodů i působením kyselých dešťů probíhají fyzikální a chemické pochody na povrchu azbestu. U nepokrytých desek (tl. asi 4 mm) dojde během čtyřiceti let v městském ovzduší k přirozenému oděru 0,3 až 0,4 mm. Pomocí rastrovacího elektronového mikroskopu bylo zjištěno, že rychlost koroze činí v průměru 0,024 mm/rok, což odpovídá 6 % tloušťky desky.

Narůstajícím zdravotním problémem jsou **alergeny** vyvolávající alergie. Prach převážně organického původu (zvířecí srst, roztoči, švábi, pyly), nebo i kovový, vyvolává u člověka přehnanou intenzivní obrannou reakci. V USA jsou za nejnebezpečnější zdroj alergenů považováni švábi, jejichž trus a mrtvolky obsahují nejsilnější antigen – látku vyvolávající intenzivní obrannou reakci (podle experimentů prof. Evanse z dětské kliniky v Chicagu ze zkoumaného souboru 1 528 dětí reagovalo negativně, tj. alergicky, 38 %). Vzhledem k poměrně chladným klimatickým podmínkám převažují u nás jako zdroj antigenů spíše roztoči a pyly. Roztoči je nejvíce v příkrývkách a matracích. Uplatňují se živí i mrtví, a to včetně výtrusů. Jejich vývoj trvá jen čtyři týdny, takže se jich na lůžku mohou objevit až dva miliony. Pyl, tj. samčí zárodečné buňky rostlin (nejčastěji trav, stromů a plevelných bylin), je složen z mikroskopických zrněk, přenášených z rostliny vzduchem v době květu. K alergickému onemocnění mohou přispět i některé dráždivé látky, které sice přímo alergii nevyvolávají, ale usnadňují její vznik (např. tabákový kouř).

### Fyzikální vlastnosti

Většina prachových částic je nosičem elektrického náboje, jež získávají třením o vzduch, třením mezi sebou nebo o pevná tělesa a absorpcí iontů z ovzduší. Nekovový prach se nabíjí kladně, kovový záporně, kyselinotvorné kysličníky kladně, zásadotvorné záporně. Pohyb částic je značně ovlivňován těmito náboji, neboť se pohybují v závislosti na tomto náboji, a intenzitou přirozeného nebo umělého elektrostatického pole.

Teplné síly v podobě nárazů molekul (molekuly jsou od teplejších ploch více odráženy než od ploch chladnějších, a tak udělují částicím pohyb ve směru klesající teploty) způsobují, že se částice pohybují od **teplých** povrchů k **chladným** (termoprecipitace). Důsledky tohoto jevu jsou patrné např. na chladných stěnách za teplými trubkami rozvodu ústředního vytápění. Usazené částice mají opačný elektrický náboj než stěna, takže na ní pevně ulpívají a obtížně se odstraňují. Difúze je pohyb aerosolu v důsledku jeho rozdílných koncentrací v prostoru, a to ve směru těžší plynové komponenty. Svazek intenzivního světla může rovněž uvádět prachové částice do pohybu – jev se nazývá fotofóreza.

**Sedimentace** je usazování částic prachu z ovzduší působením zemské přitažlivosti. Uplatňuje se při ní odpor vzduchu a elektrická polarita jednotlivých ploch v prostoru. Ta

bývá také hlavní příčinou znečištění ploch z plastů (např. tapet), neboť snadno získávají elektrostatický náboj. Vlivem tíže začne částice, jejíž počáteční rychlost je nulová, klesat. Proti jejímu pohybu působí odpor prostředí, který roste se zvětšováním pádu, takže po jisté době padání se vyrovná hmotnost částice s odporem prostředí a její nerovnoměrně zrychlený pohyb přejde v rovnoměrný, částice padá mezní rychlostí. Pohyb malých částic (menších než 1  $\mu\text{m}$ ) je více ovlivňován nárazy molekul na jejich povrch než gravitací Brownovým pohybem molekul. Prašná částice, která je v kterémkoli okamžiku vzdálena 100 cm od země, se usadí při velikosti:

- 100,0  $\mu\text{m}$  asi po 3 až 4 sekundách,
- 10,0  $\mu\text{m}$  asi po 5 až 6 minutách,
- 1,0  $\mu\text{m}$  asi po 7 až 8 hodinách,
- 0,1  $\mu\text{m}$  asi po 29 až 34 dnech.

V ovzduší zamořeném prachem tudíž převládají částice kolem 1  $\mu\text{m}$ , jež jsou zároveň z hygienického hlediska nejnebezpečnější (obr. 5).

### ■ Kapalné aerosoly

Nejznámějším z kapalných aerosolů (částic) rozptýlených v ovzduší je **mlha** vznikající kondenzací vodní páry při poklesu teploty vzduchu pod rosný bod. Další vznikají v průmyslových provozech při nanášení laků stříkáním, mokřím broušením a leštěním, čištění povrchu odlitků a postřikem zemědělských kultur a stromů. Dělí se na **monodisperzní**, s částicemi v podstatě stejné velikosti, a **polydisperzní**, obsahující částice různě velké. Aerosolové oblaky obsahující částice menší než  $10^{-4}$   $\mu\text{m}$  se nazývají **páry**, při průměru větším než 10  $\mu\text{m}$  jde o **spreje**.

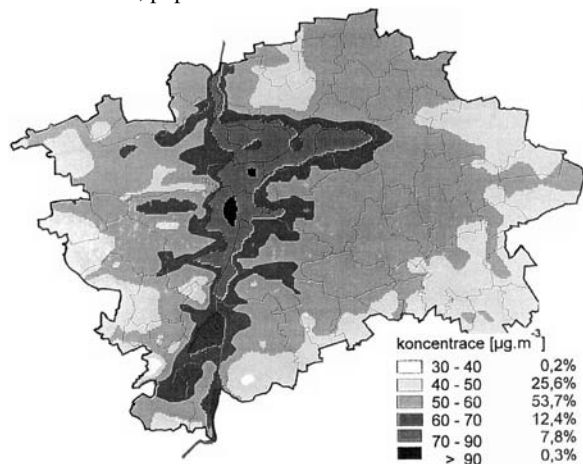
### Fyzikální vlastnosti

Okamžitě po vzniku podléhají kapalně aerosolové částice řadě proměn – změně velikosti následkem odpařování tekutiny nebo koagulaci, tj. shlukování částic při vzájemných srážkách (monodisperzní aerosol se mění v polydisperzní, hovoříme o jeho „stárnutí“), jemuž nejčastěji podléhají aerosoly s vysokou koncentrací. Doba potřebná ke snížení původní koncentrace na polovinu se nazývá **poločas** aerosolu.

Kapalné aerosolové částice získávají rovněž záporné a kladné náboje, takže pro ně platí vše obdobně jako pro prach. Stejně tak podléhají i fotoforéze, difúzi a termoprecipitaci.

### Zdroje aerosolů

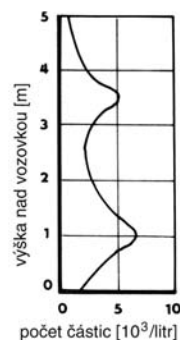
Aerosoly vstupují do interiéru jednak z venkovního ovzduší, jednak vznikají přímo uvnitř budovy – v důsledku činnosti člověka, popř. uvolňováním ze stavebních materiálů.



Obr. 2. Prach na území Prahy – pole ročních aritmetických průměrů koncentrací v roce 1995 podle měření Českého hydrometeorologického ústavu

### ■ Aerosoly z exteriéru

Ve venkovním prostředí může být zdrojem prachu provoz na komunikacích, stavební činnost, větrná eroze neudržovaných a zanedbaných ploch zbavených vegetačního krytu a emise z nedokonalých spalovacích procesů bez odlučovačů (popílek, ale i tmavý dým). Obrázek 2 uvádí roční aritmetický průměr koncentrace prachu na území Prahy. Je zřejmé, že pro vytváření místní koncentrace je rozhodující konfigurace terénu – nejvyšší byla naměřena v údolí Vltavy a v celé střední části Prahy, které vlastně vytvářejí velkou sedimentační nádobu. Nejhorší je asi 1 m a 3,5 m od vozovky, kam je aerosol dopravován pohybem aut a teplem výfukových plynů, takže otvory pro přívod venkovního vzduchu do budovy by měly být situovány buď ve výšce 2 až 3 m, nebo až 4 m nad vozovkou (obr. 3).



Obr. 3. Koncentrace prachu (s částicemi prachu většími než 1  $\mu\text{m}$ ) u budovy v různých výškách nad vozovkou za bezvětří

### ■ Aerosoly z interiéru

Přehled obsahu prachových částic v interiéru budov je uveden v tab. 1. Je zřejmé, že stoupá s počtem uživatelů jed-

Tab. 1. Koncentrace prachových částic v ovzduší

Prostředí	[ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]
školy, školky	10
obchody	8
kanceláře, čekárny	5
kuchyně při přípravě jídel	5
města	1 až 3
hory, venkov	0,02 až 0,50

notlivých místností, což potvrzuje tab. 2 udávající počet částic dodaných do ovzduší různou činností člověka. Zdrojem je i organizmus člověka – ovzduší v bytech obsahuje až

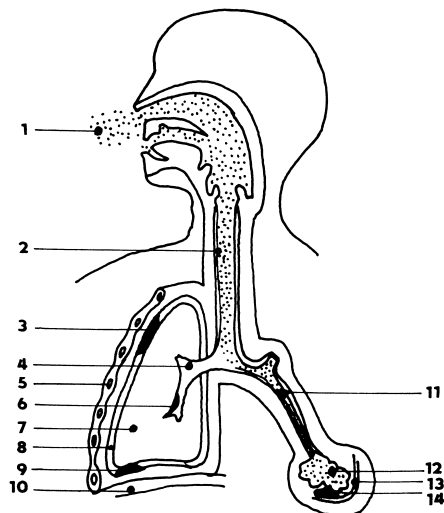
Tab. 2. Počet částic dodávaných do ovzduší při různé činnosti

Činnost	[částice/minuta]
klid	100 000
lehké pohyby rukou ve stoje nebo v sedě	500 000
pohyby rukou, hlavou, tělem ve stoje nebo v sedě	1 000 000
usednutí na židli nebo podobná činnost	2 500 000
pomalá chůze (cca 3,5 km/h)	5 000 000
rychlá chůze (cca 6 km/h)	7 500 000
chůze po schodech	10 000 000
cvičení nebo hry	15 000 000 - 30 000 000

1 % nepatrných částic kůže (v londýnském metru jich bylo zjištěno až 10 %), jež se uvolňují při regeneraci pokožky (dospělý člověk ztrácí každý den v průměru 1 g kožních šupin, což je dostatečná potrava až pro milion roztoků). Koncentrace aerosolu v interiéru je v závislosti na větrání ovlivňována venkovním ovzduším. Například hodinový liják sníží koncentraci prachu uvnitř o 20 %.

### Působení na lidský organizmus

Hlavním traktem vstupu aerosolů do organismu jsou dýchací cesty (obr. 4), ale dochází též k expozici pokožky a spojivkového vaku. Jak již bylo uvedeno, v klidném prostředí

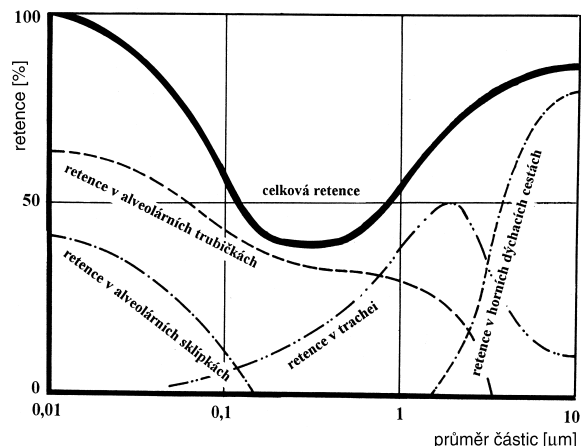


Obr. 4. Dýchací cesty exponované aerosolem

1 – aerosol, 2 – průdušnice, 3 – mesotheliom (rakovina pohrudnice), 4 – průduška, 5 – žaludeční stěna, 6 – rakovina plic, 7 – plíce, 8 – pohrudnice, 9 – poškození pohrudnice, 10 – bránice, 11 – zaprášení pevným aerosolem, 12 – plicní sklípek (alveola), 13 – krevní cévy, 14 – azbestóza, silikóza (onemocnění způsobené vdechováním osinkového, resp. křemičitého prachu)

dí se větší částice za několik minut po vzniku ukládají v těsné blízkosti zdroje, takže v ovzduší zamořeném prachem převládají částice především s rozměry kolem 1  $\mu\text{m}$ , resp. až do 2,5  $\mu\text{m}$  (obr. 5). Ty jsou nejnebezpečnější, protože mohou pronikat (penetrovat) hluboko do dýchacích cest, a to až do plicních sklípků (respirační aerosol).

Částice v ovzduší s aerodynamickým průměrem 0,1 až 2,5  $\mu\text{m}$  se nazývají **respirabilní rozptýlené** (Respirable



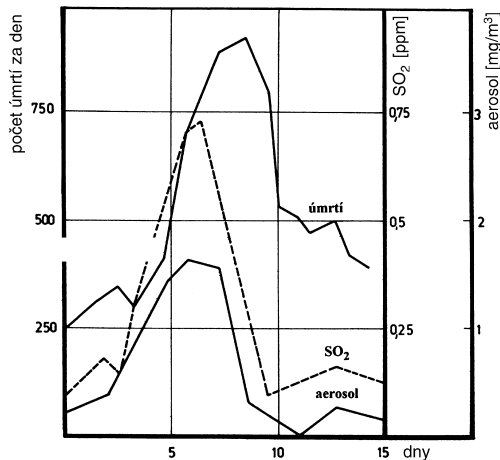
Obr. 5. Retence (zachycování) prachu v plicích a v horních dýchacích cestách v závislosti na průměru částic

Suspended Particles – RSP) a všechny částice celkem (do velikosti 100  $\mu\text{m}$ ) **celkem rozptýlené** (Total Suspended Particles – TSP). Poměr RSP/TSP tedy udává podíl nebezpečného vdechovaného aerosolu na celkovém množství aerosolu. Při nedostatečném větrání činí v interiéru budov 82 až 98 % [3]. Částice o velikosti kolem 2,5  $\mu\text{m}$  se z 20 % zadržují v nose, o velikosti 9  $\mu\text{m}$  se v nose zachytí téměř z 90 %, o velikosti 1  $\mu\text{m}$  však projdou dále. Způsob, jakým jsou částice v nose zachycovány (retinovány), se nazývá **impakce**, tzn. že větší a těžší částice ulpívají na stěnách nosní dutiny, menší a lehčí částice jsou vzdušným proudem zanášeny dále. V plicích se zachycuje asi 50 % částic o velikosti 1  $\mu\text{m}$  a necelých 40 % o velikosti 0,2 až 0,5  $\mu\text{m}$  (obr. 5). Čím jsou částice menší, tím hlouběji pronikají, zachycování se zmenšuje s velikostí až k 0,2  $\mu\text{m}$ , pod touto velikostí se opět zvyšuje díky Brownovu pohybu (přirozenému pohybu molekul).

Samočistění plic od pevných částic má dvě složky. V horních dýchacích cestách spočívá v hlenovitém povlaku sliznice s transportem zajišťovaným řasinkovým (ciliárním) pohybem. Druhá, sklípková (alveolární) komponenta, spočívá jednak v pohyblivém krycím filmu, jednak v pohlcování částic bílými krvinkami (fagocytóze). Tyto fyziologické mechanismy dopravují asi 90 % inhalovaného prachu do hltnu. Pohyb řasinek má frekvenci asi 1 300 za minutu a umožňuje pohyb hlenové vrstvy silně 5  $\mu\text{m}$  rychlostí 15 až 18  $\mu\text{m}$  za minutu. Při eliminaci kapalných aerosolů se na rozdíl od pevných částic neuplatňuje fagocytóza ani ciliární pohyb, ale sedimentace, impakce a Brownův pohyb. Z hltnu se zachycené částice mohou vykašlat, popř. vysmrkat, obvykle jsou však z hltnu polykány. Aerosol, který nebyl odstraněn fyziologickými mechanismy, vytváří plicní úložiště (depozici) tím, že alveolární membrána plicního sklípku nebo trubičky reaguje na prachové částice (obr. 5). Z těchto míst se pak odstraňuje jen velmi zvolna.

**Biologický účinek** závisí nejen na toku aerosolu do organismu, ale i na době expozice a na koncentraci aerosolu, jeho chemickém složení a fyzikálních vlastnostech (na těchto základních charakteristikách závisí velikost částic, jejich tvar a pevnost, elektrický náboj, rozpustnost v biologických tekutinách, toxicita atd.). Podle účinku na organismus lze rozdělit působení na fyzikální (hlavně mechanické), chemické (hlavně toxické), fyzikálně chemické (hlavně fibrogenní) a biologické (hlavně alergizující – produkující alergie). Kromě toho je aerosol nositelem různých mikroorganismů.

Mechanicky působí aerosoly na pokožku, ve spojivkovém vaku, na sliznici, blokováním lymfatických cest v plicích apod. Při delší expozici působí dráždivě a výsledkem bývají nespecifické změny kůže, spojivek a sliznic v závislosti na chemickém složení částic, jejich množství, velikosti, tvaru, hloubce působení a individuální reakci. **Toxickým** je označován účinek vedoucí k charakteristickým lokálním nebo celkovým příznakům (např. intoxikace olovem po inhalaci olověného prachu). **Fibrogenní** jsou účinky, které vedou k tvoření nového vaziva. Jsou charakteristické zvláště pro křemičitý a azbestový prach a podle posledních výzkumů (pravděpodobně) pro každý vláknitý prach (v USA bylo zakázáno používání azbestu při výstavbě budov již v roce 1972, v Evropě bylo první Švýcarsko, kde se již od roku 1995 nesmí používat). **Karcinogenní** jsou účinky vyvolávající zhoubné bujení na kůži nebo v dýchacích cestách. Způsobuje je kovový aerosol (chrom, nikl, arzen), některé uhlovodíky nebo ionizující záření. Výstražný je vliv aerosolu v ovzduší na úmrtnost (obr. 6), a to zvláště u starších a nemocných (z původních 250 na více než 800 denně).



Obr. 6. Vliv obsahu pevného aerosolu a  $SO_2$  ve vzduchu na úmrtnost (Londýn, prosinec 1952) ( $1 \text{ ppm } SO_2 = 2,8 \text{ mg } SO_2/m^3$ )

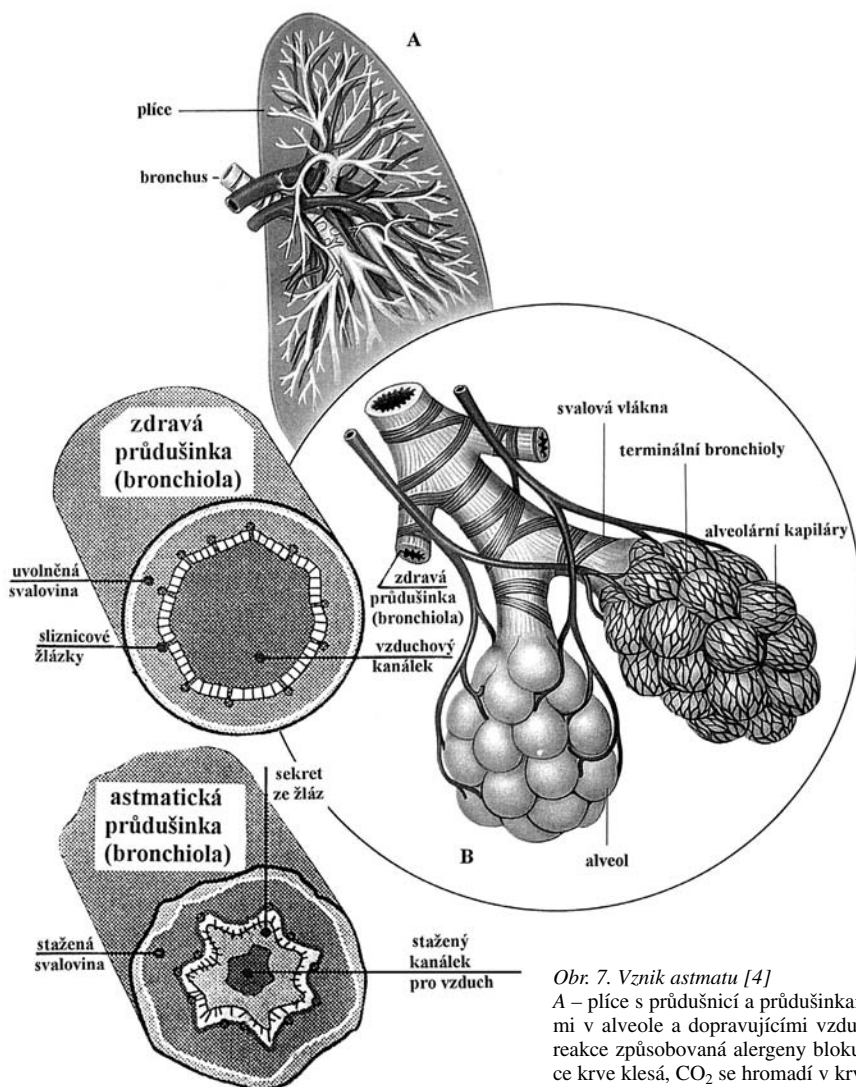
**Alergizující účinek** se projevuje přecitlivělostí kůže, spojivek nebo dýchacích cest. Tato vlastnost organismu bývá částečně vrozená, je však výrazně ovlivněna průběhem kojeneckého a dětského věku. Je-li jeden z rodičů alergik, je riziko alergie u dítěte 20 až 30 %, jsou-li alergičtí oba rodiče, stoupá toto riziko až na 75 %. Významně se na rozvoji alergie podílí častý styk vnímavého dítěte s alergizujícími

látkami v okolí. Mohou to být alergeny jak z venkovního (pyly), tak z vnitřního prostředí (zvířecí srst, roztoči, švábi, prach). Hlavní typy alergických onemocnění:

- **kopřivka**, tj. kožní reakce projevující se svěděním, zarudnutím a otokem. Častou příčinou je alergie na některé potraviny, látky nebo infekci, štípnutí hmyzem, někdy i nadměrná tělesná, duševní a emoční zátěž;

- **senná rýma** (pylová rýma, pylová alergie) je přecitlivělost vůči některým pylům stromů nebo jiných rostlin projevující se nejčastěji svěděním, slzením a zarudnutím očí, ucpáním nosu a vodnatou rýmou při kontaktu s některými typy pylů, na které je nemocný alergický (pylová zrnka způsobují tvorbu protilátek – imunoglobulinu E, ten se váže na buňky sliznic nosu, dýchacích cest a spojivek, čímž dochází k uvolňování histaminu působícímu otok sliznic, kýčání, překrvení a ucpání nosu, svědění a slzení očí). Pylové období trvá již od února do konce září, vrchol sezóny bývá v období od května do července;

- **astma** je alergická reakce organismu na cizorodý prvek (prach, ale i plyn), která zablokuje drobné průdušinky, jež přivádějí vzduch k plicním sklípkům (obr. 7). Tím se přestává krev oxyličovvat a hromadí se v ní oxid uhličitý, který je ve vyšší koncentraci pro člověka jedovatý. Astma může být různé intenzity – od téměř nezatelných obtíží až po silné záchvaty, jež mohou být i smrtelné (mohou se objevovat i jiné, méně časté formy, např. bolesti hlavy).



Obr. 7. Vznik astmatu [4]

A – plíce s průdušnicí a průdušinkami (bílé), B – končícími v alveole a dopravujícími vzduch do krve (alergická reakce způsobovaná alergeny blokuje průdušinky, oxidace krve klesá,  $CO_2$  se hromadí v krvi)

Na vzniku alergického onemocnění se mohou podílet i některé dráždivé látky, které sice přímo alergii nevyvolávají, ale usnadňují její vznik (zvláště tabákový kouř). Nejnovější výzkumy ukazují na závažnou roli životního stylu. Bylo zjištěno, že v západní části Německa trpí alergiemi každý třetí člověk, zatímco v bývalé NDR, s podstatně více znečištěným ovzduším (s hodnotami až desetkrát většími), je alergický jen každý pátý člověk. Důvody jsou tři:

- ve východním bloku se děti dříve díky menší nabídce mediální zábavy pohybovaly více venku místo doma u televizoru;
- imunita se vyvíjí v prvních letech života, kdy děti většínou navštěvovaly jesle a mateřské školky, a tudíž byly neustále v kontaktu s viry a bakteriemi, čímž si posilovaly obranný systém;
- v důsledku dobré organizace zdravotní služby a bezplatného očkování došlo k poklesu infekčních chorob (spalniček, tuberkulózy, černého kašle atd.), které provázejí nárůst výskytu astmatu.

### Přípustné limity

V interiéru by neměly být o mnoho vyšší než přípustné hodnoty předepsané pro venkovní ovzduší, ovšem měly by být nižší než přípustné hodnoty pro pracoviště. Pro venkovní ovzduší jsou stanoveny **nejvýše přípustné koncentrace (NPK)** škodlivin vyhláškou č. 58/1981 Ministerstva zdravotnictví ČR (hlavního hygienika). Je to koncentrace, která nevyvolává přímý nebo nepřímý nepříjemný nebo i škodlivý účinek na organismus člověka, nesnižuje jeho pohodu a pracovní schopnost. Nejvýše přípustné koncentrace jsou **denní**, tj. průměrné 24hodinové ( $K_d$ ), **krátkodobé maximální** ( $K_{max}$ ), což jsou střední hodnoty koncentrací zjištěných na stanoveném místě v časovém úseku 30 minut, a **průměrné roční** ( $K_r$ ), definované jako střední hodnoty koncentrací zjištěných na stanoveném místě v časovém úseku jednoho roku. Počet měřicích dnů by měl být 240, rozložených rovnoměrně během ročního období.

Přípustné expoziční limity pro prach v pracovním prostředí jsou předepsány nařízením vlády č. 178/2001 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci. Přípustné expoziční limity prachu  $PEL$  jsou časově vážené průměry koncentrací za pracovní směnu. Přípustný expoziční limit pro celkovou koncentraci (vdechovatelnou

frakci) prachu se označuje  $PEL_c$ , pro respirabilní frakci prachu  $PEL_r$ . Vdechovatelnou frakci prachu se rozumí soubor částic poletavého prachu, které mohou být vdechnuty nosem nebo ústy. Respirabilní frakci se rozumí hmotnostní frakce vdechnutých částic, které pronikají do té části dýchacích cest, kde není řasinkový epitel, a do plicních sklípků. Za respirabilní vlákno se považuje částice, která vyhovuje současně podmínkám:

- tloušťka  $< 3 \mu\text{m}$ ,
- délka  $> 5 \mu\text{m}$ ,
- poměr délky a tloušťky  $> 3$ .

Přípustný expoziční limit prachu v pracovním ovzduší pro pravděpodobně nejčastější případ – prach s možným fibrogenním účinkem – uvádí *tab. 3*. Pokud prach obsahuje méně než 1 % krystalického  $\text{SiO}_2$  a neobsahuje azbest, považuje se za prach s převážně nespecifickým účinkem (potom platí  $PEL_c = 10 \text{ mg/m}^3$ ).

Tab. 3. Prach s možným fibrogenním účinkem

Látka	PEL [ $\text{mgm}^{-3}$ ]
amorfní $\text{SiO}_2$	4
svářečské dýmy	5
bentonit	6

Speciálně pro interiér budov existují předpisy pouze v Japonsku (od roku 1970), které stanoví limit pro částice do  $10 \mu\text{m}$  nezávisle na době expozice  $15 \text{ mg/m}^3$ , a ve Finsku, kde jsou zavedeny tři třídy pro TSP – Class AQ1  $0,06 \text{ mg/m}^3$  (maximální hodnota), Class AQ2  $0,015 \text{ mg/m}^3$  a Class AQ3 určená projektantem a uživatelem. U nás byl navržen limit pro RSP pro průměr za 24 h (průměrný  $150$  a optimální  $100 \text{ mg/m}^3$ ) a pro průměr za 1 h (průměrný  $250$  a optimální  $150 \text{ mg/m}^3$ ).

Pro speciální laboratorní, tovární a nemocniční prostory (výroba léčiv a infúzních roztoků, operační sály, výroba mikroelektroniky, zhotovování přístrojů pro kosmický výzkum) se zavádí označení superčisté (bílé) prostředí, tzv. clean rooms. Tyto prostory, které mají mimořádně vysoké požadavky na čistotu ovzduší, se hodnotí podle US Federal Standard: Fed-Std-209E Airborne Particulate Cleanliness Classes in Clean Rooms and Clean Zones (třídy čistoty v čistých místnostech a zónách). Třídy čistoty jsou zřejmé z *tab. 4*, uvádějící maximálně přípustný počet částic rov-

Tab. 4. Třídy čistoty v čistých místnostech a zónách (US Federal Standard: Fed-Std-209E)

Třída		Limitní počet částic [mm]									
		0,1		0,2		0,3		0,5		5	
		objemová jednotka									
SI	angl.	[ $\text{m}^3$ ]	[ $\text{ft}^3$ ]	[ $\text{m}^3$ ]	[ $\text{ft}^3$ ]	[ $\text{m}^3$ ]	[ $\text{ft}^3$ ]	[ $\text{m}^3$ ]	[ $\text{ft}^3$ ]	[ $\text{m}^3$ ]	[ $\text{ft}^3$ ]
M 1		350	9,91	75,7	2,14	30,9	0,875	10	0,283	-	-
M 1,5	1	1 240	35	265	7,5	106	3	35,3	1	-	-
M 2		3 500	99,1	757	21,4	309	8,75	100	2,83	-	-
M 2,5	10	12 400	350	2 650	75	1060	30	353	10	-	-
M 3	-	35 000	991	7 570	214	3 090	87,5	1 000	28,3	-	-
M 3,5	100	-	-	26 500	750	10 600	300	3 530	100	-	-
M 4		-	-	75 700	2 140	30 900	875	10 000	283	-	-
M 4,5	1000	-	-	-	-	-	-	35 300	1 000	247	7
M 5	-	-	-	-	-	-	-	100 000	2 830	618	17,5
M 5,5	10 000	-	-	-	-	-	-	353 000	10 000	2 470	70
M 6	-	-	-	-	-	-	-	1 000 000	28 300	6 180	175
M 6,5	100 000	-	-	-	-	-	-	3 530 000	100 000	24 700	700
M 7	-	-	-	-	-	-	-	10 000 000	283 000	61 800	1 750

ných a větších než daná velikost. Všechny třídy je možné hodnotit pro částice  $\geq 0,5 \mu\text{m}$ . Kromě toho lze určit limit i pro velmi jemné částice (menší než  $0,02 \mu\text{m}$ ) zavedením deskriptoru  $U$ . Příklad označení třídy čistoty –  $M 1,5$  (pro  $0,3 \mu\text{m}$ ),  $U (2\ 000)$  – určuje prostor, kde nesmí být více než  $106 \text{ částic}/\text{m}^3$  velikosti  $0,3 \mu\text{m}$  a větších, a nikoli více velmi jemných částic než  $2\ 000 \text{ částic}/\text{m}^3$ .

### Odstraňování z ovzduší

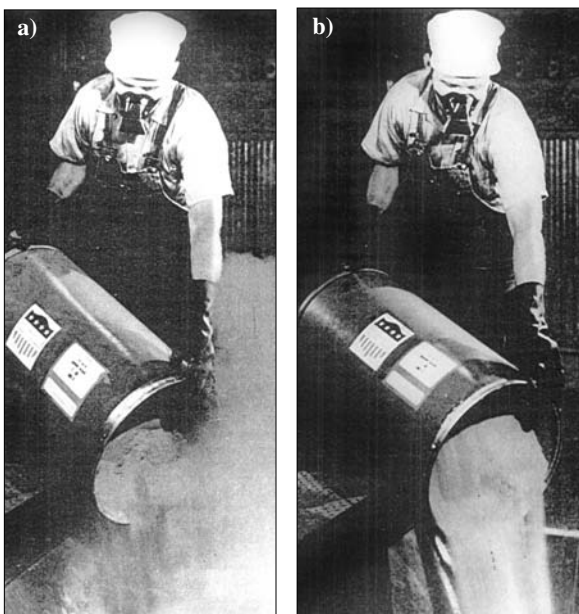
Aerosoly lze z interiéru odstranit zásahem do zdroje, do ovzduší nebo na člověku. V podstatě jsou tyto možnosti:

■ **změna technologie** bývá nejúčinnějším opatřením, ale obvykle také nejméně možným. Je zcela záležitostí specialistů daného výrobního oboru;

■ **mísení sypkého materiálu s přídatnými látkami**, a to buď kapalinami, nebo práškovými hmotami. Nejstarší používanou kapalinou je voda, a stěží by bylo možné určit, kdy poprvé někoho napadlo mírně postříkat, např. dvůr, před zametáním. Je většinou nejdostupnější a běžně se používá i v průmyslovém měřítku, např. v dolech, přestože její smáčivost je poměrně malá – předpokládá se, že částice tuhé látky jsou obaleny filmem vzduchu, který brání vodě obalit částici. Na povrchu kapaliny se vytváří tenká blanka ( $10^{-7} \text{ cm}$ ), která má snahu se smršťovat, aby povrch tekutiny byl co nejmenší. Smršťovací síla na povrchu tekutiny vytváří povrchové napětí, které lze snížit přidáním látek hromadících se na jejich povrchu, tzv. smáčedel. Nejčastěji se používá chlorid sodný, méně již chlorid vápenatý, hořečnatý, železitý, hlinitý. Firma Du Pont nabízí smáčedla vyráběná průmyslově, např. teflon K, což je vodní suspenze fluorkarbonu. Práškové látky, přidávané k sypkým hmotám, brání vzniku pevného aerosolu, jak je zřejmé z obr. 8, na kterém je patrný účinek přídatné látky teflon K, složením fluorkarbonový polymer;

■ **uzavření zdroje** pevným krytem nebo aerosolovou clonou vytvořenou z kapalných přídatných látek. Jde o velmi účinné opatření, avšak značně závislé na technologii výroby;

■ **odstranění zdrojů alergenů**, především prachu z domácích zvířat, švábů a roztočů. Odstranění pylových zrn



Obr. 8. Účinek přídatných práškovitých látek (teflonu K) na vznik prachu  
a – s teflonem K, b – bez teflonu K

z ovzduší bez čističky vzduchu se ukazuje být v podstatě nemožné. Přestat chovat domácí zvířata bývá však velmi obtížné. Často je nutné dokonce uvážit, co bude menším zlem – nebezpečí alergie, nebo psychické trauma dítěte ze ztráty milovaného zvířete. Pro dítě nebývá jen dokonalou (živou) hračkou, ale přispívá i k formování jeho charakteru – učí se nemyslet jen na sebe, starat se o druhé.

Švábů se každý rád zbaví, ale je to z praktického hlediska velmi obtížné, neboť se zdají být neznitelní (přežili i svržení atomové bomby v Hirošimě), takže se jejich hubení stává kontinuálním procesem. Největších úspěchů se dosahuje při likvidaci roztočů – již jen pravidelné použití vysavačů nebo snižování relativní vlhkosti pod  $45\%$  je výrazně likviduje (běžná vlhkost vzduchu by neměla přesáhnout  $60\%$ ). Dále se doporučuje používat jen hladké podlahové krytiny, nikoli koberce, nepoužívat textilní závěsy, případně jen lehké a z umělého vlákna, nepoužívat ložní prádlo s pérovou náplní ani matrace s přírodní náplní (koňské žíně, mořská tráva), nepoužívat plyšové hračky plněné vlnou, peřím apod., pouze hračky ze syntetických materiálů, dřeva apod., dobře umyvateľné. Z peří lze roztoče odstranit čištěním párou o teplotě  $360\text{ }^\circ\text{C}$ . V pračce zlikviduje roztoče až voda teploty nad  $60\text{ }^\circ\text{C}$ , kterou však snesou jen některé výrobky, např. z dutých polyesterových vláken. Při nižších teplotách praní je nutná přísada speciálních přípravků (např. Acaril, Alle-rite). Roztoče nelze vyhledat – živí se šupinkami kůže, vlasy, papírem, koňskými žíněmi, mořskou trávou, peřím, ovčím roumem, takže potraviny mají všude dostatek;

■ **zásahem do ovzduší**, zejména:

– **omezením šíření aerosolů** v budově stejně jako u mikroklimatu oděrového a toxického konstrukčními úpravami, tj. vertikálním rozdělením budovy do pokud možno hermetických částí, nebo vhodným umístěním zdrojů v budově (do nejvyšších podlaží);

– **větráním**. Množství čerstvého vzduchu [ $\text{m}^3/\text{h}$ ], které je zapotřebí přivést do exponovaného interiéru, je dáno vztahem

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{NPK - \rho_0}, \quad (1)$$

kde  $\dot{m}$  je množství vznikajícího aerosolu [ $\text{mg}/\text{h}$ ],  
 $NPK$  – nejvyšší přípustná koncentrace (přípustný limit) aerosolu v ovzduší [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ],  
 $\rho_0$  – koncentrace aerosolu v čerstvém vzduchu [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ].

Přívod čerstvého vzduchu a odvod kontaminovaného zajišťují vдуcho-technická zařízení ventilační, klimatizační, popř. teplovzdušného vytápění;

– **filtrací** všemi druhy filtrů používaných ve vдуcho-technických zařízeních;

– **koagulací aerosolových částic**, při níž rozprašováním kapalného aerosolu s vysokou smáčivostí (s nízkým povrchovým napětím, tj. opět s přídatnými látkami kapalnými) dochází ke shlukování malých částic ve větší, které vlivem tíže sedimentují, popř. k přímému srážení částic kapkami rozprašovaného aerosolu. Výhodné je rozprašování kapalin s malým povrchovým napětím;

– **nanášením adhezivních filmů**. Úspěšně se používají rohože Plasto-Tera-Syn rozměrů  $1 \times 1 \text{ m}$ , tloušťky 3 nebo  $5 \mu\text{m}$ , na nichž ulpívají (bez použití lepidel nebo impregnace) aerosolové částice, které nemohou být již zvířeny do ovzduší (lze je odstranit pouze mokrou houbou). Dají se spojovat horkým vzduchem jako PVC;

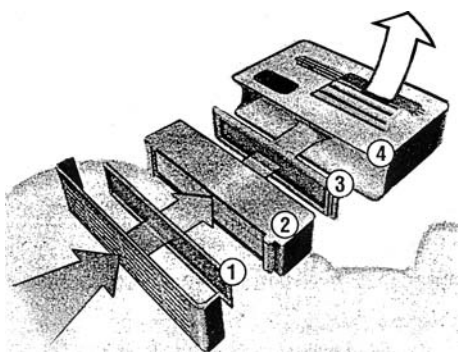
– **ionizací vдуchu** založenou na zvýšené sedimentaci aerosolových částic v ionizovaném vдуchu (cca  $4,5 \cdot 10^5$

iontů/cm<sup>3</sup>). Například doba usazování částic o průměru 1 μm klesne z 36 000 na 230 s, o průměru 10 μm ze 130 na 24 s, tj. čím menší jsou částice, tím větší je účinek ionizace. K tomuto účelu jsou vhodné ionizátory se zabudovaným filtrem, přičemž polaritu ionizace je nutné volit podle charakteru aerosolu;

– *čističkami vzduchu* s vodním, elektrostatickým nebo výměnným filtrem. Přístroje s **vodním filtrem** jsou nejjednodušší – po proprání vzduchu se nečistoty ukládají do nádrže s vodou. Nemohou nahradit větrání, neboť vzduch pouze čistí, ale neobnovují jeho složení. Jejich výhodou je, že současně s odpařováním vody se zvlhčuje vzduch v místnosti, nízká cena, v podstatě nulové provozní náklady (není nutné kupovat filtrační vložky, stačí pouze pravidelně dolévat a vyměňovat vodu), lze je použít k aromaterapii (přidávání léčivých a vonných esencí, jež však samy mohou být alergeny, a proto je alergologové příliš nedoporučují). Nevýhodou je nízká účinnost (kolem 50 %, jen výjimečně vyšší) a dále množení škodlivých mikroorganismů v nádrže (nutnost čištění dezinfekčními prostředky). Pro zvýšení účinnosti se někdy tyto čističky doplňují elektrostatickým filtrem. Jsou určeny k nepřilíhající náročným účelům, nejčastěji do obytného a kancelářského prostředí.

Čističky s **elektrostatickým filtrem** pracují na principu elektrostatického odlučování nečistot (aerosol ve vzduchu získává elektrický náboj v elektrostatickém poli a takto nabitě částice se pak snadno zachycují na elektrodách opačné polarity, odkud jsou pak smývány vodou). Předností těchto přístrojů je, že zachycují nejen pevné, ale i kapalně aerosoly (např. aerosol dehtu), dobře zachycují tabákový kouř a kuchyňské pachy, elektrody s usazeným aerosolem (tzv. kovový filtr) se dají vyjmout a umýt v saponátovém roztoku. Jejich účinnost není velká, i když je vyšší než u čističek s vodním filtrem (60 až 80 %). Jsou určeny do veřejných místností, kde se kouří, např. do restaurací.

Kvalitní přístroje s **výměnným filtrem** mají filtrační vložky z aktivního uhlí, které se musí asi dvakrát ročně vyměňovat, popř. i dříve, podle údaje indikátoru zanesení filtru. Pro omezení nákladného vyměňování filtračních vložek, a zároveň zvýšení účinnosti celého zařízení, se doplňují dalšími filtry (*obr. 9*). Jak velké částice jsou jednotlivé filtry



Obr. 9. Čistička vzduchu s výměnným filtrem  
1 – mechanický vstupní filtr nejhrubšího aerosolu, 2 – elektrostatický filtr, 3 – filtrační vložka z aktivního uhlí, 4 – ionizátor

schopny zachytit je souhrnně uvedeno na *obr. 1*. Výhodou těchto čističek je vysoká účinnost (většinou přes 80 %), ionizace vzduchu (pokud je jí přístroj vybaven), schopnost zachytit většinu alergenů. Nevýhodou je vysoká cena a značné provozní náklady (lze je výrazně snížit používáním regenerovaných filtračních vložek). Mohou splnit velmi náročné požadavky a jsou určeny do obytného, ale i pracovního pro-

středí, kde se nekouří (tabákový kouř je rychle zanáší). Pro příliš suché prostředí se tyto čističky kombinují se zvlhčovači vzduchu.

Pro alergiky jsou nevhodnější čističky třetího typu, přičemž nutno vzít v úvahu, že proti nejsilnějšímu alergenu v domácím prachu – roztočům, nejsou příliš účinné, neboť pouze část jejich těl a výtrusů je rozptýlena ve vzduchu, většinou se vyskytují v lůžkovinách a matracích. Proti roztočům je proto nutné bojovat častou výměnou lůžkovin, luxováním atd.

#### Hlavní podmínky pro volbu a provoz

- podle požadavků zvolíme vhodný typ – vyplatí se preferovat renomované firmy, i když jejich výrobky bývají dražší. Požadujeme-li i vlhčení vzduchu, volíme přístroj se zvlhčovačem, jehož funkce by však měla být samostatná, s možností regulace relativní vlhkosti vzduchu v místnosti;
- přístroj by měl mít takový výkon, aby za hodinu vyčistil nejméně jedenapůlnásobek (u alergiků dvojnásobek až trojnásobek) objemu vzduchu v místnosti (např. pro místnost 5 x 4 x 3 m, tj. 60 m<sup>3</sup>, je minimální výkon přístroje pro alergiky 60 m<sup>3</sup> x 2 = 120 m<sup>3</sup>/h);
- volíme přednostně přístroj s ukazatelem zanesení filtru;
- před koupí si ověříme hlučnost přístroje (pro provoz při spánku by měla být menší než 35 až 36 dB, max. 40 dB);
- ve výjimečných případech (např. u těžkých alergií) doplníme čističku vzduchu kyslíkovým generátorem, čímž snížíme nutnost větrání místnosti na minimum;
- přístroj umístíme do interiéru tak, aby nedocházelo ke zbytečnému přísávání nečistot (nikoli na podlahu, k radiátoru ústředního topení, k oknu nebo dveřím). Hlavní proud vzduchu by měl směřovat do dýchací zóny lidí (kde spí, pracují, píšou domácí úkoly);
- přístroj vybavený ionizátorem umístíme tak, aby proud vzduchu vystupoval do prostoru kolmo od nejbližší stěny (jinak se stěna a ostatní povrchy v blízkosti v krátké době pokryjí záporně nabitým prachem);
- během provozu přístroje neotevíráme okna, a pokud možno ani dveře. Snížení obsahu škodlivin ve vzduchu se projeví asi po hodině provozu, minimální obsah škodlivin bude asi po třech hodinách, dále se bude zlepšovat jen nepatrně;
- během pobytu v místnosti necháváme přístroj trvale v provozu, neboť v případě vypnutí se obsah škodlivin v interiéru vrátí do původního stavu už asi za hodinu. Mylná je tudíž představa, že vyčistíme vzduch v jedné místnosti, a pak přeneseme přístroj do druhé.

**Zásah na člověku** je poslední opatření, jež by mělo být v praxi aplikováno. Jde jednak o nošení respirátorů, popř. skafandrů, brýlí a kukel, jednak o profylaxi inhalacemi. Nošení respirátorů a ostatních osobních ochranných pomůcek značně obtěžuje a respirátor nefiltruje jemný podíl prachu. Jsou tedy vhodné jen pro nárazové a mimořádné použití. Profylaktické podávání inhalací různých ochranných aerosolů vychází z předpokladu, že ochranné látky obalí např. křemennou částicí vrstvou, jež by zabránila jejímu styku se živou tkání.

#### Literatura

- [1] Jokl, M. V.: Microenvironment: The Theory and Practice of Indoor Climate, Illinois, Thomas 1989, p. 416.
- [2] Jokl, M. V.: Teorie vnitřního prostředí budov. Vydavatelství ČVUT Praha 1993, s. 148.
- [3] Chao, C. Y. H. – Tung, T. C. W. – Burnett, J.: Influence on Different Indoor Activities on the Indoor Particulate Levels in Residential Buildings. Indoor Built. Environ. 7, 1998, 7: 110 – 121.
- [4] The Human Body. Bratislava, Gemini 1992.

**Jokl, M.: The Importance of Clean Building Interiors – Dust and Liquid Aerosols**

Dust and liquid aerosols enter into building interiors partly from outdoors, and partly originate indoors - as a result of man's activity. Particles about one mm are most dangerous for human body: being raised into atmosphere they need several hours for sedimentation, after inhalation they pass through the upper breathing ways down into the lungs where they deposit. The principles of cleaner air selection and operation are presented – air cleaners are, in many cases, the most effective solution to indoor air quality problems.

**Jokl, M.: Über die Bedeutung einer sauberen Umwelt – Staub und Flüssigaerosole**

Staub und Flüssigaerosole gelangen einesteils aus der Außenluft in die Innenräume, anderenteils entstehen sie direkt im Gebäudeinnern in Folge menschlicher Tätigkeit. Für den Menschen sind die Teilchen am gefährlichsten, die sich in der Luft halten und durch die oberen Luftwege bis in die Lunge gelangen, wo sie sich absetzen. Im Artikel werden Grundsätze für die Auswahl und den Betrieb von Luftreinigungsanlagen angeführt, die in vielen Fällen die wirksamste Lösung sind.

## • zprávy

### **Nová podoba náměstí Republiky**

Komplex budov na náměstí Republiky v Praze, známý jako kasárna Jiřího z Poděbrad, má poměrně dlouhou a zajímavou historii. První velkou rekonstrukci provedl rakousko-uherský císař Josef II., který bývalý klášter a špitál přeměnil na vojenská kasárna. Armáda je využívala až do roku 1999.

O čtyři roky dříve schválila vláda svým usnesením jako vítěze v soutěži na architektonické řešení rekonstrukce a dostavby kasáren firmu Euro-Property Fund. Na projektu se investičně podílí Evropská banka pro obnovu a rozvoj a Immofinanz AG. V současné době probíhá územní řízení vedoucí k územnímu rozhodnutí. Poté může investor žádat o stavební povolení. Celkové náklady na rekonstrukci a dostavbu mají dosáhnout 5,5 mld. Kč.

Areál byl po desetiletí pro občany nepřístupnou zónou. Záměrem investora je zde vytvořit multifunkční centrum, které do nevyužitého a po desetiletí devastovaného areálu přinese život a otevře tento prostor veřejnosti. Návštěvníci zde naleznou nové obchodní plochy a centrum pro kulturu, zábavu a odpočinek. Páteří projektu je atrium o ploše 2 800 m<sup>2</sup>, vznikne zde prostor pro odpočinek s mobilní a interiérovou zelení, který bude sloužit i pro společenské a kulturní události a sezónní aktivity. Ve dvou nadzemních podlažích vznikne na 150 drobných obchodů a služeb včetně pošty, banky, kadeřnictví, rychloopravný bot, čistírny atd. Cílem je doplnit stávající síť obchodů o cenově přístupné zboží a služby. Potěšitelnou zprávou je, že zde nebude hypermarket. Další 16 068 m<sup>2</sup> je určeno pro kulturu a zábavu, objekt vytvoří prostor pro pořádání pravidelných výstav a koncertů. Přínosem bude i přímé propojení s metrem – investor vynaloží nemalé prostředky na rekon-

strukci a modernizaci současné podoby vestibulu na náměstí Republiky.

Na pozemku byl proveden archeologický výzkum, který neprokázal žádné nálezy, které by bylo nutné v terénu konzervovat. Pozemek nebude zcela zastavěn, vnitřní veřejně



přístupné náměstí bude mít rozlohu téměř 3 000 m<sup>2</sup>. Stavba je navržena tak, že z žádného místa Prahy se nikterak nepromítá do panoramatických pohledů. Maximální výška objektu, a to pouze v malé části, je 26 m. Žádná z památkově chráněných budov není navržena k demolicí. Výsledná podoba areálu byla opakovaně projednávána v širokém grémiu odborníků poradního sboru ředitele Státního ústavu památkové péče pro Prahu, byli rovněž konzultováni nezávislí odborníci. Současná architektura areálu je podle požadavků památkářů i urbanistů koncipována tak, aby podtrhla budovu jízďárny a nikterak tomuto historickému šperku nekonkurovala. Po konzultacích s odborem územního rozhodování byla významně redukována hmota s cílem navázat citlivěji

na historickou zástavbu v ulici Truhlářské, a zajistit tak dostatečný odstup od stávajících bytových objektů. Zároveň byl objekt snížen o další podlaží, celkově o 8 000 m<sup>2</sup>. V panoramatických pohledech ve střešní krajině Nového Města se nový objekt už nebude téměř uplatňovat.

Dalším z hlavních cílů investora je zklidnění celého náměstí. Dopravní řešení dává jednoznačně přednost chodcům, a zároveň umožňuje zrušit placená parkovací místa na náměstí i v jeho okolí. Zachována budou pouze místa pro rezidenty. Z 910 nově vytvořených parkovacích stání pod objektem bude 622 určeno pro veřejnost.

*Tisková informace*



## Vliv výstavby tunelů Mrázovka na režim proudění podzemní vody

Ing. Jana VALENTOVÁ, CSc.

Ing. Petr VALENTA, CSc.

ČVUT – Fakulta stavební

Praha

V souvislosti s výstavbou nových ražených tunelů Mrázovka, které jsou součástí městského okruhu Radlická – Strahovský tunel – Mrázovka v Praze, bylo třeba se mimo jiné zabývat problematikou vlivu těchto staveb na režim podzemních vod. Byl zpracován numerický model proudění podzemní vody v okolí stavby, jehož cílem bylo určit velikost přítoků podzemní vody do tunelů, posoudit možnost snížení hladiny podzemní vody realizací odvodňovacích prvků v těsné blízkosti tunelových trub a určit stav hladiny ovlivněný realizací díla.

### Úvod

Tunelové dílo je tvořeno dvěma hlavními tunelovými troubami – východní a západní větví, které začínají portálem v blízkosti ulice Plzeňská proti výjezdu ze Strahovského tunelu, podcházejí vrch Mrázovka a dále vedou pod ulicemi Ostrovského, U Nikolajky, U Santošky, Bieblovou, Na Doubkové a Pod Pavím vrchem, z něhož ústí portálem do ulice Radlická. Pod Pavím vrchem z každé větve odbočují další dva tunely menšího průřezu. Délka každé hlavní větve je přibližně 1 km. Hlavní tunelové větve mají šířku výrubu 15 m, výšku výrubu 12 m, plocha výrubního průřezu je cca 140 m<sup>2</sup>.

### Geologické poměry

V prostoru budovaných tunelových děl se vyskytují dvě hydrogeologicky velmi odlišná prostředí. Ražba se provádí v horninách krystalinika, které je zastoupeno devonskými vápenci až ordovickými břidlicemi, jež jsou v okolí tunelů v různém stupni rozkladu [1], [2]. V některých úsecích se objevují polohy řevnických křemenců. Málo propustné horniny krystalinika jsou bází pro propustnější vrstvu fluvialních sedimentů různé mocnosti. V úseku mezi Mrázovkou a Pavím vrchem se nalézá několikametrová vrstva navážek. V okolí projektované stavby se provádí velmi podrobný geologický a hydrogeologický průzkum, který naznačuje selektivní chování horninových bloků až mikroregionů v okolí ražby. Mimořádná hustota pozorování ukázala, že puklinový režim je složitější, než se předpokládalo. V některých vrtech se objevuje několikametrové časově omezené rozkolísání hladin, které nelze vysvětlit ani probíhající ražbou, ani srážkovou činností.

### Výchozí předpoklady modelování

Z výsledků hydrogeologického průzkumu i z morfologie zájmové oblasti vyplývá, že proudění podzemní vody zde má třírozměrný charakter. Nicméně s ohledem na liniový charakter modelovaného tunelového díla i cíle řešení lze považovat za oprávněný předpoklad dominantního dvourozměrného proudění vody ve směru kolmém k ose tunelu. Pro zpracování byl proto zvolen model dvourozměrný, přičemž výpočty proudění vody v okolí tunelu se prováděly

ve třech vybraných charakteristických svislých řezech:

- profil v ulici U Nikolajky,
- profil v oblasti Pavího vrchu,
- profil v oblasti vrchu Mrázovka.

Proudění podzemní vody puklinovým systémem nejspíše připomíná pohyb vody komplikovanou sítí vzájemně propojených potrubí různé světlosti. V ustáleném režimu lze předpokládat, že obalová čára hladin v puklinách je spojitá a odpovídá hladině v průlinovém prostředí.

K modelování proudění vody v puklinovém prostředí lze teoreticky přistoupit dvojím způsobem. První metoda spočívá v podrobném modelování puklinového systému složeného z jednotlivých puklin. Tento postup však vyžaduje znalost rozměrů a prostorového rozložení jednotlivých puklin, tedy takové podklady, jaké v praxi nejsou k dispozici. Druhý přístup spočívá v zavedení analogického průlinového prostředí, které se v globálním měřítku chová obdobně jako modelovaný puklinový systém. Schematizace je tím menší, čím je síť puklin hustší a čím je šířka puklin menší. Tento předpoklad o možnosti náhrady skutečného prostředí prostředím s průlinovou propustností byl použit i v rámci provedené studie.

Cílem výpočtů nebylo modelovat změny režimu proudění podzemní vody v jednotlivých fázích výstavby tunelového díla, nýbrž odhadnout základní parametry potřebné pro návrh tunelu a jeho odvodňovacího systému pro stav po realizaci stavby. Z tohoto důvodu byl numerický model koncipován jako ustálený, modelující stav po dosažení rovnovážného ustáleného režimu proudění podzemní vody.

### Použitý model

Výpočty byly provedeny pomocí numerického modelu GWFLOW, který metodou konečných prvků simuluje ustálené proudění vody s volnou nebo napjatou hladinou v nasyceném porézním prostředí a poskytuje jako výsledek hodnoty piezometrické výšky, rychlosti proudění, průběh gradientů piezometrické výšky, popř. hodnoty tlakové výšky potřebné pro stanovení tlakových sil na obtékané konstrukce. Model byl v minulosti již vícekrát použit při modelování proudění podzemní vody v úlohách souvisejících s návrhem inženýrských děl, zejména hydrotechnických objektů [3], [4]. Je vybaven i modulem pro řešení transportu rozpuštěných látek v podzemní vodě [5].

Základem numerického modelu GWFLOW je rovnice popisující stacionární dvourozměrné proudění vody v nasyceném heterogenním a anizotropním porézním prostředí

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) - W = 0,$$

kde  $x, y$  jsou osy kartézského souřadného systému, rovnoběžné s hlavními osami anizotropie,

- $h$  – piezometrická výška [m],
- $k_{xx}, k_{yy}$  – složky tenzoru hydraulické vodivosti [ms<sup>-1</sup>],
- $W$  – objemový tok na jednotku objemu (bodové zdroje či propady) [s<sup>-1</sup>].

V modelu je možné použít dva základní typy okrajových podmínek:

- Dirichletovu, vyjadřující známou hodnotu piezometrické výšky na hranici modelovaného území nebo na její části;
- Neumannovu, která vyjadřuje známou hodnotu toku ve směru kolmém k hranici (jejím speciálním případem je nepropustná hranice).

Numerický model GWFLOW řeší řídicí rovnici metodou konečných prvků. Aplikace této metody k řešení řídicích rovnic proudění podzemní vody je dostatečně popsána v odborné literatuře, např. [6]. V dalším textu se proto omezíme na stručný popis modelu a jeho možnosti. Model používá izoparametrické konečné prvky s kvadratickou aproximací piezometrické výšky. Umožňuje kombinovat v rámci jedné výpočetní sítě čtyřúhelníkové prvky s osmi uzly a trojúhelníkové prvky se šesti uzly. Strany prvků mohou být přímkové, popř. zakřivené. Cílem řešení výchozí rovnice jsou hodnoty piezometrické výšky v řešené oblasti, z jejichž průběhu je možné vypočítat směr a velikost vektorů rychlosti proudění, velikost gradientů piezometrické výšky a tlak proudící vody na obtékanou konstrukci.

Při aplikaci modelu je třeba nejprve definovat hranice řešené oblasti, zvolit okrajové podmínky a řešenou oblast nahradit sítí konečných prvků, zadávanou souřadnicemi uzlů konečných prvků. Tvar sítě je třeba přizpůsobit skladbě a heterogenitě modelovaného profilu a tvaru obtékané konstrukce, nejlépe tak, aby hranice prvků ležely na rozhraní jednotlivých vrstev. Hydraulické charakteristiky materiálu jsou zadávány pomocí nasycené hydraulické vodivosti samostatně pro každý prvek.

Model je vybaven algoritmem pro hledání polohy a tvaru volné hladiny ve dvou alternativách. První alternativa pracuje na bázi postupné modifikace výchozí sítě konečných prvků tak, aby ve výsledném řešení korespondoval modifikovaný tvar odpovídající části hranice sítě konečných prvků s nalezeným tvarem volné hladiny [6]. Druhá metoda spočívá ve zjednodušeném modelování nenasyčené zóny nad hladinou podzemní vody (za použití pevné výpočetní sítě), volná hladina je pak konstruována jako křivka spojující body s nulovým tlakem. Zjednodušení spočívá v aplikaci idealizovaného vztahu pro redukcii hydraulické vodivosti v závislosti na velikosti sacího tlaku [8]. Ve studii byla použita kombinace obou metod, kdy konečné prvky v oblasti vysokých sacích tlaků (ve větších vzdálenostech od volné hladiny) byly v průběhu iteračního hledání volné hladiny automaticky odstraňovány z výpočetní sítě, zatímco druhá metoda byla aplikována pouze v bližším okolí volné hladiny.

Pro přípravu dat a pro názorné vyhodnocení dosažených výsledků, které představují mimořádně rozsáhlé číselné vstupní a výstupní soubory, byl použit systém grafických preprocesorů a postprocesorů koncipovaný jako aplikace ADS pro grafický editor AutoCAD. Tento systém umožňuje vyhodnotit výsledky modelu GWFLOW ve formě výkresů obsahujících zobrazení sítě konečných prvků, izolinií piezometrických výšek, proudnic, rychlostních polí a barevných map velikostí gradientů piezometrické výšky.

### Popis modelovaných profilů a řešených variant

Profil I, vedený ulicí U Nikolajky, charakterizuje poměry nehluboko vedeného tunelu s relativně mocnou vrstvou deluví, navážek a kvarteru v nadloží skalních hornin (ordovických břidlic), ve kterých se provádí ražba. Profil II charakterizuje poměry na lokalitě Paví vrch, tunelové trouby jsou zde vedeny hluboko pod povrchem v horninách skal-

ního podloží, jejichž propustnost klesá s rostoucí hloubkou pod povrchem. Profil III je veden vrchem Mrázovka opět kolmo na trasu tunelových trub. Horniny ordoviku jsou v tomto profilu tvrdší než ve dvou předchozích, v profilu se vyskytují horniny v různém stupni rozkladu, od zcela rozložené, přes zvětralý, navětralý a slabě navětralý stav až ke zdravému stavu. V tomto profilu se také objevuje poloha křemenců, které jsou vzhledem ke zdravé hornině zhruba o řád propustnější.

V každém profilu byly zkoumány dvě varianty, které se lišily předpokládaným stavem horniny a odvodňovacích prvků v těsné blízkosti ostění tunelového díla. Varianta A uvažuje případ, kdy se hydraulická vodivost v blízkém okolí tunelového díla neliší od hydraulické vodivosti okolního horninového prostředí. Ostění tunelu je nepropustné a prosakující podzemní voda je odváděna drénem vybudovaným pode dnem tunelové trouby. Hladina v drénu je čerpáním udržována v úrovni dna tunelu.

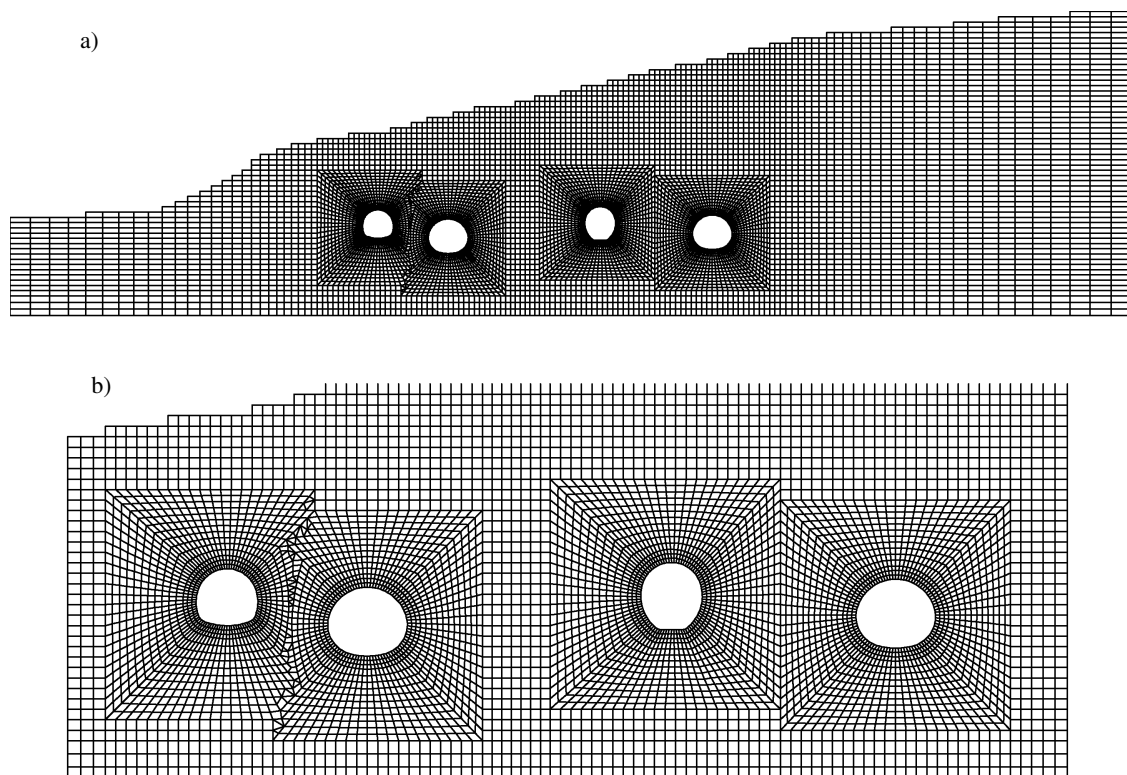
Varianta B počítá s mimořádně zvýšenou propustností na kontaktu horninového prostředí s tunelovou troubou. Voda, která přitéká k nepropustné obezdívce, je zachycena touto vysoce propustnou vrstvou a je jí bez výraznějších hydraulických odporů svedena do drénu pode dnem tunelu. Obdobný stav by ve skutečnosti mohl nastat při výrazném rozvolnění hornin v okolí tunelového díla ražbou, rozrušením a rozpadu primární obezdívky (s nímž se v dlouhodobém horizontu podle údajů projektanta počítá) nebo v případě, že by u pláště tunelu byl záměrně vybudován účinný drenážní systém plnící stejnou funkci za účelem snížení tlaků vody na tunelové dílo. Varianta rovněž s určitou přibližností reprezentuje stav těsně po ražbě před zhotovením tunelové obezdívky.

### Rozsah modelované oblasti, okrajové podmínky, kalibrace modelu

Modelovaná oblast v každém ze tří profilů má zhruba obdélníkový tvar. Dolní hranice modelu (z hlediska proudění vody uvažovaná jako nepropustná) byla volena asi 20 m pode dnem nejnižšího uloženého tunelu, svislé hranice byly voleny v dostatečné vzdálenosti od tunelového díla, aby řešení v okolí tunelů nebylo ovlivněno zadanou okrajovou podmínkou. Na svislých hranicích byla zvolena okrajová podmínka konstantní hodnoty piezometrické výšky. Délka každého z modelovaných profilů byla přibližně 300 m. Horní ohraničení modelovaných oblastí tvořila vždy hladina podzemní vody, jejíž tvar byl součástí řešení.

Výpočetní sítě byly tvořeny téměř výhradně čtyřúhelníkovými izoparametrickými prvky s osmi uzly, pouze v místech vzájemného napojení dílčích sítí byly dle potřeby aplikovány prvky trojúhelníkové. Výpočetní prvky měly proměnnou hustotu, větší prvky byly použity u bočních okrajů modelu a směrem k tunelovým troubám se rozměry konečných prvků postupně zmenšovaly. Nejmenší rozměry měly konečné prvky v okolí tunelového díla, kde byly očekávány nejvýraznější změny v charakteristikách proudění podzemní vody. Zahuštění sítě umožnilo i přesnější modelování proudění vody v okolí drénů, které představují singulární body řešení (v singulárních bodech není definován směr proudění a rychlost je zde teoreticky neomezená – podrobný rozbor této problematiky včetně dalších možných způsobů zpřesnění řešení v okolí singulárních bodů uvádí [7]). Příklad tvaru výpočetní sítě v profilu Paví vrch je znázorněn spolu s detailem sítě v okolí tunelů na obr. 1.

Koeficienty hydraulické vodivosti zadávané do modelu primárně vycházely z charakteristik hydraulického odporu prostředí, stanoveného na základě vyhodnocení přítokových



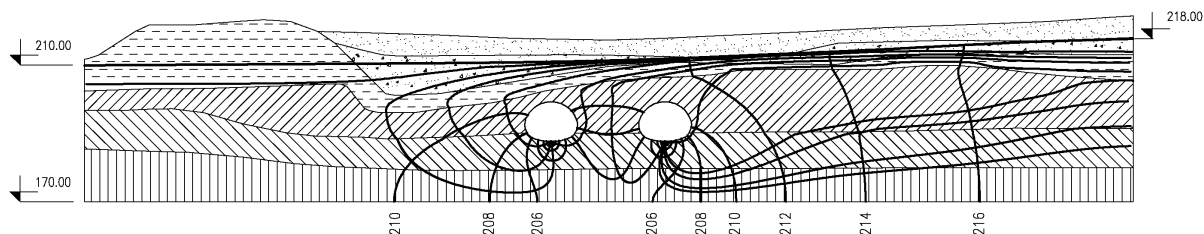
Obr. 1. Výpočetní síť v profilu Paví vrch  
a – celá modelovaná oblast, b – detail v okolí tunelů

zkoušek v hydrogeologických vrtech. Přítokovými zkouškami byla určena transmisivita, stanovená pro rozsah celého vrtu. V každém řešeném profilu bylo nutné zadat rozdílné hodnoty hydraulické vodivosti odpovídající rozdílnému litologickému složení různých útvarů. Rozdělení modelované oblasti na zóny různé propustnosti a úprava hodnot hydraulických vodivostí byla předmětem kalibrace modelu. Ke kalibraci modelů v jednotlivých profilech byly využity hodnoty měřených hladin podzemní vody v hydrogeologických vrtech nacházejících se v blízkosti, resp. údaje o předpokládaných hladinách podzemní vody před zahájením ražby. Pro kalibraci bylo tedy nutné řešit také stav proudění podzemní vody v zájmové oblasti před ražbou, popř. po dokončení jedné tunelové trouby, což odpovídalo existujícím řadám měření hladin ve vrtech. Rozložení zón s různě uvažovanými velikostmi hydraulických vodivostí v jednotlivých profilech je zřejmé z příloh obsahujících výsledky simulací proudění podzemní vody. Různé hydraulické vodivosti odpovídají různým typům šrafování. U některých vrstev byla zavedena mírná či větší anizotropie hydraulické vodivosti. Ta se nejvíce projevila u vrstvy navážek se zastoupením kvarterních sedimentů v profilu U Nikolajky, kde byla uvažována výrazně vyšší hydraulická vodivost v horizontálním směru než ve směru vertikálním.

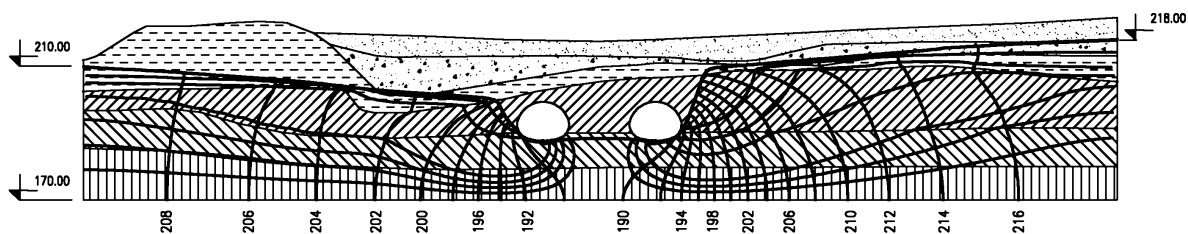
### Výsledky modelového řešení

Cílem modelového řešení proudění podzemní vody v okolí tunelové stavby bylo jednak stanovit hodnoty přítoků do tunelových trub a jednak určit, zda je možné výrazně ovlivnit výšku hladiny podzemní vody nad touto stavbou zavedením vhodného drenážního opatření. Ve všech třech výpočetních profilech byla řešena jednak varianta A, kdy ostění tunelové trouby je zcela nepropustné a ve dně tunelu je osazen drén, ve kterém je hladina udržována na konstantní úrovni, a jednak varianta B, v níž je kolem celého obvodu tunelu uvažována drenážní vrstva o tloušťce 0,5 m s velmi malým hydraulickým odporem a která zajišťuje odtok přitékající vody. Výsledné ovlivnění tvaru hladiny podzemní vody je v těchto dvou variantách velmi rozdílné.

Na obrázcích 2 a 3 jsou vykresleny izolinie piezometrické výšky, trajektorie proudící vody a hladina podzemní vody v profilu U Nikolajky, kde je tunelové dílo vedeno v poměrně malé hloubce pod terémem. Obrázek 2 znázorňuje konečný stav s oběma tunelovými troubami a variantou, kdy je voda odváděna pouze drénem uloženým pode dnem tunelu. Je zřejmé, že nedochází k výraznějšímu poklesu hladiny v blízkosti tunelů. Naproti tomu výsledky varianty, kdy je uvažována velmi propustná vrstva po obvodu tunelu, zná-



Obr. 2. Profil U Nikolajky, varianta A – trajektorie a izolinie piezometrické výšky

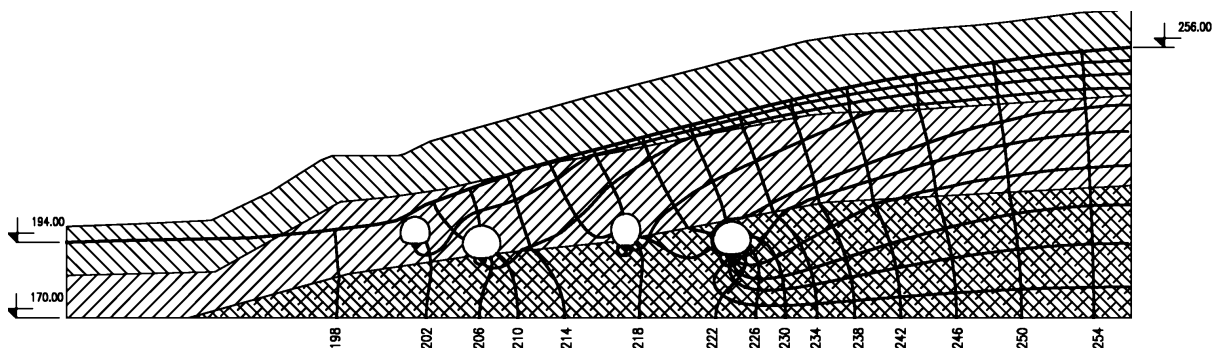


Obr. 3. Profil U Nikolajky, varianta B – trajektorie proudící vody a izolinye piezometrické výšky

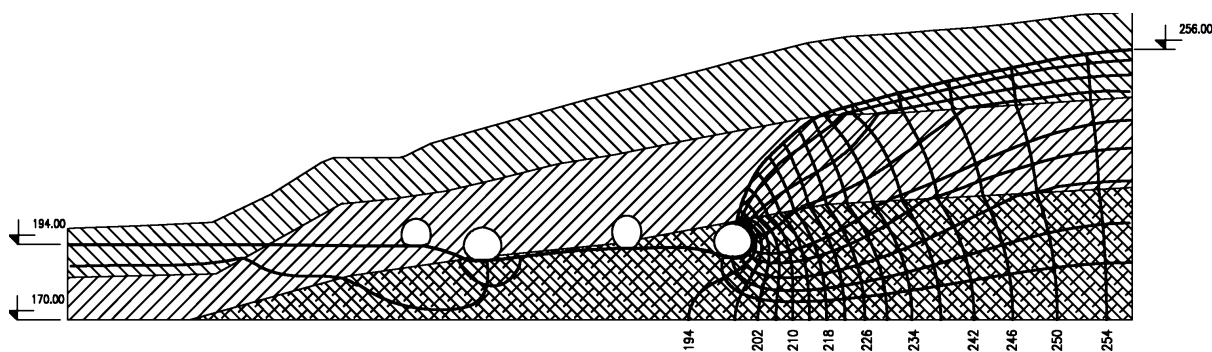
zorněné na obr. 3, ukazují vznik výrazného poklesu hladiny podzemní vody s dosahem asi 15 m od os tunelů; mezi oběma tunelovými troubami je hladina téměř vodorovná. Přítok do tunelů činí celkem ve variantě A 0,07 l/s a ve variantě B 0,19 l/s na 1 m délky tunelu, přitom přítok do západní tunelové trouby je jen nepatrně větší než přítok do východní trouby.

Výsledky numerických simulací v profilu Paví vrch jsou znázorněny na obr. 4 a obr. 5. Profil na Pavím vrchu je

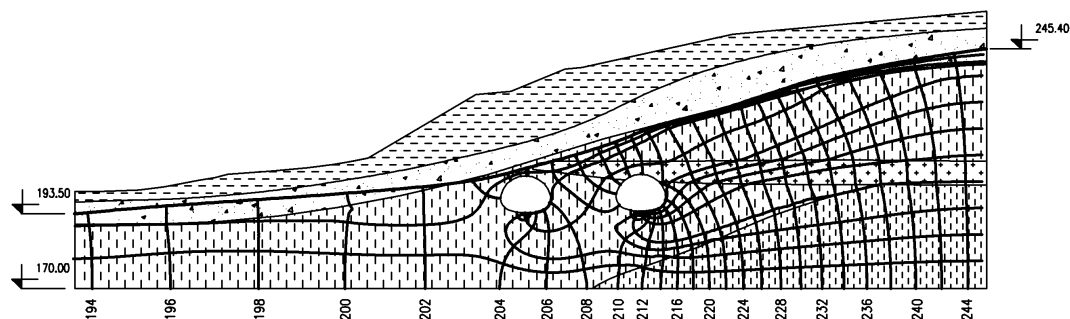
charakterizován celkově menší hydraulickou vodivostí, hlubším uložením tunelové stavby (západní tunel je asi 30 m pod hladinou podzemní vody) i vyšším spádem hladiny mezi vstupní a výstupní hranicí modelu. Nicméně výsledky hodnocené z hlediska ovlivnění hladiny podzemní vody tunelovou stavbou jsou obdobné jako u profilu 1. K výraznému snížení hladiny podzemní vody dochází jen u výpočtové varianty B (obr. 5), která předpokládá buď propustnou obezdívku, nebo zapojení zóny v těsném okolí tunelové



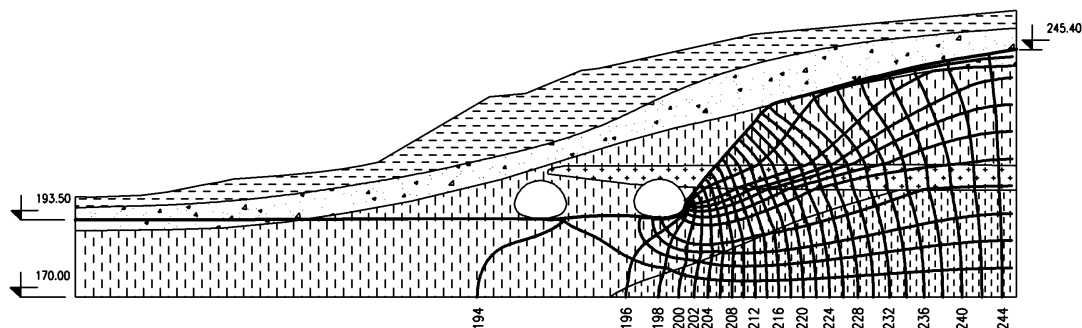
Obr. 4. Profil Paví vrch, varianta A – trajektorie proudící vody a izolinye piezometrické výšky



Obr. 5. Profil Paví vrch, varianta B – trajektorie proudící vody a izolinye piezometrické výšky



Obr. 6. Profil Mrázovka, varianta A – trajektorie proudící vody a izolinye piezometrické výšky

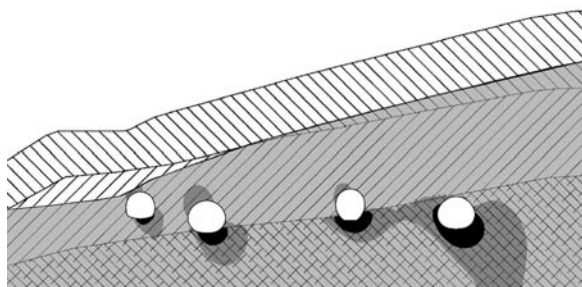


Obr. 7. Profil Mrázovka, varianta B – trajektorie proudící vody a izolinie piezometrické výšky

obezdívky do drenážního působení. Za těchto předpokladů zachycuje v modelových výsledcích západní tunelová trouba většinu přítoku (cca 0,02 l/s) ze směru od vrcholu Pavího vrchu a hladina podzemní vody je snížena k vrcholu tunelové trouby. Ve variantě A dojde k nepatrnému snížení hladiny podzemní vody proti původnímu stavu, přítok do všech tunelových trub činí asi 0,016 l/s a je jen nepatrně nesymetricky rozdělen.

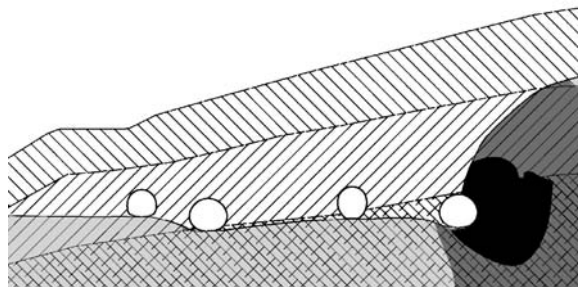
V profilu Mrázovka jsou výsledky numerického řešení, uvedené v obr. 6 a obr. 7, podobné jako v profilu Paví vrch. Vzhledem k tomu, že zvodnělá část modelovaného profilu má podobné hydraulické vlastnosti jako v případě profilu na Pavím vrchu a že celkový gradient piezometrické výšky mezi vstupní a výstupní hranicí je menší než v profilu Paví vrch, je také přítok do tunelového díla menší a činí ve variantě A asi 0,01 l/s a ve variantě B 0,015 l/s. Z obrázku 6, znázorňujícího výsledky varianty A (drén pode dnem tunelu), je zřejmé jen nevýrazné snížení hladiny podzemní vody nad tunelovým dílem, naproti tomu na obr. 7 je vidět zaklesnutí hladiny podzemní vody způsobené odvodňovacím prvkem tvořeným silně propustnou vrstvou kolem tunelu (varianta B). Ve variantě B veškerý přítok z Pavího vrchu zachycuje západní tunelová trouba.

Kromě vyhodnocení tvaru hladin podzemní vody, izolinií piezometrických výšek a trajektorií proudící vody byly pro všechny varianty stanoveny také hodnoty gradientů piezometrické výšky a rychlosti vody. Ve variantě A se oblast zvýšených gradientů vyskytuje zejména pode dnem tunelů, hodnota gradientu piezometrické výšky roste se zmenšující se vzdáleností od drénu. Hodnoty větší než 1 se vyskytují v profilech Paví vrch a Mrázovka max. do vzdálenosti 10 m od obvodu tunelové trouby, v profilu U Nikolajky do 5 m. V případě varianty B je oblast s většími hodnotami gradientu rozsáhlejší. V profilu U Nikolajky není oblast zvýšených gradientů nijak významná vzhledem k relativně malému výškovému poklesu hladiny podzemní vody (18 m), který je vyvolán vysoce propustnou odvodňovací vrstvou kolem tunelu, ale v profilech Paví vrch a Mrázovka se zóna gradientů s hodnotou v rozmezí 1 až 2 rozkládá až do vzdá-



Obr. 8. Profil Mrázovka, varianta A – gradienty piezometrické výšky

lenosti 30 m od obvodu tunelové trouby na straně přítoku vody od vstupní hranice modelu. To je dáno velkým poklesem hladiny (30 až 35 m). Prostorové rozložení gradientů piezometrické výšky v profilu Paví vrch je zřejmé z obr. 8 a obr. 9. Světle šedé barvě odpovídá hodnota menší než 0,5, tmavší barvě hodnota v rozmezí 0,5 až 1,0 a černá barva zobrazuje hodnoty větší než 1.



Obr. 9. Profil Mrázovka, varianta B – gradienty piezometrické výšky

Oblast se zvýšenými gradienty piezometrické výšky koresponduje s oblastí vyšších filtračních rychlostí, i když na celkové rozložení rychlostí v modelované oblasti má výrazný vliv i uvažované zonální rozložení hydraulických vodivostí. Výraznější rozsah oblasti s vyššími rychlostmi filtračního proudění se objevuje ve variantě B, která vykazuje celkově vyšší přítok do drenážních prvků. Maximální rychlosti filtračního proudění se vyskytují ve variantě A v blízkosti odvodňovacího drénu, u varianty B zasahují i vysoce propustnou drenážní vrstvou kolem tunelových trub.

## Závěry

Hlavním cílem numerického modelování proudění podzemní vody v okolí ražené části tunelu Mrázovka bylo stanovit velikost přítoků do tunelového díla a určit, zda realizací odvodňovacího drénu pod tunelovou stavbou lze významným způsobem snížit hladinu nad tunelovým dílem.

Provedené simulační výpočty ukázaly, že pouhá realizace spodní drenáže nemá na snížení hladiny vody nad tunelovým dílem významný pozitivní účinek. Výrazný pokles hladiny podzemní vody by mohl nastat při použití propustného ostění tunelu nebo v případě využití účinného drenážního prvku na styku tunelové obezdívky s horninovým prostředím. Problematické je ovšem samotné nalezení vhodného odvodňovacího prvku zajišťujícího spolehlivou drenážní funkci za ostěním tunelu. Při hledání způsobu zajištění účinného drenážního prvku je patrně možné uvažovat nejen o návrhu vhodného technického opatření, ale i o využití drenážního účinku hornin v okolí tunelu rozvolněných ražbou. Nabízí se teoretická úvaha, že zóna rozvolněné

horniny na styku s tunelem by mohla přirozeným způsobem plnit funkci drenážního prvku a případně i funkci odvodňovací v podélném směru tunelu.

Obdobné úvahy však narážejí na nejistotu, zda a do jaké míry k rozvolnění horniny skutečně dojde, jaké bude mít rozvolněný horninový materiál na styku s tunelem filtrační parametry a jak tyto budou případně ovlivněny provedenými injektážními pracemi realizovanými v některých úsecích stavby. Je tedy nejisté, zda rozrušená zóna může předpokládanou drenážní funkci spolehlivě plnit a zda je její funkce zajištěna po celé délce a obvodu tunelu a lze s ní počítat po celou dobu životnosti díla.

Pro ověření správné funkce drenážního systému určeného ke snížení hladiny podzemní vody (ať již by byl realizován jakýmkoli způsobem) by bylo vhodné osadit v tunelech piezometry na bázi tlakových čidel schopné registrovat změny tlaku vody za ostěním tunelu, a tedy i kontrolovat zatížení ostění hydrodynamickým tlakem. Získané informace by mohly být využitelné i při návrhu a realizaci obdobných tunelových staveb v budoucnosti.

#### Valentová, J. – Valenta, P.: The Impact of Mrazovka Tunnels on Groundwater Flow

The Mrazovka Tunnels will be a part of the system of structures within the proposed Prague City Ring. One of the preliminary studies necessary for structural design is the estimation of the tunnel construction impact on the groundwater flow pattern. A numerical model of groundwater flow in the area of interest was created. It was used as the tool for the determination of the water seepage into the tunnels and for the estimation of the decrease of groundwater free surface in the neighbouring zone.

#### Literatura

- [1] Ovcárov, I. a kol.: Hydrogeologický průzkum, I. etapa – MO Radlická – Strahovský tunel, stavba č. 9541 – PUDIS Praha, 1997.
- [2] Ovcárov, I. a kol.: Hydrogeologický průzkum, II. etapa – MO Radlická – Strahovský tunel, stavba č. 9541 – PUDIS Praha, 1997.
- [3] Valenta, P. – Valentová, J.: Výpočty proudění vody pod jezem Benátky nad Jizerou. ČVUT Praha, 1999.
- [4] Valenta, P. – Valentová, J.: Výpočty proudění vody v podzákladě VD Hamuliakovo. ČVUT Praha, 1997.
- [5] Valentová, J. – Valenta, P.: Numerický model transportu rozpuštěných látek v podzemní vodě a analýza jeho vlastností. J. Hydrol. Hydromech., **41**, 1993, č. 4 – 5, s. 286 – 304.
- [6] Kazda, I.: Podzemní hydraulika v ekologických a inženýrských aplikacích. Praha, Academia 1997.
- [7] Kazda, I. – Novotný, R.: Bodové singularity v proudovém poli podzemní vody. Vodohospodářský časopis, **38**, 1990, č. 1, s. 51 – 70.
- [8] Desai, C.S. – LI, G.C.: A Residual Flow Procedure and Application for Free Surface Flow in Porous Media. Advances in Water Resources, **6**, 1983, No. 1, pp. 27 – 35.

#### Valentová, J. – Valenta, P.: Der Einfluss der Mrazovka Tunnel auf das Regime der Grundwasserströmung

Die Mrazovka Tunnel stellen einen Teil eines Komplexes baulicher Anlagen im Zuge des geplanten Prager City-Ringes dar. Eine der Grundlagen für die Gestaltung des Bauwerks bildete die Abschätzung des Einflusses der Tunnelkonstruktion auf die Grundwasserströmung. Für das Einflussgebiet wurde daher ein numerisches Grundwassermodell erstellt und als Prognoseinstrument zur Vorhersage der Tunneldurchsickerung und zur Abschätzung der Grundwasserabsenkung in der engen Umgebung der Tunnelröhren eingesetzt.

## ● recenze

### Köning, H. – Erlacher, P.

#### Neviditelná hrozba – elektromagnetické pole kolem nás

HEL, Ostrava, 2001, 1. české vydání, 120 s.

Od samého počátku své existence žije člověk trvale v moři záření – světelného, tepelného, ultrafialového, kosmického, radioaktivního. Zdroje záření mohou být i umělé, vytvořené člověkem, např. rentgen, mobilní telefon, počítač nebo televizor. Záření jsme prostě vystaveni neustále, aniž máme možnost tomu zcela zabránit. Uvádí se, že všechny přírodní zdroje dohromady představují asi 83 % středního ročního dávkového ekvivalentu (veličina pro vyjádření účinku záření na člověka) pro jednotlivce. Zbývající dávkový ekvivalent je způsobován umělými původci (většinou lékařskými), kterých jsme se naučili využívat v mnoha oborech lidské činnosti. Jevy a účinky různých záření jsou rozdílné, ale pro fyzika jsou to všechno formy elektromagnetického záření, které se vzájemně liší jen vlnovou délkou a intenzitou.

Zatímco se v průběhu dlouholetého vývoje člověk a živočišné na účinky přírodního záření adaptovali, jinak je tomu se zářením z umělých zdrojů. Jelikož o subtilních účincích a nebezpečí těchto záření máme mnohdy jen nepřilíživě spolehlivé informace a jejich vliv na zdraví je hodnocen různě, je při zacházení se zářením, vlnami a poli důležitá obezřetnost a

potřeba realizovat preventivní opatření. Abychom však mohli tomuto požadavku dostát, musíme být o různých formách elektromagnetického záření a jeho vlivech na člověka přiměřeně informováni s přihlédnutím k profesním i osobním potřebám.

Naplnit tento úkol si předsevzali německý architekt a ekolog Holger König a elektrotechnik a stavební biolog Peter Erlacher ve shora uvedené publikaci. Po přehledu vlastností a účinků stejnosměrných a střídavých elektrických a magnetických polí a vysokofrekvenčního, slunečního a ionizujícího záření vysvětlují autoři mezní hodnoty polí a záření v budovách požadované stavebními biology a zdravotníky zabývajícími se životním prostředím. Popisují, jak se pole a záření měří, a přinášejí rady a doporučení, jak se vyhnout rizikům. Podrobně jsou ukázána technická opatření a stavební zásahy u nových i dosavadních staveb, jimiž je možné vytvořit prostředí k bydlení s co nejmenší přítomností záření.

Publikace je vybavena mnoha technickými údaji, četnými obrázky, schémata, tabulkami a fotografiemi.

(tes)

# Měření vlhkosti a teploty v průběhu hydratace samozhutnitelného betonu

doc. Ing. Václav KURÁŽ, CSc.

Ing. Jan MATOUŠEK

Ing. Jiří LITOŠ

ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

Předložená studie je součástí komplexního měření vlhkostních, teplotních a objemových změn velkoobjemových monolitů ze samozhutnitelného betonu, jehož specifikace je uvedena v [1]. Pro měření vlhkosti byl použit dielektrický měřič vlhkosti zemin, současně byla měřena teplota čidly fy National Semiconductor typu LM35CA. Zjištěné hodnoty byly překalibrovány na hodnoty vlhkosti pomocí gravimetrické metody. Výsledky plně prokazují její využitelnost k měření obsahu volné vody v betonu.

## Úvod

Dielektrická metoda měření vlhkosti poréznych materiálů, která byla původně rozpracována pro měření vlhkosti půd, se osvědčila také při stanovení vlhkostních změn u betonových vzorků včetně měření v průběhu hydratace. Jak vyplývá z [2], dielektrický měřič vlhkosti byl úspěšně vyzkoušen při laboratorním měření na malých válcových vzorcích betonu. Z výsledků těchto měření dále vyplývá, že v počáteční fázi hydratace je měření výrazně ovlivněno jednak teplotními změnami v důsledku vývoje hydratačního tepla, jednak objemovými změnami (smršťováním). Odchytky zjištěných hodnot v první fázi hydratace není možné vysvětlit pouze teplotní závislostí. Vzhledem k výraznému zvýšení teplot v první fázi hydratace je ovšem nezbytné doplnit měření vlhkosti měřením teploty.

Na základě výsledků laboratorních měření teplotních, vlhkostních a objemových změn vzorků samozhutnitelného betonu v rámci řešení grantu byla dielektrická metoda použita také k monitorování vlhkostních změn v poloprovazních podmínkách na rozměrných modelech.

## Uspořádání experimentů

Měření vlhkosti a teploty [1] bylo součástí komplexního experimentu. Ve spolupráci s TBG Metrostav byly v zastíněném prostoru (tak, aby měření nebylo negativně ovlivněno povětrnostními vlivy) vybetonovány kvádry o ploše 1,00 m<sup>2</sup> a tloušťce 1,00 m, 0,75 m, 0,50 m a 0,25 m. Před betonáží kvádrů byly do bednění osazeny novodurové přístupové pažnice tak, aby bylo umožněno měření vlhkosti v profilu kolmém na čelní stěny jednotlivých kvádrů. S ohledem na další zabudovaná čidla byly přístupové pažnice osazeny ve výšce 20 cm od horního povrchu. Tomuto uspořádání bylo přizpůsobeno umístění teplotních čidel.

K měření vlhkosti se používal dielektrický měřič vlhkosti s válcovými elektrodami s vnějším rozptylovým polem [4]. Data odečtená z obrazovky přístroje se následně zpracovávala tabulkovým editorem Excel. Vlhkost se měřila v ekvidistantních vzdálenostech 5 cm. Intervaly měření byly voleny s ohledem na rychlost vlhkostních změn. Prvních 14 dnů

se vlhkost měřila v jednodenních intervalech, poté byly intervaly prodlouženy na 1 týden, a po měsíci od započetí zkoušek jednou za měsíc. Zjištěné hodnoty byly přepočítány na hodnoty vlhkosti. Na základě výsledků dlouhodobých měření [2], [3] byla pro kalibraci uvažována lineární závislost, přičemž počáteční hodnota byla vypočítána na základě známé vodní hodnoty betonu; pro stanovení další hodnoty vlhkosti byl odebrán vzorek betonu současně s měřením dielektrickým měřičem vlhkosti. Vlhkost odebraného vzorku betonu byla stanovena gravimetrickou metodou.

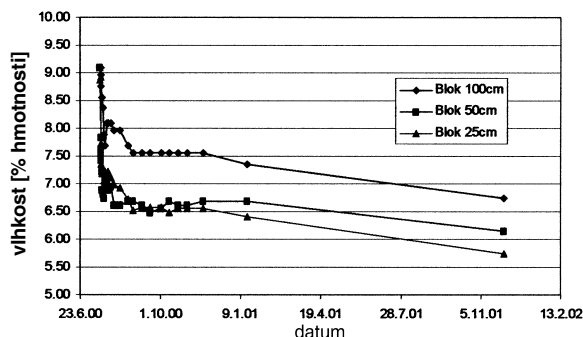
Pro teplotní měření byla použita přesná polovodičová teplotní čidla fy National Semiconductor typu LM35CA, u nichž výrobce uvádí absolutní přesnost měření  $\pm 0,2$  °C při teplotě 25 °C a podobně příznivou nelinearitu  $\pm 0,15$  °C v celém teplotním rozsahu snímače  $-40$  až  $+110$  °C. Celkově bylo v blocích osazeno dvacet měřících míst, další dvě sloužila pro měření a registraci okolní teploty vzduchu.

Výstupy teplotních čidel byly zesíleny a digitalizovány pomocí dvou karet převodníků A/D typu ADC1216 (Adicom Praha). Obslužný program pro sběr dat byl napsán řešiteli grantu v jazyce C speciálně pro danou aplikaci a byl určen – s ohledem na dlouhodobou spolehlivost provozu – pro práci v operačním systému MS DOS. Datové soubory z měření byly ukládány v sloupcovém textovém formátu určeném pro rychlé načtení do tabulkového kalkulátoru Excel.

Měřicí intervaly byly nastaveny po dobu počátečních osmi hodin na dvacet minut, dále se měření provádělo vždy po jedné hodině.

## Vyhodnocení výsledků měření

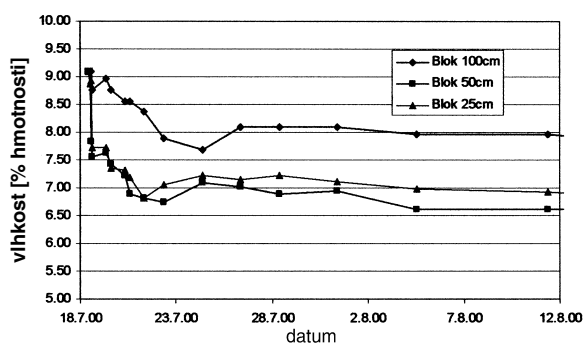
Výsledky měření teploty a vlhkosti jsou uvedeny na obr. 1 až obr. 4. Pro přehlednost výstupů z velmi rozsáhlých měření jsou zde vyhodnocena pouze měření na blocích o tloušťce 1,00 m, 0,50 m a 0,25 m, a to vždy ve středu příslušného bloku. Vzhledem k tomu, že některá měření pokračují, byl destruktivně odebrán vzorek betonu pro kalibraci hodnot naměřených dielektrickým měřičem vlhkosti pouze z bloku o tloušťce 1,00 m. Pro další bloky byla pro přepočet použita



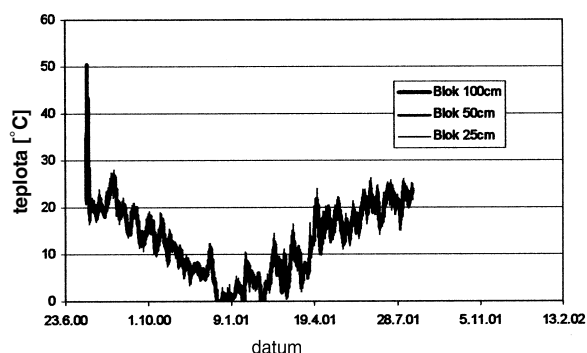
Obr. 1. Časový průběh vlhkosti betonových bloků – počáteční stadium měření

stejná kalibrační závislost. Je ovšem nutné brát v úvahu případnou nehomogenost jednotlivých bloků – kalibraci je proto nutné považovat za přibližnou, pokud jde o absolutní hodnoty vlhkosti. Relativní změny vlhkosti jsou ovšem jednoznačně průkazné, jejich průběh byl ověřen laboratorními zkouškami [3].

Na *obrázku 1* je uveden časový průběh vlhkosti ve středech jednotlivých bloků během počátečního stadia hydratace. Průběh měření je v souladu s předchozími pokusy. Pro srovnání je na *obr. 3* uveden časový průběh teplot ve shodné úrovni příslušných bloků. K největšímu nárůstu teploty během počátečního stadia hydratace došlo u bloku s tloušťkou 1,00 m (maximální hodnota > 50 °C), u bloku s tloušťkou stěny 0,25 m byla maximální naměřená teplota o 13 °C nižší.



Obr. 2. Časový průběh vlhkosti betonových bloků – celá doba měření



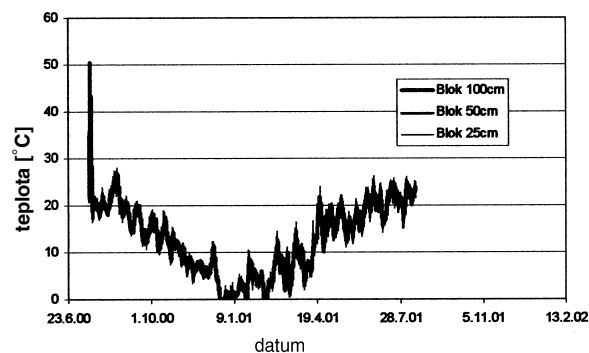
Obr. 3: Časový průběh teploty v blocích – počáteční stadium měření

Při měření vlhkosti se hydratace projevuje změnou trendu hodnot vlhkosti. Mimo jiné dochází i k jejich zvýšení, což by mohlo být paradoxně interpretováno jako nárůst obsahu volné vody. Z *obrázku 1* vyplývá, že k takovým anomáliím při měření také docházelo. Nejvýrazněji se tento jev uplatnil u bloku o tloušťce 1,00 m, nejméně u bloku o tloušťce 0,25 m. Průběh u bloků o tloušťce 0,25 a 0,50 m je téměř shodný, v rámci přípustné experimentální chyby.

Na *obrázku 2* je uveden časový průběh vlhkosti pro celé měřené období, tzn. cca 18 měsíců. Na *obrázku 4* je ve stejném časovém měřítku uveden průběh teplot. Vnitřní teploty byly již ovlivňovány pouze vnějšími teplotami, k žádným rozdílům zde nedocházelo.

Časový průběh vlhkosti je mnohem zajímavější. Z výsledků pro všechny vyhodnocované bloky je zřejmé, že i v delším časovém období pokračovala hydratace, popř. další chemické procesy, jejichž důsledkem je přechod volné vody na vodu pevně vázanou. Zde je nutno upozornit, že dielek-

trickou metodou měříme obsah volné vody, pevně vázaná voda má relativní dielektrickou konstantu výrazně nižší než volná voda – dielektrická konstanta pevně vázané vody má hodnotu srovnatelnou s touto hodnotou pro pevnou fázi, při měření vlhkosti se proto neuplatňuje.



Obr. 4. Časový průběh teploty v blocích – celá doba měření

Úbytek vlhkosti v delším časovém období, který byl naměřen u všech bloků a v celém jejich profilu, není možné vysvětlit pouze výparem z betonu.

Výsledná vlhkost je u bloku o tloušťce 1,00 m cca o 1 % hmot. vyšší než u bloku o tloušťce 0,25 m. Vliv výparu se uplatnil u tenčích bloků ve větší míře, plocha povrchu v porovnání s objemem je větší u tenčích bloků.

## Závěry

Výsledky měření vlhkosti betonových monolitů a vyhodnocení časového průběhu naměřených hodnot jednoznačně prokazují využitelnost dielektrického měřiče vlhkosti v poloprovozních podmínkách.

V počátečním stadiu hydratace, jehož délka vyplývá z měřeného průběhu vnitřních teplot, dochází při měření vlhkosti k jistým anomáliím, které jsou způsobeny jednak teplotní závislostí dielektrické konstanty, dále – v menší míře – objemovými změnami. Změny hodnot v počátku hydratace není proto možné vyhodnocovat jako změny v obsahu vody.

K největšímu poklesu obsahu volné vody samozřejmě dochází v průběhu hydratace. Mezi důležité závěry patří ovšem další pokles obsahu volné vody v časovém období mezi 12 až 18 měsíci po betonáži ve všech sledovaných blocích. Za hlavní příčinu tohoto jevu považujeme mimo výparu a pokračující hydratace další chemické procesy s ní související, které vedou ke změně vazby vody.

**Dosažené výsledky byly získány za podpory grantových prostředků č. 103/99/0767 GA ČR.**

## Literatura

- [1] Hošek, J. – Vítek, J. L. – Kuráž, V. – Litoš, J. – Matoušek, J.: Teplotní a objemové změny samozhutitelného betonu měřené na velkorozměrných modelech. Beton TKS, 2001, č. 6, s. 35 – 39.
- [2] Kuráž, V. – Matoušek, J. – Litoš, J.: Měření vlhkosti betonových vzorků dielektrickou metodou. Stavební obzor, 9, 2000, č. 2, s. 51 – 54.
- [3] Kuráž, V. – Matoušek, J. – Litoš, J.: Vliv teploty na měření vlhkosti betonových vzorků dielektrickou metodou. Stavební obzor, 9, 2000, č. 5, s. 141 – 144.
- [4] Kuráž, V. – Matoušek, J.: [Zpráva], grant č. 103/96/1709 GA ČR Monitoring vlhkosti půdy, Praha 1999.



Kuráž, V. – Matoušek, J. – Litoš, J.: Measurement of Moisture and Temperature During Hydration of Self-Compacting Concrete

The submitted study is part of complex measurement of moisture, temperature and volume changes of bulky monoliths from self-compacting concrete, whose specification is given in [1]. The dielectric meter of soil moisture content was used for measurement of moisture. At the same time, temperature was measured using detector LM35CA of the National Semiconductor company. The detected values were readjusted to moisture values using the gravimetric method. The measurement outcomes have proved the applicability of the method for measurement of free water content in concrete.

Kuráž, V. – Matoušek, J. – Litoš, J.: Messung der Feuchtigkeit und Temperatur im Verlauf des Abbindens selbstverdichtenden Betons

Die vorliegende Studie ist Bestandteil einer komplexen Messung der Feuchtigkeits-, Temperatur- und Volumenänderungen großvolumiger Monolithe aus selbstverdichtendem Beton, dessen Spezifizierung in [1] angeführt ist. Für die Messung der Feuchtigkeit wurde ein Gerät zur dielektrischen Messung der Erdfeuchtigkeit benutzt. Gleichzeitig wurde die Temperatur durch Messfühler der Firma National Semiconductor von Typ LM35CA gemessen. Die ermittelten Werte wurden auf Feuchtigkeitswerte mit Hilfe der gravimetrischen Methode umkalibriert. Die Messergebnisse erweisen ihre Anwendbarkeit zur Messung des Gehalts an freiem Wasser im Beton.

Katedra geodézie Stavebnej fakulty Slovenskej technickej univerzity v Bratislave poriada pod záštitou dekana Stavebnej fakulty STU Bratislava

2. medzinárodnú konferenciu inžinierskej geodézie



**INGEO 2002**

11. – 13. novembra 2002

Na organizácii konferencie kooperujú Komora geodetov a kartografov, Slovenský zväz geodetov.

Odborný program a sprievodná výstava budú prebiehať v priestoroch kongresového centra Slovenskej sporiteľne v Bratislave na Záhradníckej ulici.

**Tematické smerovanie:**

- sekcia č. 1: Tvorba modelov a spracovanie údajov
- sekcia č. 2: Meranie deformácií
- sekcia č. 3: Aplikovaná fotogrammetria
- sekcia č. 4: Meracie systémy a laserové zariadenia
- sekcia č. 5: Informačné systémy inžinierskych konštrukcií

**Kontaktná adresa:** Katedra geodézie – IN GEO 2002, Stavebná fakulta STU, Radlinského 11, SK – 813 68 Bratislava, ☎+421 2 59274 559, fax: +421 2 52494 334, e-mail: ingeo@svf.stuba.sk,

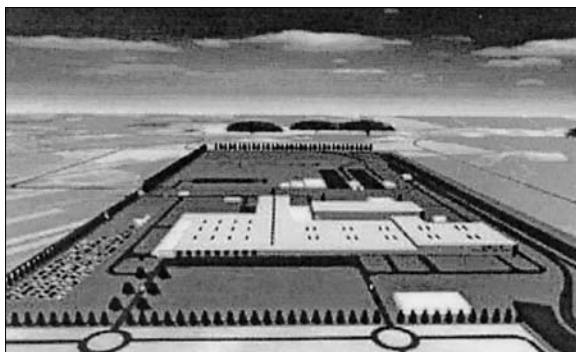
<http://www.svf.stuba.sk/kat/GDE>

## ● zprávy

### Výstavba automobilky v Kolíně

Dlouhodobá jednání koncernů PSA Peugeot Citroën a Toyota Motor Corporation byla završena v červenci loňského roku podpisem dohody o společné výrobě malých automobilů. Symbolickým zasazením české lípy, francouzského dubu a japonské sakury byla začátkem dubna zahájena v Kolíně–Ovčárech výstavba nové automobilky Toyota Peugeot Citroën Automobile (TPCA). V nejbližším okolí, na ploše 120 ha pro samotné výrobní objekty a stejně velkém území pro výrobce komponentů v těsné blízkosti, vyroste jeden z největších továrních komplexů v naší republice. Celkové investice projektu se odhadují na 1,5 mld. eur. V nové továrně s roční kapacitou kolem 300 tis. vozů by měl být zahájen provoz v roce 2005.

Práce nulté etapy stavby zahájilo sdružení firem, jehož reprezentantem je IPS SKANSKA, a. s., členy DSH, a. s., SSŽ, a. s., Geosan Group, a. s. Během čtyř měsíců musí jeho pracovníci přemístit bezprecedentní množství zemní hmoty a upravit terén tak, aby nebyly narušeny hydrogeologické poměry podloží budoucí stavby. Dodavatelé musí urovnat pozemek včetně vnitřního a vnějšího odvodnění, vybudovat první fázi retenční nádrže, přeložit stávající vodoteče a odvodňovací kanály a zřídit nové staveništní komunikace. Je také nutné odstranit zbytky starých komunikací, staveb a vyrovnat výškové rozdíly terénu. Zakázka takového typu vyžaduje enormní nasazení strojní mechanizace, a proto se v této fázi bude na stavbě nacházet na 250 expertů na provádění zemních prací z celé republiky.



Podmínkou veřejné obchodní soutěže, kterou vyhlásilo město Kolín, bylo dokončení zakázky do 31. 8. 2002. Pro splnění tohoto termínu je nutné každou minutu zpracovat více než 20 m<sup>3</sup> zemní hmoty (za předpokladu nepřetržitého provozu stavby), což je srovnatelné s objemem rodinného bazénu. Celkem má být za 123 dní přemístěno 3,6 mil. m<sup>3</sup> zemní hmoty. Pro srovnání – při budování 13,8 km dlouhého úseku dálnice D8 bylo přemístěno 1 367 512 m<sup>3</sup> zemních hmot (výkopů), z toho 592 765 m<sup>3</sup> ornice a lesní půdy, ale výstavba trvala dva roky.

Součástí územního rozhodnutí je přesná lokace využití ornice i podomíčí. Takto bude přesunuto celkem 900 000 m<sup>3</sup> ornice a podomíčí, přičemž jsou již dnes naplánovány trasy nákladních vozů tak, aby přeprava ovlivnila život obyvatel co nejméně. Ke stavbě existuje schválená studie EIA. Výstavba nové automobilky bude mít zásadní vliv na další vývoj regionu. V nové továrně naleznou práci 3 tis. zaměstnanců a předpokládá se, že v návaznosti na zahájení výstavby a později provozu továrny vznikne na 11 tis. pracovních míst.

*Tisková informace*

# Úprava a obnova příbřežních zón labské vodní cesty

prof. Ing. Pavel GABRIEL, DrSc.  
 ČVUT – Fakulta stavební  
 Praha

**Zlepšení plavebních podmínek na labské vodní cestě je podmíněno nejen výstavbou chybějících plavebních stupňů, ale i úpravou příbřežních zón podél toku. V článku jsou stručně shrnuty výsledky výzkumu revitalizace vegetačního doprovodu a břehů vodní cesty v přírodních úsecích toku. Zvláštní pozornost je věnována rozdílnému charakteru úprav příbřežních zón v urbanizovaných územích.**

## Úvod

V souladu se zásadami trvale udržitelného rozvoje krajiny nabývá přeprava zboží po vodních cestách, zejména na velké vzdálenosti, mimořádného významu, neboť je průkazně nejšetnější k přírodnímu a životnímu prostředí. Vodní cesty neznamují trvalý zábor přírodního prostředí pro dopravní účely, ale jeho vhodnou transformaci s mnohostranným využitím. Nicméně výstavba i provoz vodních cest a souvisejících vodních staveb ovlivňuje do větší nebo menší míry vodní tok, příbřežní zóny a okolní přírodní i urbanizované prostředí.

V rámci současně probíhajícího výzkumu interakce vodních cest a objektů na vodním toku s okolním prostředím je zkoumán vliv regulačních úprav na morfologii koryta toku, stabilitu koryta a úpravu jeho břehů, vliv plavebních stupňů na změny vodního režimu a na příbřežní zóny v přírodních a urbanizovaných úsecích, i možnosti ochrany, popř. náhrady existujících biotopů s vzácnými a ohroženými rostlinnými a živočišnými druhy. Jedním z konkrétních výstupů tohoto výzkumu je řešení problému revitalizace příbřežních zón labské vodní cesty.

## Rozvoj labské vodní cesty a okolní krajiny

Oba interaktivní prvky – řeka Labe a krajina, kterou protéká – byly v průběhu staletí ovlivňovány a přetvářeny lidskou činností někdy v pozitivním, jindy v negativním smyslu. Území podél řeky bylo ve stále větším rozsahu a intenzitě využíváno k zemědělským účelům, lesy byly uměle obnovovány, podél řeky vznikalo stále hustší osídlení a rozvíjel se průmysl, protože řeka byla po dlouhá staletí nejen přirozeným zdrojem vody a energie, ale i nejvhodnějším spojením s vnějším světem.

Význam řeky Labe spočívá nejen v tom, že v Čechách, orografickém vrcholu střední Evropy, byla v celém historickém vývoji – a nadále zůstává – podnětem ke vzniku a rozvoji hospodářského a společenského života, podnětem k rozvoji sídel, obchodu, průmyslu a zemědělství, ale že poskytuje přirozené, přírodní území nezabírající a k okolí nejšetnější dopravní spojení s ostatními evropskými státy, s mořem, a tím i s ostatními kontinenty.

Samotná řeka byla postupně upravována nejen pro lodní dopravu zboží i osob, ale i pro využívání jejího energetického potenciálu, a v neposlední řadě pro zvýšení ochrany obyvatel proti ničivým účinkům povodní. Nejintenzivněji se tyto antropogenní vlivy začaly projevovat ve druhé polovině devatenáctého století, k nejnepríznivějším zásahům pak

došlo ve druhé polovině dvacátého století především intenzivní průmyslovou zástavbou příbřežních zón, bezohledným znečišťováním vody, ale i nedostatečnou péčí o údržbu příbřežních zón.

Z uvedeného je zřejmé, že dnes již nelze hovořit o původním přírodním charakteru řeky a okolní krajiny, který by podle některých ochránců přírody měl zůstat nedotčen. To by totiž v podstatě znamenalo zakonzervování všech minulých negativních zásahů a anulování možnosti jejich nápravy – v přírodních úsecích říční nivy možnost revitalizace toku a jeho příbřežních zón, v urbanizovaných úsecích pak možnost dořešení protipovodňových opatření a úprav nábreží k jejich celoročnímu zpřístupnění a využívání obyvatelstvem i návštěvníky.

Přesto lze říci, že Polabí v Čechách zůstalo – přes některé necitlivé zásahy – v převážné části výjimečným krajinným skvostem poskytujícím krásné, příjemné a esteticky cenné životní prostředí zde usídleným obyvatelům a budícím zájem a obdiv návštěvníků z jiných koutů České republiky i ze zahraničí.

Při nutném zlepšování plavebních podmínek na regulačně splavněných úsecích toku a při revitalizaci negativně dotčených příbřežních zón je však třeba rozlišovat, a to zásadně, mezi ovlivňováním přírodního prostředí v extravilánu měst a ovlivňováním životního prostředí lidí v urbanizovaném prostředí intravilánu měst i větších sídel. Tomu je třeba přizpůsobit řešení. Zatímco revitalizaci příbřežních zón v extravilánu je třeba zaměřit na obnovu, resp. doplnění vegetačního doprovodu řeky, obnovu přirozeného charakteru břehů, ochranu vzácných rostlinných a živočišných druhů, obnovu a zřizování nových biotopů apod., revitalizaci příbřežních zón v intravilánu měst je třeba rozumět úpravy směřující k začlenění řeky do mnohotvárného života města, k dořešení ochrany obyvatel proti povodním, k architektonické a funkčně estetické úpravě nábreží sloužící ke společenskému životu obyvatel, jejich odpočinku, rekreaci, sportům a dalšímu všestrannému využití.

## Výsadba a obnova vegetačního doprovodu na středním a dolním Labi

Při splavňování Labe souvislou kaskádou plavebních stupňů v prvních desetiletích minulého století usilovali naši předchůdci nejen o vytvoření optimálních podmínek pro rozvíjející se lodní dopravu, ale i o citlivé začlenění budovaných vodních děl do okolní krajiny a v neobydlených úsecích o rychlou obnovu přírodního prostředí dočasně narušeného výstavbou. Tehdy realizované vegetační úpravy podél toku se staly přirozenou součástí polabské krajiny, dnes již nerozlišitelnou od okolí (*obr. 1*).



*Obr. 1. Vyhovující vegetace na středním Labi*

Nicméně v řadě úseků došlo v uplynulém období urbanizací, průmyslovou činností i jinými civilizačními vlivy k estetickému i funkčnímu narušení původního přirozeného stavu. Přitom původní vegetační doprovody, i výsadby prováděné v první polovině dvacátého století, na řadě úseků v dnešní době dožívají (obr. 2). Na některých úsecích toku



Obr. 2. Odumírající vegetační doprovod

nebyl doprovodný dřevinný porost realizován vůbec (obr. 3). Průzkumem bylo zjištěno, že stav břehových porostů v některých úsecích Labe neodpovídá požadavkům na ekologicky funkční vegetační doprovod vodního toku, ani nevyhovuje z hlediska potřeb a bezpečnosti plavby [1]. Přitom dlouholeté zkušenosti potvrdily, že v kulturní krajině, jakou Polabí je, nelze očekávat samovolný vznik stromových a keřových porostů podél toku, které by vyhovovaly požadavkům bezpečného plavebního provozu, i požadavkům estetickým a krajinnotvorným. Proto bylo třeba přijmout dlouhodobá opatření zahrnující jejich obnovu a usměrnění jejich žádoucího vývoje.



Obr. 3. Příbřežní zóna bez vegetace

Vegetační doprovod vodní cesty plní funkci ochrannou, estetickou a ekologickou. Výsadbou, resp. jeho obnovou, se sleduje zvýšení ochrany dnes používaných tlačných soulodí proti nepříznivému působení větru, zlepšení prostorové orientace posádek za nepříznivých povětrnostních podmínek, a tím zvýšení bezpečnosti a plynulosti plavebního provozu, jakož i zlepšení přírodního prostředí v daném úseku. Vyžaduje to obnovu a novou výsadbu břehových a doprovodných porostů podél toku, i výsadbu vhodné vegetace v areálech vodních děl.

V rámci řešení výzkumného úkolu „Technicko-provozní podmínky labské vodní cesty ovlivňující vegetační doprovod“ [1], iniciovaného správcem vodního toku Povodím Labe, byly na středním a dolním Labi vytypovány úseky a lokality, ve kterých jsou v důsledku nekrytých břehů při působení bočních větrů mimořádně nepříznivé podmínky pro plavbu. Pro uvedené úseky a lokality byly ve spolupráci s dendrologem vypracovány návrhy na výsadbu nových břehových porostů, popř. úpravu porostů stávajících, s konkrétním doporučením jejich druhové skladby a prostorového rozmístění. Nová výsadba byla svým uspořádáním a druhovou skladbou řešena v přírodě bližším charakteru a vzhledu proti původní zpravidla monotónní liniové výsadbě topolů (obr. 4). Tyto návrhy se staly výchozím podkladem pro zpracování rekonstrukčního projektu vegetačního doprovodu labské vodní cesty.

Založení doprovodné vegetace je složitým procesem z hlediska ekologického, krajinařského i provozního a představuje trvalou a finančně náročnou činnost. Vzhledem k rozsáhlosti zásahu byla proto obnova vegetačního doprovodu rozložena do několika etap. Přednostně byly řešeny úseky, kde vegetační doprovod zcela chyběl a biokoridor podél Labe byl narušen.

V první etapě byl v letech 1996 až 1998 zřízen vegetační doprovod na dolním Labi v lokalitách Hněvice, Račice a Nučičky, kde dosud zcela chyběl (obr. 5). Při pásové výsadbě podél břehů Labe v šíři 6 m bylo vysázeno v délce 5 600 m celkem 2 400 stromů a 2 100 keřů na ploše 3,3 ha. Tato revitalizace představuje nejen významný krajinnotvorný prvek a zkvalitnění biokoridoru Labe, ale vytvořením bariéry proti bočním větrům bude po potřebném vzrůstu přispívat ke zvýšení bezpečnosti plavebního provozu. Kromě toho byl v lokalitě Mlékojedy na levém břehu Labe revitalizován neudržovaný pozemek se skládkami a odumírajícími stromy zarostlými buříní. Na upravené ploše o rozloze asi 3 ha bylo vysázeno 140 stromů a 400 keřů, celá plocha byla oseta travou, byly zpevněny cesty, osazeny lavičky a odpadkové koše. Vznikl tak přírodní komplex příměstské rekreační zóny využitelný pro rekreaci a odpočinek obyvatel.

Lze předpokládat, že ve shodě s projektem dojde v dalších etapách k obdobné výsadbě nových, popř. úpravě stávajících břehových porostů i na středním Labi v úseku Poděbrady – Mělník. K doplnění stromových a keřových porostů bude účelné přikročit i v areálech některých vodních děl (Týnec nad Labem, Obříství, Dolní Beřkovice).

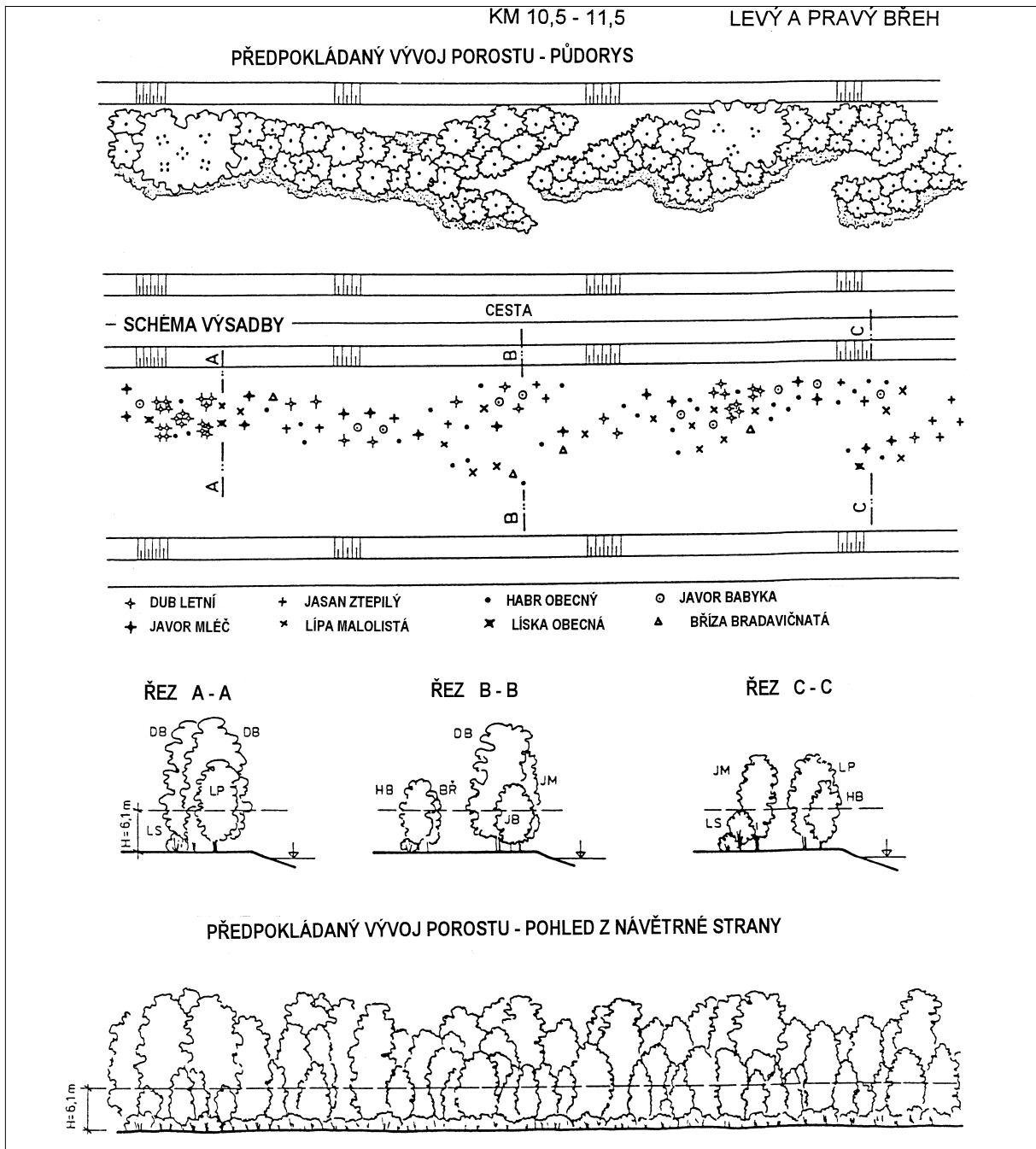
### Revitalizace říčních břehů v úseku Střekov – Hřensko

Nové zásady revitalizace břehů jsou uplatňovány při přípravě investiční akce zlepšení plavebních podmínek na dosud regulačně splavněném úseku Labe mezi Střekovem a státní hranicí ČR/SRN v Hřensku. Při původních regulačních úpravách zde byly břehy opevněny převážně kamennou dlažbou na suchu opřenu o kamennou záhozovou patku a doplněnou v horní části zatravněním. Svislé nábrežní zdi byly vybudovány pouze v místech překladních poloh v přístavech a překladištích.

Opevnění kamennou dlažbou na suchu a záhozem na šikmých svazích je odolné proti vlnám i namáhání při průchodu velkých vod a neomezuje infiltraci říční vody do okolních pozemků. Šikmé svahy umožňují živočichům snadnou komunikaci mezi souší a vodou. Spáry mezi kamenivem pod vodní hladinou i nad ní jsou stanovištěm mnoha drobných živočichů a výše situované části svahů se staly domovem pobřežních rostlin, které jsou vhodným hnízdištěm různých ptačích druhů a útočištěm drobných suchozemských zvířat. Nicméně z dnešního hlediska nelze tuto klasickou úpravu břehů pokládat vždy za optimální.

K návrhu regenerace břehů Labe, které nejsou z ekologického nebo vodohospodářského hlediska nevhodněji upraveny, se přistupuje se zřetelem k funkcím, jež mají splňovat v krajinných a městských úsecích. V intravilánech měst je preferováno jako prioritní hledisko architektonicky, esteticky a hygienicky vyhovujícího řešení se stabilizací hladin a s parkovou úpravou břehů. V extravilánu měst pak jsou maximálně respektovány ekologické aspekty, tj. zachování, resp. obnovení přírodního charakteru břehů a příbřežních zón, biotopů a rostlinných a živočišných společenstev.

Technické řešení úprav břehů musí být navrženo v souladu s mezinárodní klasifikací vodních cest. Přitom příčný profil vodní cesty a jeho parametry se stanovují na základě optimalizace interakčních účinků lodí a břehových částí



Obr. 4. Návrh břehového porostu v lokalitě Lobkovice



koryta toku, ekonomických podmínek plavebního provozu i potřeb údržby koryta toku. Na základě výsledků experimentů je možné navrhnout stabilní úpravu pro různé sklony svahů s uplatněním poznatku, že čím povolnější je břeh, tím menší velikost opevňovacího kamene lze použít. V kombinaci s vodními rostlinami to umožňuje vytvářet vhodné úpravy břehové tlumicí zóny.

Úpravy břehů v přírodních úsecích jsou navrženy s přihlédnutím k jejich členění na kvalitativně různé funkční úseky. Přitom řešení vycházejí ze zásady:

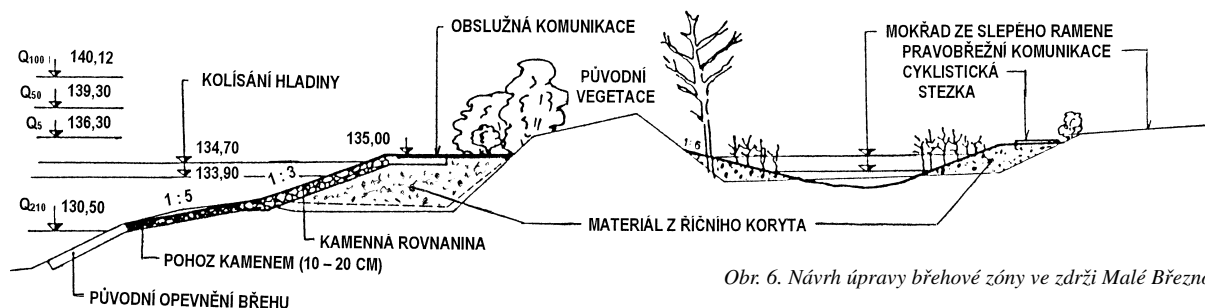
- vytvářet přirozeně přístupné břehy s malým sklonem;
- oddělit aktivní říční a přibřežní mělké inundační části vodního toku;
- upravit vazby souběžných slepých ramen na vlastní tok.

Významnou součástí břehových úprav je vytváření přibřežních zón buď využitím koncentračních staveb v korytě, nebo

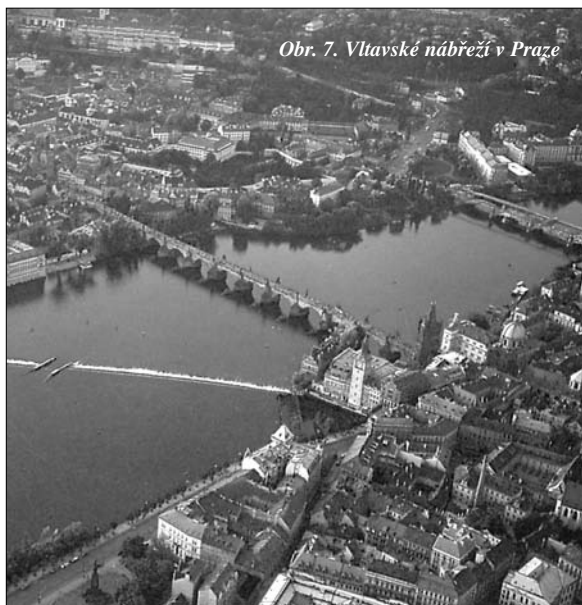
výstavbou v terénu za původní břehovou čarou. Důležité pro obě řešení je přitom zachování kontaktu volné řeky s prostorem za stavbou. Vhodnější pro labské podmínky je vytváření užších příbřežních mokřadů šířky 3 až 10 m. V místě mokřadu je upravena břehová hrana ve formě bočního přelivu pro spojení s řekou. Takto vytvořený prostor pak může být plynule začleněn do okolní krajiny, a to mírně stoupajícím terénem, doplněným měkkou dřevní zónou. Na dolním úseku Labe jsou takové možnosti především v lokalitách za vybudovanými koncentračními hrázemi. Předpokladem vytváření mokřadů, resp. nových příbřežních a vegetačních zón za břehovou čarou, je totiž široký pás pozemků, které správce vodního toku nevlastní.

Návrh revitalizace břehů má snahu navrátit do krajiny přírodní prvky, které při regulačních úpravách realizovaných na přelomu minulého století téměř zmizely. Proto je potřebné – kromě zachování proudových úseků řeky v přírodně nejceněnějších úsecích – zachovat přírodní podmínky režimu regulovaného toku i u zdrží s ustálenou hladinou, a to umožněním alespoň částečného kolísání hladin. Do těchto prvků je ovšem nutné začlenit kulturní a rekreačně sportovní funkce, jako jsou pěší a cyklistické stezky, sportoviště s vazbou na vodní plochu, kotviště sportovních lodí apod.

Navrhované úpravy břehů (obr. 6) používají kombinace klasických přírodních materiálů s vhodnými stavebními prvky a s oživením vodními rostlinami. Tyto břehové úpravy splňují dvě základní funkce – chrání břehy proti účinkům proudění a dynamickým účinkům vody (vlnění) a vytvářejí rozmanité krajinotvorné příbřežní zóny pro člověka, faunu a flóru.



Obr. 6. Návrh úpravy břehové zóny ve zdrži Malé Březno



Obr. 7. Vltavské nábřeží v Praze



Obr. 8. Obnažené dno Labe v Ústí nad Labem

## Úprava příbřežních zón v urbanizovaných územích

Po dlouhodobém civilizačním vývoji se na řadě úseků po jednom nebo obou březích Labe rozkládají města i obce, jimž řeka vytváří přirozenou osu. Řeka tu plní významnou estetickou, architektonickou, společenskou i hospodářskou funkci, kolem níž se více nebo méně soustřeďuje život obyvatel. Míra a schopnost plnění této funkce je závislá na tom, jak je řeka v těchto intravilánech upravena.

Lze to dokumentovat na příkladu Prahy, Ústí nad Labem a Děčína, ale i mnoha evropských měst situovaných na březích velkých řek (Vídeň, Bratislava atd.). V Praze jsou vltavská nábřeží a mosty díky stabilizovaným hladinám (již od 14. století) vyhledávaným místem společenského života, odpočinku a turistického ruchu – v podstatě bez ohledu na změny hydrologického režimu řeky (obr. 7). V Ústí nad Labem a v Děčíně, ale ani např. v Drážďanech, tomu tak není, neboť v dlouhých obdobích nízkých průtoků dochází k zaklesávání vodní hladiny a obnažování velké části dna koryta řeky, vesměs znečištěného (obr. 8). Nábřeží nejsou zapojena do života těchto měst, nejsou do nich urbanisticky včleněna a architektonicky dořešena, a tedy ani obyvateli využívána k odpočinku a rekreaci. Řeka není využívána k vodním sportům.

Řešení je pouze v zabezpečení stabilizovaných hladin v intravilánu města, a to v celé šířce koryta řeky a v dostatečně širokém rozsahu průtoků (od průtoku minimálního po průtok přibližně jednoleté povodně). Toho lze nejlépe dosáhnout výstavbou nízkých plavebních stupňů, u nichž vzdouvací stavbu tvoří jez s pohyblivými a plně vyhraditelnými hradicími konstrukcemi.

Základní funkcí pohyblivého jezu je zajištění nutných minimálních plavebních hloubek pro umožnění plavebního provozu v období minimálních průtoků řekou. Při vysokých a povodňových průtocích, kdy dochází k pohybu dnových materiálů, je však jez vyhrazován a řeka se vrací do původního stavu, aniž by byly průběhy hladin a proudové poměry včetně pohybu splavenin ovlivňovány. Výstavba plavebního stupně představuje dynamické řešení, které v období středních průtoků umožňuje operativně a rychle vytvářet v úseku

nad ním různé podmínky podle stanovených priorit – od opětovného vytvoření původních podmínek při vyhrazení jezů (požadavky ochrany přírodního prostředí) až po vytvoření stabilizovaných hladin při plném vzdutí (požadavky zlepšení životního prostředí obyvatel). Míra vlivu plavebního stupně na úsek řeky nad ním tedy závisí zcela na stanovení priorit odpovědnými orgány při jeho provozu. Stojí za připomenutí, že v minulosti byly po půl století na dolním Labi i dolní Vltavě jezy každoročně na tři měsíce vyhražovány, a tím obnovovány přirozené říční poměry, aniž by to zjevně narušilo plavební využití řeky.

Výstavbou plavebního stupně pro stabilizaci hladin v intravilánu města se dosáhne:

- zlepšení životního prostředí a životních podmínek obyvatel v celém dosahu vzdutí;
- zvýšení ochrany životů a zdraví obyvatel při povodních, zejména zimních;
- odstranění hygienických a estetických závad z obnažování části koryta toku;
- možnosti urbanistického a architektonického dořešení městských nábřeží, jejich zapojení do městské infrastruktury a využití pro rekreaci a odpočinek obyvatel;
- vytvoření nových příležitostí pro rozvoj rekreace a sportů;
- rychlejšího rozvoje hospodářství vyplývajícího ze snadnější přepravy nákladů po vodní cestě a zvýšeného překladi zboží v přístavech a překladištích, i ze zlepšené osobní lodní dopravy.

Je třeba litovat, že zatímco podle oficiálního projektu zlepšení plavebních podmínek na dolním Labi návrh vodního díla Prostřední Žleb s kótou nominálního vzdutí 124,50 m n. m. umožňuje kromě zabezpečení požadovaných plavebních hloubek zvýšit ochranu města Děčína proti povodním (zejména zimním) a výrazně zlepšit životní prostředí jeho obyvatel, u vodního díla Malé Březno s radikálně sníženou kótou vzdutí byla před stabilizací hladin a odstraněním hygienicko-estetických závad v intravilánu města Ústí nad Labem i před dořešením jeho protipovodňové ochrany dána přednost problematickým ekologickým prioritám, jako je zachování obnažovaných šterkových lavic (trvale znečišťovaných) a slepého ramene ve Svádově, pozůstatku nedokončených regulačních úprav.

## Závěr

V článku je zdůrazněna rozdílná funkce řeky Labe protékající přírodní krajinou a urbanizovaným územím. Z toho vyplývají různé požadavky na úpravy příbřežních zón i řeky samotné v extravilánech a intravilánech měst. Zatímco v přírodních úsecích směřuje úsilí k revitalizaci příbřežních zón doplňováním vegetačního doprovodu a k obnově přirozených břehů, v městských úsecích je třeba považovat za prioritní zlepšení životního prostředí a životních podmínek obyvatel. Základním předpokladem pro to je stabilizace hladin pomocí výstavby nízkých plavebních stupňů.

## Literatura

- [1] Gabriel, P. – Ibllová, M. – Novák, L. – Doleček, J.: Obnova vegetačního doprovodu labské vodní cesty. Vodní hospodářství, 1994, č. 4, s. 11 – 17.
- [2] Gabriel, P. – Rudiš, M. – Čábelka, J. – Trejtnar, K. – Koza, V.: Zlepšení kvality vody a prostředí víceúčelově využívaných toků. Stavební obzor, 6, 1997, č. 5, s. 147 – 153.
- [3] Broža, V. – Čihák, F. – Gabriel, P.: Interakce vodních cest a objektů na vodním toku s okolním prostředím. [Zpráva], Grantový projekt GA ČR č. 103/00/0384, ČVUT Praha, 2002.

**Příspěvek byl zpracován v rámci projektu č. 103/00/0384 „Interakce vodních cest a objektů na vodním toku s okolním prostředím“ GA ČR.**

**Gabriel, P.: Adjustment and Restoration of Riverside Zones on the Labe Waterway**

**Navigability improvement on the Labe waterway is conditioned not only by the construction of missing navigation steps (locks and weirs) but also by the adjustment of environment and riverside zones along the river. In the article, research results of the restoration of complementary vegetation cover and waterway banks in the natural sections of the river are summarized. Particular attention is given to the different character of adjustments of riverside zones in the inhabited areas.**

**Gabriel, P.: Anpassung und Erneuerung der Uferzonen an der Elbewasserstraße**

**Die Verbesserung der Schifffahrtsbedingungen auf der Elbewasserstraße ist nicht nur durch den Bau der fehlenden Stau- und Schleusenanlagen, sondern auch durch die Anpassung und Erneuerung der Uferzonen entlang des Flusslaufes bedingt. In dem Artikel sind die Forschungsergebnisse der Erneuerung der anliegenden Vegetation und der Ufer der Wasserstrasse in den natürlichen Abschnitten des Flusslaufes kurz zusammengefasst. Besondere Aufmerksamkeit wird dem unterschiedlichen Charakter der Regelungen der Uferzonen in besiedelten Gebieten gewidmet.**

## TECHSTA 2002

*Technologie pro udržitelný rozvoj ve stavebnictví*

16. – 18. října 2002, Praha

Třetí mezinárodní konferenci shora uvedeného názvu uspořádá v polovině října Katedra technologie staveb Fakulty stavební ČVUT v Praze za přispění akciových společností Průmstav, Konstruktiva Branko, Konstruktiva KONSIT, Metrostav a Hünnebeck Bohemia, s. r. o. Záštitu nad konferencí převzali Český svaz stavebních inženýrů, Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků a Český svaz podnikatelů ve stavebnictví. Jednacímí jazyky jsou čeština, angličtina a slovenština.

### Témata:

- nové trendy ve stavebně technologické přípravě staveb
- nové technologie stavebních procesů
- životnost staveb a jejich údržba
- vliv jakosti stavebních prací na kvalitu stavených konstrukcí, jejich kontrola a vyhodnocování výsledků
- příčiny poruch stavebních konstrukcí
- technologie pro rekonstrukce staveb
- zvyšování bezpečnosti práce na stavbách efektivním řízením
- minimalizace nepříznivých vlivů stavební výroby na životní prostředí

[web.fsv.cvut.cz/k122/techsta](http://web.fsv.cvut.cz/k122/techsta)

## • veletrhy

### MIPIM 2002

Festivalový palác ve francouzském Cannes, proslulý zejména Mezinárodním filmovým festivalem, otevřel v polovině března své brány odborníkům z oblasti realit a nemovitostí. Na tomto největším a nejproslulejším světovém veletrhu svého druhu se tradičně účastní investoři, developpeři, realitní makléři, zástupci světových bank, měst i celých regionů. Za čtyři výstavní dny přijelo do Cannes na 16 tis. účastníků z více než 60 zemí reprezentujících na 6 tis. společností. Celková výstavní plocha činila více než 17 tis. m<sup>2</sup>. V pořadí již čtrnáctý ročník veletrhu MIPIM se v Cannes uskuteční 3. až 6. března příštího roku.



Také Česká republika byla letos na veletrhu silně zastoupena – podle celkového počtu vystavovatelů jí patří desáté místo. Z padesáti našich vystavovatelů mají stále větší zastoupení města a regiony. K tradičním vystavovatelům Praze a Ostravě tak s vlastním stánkem přibyl Moravskoslezský kraj a na konferenci České republiky se navíc vedle Pardubic a zmíněných měst a regionů poprvé představily i České Budějovice. Pro města se stále více osvědčuje model sdružené prezentace, kdy jednotlivé stánky současně sdílejí i komerční firmy aktivní v příslušném městě či regionu. Příkladem takového modelu prezentace je Sdružení Praha – MIPIM, které vedle hlavního města a jeho Hospodářské komory tvoří i několik komerčních firem (ING Real Estate Development, IPS/Skanska Property, Passerinvest Group, PSJ Invest, Trade Centre Praha). Stejně tak Ostrava vystavovala na stánku se společnostmi IPS Skanska (divize Pozemní stavitelství Morava), TCHAS a ŽS Brno (divize Pozemní stavitelství Ostrava). Spoluvystavovateli na stánku Moravskoslezského kraje pak bylo Sdružení pro obnovu a rozvoj severní Moravy a Slezska, K+Venture Partners a ŽS Brno. Investoři si tak mohli udělat ucelenou představu o realitním trhu v příslušném městě či regionu.

Co zaujalo na stáncích českých měst? Na pražském to byla zejména nová koncepce, kdy všech více než dvacet projektů města i komerčních firem bylo vyznačeno na obrovské letecké mapě Prahy s možností získat o jednotlivých projektech informace jak z tištěných brožur, tak prostřednictvím interaktivní prezentace na plazmatické obrazovce. Na stánku Ostravy byl velkým magnetem hokej, kde si investoři mohli vyzkoušet své sportovní nadání při střelách na branku – to vše v souvislosti s tím, že Ostrava má být v roce 2004 jedním z pořadatelských měst Mistrovství světa v ledním hokeji.

V rámci doprovodného programu uspořádala česká města a regiony konferenci „Česká republika – země na vzestupu

stále v kurzu“ (Czech Republic – Booming Country Still in Demand). Zástupci zde nejčastěji hovořili o úspěšně realizovaných projektech a o investičním potenciálu, jenž město či region nabízí s cílem přilákat zahraniční investory. Vzhledem k tomu, že o totéž se na veletrhu snaží v podstatě všechna města od Paříže po Istanbul, jde skutečně spíše o dlouhodobou strategii, málokdy přinášející okamžité výsledky. S tím má zkušenosti právě Ostrava, jejíž několikaletá účast na veletrhu letos přinesla konkrétní výsledky v podobě závěrečných jednání o investici do rozvojového území Karolina v centru města. Vážným zájemcem je německá společnost ECE, která již více než třicet let staví po celé Evropě nejen nákupní a administrativní centra, ale i nádraží (Lipsko, Kolín nad Rýnem, Hannover), letiště a logistická centra.

V rámci soutěže MIPIM Awards odborná porota v čele s bývalým pražským primátorem Janem Kaslem musela vybírat z bezmála devadesáti projektů ucházejících se o titul nejlepší stavby světa. Do finále vybrala osmnáct projektů a o vítězích hlasováním rozhodli účastníci veletrhu. Kromě toho byla předána zvláštní cena poroty, jež letos putuje do dánského města Kastrup za unikátní terminál „Vilhelm Lauritzen“, postavený již v roce 1939 ve funkcionalistickém slohu. Před několika lety stavba musela ustoupit expanzi letiště, a proto byla přestěhována o 3,5 km dále a zcela restaurována.

### Vítězové MIPIM Awards

- **administrativní centra**  
FORUM, Amsterdam, Nizozemí
- **obchodní centra**  
VIALIA ESTACION, Salamanca, Španělsko
- **bytová výstavba**  
ISTANBUL, Istanbul, Turecko
- **rekonstruované kancelářské budovy**  
HÔTEL DE LIGNE, Brusel, Belgie
- **hotely**  
CARLTON PALACE HOTEL, Lisabon, Portugalsko
- **turistické komplexy**  
CLUB MED SERRE CHEVALIER, La Salle les Alpes, Francie



Co bylo letos charakteristické pro MIPIM obecně? Pokračující trend veletrhu spojovat projekty a vystavovatele napříč světadíly. Bylo možné sledovat novou vlnu zájmu účastníků z Dálného Východu, kteří po krizi na konci devadesátých let přijeli na veletrh ukázat zásadní změny a nové možnosti. Například vystavovatelé ze Singapuru, Thajska, Vietnamu a Malajsie zde byli vůbec poprvé. Patrně události z 11. září loňského roku byly také důsledkem zvýšené účasti investorů z USA a Kanady. Právě konference na téma „Dopady tragédie ve World Trade Centru na investice, architekturu, bezpečnost a pronájem vysokých budov“ vyvolala největší zájem účastníků veletrhu.

*Tisková informace*

riziku výskytu a dopadu náhlých a velkých povodní na rozsáhlých územích.

Hlavním rysem změn bude postupné stoupání hladiny světových oceánů (cca 0,5 m kolem roku 2050) a s tím spjatá potřeba ochrany území nebo opuštění záplavové oblasti. V důsledku větší extremality průtoků vzniknou ve vnitrozemí vyšší nároky na funkci protipovodňové ochrany nádrží a hrází i na jejich zásobní a ochranný objem. V energetice jako celku budou kladeny nižší požadavky na vytápění v zimních měsících. Množství energie získané z hydroelektráren může být ovlivněno rozkolísaností průtoků.

Vodní doprava na řekách bude podléhat sezónním výkyvům průtoků. V zimních obdobích budou menší problémy s ledovými jevy, v době častějších extrémů bude vyražena z provozu. Ani rekreace nezůstane ušetřena globální změny klimatu. Pozitivním jevem bude zvýšení teploty vody, a tím i prodloužení provozu rekreačních míst, nepříznivým pak problémy s eutrofizací?

Česká republika bude vystavena stejným problémům jako řada dalších států ve světě. Bude se potýkat se stejnou extremitou průtoků a srážek. I zde se zvýší nároky na závlahovou a pitnou vodu. Na rozdíl od přímořských států nebude naše území přímo ohroženo vzestupem hladiny světových oceánů. Východiskem z některých problémů jsou adaptační opatření, např. racionalizační (snižování potřeby vody, ztrát a zvýšení využití vodních zdrojů).

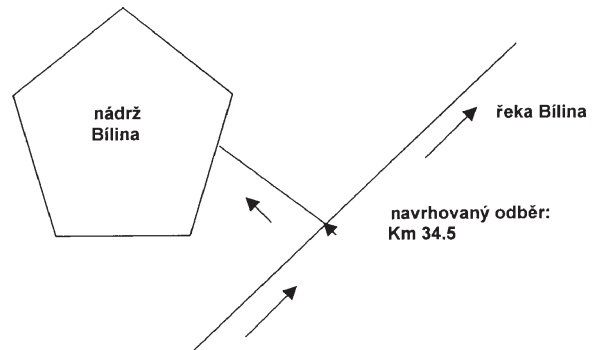
### Vliv na rekultivaci a revitalizaci zbytkových jam po povrchové těžbě uhlí

Tento článek má shrnout závěry studie důsledků změny klimatu na rekultivaci a revitalizaci zbytkových jam po povrchové těžbě uhlí na Sokolovsku, zejména dolů Jiří – Družba a Bílina. S uvedením krajiny do původního stavu (před těžbou) se nepočítá jednak vzhledem k nákladům na přesun obrovského objemu materiálů, ale především k možnostem nové architektury krajiny rekultivací zbytkových těžebních jam. Uvedením do původního stavu není žádoucí, protože by se vytvořilo příliš mnoho orné půdy, která je z krajinyotvorného hlediska méně stabilním prvkem krajiny.

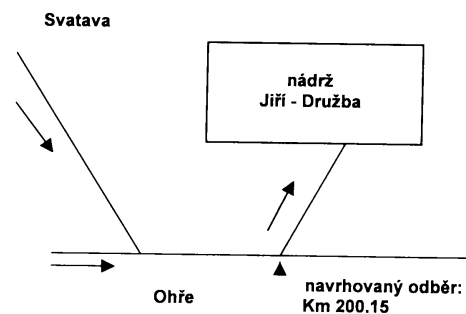
Sledování a modelování vlivu klimatických změn probíhá v několika vybraných lokalitách v povodí řeky Ohře. Jejich základní technické parametry jsou uvedeny v tab. 2. Plocha vlastního povodí nádrže Jiří – Družba je 24,85 km<sup>2</sup>, průměrná dlouhodobá roční výška srážek v této oblasti 685 mm. Hodnota pro dané území byla převzata z předchozího projektu a z údajů studie Podněbí CSR [?]. Průměrný dlouhodobý roční průtok Ohře v místě plnění (zdroj plnění nádrže Jiří – Družba) je 18,9 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> [2]. Předpokládaný počátek plnění nádrže Bílina je kolem roku 2037 a dolu Jiří – Družba kolem roku 2038. V době plnění budou již tyto lokality ovlivňovány klimatickou změnou, se kterou je nutné v připravovaných záměrech zatápění počítat. Zdroji vody budou řeky Ohře a Bílina (obr. 1, obr. 2). Při téměř současném plnění obou nádrží bude vodní bilance v těchto lokalitách velmi napjatá (i za nynějších klimaticky nezměněných podmínek). Vzhledem k době plánovaného počátku plnění je pravděpodobné, že obě nádrže budou ovlivněny klimatickou změnou. Napjatost vodní bilance by se snížila posunutím počátku plnění Bílina na rok 2045.

Tab. 2. Technické parametry [4]

Nádrž	Počátek plnění	Plocha hladiny [ha]	Kóta hladiny [m.n.m]	Objem nádrže [mil.m <sup>3</sup> ]	Průměrná hloubka [m]	Maximální hloubka [m]
Jiří-Družba	2038	1322,3	394,0	514,9	40,6	93,0
Bílina	2037	1145	200,0	645,0	56,0	170,0



Obr. 1. Hydrologická situace nádrže Bílina



Obr. 2. Hydrologická situace nádrže Jiří – Družba

Řešení plnění zbytkových jam za klimatické změny se provede při plnění z přirozených odtoků z povodí (tj. bez ovlivnění vodohospodářskou soustavou) pro tři základní hydrologické stavy, a to málovodný, vodný a průměrný. Stav vodný je nejpříznivější, stav málovodný je nejméně příznivý. Přibližná pravděpodobnost překročení těchto stavů se odhaduje na  $1/(n + 1)$ , kde  $n$  je délka pozorování. Plnění za klimatické změny se počítalo pro vybrané klimatické scénáře podle zprávy IPCC (International Panel of Climate Change) [6?].

Při řešení možností revitalizace a rekultivace po zatápění zbytkových jam se řešil nejen problém získání vodních zdrojů pro jejich naplnění (v našem případě dolu Jiří – Družba o objemu 515 mil. m<sup>3</sup> a dolu Bílina o objemu 645 mil. m<sup>3</sup>), ale také vliv této aktivity na vodohospodářskou soustavu v povodí Ohře včetně aktivit pod nádrží Nechranice na dolním toku Ohře.

### Závlahy

Ze studií klimatické změny v ČR vyplývá možnost zvýšení aridity (český termín?) oblasti dolního povodí Ohře. Jako adaptační opatření se zde uvažoval rozvoj závlah zemědělských pozemků v rozsahu asi 35 tis. ha. Tento rozsah závlah se již v minulosti plánoval a nádrž Nechranice byla dimenzována s ohledem na tento rozsah. Vlivem klimatické změny by se však zvýšily nároky závlah na vodní zdroj.

V naší studii jsme se proto pokoušeli zjistit, zda nároky na současné plnění nádrží Jiří – Družba a Bílina a uvažovaný



rozsah závlah nebudou překračovat kapacity vodohospodářské soustavy v povodí Ohře s nádržemi Jesenice, Skalka, Nechranice. Pro řešení tohoto problému jsme sestavili model SIMO2, kterým jsme simulovali základní funkce vodohospodářské soustavy. Jako vstup jsme použili matematický model závlahových nároků SIM. Tento model vychází z bilance vláhy v půdě a je kalibrován podle skutečných odběrů vody pro závlahové soustavy v povodí Labe [2]. Při reakci na zvýšení teploty se uvažují také ostatní meteorologické veličiny, pokud mají statisticky významnou regresní vazbu na teplotu. Vstupní údaje pro model závlahových nároků jsme uvažovali v souladu s hydrologickým modelem BILAN. Data vycházela z lokálního (přírůstkového) klimatického scénáře, který uvažoval vzestup průměrné teploty o 4 °C a pokles srážek o 5 %.

### Závěr

V článku jsme se zaměřili na některé výsledky zpracovávané studie vlivu klimatické změny na hydrologické podmínky pro předpokládané plnění zbytkových jam po povrchové těžbě dolů Jirí – Družba a Bílina. Očekávané výsledky by měly přispět k rozhodnutí, zda je tato alternativa rekultivace možná i za klimatické změny a jak budou nově vzniklé nádrže ovlivňovat hospodaření s vodou v povodí Ohře. Na základě předběžných výsledků lze konstatovat, že při vhodné koordinaci počátků plnění nádrží je možné očekávat jejich naplnění v politicky i ekologicky přijatelné době, tj. zhruba do

sedmi let. Požadavek na relativně krátkou dobu plnění vyplývá z řešení stability svahů při plnění jezera.

**Článek byl vypracován za podpory grantu č. 300102711 ČVUT CTU „Vodní hospodářství zbytkových jam Severočeské hnědouhelné pánve za klimatické změny“.**

### Literatura

- [1] Kalvová, ? – Moldan, B.: Klima a jeho změna v důsledku emisí skleníkových plynů UK-Karolinum, Praha, 1996, s. 161.
- [2] Kos, Z. – Přenosilová, ?.: Přehodnocení inženýrsko-geologické situace Sokolovské hnědouhelné pánve pro umožnění obnovy krajiny, rozvoje sídel a infrastruktury. [Zpráva], Projekt PPŽP-MŽP, Praha, 1996.
- [3] Kos, Z.: Sustainable Irrigation Planning under Climatic Changes. In: International conference "Advances in Planning, Design and Management of Irrigation Systems as Related to Sustainable Land Use. Leuven, ECOWARM, CIE 1992, p. 10
- [4] Vodohospodářské řešení rekultivace a revitalizace Podkrušnohorské uhelné pánve. Projekt VaV/510/2/98 MP, Praha, 1998 – 2001.
- [5] Nemešová, ? – Klimperová, ?.: Příspěvek k ověření použitelnosti teplotních výstupů z globálních cirkulačních modelů pro území České republiky. Meteorologické zprávy, 47, 1994, č. 2, s. 77 – 82.
- [6] Houghton, ? – Jenkins, ? – Ephraums, ?.: Climate Change: The IPCC Scientific Assessment. Cambridge, University Press 1990, 365 s.

**Košková, R. – Sláma, J. – Kos, Z.: Assumed Impacts of Climate Change on Water Management Solution of Residual Surface Coal Pits Filling**

Global climate change is an aspect that can influence not only the water resources analysis of residual coal pits filling in the brown-coal region of Northern Bohemia but also other areas of human activities in the Czech Republic and worldwide.

**Košková, R. – Sláma, J. – Kos, Z.: Vorausgesetzte Auswirkungen der Klimaveränderung auf die wasserwirtschaftliche Lösung der Flutung von Tagebaurestlöchern**

Die globale Klimaveränderung ist ein Aspekt, welcher nicht nur die wasserwirtschaftliche Lösung der Flutung der Tagebaurestlöcher des nordböhmischen Braunkohlenbeckens, sondern auch einige andere Bereiche menschlicher Tätigkeit in Tschechien und in der Welt beeinflussen kann.

# STAVEBNÍ OBZOR

## ROČNÍK 11 ČÍSLO 7/2002

Navigace v dokumentu

### OBSAH

Broža, V. – Gabriel, P. – Králík, M. <b>Nové prvky v technologii výstavby trojrozměrných hydraulických modelů</b>	<b>193</b>
Křístek, V. <b>Alternativa ke koncepci spolupůsobících šířek v technických výpočtech komorových nosníků</b>	<b>198</b>
Štibinger, J. <b>Odhad retenčních schopností povrchových vrstev v krajině pomocí tříparametrické infiltrační rovnice</b>	<b>201</b>
Košková, R. – Sláma, J. – Kos, Z. <b>Předpokládaný vliv změny klimatu na vodohospodářské řešení plnění jam povrchových dolů</b>	<b>206</b>
Cvinger, Z. <b>Implementace robotů do stavební výroby</b>	<b>209</b>
Vondrák, J. <b>Vytyčování přímků pomocí zrcadlově symetrické Fresnelovy difrakce</b>	<b>212</b>
Bartoněk, D. <b>Program pro tvorbu kartogramů</b>	<b>216</b>

7 • 2002

ročník 11

# 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. – Gabriel, P. – Králík, M.  
**Nové prvky v technologii  
výstavby trojrozměrných  
hydraulických  
modelů** ..... 193
- Křístek, V.  
**Alternativa ke koncepci  
spolupůsobících šířek  
v technických výpočtech  
komorových nosníků** ... 198
- Štibinger, J.  
**Odhad retenčních  
schopností povrchových  
vrstev v krajině  
pomocí tříparametrické  
infiltrační  
rovnice** ..... 201
- Košková, R. – Sláma, J. – Kos, Z.  
**Předpokládaný vliv  
změny klimatu  
na vodohospodářské  
řešení plnění jam  
povrchových dolů** ..... 206
- Cvinger, Z.  
**Implementace robotů  
do stavební výroby** ..... 209
- Vondrák, J.  
**Vytyčování přímků pomocí  
zrcadlově symetrické  
Fresnelovy difrakce** ..... 212
- Bartoněk, D.  
**Program pro tvorbu  
kartogramů** ..... 216

## CONTENTS

- Broža, V. – Gabriel, P. – Králík, M.  
**New Features  
in Technology of  
Construction of 3D  
Hydraulic Models** ..... 193
- Křístek, V.  
**An Alternative to Application  
of Effective Flange Widths in  
Box Girder Technical  
Analysis** ..... 198
- Štibinger, J.  
**Estimation of Retention  
Capabilities of Surface  
Layers in the Landscape  
Using the Three-Parametric  
Infiltration  
Equation** ..... 201
- Košková, R. – Sláma, J. – Kos, Z.  
**Assumed Impacts of Climate  
Change on Water  
Management Solution  
of Residual Surface  
Coal Pits Filling** ..... 206
- Cvinger, Z.  
**Application of Robots in the  
Construction Production** .. 209
- Vondrák, J.  
**The Use of Enantiomorphic  
Fresnel's  
Diffraction** ..... 212
- Bartoněk, D.  
**Program for Cartograms  
Design** ..... 216

## INHALT

- Broža, V. – Gabriel, P. – Králík, M.  
**Neue Elemente in der  
Technologie der Erstellung  
dreidimensionaler hydraulischer  
Modelle** ..... 193
- Křístek, V.  
**Alternative zur Konzeption  
der vollmitragenden Breiten  
in technischen Berechnungen  
von Kastenträgern** ..... 198
- Štibinger, J.  
**Schätzung der  
Rückhalteigenschaften der  
Oberflächenschichten in  
einer Landschaft mit Hilfe  
einer Dreiparameter-  
Infiltrationsgleichung** ... 201
- Košková, R. – Sláma, J. – Kos, Z.  
**Vorausgesetzte Auswirkungen  
der Klimaveränderung auf die  
wasserwirtschaftliche Lösung  
der Flutung von  
Tagebaurestlöchern** .... 206
- Cvinger, Z.  
**Implementierung von Robotern  
in die Bauproduktion** ... 209
- Vondrák, J.  
**Absteckung von Geraden mit  
dem Verfahren der Fresnel-  
Diffraktion** ..... 212
- Bartoněk, D.  
**Programme für die Erstellung  
von Kartogrammen** .... 216

Toto číslo bylo vydáno za podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR (projekt LP 0002).

## REDAKČNÍ RADA

### Předseda:

prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.

### Tajemníci:

doc. Ing. Milan KAŠPAR, CSc.

doc. Ing. Jindřich ŠMEJČKÝ, CSc.

### Členové:

Ing. Miroslav BAJER, CSc.

doc. Ing. Pavel HÁNEK, CSc.

Ing. Jiří HIRŠ

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. Jaroslav NOVÁK, CSc.

doc. Ing. Luděk NOVÁK, CSc.

prof. Ing. Adolf PATERA, DrSc.

doc. Ing. Miloslav PAVLÍK, CSc.

Ing. Petr PLICHTA, 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 ZDARĪLOVÁ

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: 02/2435 4596,  
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: 02/4177 0220, 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 13. 6. 2002. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

## Nové prvky v technologii výstavby trojrozměrných hydraulických modelů

prof. Ing. Vojtěch BROŽA, DrSc.  
prof. Ing. Dr. Pavel GABRIEL, DrSc.  
Ing. Martin KRÁLÍK  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

Pod tlakem operativnosti a hospodárnosti obecně rozvíjených numerických modelů se mění technologie budování hydraulických modelů, které v porovnání s tradičními postupy vedou ke zrychlení a z hospodárnějšímu hydrotechnickému výzkumu. Přitom zůstávají zachovány přednosti fyzikálních modelů, zejména konkrétní představa o probíhajících hydraulických jevech v čase a prostoru (včetně postižení případných singulárních jevů), možnost extrapolace (alespoň kvalitativní) do oblasti výskytu extrémních jevů (např. mimořádných povodní) a řešení otázek interakce v rámci dynamiky vícesložkového prostředí voda – vzduch – pevné látky (včetně procesů vymílání a usazování).

### Úvod

Fyzikální modelování bylo před nástupem novodobých numerických modelů opírajících se o mimořádně výkonnou výpočetní techniku považováno za významný prostředek pro studium složitých prostorových chování objektů i průběhu na ně působících účinků. Proto byly vyvíjeny snahy o rozvoj technologií směřujících k rozšíření oblasti použití strukturálních modelů z hlediska chování studovaných objektů i působících účinků, často za aktivní účasti specializovaných mezinárodních sdružení (RILEM, AIRH apod.). Výsledky získané na fyzikálních modelech byly obecně považovány za kvalitativně hodnotnější a věrohodnější než výsledky tehdy používaných výpočetních postupů.

Nástup numerických modelů podmíněný rozvojem výpočetní techniky znamenal velmi rychlý ústup od fyzikálních modelů v oblasti obvykle přijímaných předpokladů (např. lineární pružnosti), přičemž se nijak nezpochyboval jejich význam pro výzkum mezního chování objektů. Vývoj v posledních letech lze charakterizovat jako orientaci numerických modelů i do této oblasti, přičemž fyzikální modely mají sloužit jednak pro poskytnutí potřebných vstupních údajů, jednak pro ověření (alespoň dílčí) výsledků numerického modelování. Přitom zůstává vcelku rozsáhlá oblast, kde numerické modely zatím nejsou schopny problematiku řešit na žádoucí úrovni.

Vzhledem k významnému omezení celkového objemu fyzikálního modelování v této oblasti může docházet k jisté stagnaci, jejímž důsledkem může být i rezignace na jeho

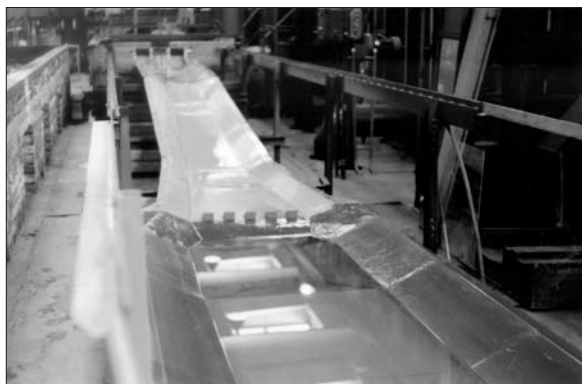
uplatnění i v případech, kdy numerické modely nejsou postačující. Racionálním východiskem z hlediska poznávání nových problémů mechaniky, a konkrétně hydrauliky, je hledání nových technologií výstavby fyzikálních modelů, které by zajistily zejména rychlejší odpověď na studované problémy. Je vhodné připomenout, že v oblasti měření, přenosu a zpracování dat vývoj kontinuálně pokračoval a jeho aktuální stav obecně přispívá k rozvoji fyzikálního modelování. Tyto tendence jsou zřejmé z výzkumných prací významných světových hydrotechnických laboratoří (i při značně omezeném celkovém objemu prací).

Hydraulickým modelem označují odborníci fyzikální model, v němž se jako médium používá voda (na rozdíl od aerodynamických modelů, kde je médiem vzduch), který při respektování hydrodynamické podobnosti umožňuje zobrazovat a zkoumat hydraulické, morfologické i nautické jevy a procesy (často prostorově i časově složité). V dalším textu jsou uvedeny zkušenosti v oblasti technologie výstavby trojrozměrných hydraulických modelů získané v rámci výzkumných programů Katedry hydrotechniky ČVUT v Praze.

Technologické postupy při stavbě hydraulických modelů jsou do značné míry podmíněny tradicí pracoviště a zkušenostmi výzkumných a technických pracovníků. V případě vodoхозяйské laboratoře stavební fakulty se v oblasti prostorových modelů říčních tratí (*obr. 1*) vycházelo zejména ze zkušeností rezortních výzkumných ústavů (VÚVH v Bratislavě, popř. VÚV v Praze), vlastním přínosem byla dlouhodobá orientace na výzkum podmínek funkce jezových uzávěrů a vrat plavebních komor s příslu-



Obr. 1. Model říčního úseku Labe s pohyblivým dnem budovaný klasickou technologií



Obr. 2. Model přelivu a skluzu VD Nechranice na Ohři (kovová konstrukce)

šenstvím, opírající se o kovové konstrukce modelů. Vysokou úroveň hydrotechnického výzkumu u nás odrážejí i monografie o této problematice, zejména [1], [2], [3]. K základním hlediskům při racionalizaci stavby hydraulických modelů patří:

- zrychlení výzkumu, tj. pohotové získání poznatků opírající se o rychlou realizaci modelu;
- operativnost úprav modelu v průběhu výzkumu;
- jednoduchost likvidace modelu (včetně minimalizace objemu odpadu).

### Model přelivu a skluzu VD Nechranice

Racionalizační hlediska byla v širokém měřítku uplatněna při stavbě modelu přelivního objektu, skluzu a vývaru VD Nechranice na Ohři [4] pro Povodí Ohře v letech 1996 až 1997 (obr. 2). Pro tento relativně tvarově jednoduchý objekt jsme zvolili kovovou konstrukci s lícními plochami z plechu. Těsnění na stycích se zajišťovala silikonovým tmelem. Vzhledem k velké rychlosti proudění ve skluzu byly pro stykování použity šrouby  $\varnothing 3$  až 4 mm se zapuštěním (zalícováním). Koncová část modelu, tj. přechod do vývaru, vlastní vývar a odpad, byly vyzděny s cementovou omítkou. Původní obavy z netěsností na kontaktu maltovinové a kovové sekce modelu se nepotvrdily, rovněž použití plastických tmelů se osvědčilo. Model splnil očekávání z hlediska rychlosti realizace, přestaveb v průběhu výzkumu, a zejména při jeho likvidaci.

### Odběrný objekt přivaděče do nádrže Rozkoš

Nové myšlenky pro racionalizaci stavby prostorových modelů jsme měli možnost rozvinout při výzkumu pod-



Obr. 3. Model úseku Úpy nad jezem ve Zlíchově a vtok do přivaděče (vylehčený maltovinový model)

mínek ucpávání vtokového objektu přivaděče z Úpy do nádrže Rozkoš [5], realizovaném pro Povodí Labe v roce 1998 (obr. 3). Při stavbě úseku toku nad jezem v Babiččině údolí jsme po tradičním vytvarování reliéfu zatápné údolní části pomocí příčných profilů provedli zásyp šterkopískem tak, aby pro vytvoření povrchu z cementové malty zbyla tloušťka 0,02 až 0,03 m. Po zatvrdnutí malty (přibližně po deseti dnech) byly provedeny první ověřovací pokusy; nepředpokládali jsme totiž pohyb pracovníků přímo na povrchu tohoto úseku. V jejich průběhu jsme ověřili i nepropustnost tenkého maltovinového pláště.

### Plavební stupeň Přelouč

Při zhotovování dvou samostatných modelů v měřítku 1 : 50 pro výzkum plavebních podmínek nově navrhovaného plavebního stupně Přelouč [6] na středním Labi pro Ředitelství vodních cest ČR v Praze v roce 1999 jsme měli možnost účelně využít poprvé kombinované racionalizační prvky (obr. 4). Vzhledem k realizaci vodního díla po etapách v průběhu delšího období bylo nutné předpokládat celkovou přestavbu modelu. Proto jsme se přiklonili k postupu, který vycházel z cílového řešení, takže časově předcházející etapy se realizovaly zpětně samostatnými vstavbami.



Obr. 4. Model dolního úseku plavebního stupně Přelouč na Labi (kombinace kovové a maltovinové sekce)

Z technologického hlediska šlo o kombinaci celokových částí (převážně) s vylehčenými maltovinovými sekcemi. Nezbytnost použití kovových částí vyplynula, kromě nutnosti snadné přestavitelnosti, ze skutečnosti, že ještě v průběhu prvních fází stavby modelu projektant měnil dispozici některých objektů, zejména půdorysné uspořádání plavebních komor. Jelikož šlo o model říční trati, popř. plavebního kanálu s malou rychlostí proudění, a při vytváření lícních ploch z plechu bylo žádoucí zvětšení drsnosti povrchu, bylo možné využít podstatně rychlejší postup stykování plechových částí pomocí dutých hliníkových nýtů  $\varnothing 3$  až 4 mm. Vedle silikonového, popř. akrylátového tmelu ve styčných spárách k vodotěsnosti přispívala i speciální vodou ředitelná tmelící barva, do níž se pro zvýšení drsnosti zatlačovala (bezprostředně po nátěru) písková zrna.

Kovová část modelu se stavěla přímo na podlaže halové laboratoře bez izolační vany (obr. 5), což z hlediska provozních podmínek bylo poněkud riskantní vzhledem k možnému úniku vody kdekoli na stycích částí rozsáhlého modelu. V průběhu experimentů se na některých místech nevýznamné průsaky objevily zřejmě jako následek větší lokální poddajnosti konstrukce modelu, nepovažovali jsme však za nutné řešit je rekonstrukcí příslušné sekce.

Nosné profily kovových sekcí byly navrženy z uzavřených dutých obdélníkových prvků (jeklů) s možností přesného výškového urovnání výškově nastavitelnými podpěrami. Pro dosažení požadovaného tvaru v oblasti břehových partií, popř. svislých zdí, byly na nosníky přinýtovány ramenáty z pozinkovaného plechu. Nosné prvky byly pro vyloučení přetvoření po zatížení vodou dále podepřeny doplňkovými podložkami s roztečí 1 m. Na nosnou konstrukci se nakonec ukládal plášť z pozinkovaného plechu vytmelený na styčných plochách.

Úseky původního říčního koryta Labe jsme modelovali s využitím tenkého pláště z drobnozrnného betonu vyztuženého rozptýlenými plastovými vlákny, na rozhraní se štěrkovým podsypem, popř. i rabicovým pletivem (obr. 6). Návrh směsi vznikl v úzké součinnosti s betonářskou laboratoří fakulty stavební (K. Kolář), která zajišťovala i dávkování a míchání složek betonu s plastifikátorem. Tloušťka betonového pláště byla v průměru 0,03 m. Zvolený postup přípravy se z hlediska racionální výstavby i funkčních vlastností modelu osvědčil. Díky předem připraveným prvkům proběhla montáž kovových sekcí velmi rychle (během šesti týdnů). I když jsme původně nepředpokládali pohyb osob po maltovinové sekci, v průběhu prací jsme si ověřili pevnost tenkého betonového pláště spočívajícího na štěrkopískové vrstvě. Jako velmi



Obr. 5. Osazování příčných profilů na podlahu haly

racionální se ukázaly zpětné vestavby modelující stav vodního díla budovaného po etapách v počátečních fázích postupné realizace. Postačily pouze tvarové úpravy (zúžení) přírodního a odpadního kanálu bez nutnosti těsnění styků.

Mimořádný přínos v porovnání s klasickou technologií jsme shledali při demolici modelů. Nevyužitelný odpad byl minimální. Kovové konstrukce byly po demontáži uloženy pro další využití – do značné míry včetně pozinkovaných plechů opatřených kaučukovým nátěrem. Příznivým prvkem byla i rychlost demolice bez nutnosti použití bouracích kladiv ani jiné speciální technologie.

### Model úseku dolního Labe pod plavebním stupněm Prostřední Žleb

Další etapu vývoje technologie výstavby prostorových hydraulických modelů představuje polní model úseku dolního Labe (dlouhého přes 6 km) pod navrhovaným plavebním stupněm Prostřední Žleb [7] pro Ředitelství vodních cest ČR v měřítku 1 : 70. Modelový výzkum v současné době probíhá, stavba byla zahájena v roce 2000. Pro polní model jsme se museli rozhodnout po zjištění, že se v Praze nepodaří pronajmout žádnou z nevyužívaných průmyslových hal za ekonomicky schůdných podmínek. Díky po-



Obr. 6. Model odbočení plavebního kanálu z Labe (kovová sekce kanálu a maltovinová část řeky)

chopení Výzkumného ústavu vodohospodářského TGM bylo nakonec možné model vybudovat v jeho areálu. Při stavbě modelu o délce přes 100 m a šířce 3 až 4 m jsme důsledně sledovali hospodárnost výstavby, s využitím dobrých zkušeností zejména s maltovinovými modely na štěrkopískovém podkladu. Přitom jsme respektovali podmínku, že po dokončení výzkumu bude model dále sloužit potřebám VÚV TGM, což nás vedlo k zesílení některých prvků.

Půdorysné vymezení v terénu se uskutečnilo pomocí bočnic z pažnic Union (o délce 4 m) přivařených na kovové sloupky zabetonované do vrtaných děr do podloží. Tyto sloupky sloužily zároveň pro vodorovné uložení nosníků vytvářejících jednotnou srovnávací rovinu (měrnou základnu) po celé délce modelu. Jako výplň mezi boční stěny z pažnic posloužil částečně místní odpad (stavební suť), jako podklad pod betonový plášť netříděný štěrkopísek. Po osazení a upevnění příčných profilů (po 1,5 m) z plechu byla urovnána štěrkopísková vrstva tak, aby tloušťka betonu byla 0,05 až 0,07 m (ve skutečnosti byla většinou větší – obr. 7). Pro ukládání betonu zvolil dodavatel (Nowastav Praha) technologii stříkaného betonu s rozptýlenými vlákny. Povrch byl do požadovaného tvaru upraven v souladu s tvarem řídicích profilů, bez jakéhokoli vyhlazování – s ohledem na požadovanou drsnost.

V nátokové části byl osazen kovový model plavebního stupně Prostřední Žleb vyrobený v dílnách vodohospodářské laboratoře fakulty stavební (obr. 8). Ještě před zahájením pokusů se ukázalo, že vzhledem k nečistotám v ovzduší a dalším rušivým vlivům bude nutné model zastřešit plastovými plachtami s výtuznou osnovou uložený-



Obr. 7. Polní model dolního Labe (osazené příčné profily a štěrkopísková výplň)



Obr. 8. Osazený model plavebního stupně Prostřední Žleb kovová (konstrukce, V. Horáček – J. Ježek)

mi na trubkové konstrukci (obr. 9). Tato úprava si vynutila nové řešení přístupnosti a komunikace na modelu, s nutností jisté improvizace.

V rámci konstrukčního řešení budoucích staveb velkých modelů je proto nutné vždy kromě promyšlení funkčních vlastností modelu zajistit podmínky pro nerušenou práci při experimentech. Pak bude možné dále pokračovat v racionalizaci stavby modelů. Při dostatku místa může být pro polní modely výhodné uspořádání nosné konstrukce jako hutněného zemního násypu se zpevněním v dosahu proudění vody a zpevněnými přístupovými cestami. Jindy může být racionální použití skořepinové konstrukce koryta bez podkladních vrstev s podepřením tlakem vody v průběhu experimentů, popř. další koncepční přístupy přispívající ke zrychlení a zhošpodárnění hydrotechnického modelového výzkumu.

### Modely lodních souprav

Hydraulické modely zaměřené na výzkum podmínek plavby jsou stále častěji doplňovány o experimenty s plavidly simulujícími podmínky plavby. Významnou úlohu při tom mají dálkově ovládané modely remorkérů s tlačnými čluny, popř. motorových nákladních lodí. Kromě geometrické podobnosti má při nich zásadní význam zajištění rychlosti a manipulačních schopností uvažovaných modelů soulodí, aby bylo možné věrně simulovat podmínky plavby. Tomu se musí podřídit modelové řešení hnacího motoru, lodních šroubů a kormidel s tím, že nezbytné ověření se provede speciálními zkouškami, které předcházejí nautickým pokusům. Díky zkušenostem studenta doktorského studia J. Zachovala v oblasti modelářství bylo možné významně přispět k rozvoji hydraulických modelů i v tomto směru. Pro potřeby modelového výzkumu zkonstruoval v měřítku 1 : 70 postupně tlačný remorkér, soupravu tlačných člunů, remorkér s širšími manipulačními schopnostmi a samostatně plující motorovou nákladní loď – v souladu s rozměry a vlastnostmi plavidel uvažovanými pro plavbu na Labi. I v této oblasti, díky modelářským schopnostem autora a pochopení požadavků na vlastnosti modelů plavidel, byl zaznamenán významný přínos k aktuálnímu hydraulickému výzkumu plavebních podmínek (obr. 9).

### Závěr

Hydraulické modely složitých hydrotechnických objektů, říčních tratí a dalších funkčních zařízení jsou nadále mimořádně významné a často nenahraditelné pro výzkum



Obr. 9. Časově rozložený pohyb tlačného soulodí (provizorně zastřešený polní model dolního Labe)

a – průtok  $1\,170\text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , soulodí 1 + 2, první oblouk, proti proudu,  
b – průtok  $310\text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , soulodí 1 + 2, druhý oblouk, po proudu

příslušných jevů i pro chování konstrukčních, resp. funkčních celků. Proto je žádoucí, aby tato oblast byla dále rozvíjena. V posledních letech jsme v technologii jejich výstavby ověřili četné racionalizační prvky, které umožnily nahradit pracné a materiálově náročné modely říčních tratí podstatně jednoduššími a rychlejšími postupy výstavby. Ty splnily očekávání i pokud jde o nákladnost a dobu likvidace modelů.

Z tohoto hlediska považujeme za pozitivní, že na modelech realizovaných na Fakultě stavební ČVUT se podíleli její čerství absolventi, popř. studenti, s aktivním přínosem a mimořádným zájmem o tuto oblast výzkumu. Potěšitelné je, že podstatně více než v minulosti se objevují závěrečné práce doktorského studia opírající se o vlastní hydraulický výzkum.

**Předložené výsledky prací byly realizovány s podporou grantu č. 103/00/0384 GA ČR.**

### Literatura

- [1] Čábelka, J. – Novák, P.: Hydrotechnický výzkum I – modelový výzkum. Praha, SNTL 1964.
- [2] Novák, P. – Čábelka, J.: Models in Hydraulic Engineering. London, Pitman Press 1981.
- [3] Čábelka, J. – Gabriel, P.: Matematické a fyzikální modelování v hydrotechnice. Praha, Academia 1987.
- [4] Broža, V. a kol.: Modelový výzkum funkce přelivného objektu a skluzu VD Nechanice na Ohři po navrhované rekonstrukci. [Zpráva], 1. část – 1996, 2. část – 1997.
- [5] Broža, V. a kol.: Vodní dílo Rozkoš. Posouzení vtoku do přivaděče z Úpy ve Zlíči. [Zpráva], 1998.



- [6] Broža, V. – Medřický, V. – Valenta, P.: Modelový výzkum nového plavebního stupně Přelouč. *Stavební obzor*, 9, 2000, č. 7, s. 204 – 211.
- [7] Broža, V. – Gabriel, P. – Králík, M.: Optimalizace úprav plavební dráhy v říčním úseku Labe od plavebního stupně Prostřední Žleb po státní hranici. [Dílčí zprávy], I – 2001, II – 2002.

**Broža, V. – Gabriel, P. – Králík, M.: New Features in Technology of Construction of 3D Hydraulic Models**

Construction technology of hydraulic models is changing due to operability and economy of commonly developed numerical models. In contrast to traditional procedures, they make hydrotechnical research faster and more economical while maintaining advantages of physical models. The pros include an opportunity to gain a concrete picture of ongoing hydraulic phenomena in time and space (and also potential singularities); to make extrapolations (at least qualitative) into occurrence of extreme phenomena, such as extreme floods; and to solve problems of interactions within the dynamics of the multi-component environment, water – air – solid matters, including erosion and settlement processes.

**Broža, V. – Gabriel, P. – Králík, M.: Neue Elemente in der Technologie der Erstellung dreidimensionaler hydraulischer Modelle**

Unter dem Druck der Operativität und Wirtschaftlichkeit allgemein entwickelter numerischer Modelle verändert sich die Technologie der Erstellung hydraulischer Modelle, die im Vergleich mit den traditionellen Verfahren zur Beschleunigung und Erhöhung der Wirtschaftlichkeit der hydrotechnischen Forschung führen. Dabei bleiben die Vorteile physikalischer Modelle erhalten, insbesondere die konkrete Darstellung der ablaufenden hydraulischen Erscheinungen in Zeit und Raum (einschließlich der Erfassung eventueller singularer Erscheinungen), die Möglichkeit der Extrapolation (zumindest der quantitativen) auf das Gebiet des Auftretens extremer Erscheinungen (z. B. außerordentlicher Hochwässer) und die Lösung von Fragen der Interaktion im Rahmen der Dynamik des Mehrkomponentenmilieus Wasser-Luft-Feststoffe (einschließlich der Auslaugungs- und Sedimentationsprozesse).

## • dizertace

**Management rizik ve výstavbě z hlediska zhotovitele**

Ing. Tomáš Vymazal



Práce se zabývá problematikou řízení rizik ve stavební výrobě, zejména v případech zhotovování velkých a složitých inženýrských celků. Činnosti při řízení rizik vycházejí z politiky řízení rizik určitého podniku. Na základě jasně pochopení stávajících rizik se vytváří podniková politika rizik, aby bylo určeno, která část celkového rizika by se měla vyloučit, redukovat, přenést nebo ponechat. Riziko může být vyloučeno nebo alespoň redukováno zlepšenými metodami prevence a ochrany v rámci samotného podniku. Toho se dá dosáhnout za předpokladu, že podnik má k dispozici funkční a efektivní systém řízení jakosti. Dizertace ukazuje možný přístup k řízení rizik stavebních technologií, stavebních dodavatelských firem a obecně podnikatelských subjektů zabývajících se nesériovou necyklickou výrobou.

## • recenze

**Eggert, H. – Kauschke, W.  
Structural Bearings**

Ernst & Sohn, A. Wiley Company, 2002, 393 s., 149 EUR, ISBN 3-433-01238-5

Několik let po německém vydání, které v našem časopise recenzoval prof. A. Schindler, vychází anglická verze knihy věnované stavebním ložiskům, napsaná známými německými odborníky Dr. Eggertem a Ing. Kauschkem.

Kniha má devět kapitol. V první se po historickém úvodu probírají základní funkce ložisek a definují se odborné termíny. Krátká druhá kapitola pojednává o vztahu ložisek a konstrukce a probírá zásady umístění pevných a pohyblivých ložisek u mostů všeho druhu. Ve třetí kapitole se rozebírá zatížení působící na ložiska. Kromě mostů se zde hovoří i o uložení budov v zemětřesných oblastech, kde je výběr ložisek často rozhodující z hlediska bezpečnosti stavby. Rozsáhlejší čtvrtá kapitola se podrobně zabývá všemi typy moderních ložisek a v páté kapitole se probírá evropská norma pro ložiska. Z rozsáhlého textu EN 1337 jsou přetištěny části 1 a 11, které byly schváleny před rokem 2000. Ostatní části této rozsáhlé normy jsou jen zmíněny, neboť jejich text ještě v době vydání knihy nebyl dokončen v definitivním znění. Přehled ložisek schválených pro použití v Německu je obsahem kapitoly 6. Výtah z nejvýznamnějších výzkumů týkajících se ložisek je obsahem kap. 7. Týká se vesměs německých ověření konaných v souvislosti s vydáním povolení pro užívání určitého výrobku v Německu. Slovník použitých výrazů je obsažen v kap. 8 a poslední devátá kapitola obsahuje seznam převážně německé literatury z tohoto oboru. Publikace je vybavena rejstříkem, obsahuje 45 tabulek a 272 obrázků.

Kniha je napsána s německou důkladností a obsahuje velké množství ne zcela dostupných informací. Lze ji doporučit všem, kteří se zajímají o tuto část stavebních konstrukcí a bude užitečná zejména pro odborníky mostního stavitelství. Protože anglický text je dnes pro většinu odborníků v ČR přístupnější než německý, lze očekávat, že si projektové i výrobní organizace, které spolupracují se zahraničím, knihu do svých příručních knihoven opatří ve větším počtu než německý originál před několika lety.

Jiří Studnička

Evropská asociace pro asfaltové vozovky (EAPA)  
Asociace evropských výrobců asfaltů  
EUROBITUME

uspořádají

12. – 14. května 2004 ve Vídni

třetí kongres

EURASFALT & EUROBITUME

na téma

Přednosti asfaltových směsí  
Bezpečnost a odpovědnost

[www.eecongress.org](http://www.eecongress.org)

## Alternativa ke koncepci spolupůsobících šířek v technických výpočtech komorových nosníků

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

Je navržen způsob vystižení skutečného nerovnoměrného rozložení podélných normálových napětí podél šířky desek komorových nosníků, spočívající v použití upraveného tvaru průřezu vstupujícího do výpočtu. Tento postup je určen pro použití v technických výpočtech vycházejících z předpokladu zachování rovinnosti průřezů desek komorových nosníků, tj. jejich nedeplanability.

### Úvod

Je všeobecně známo, že vlivy ochabnutí smykem na charakter rozložení podélných normálových napětí v průřezích komorových nosníků mohou být závažné. Rozložení napětí je významně odlišné od predikce elementární technickou ohybovou teorií a i maxima hodnot napětí jsou vyšší proti výpočtu nerespektujícímu ochabnutí smykem. Tento jev se projevuje i ovlivněním průhybů.

Ochabnutí smykem vzniká v důsledku smykových deformací vodorovných desek komorových nosníků v jejich vlastní rovině projevujících se deplanací průřezu – z toho vyplývá nerovinné rozložení axiálních poměrných deformací a následně i nerovnoměrné rozložení podélných normálových napětí podél šířek těchto desek. Je všeobecně známo, že pro intenzitu smykového ochabnutí je rozhodujícím faktorem poměr šířky pásu a jeho rozpětí. Význam smykového ochabnutí vzrůstá, pokud je velký poměr šířky komory (popř. vyložení konzol průřezu) a vzdálenosti průřezů nosníku s nulovými hodnotami ohybových momentů (rozpětí fiktivního prostého nosníku); pro klasické smykové ochabnutí je vliv tohoto faktoru monotónní, u negativního smykového ochabnutí je situace složitější [1]. Dále platí, že smykové ochabnutí je nejvýraznější v oblastech působení velkých soustředěných zatížení (např. reakcí) a obecně v oblastech velkého gradientu posouvajících sil. Rozložení podélných normálových napětí může odpovídat klasickému (při němž podélná normálová napětí dosahují nejvyšších hodnot na okrajích desek a nejnižších uprostřed jejich šířek) nebo negativnímu smykovému ochabnutí (projevujícímu se vyššími hodnotami podélných normálových napětí uprostřed šířky desek než na jejich okrajích) podle toho, zda jde o prostý nosník, vnitřní, nebo nadpodporovou část spojitého nosníku, anebo konzolu nebo oblast poblíž inflexních bodů spojitého nosníku.

Smykové ochabnutí obvykle, kromě nerovnoměrnosti v rozložení napětí, vyvolává redukci tuhosti, což se ve většině případů projevuje zvýšením průhybů konstrukce. Je to v souladu s představou o neúplném využití průřezu v důsledku nerovnoměrného rozložení podélných napětí – konstrukce vykazuje vyšší průhyby, než by odpovídalo základnímu technickému výpočtu ignorujícímu ochabnutí smykem i smykové deformace stěn komorového nosníku.

Ve snaze respektovat faktor ochabnutí smykem ve výpočtech komorových nosníků se často používá koncepce

spolupůsobících šířek. Smykové ochabnutí se v tomto přístupu převádí na redukci průřezu – místo skutečných šířek desek komorového nosníku se zavedou **spolupůsobící šířky**. Je však prokázáno, že zejména v případě negativního [1], typického pro konzolová stadia výstavby, a tím více supernegativního smykového ochabnutí, je koncepce spolupůsobících šířek, kdy spolupůsobící šířkou je míněna část šířky stěny při jejích okrajích, v jejímž rozsahu je napětí konstantní, rovné napětí v rohu průřezu, přičemž celková axiální síla v desce komorového průřezu je zachována, nepoužitelná, neboť napětí v rohu průřezu je nejmenší, nebo dokonce opačného znaménka.

Smykové ochabnutí, jak známo, vzniká při působení zatížení vyvolávajících smykové namáhání. Smykové ochabnutí zřejmě souvisí se smykem, tedy s posouvající silou a jejím gradientem. Vážnou námitkou proti koncepci (obvykle podle doporučených předpisů) spolupůsobících šířek proto je, že se takto nebere důsledně v úvahu, jaké jsou v uvažovaném průřezu pro různá zatížení posouvající síly a jejich gradienty, přestože právě tyto faktory jsou za smykové ochabnutí odpovědné – bez posouvající síly smykové ochabnutí nevzniká. Bezduchý postup založený na použití spolupůsobících šířek by tedy mohl znamenat redukci ohybové tuhosti průřezu v oblasti bez posouvající síly (např. v celém poli nosníku se zatíženými převislými konci nebo v nosníku zatíženém pouze předpětím přímými kabely) nebo poblíž středu rozpětí symetrického nosníku zatíženého mimo tuto oblast). Spolupůsobící šířky, obvykle přebírané z různých norem a doporučení, kromě toho, že jsou často neznámého původu, zřídka se důsledně uplatňují v oblasti nosníku, pro kterou platí, nerozlišují, k jakému typu zatížení (svislé nebo předpětí) a jeho rozložení přísluší. Dalším důvodem k opatrnosti je skutečnost, že – na rozdíl od výpočtu krajních hodnot napětí v průřezu vyvolaných daným ohybovým momentem – změny tuhosti v **jednotlivých průřezích** ovlivňují průhyby **celé konstrukce**.

U předpjatých komorových mostů je zásadní rozdíl mezi vnějším zatížením **svislým** (vlastní tíha, užité zatížení) a **předpětím**, u kterého je jím vyvozené smykové namáhání konstrukce ve většině případů podstatně menší, je jiného charakteru, anebo dokonce vůbec nemusí vznikat. Proto u předpjatých komorových mostů není možné použít **stejně spolupůsobící šířky při současném působení obou těchto druhů** zatížení, neboť by to znamenalo **stejně ovlivnění účinků od zatížení, která smykové ochabnutí vyvozují a která nikoli**.

Dalším nedostatkem koncepce spolupůsobících šířek je možnost postihnout jen nejvyšší hodnoty napětí (u klasického smykového ochabnutí na okrajích pásů, tj. v místech styků se stěnami nosníku), **nikoli však jejich průběh po šířce těchto pásů**.

### Koncepce náhradního tvaru průřezu

V současnosti existují pro statickou analýzu předpjatých komorových mostů zahrnující vlivy postupné výstavby, změny statického systému a účinky dotvarování a smršňování betonu a teplotní vlivy postupy zpracované do široce

využívaných výpočetních programů [2], [3]. Je zřejmé, že běžné rámové výpočty s prutovými prvky v principu neumožňují zavedení vlivu ochabnutí smykem, neboť jde o jev vyšší, prostorový. Avšak obvyklý "rámový" přístup, pro který jsou zpracovány i tyto výpočetní programy, je pro praktické výpočty dosud jediný přijatelný.

I dokonalejší postupy [2], umožňující rozdělení průřezu na části s různými materiálovými charakteristikami (včetně reologických), vycházejí stále z předpokladu zachování rovinnosti průřezů desek komorových nosníků, tj. jejich nedeplanability. Výsledkem je, že membránová napětí v těchto deskách jsou úměrná vzdálenosti jejich bodů od neutrální osy průřezu. Tento zjednodušující předpoklad je oprávněný pro možnost redukce z obecně trojrozměrné úlohy na jednorozměrnou. Tyto postupy mají velmi široké využití při statických analýzách zejména mostních konstrukcích s řadou změn statického systému a se zahrnutím vlivů do-rtvarování a smršťování betonu.

Bylo by žádoucí, aby i tyto postupy mohly tak závažný jev, jako je ochabnutí smykem, respektovat. Klasická koncepce spolupůsobících šířek není vhodná, a proto se nabízí jiný, velmi jednoduchý přístup – **ve výpočtech založených na nedeplanabilitě průřezů desek upravit tvar střednice průřezu tak, aby při použití tohoto předpokladu vycházela napětí právě taková, jaká poskytuje přesné prostorové řešení.**

Přístup je v podstatě analogický odvozování velikosti spolupůsobících šířek – máme k dispozici skutečné rozložení napětí v deskách komorového (nebo podobného, např. dvoutrámového) nosníku zjištěné výstižným výpočtem (metody matematické pružnosti, teorie lomenic, MKP). Místo stanovení poměru celkové axiální síly v desce a nejvyššího podélného normálového napětí, definujícího velikost spolupůsobící šířky desky **pro určitý průřez** a pro **určité uspořádání zatížení**, upravíme tvar střednice průřezu tak, aby za použití předpokladu zachování rovinnosti průřezů desek vycházela napětí právě taková, jaká poskytuje přesné prostorové řešení. Tato úvaha je dále ukázána na jednoduchém uspořádání:

■ Průřez komorového nosníku je namáhán ohybovým momentem  $M$ , čímž vznikají v průřezu podélná normálová napětí  $\sigma$ , jejichž rozložení naznačuje *obr. 1a*. V důsledku ochabnutí smykem jsou tato napětí rozložena podél šířky pásů nerovnoměrně – jsou popsána (*obr. 1a*) funkcí  $\sigma(y)$ .

Platí

$$M = 2 \left( \frac{\sigma_e I_{st}}{a} + \int_{-0,5b}^{0,5b} \sigma(y) a t dy \right), \quad (1)$$

kde  $a$  je vzdálenost střednice pásů od neutrální osy průřezu (*obr. 1a*),

$\sigma_e$  – napětí na okraji pásů (*obr. 1a*),

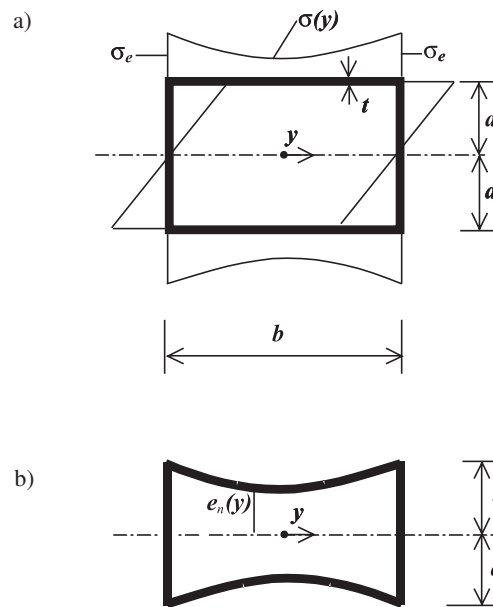
$I_{st}$  – moment setrvačnosti průřezu stěny průřezu.

Nerovnoměrnost rozložení napětí podél šířky pásů je charakterizována funkcí

$$\rho(y) = \frac{\sigma(y)}{\sigma_e}. \quad (2)$$

Vztah (1) potom je

$$\begin{aligned} M &= 2 \left[ \frac{\sigma_e I_{st}}{a} + \int_{-0,5b}^{0,5b} \rho(y) \sigma_e a t dy \right] = \\ &= 2 \left[ \frac{\sigma_e I_{st}}{a} + \sigma_e a t \int_{-0,5b}^{0,5b} \rho(y) dy \right] = \\ &= \left( \frac{2\sigma_e}{a} \right) (I_{st} + a^2 t R), \end{aligned} \quad (3)$$



Obr. 1.  
a – tvar průřezu a rozdělení podélných normálových napětí,  
b – upravený tvar

kde

$$R = \int_{-0,5b}^{0,5b} \rho(y) dy.$$

■ Vytvoříme nyní náhradní tvar průřezu (*obr. 1b*), u kterého vzdálenost bodů střednice pásů od neutrální osy průřezu je upravena na

$$e_n(y) = \frac{a\sigma(y)}{\sigma_e} = a\rho(y), \quad (4)$$

kde  $a$  je vzdálenost bodů střednice pásů od neutrální osy skutečného průřezu (*obr. 1a*).

Záměrem je, aby bylo možno počítat napětí na náhradním průřezu použitím známého základního vzorce založeného na předpokladu zachování rovinnosti průřezu

$$\sigma(y) = \frac{M e_n(y)}{I_n}, \quad (5)$$

kde  $I_n$  je průřezová veličina charakterizující ohybovou tuhost náhradního průřezu. Vyjádříme ji ze vztahu (5), do kterého dosadíme vztahy (3) a (4). Nejprve dostáváme

$$\sigma(y) = \frac{M e_n(y)}{I_n} = \left( \frac{2\sigma_e}{a} \right) (I_{st} + a^2 t R) a \frac{\sigma(y)}{I_n}, \quad (6)$$

odkud plyne

$$I_n = 2 (I_{st} + a^2 t R). \quad (7)$$

Je zřejmé, že pro případ bez ochabnutí smykem, s rovnoměrným rozložením napětí podél šířek pásů, vychází  $R = b$  a veličina  $I_n$  přechází v obvyklý moment setrvačnosti průřezu.

Napětí na skutečném průřezu (*obr. 1a*), nerovnoměrně rozložené podél šířky pásů, můžeme tedy vypočítat podle vztahu

$$\sigma(y) = \frac{M e(y)}{2(I_{st} + a^2 t R)}. \quad (8)$$

### Výpočet deformací

Křivost průhybové čáry nosníku je

$$K = \frac{\epsilon_e}{a}, \quad (9)$$

kde  $\varepsilon_e$  je poměrná délková deformace na okraji stěny (v rohu průřezu). Je-li  $E$  modul pružnosti materiálu, potom platí

$$\varepsilon_e = \frac{\sigma_e}{E}. \quad (10)$$

Současně pro celý nosník má platit

$$K = \frac{M}{EI_o}, \quad (11)$$

kde  $I_o$  vyjadřuje moment setrvačnosti odpovídající ohybové tuhosti náhradního průřezu. Jeho velikost dostaneme porovnáním vztahů (9) a (11) za použití vzorců (3) a (10). Podle očekávání

$$I_o = I_n. \quad (12)$$

### Příklad

Napětí v pásce průřezu komorového nosníku (obr. 2a), vyvolaná působením ohybového momentu  $M$ , nechť jsou rozložena podle vztahu

$$\sigma(y) = \frac{\sigma_e \cosh \frac{2y}{b}}{\cosh 1}.$$

Funkci  $\rho(y)$  je potom možné vypočítat ze vzorce

$$\rho(y) = \frac{\sigma(y)}{\sigma_e} = \frac{\cosh \frac{2y}{b}}{\cosh 1}.$$

Náhradní tvar průřezu (obr. 2b) je určen vzdáleností bodů střednice pásů  $e_n(y)$  od neutrální osy průřezu

$$e_n(y) = a\rho(y) = a \frac{\cosh \frac{2y}{b}}{\cosh 1}.$$

Dále

$$R = \int_{-0,5b}^{0,5b} \rho(y) dy = 2 \int_0^{0,5b} \rho(y) dy = \frac{2}{\cosh 1} \int_0^{0,5b} \cosh \frac{2y}{b} dy = \frac{2}{\cosh 1} \frac{b}{2} \sinh 1 = btgh 1 = 0,7616b,$$

což v tomto případě znamená redukci podílu pásu na ohybovou tuhost na 76,16 % vzhledem k případu bez smykového ochabnutí.

Je-li tloušťka stěny  $t_s$ , potom

$$I_{st} = \frac{2a^3 t_s}{3}$$

a tuhostní charakteristika průřezu

$$I_n = 2(I_{st} + a^2 tR) = 2 \left( \frac{2a^3 t_s}{3} + 0,7616ba^2 t \right).$$

Průřez přenáší ohybový moment (3)

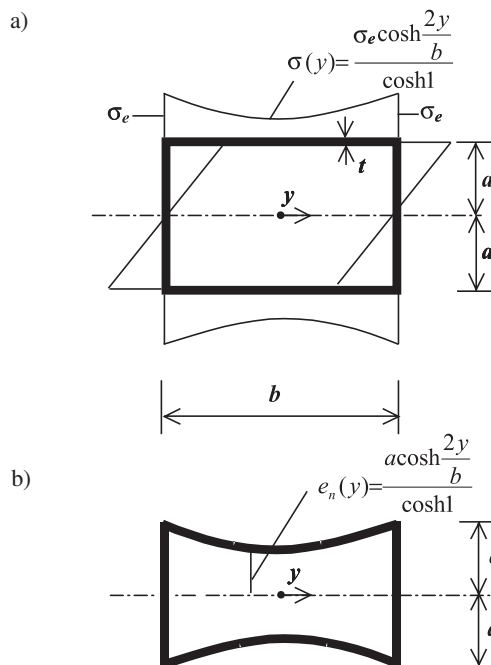
$$M = \frac{2\sigma_e}{a} (I_{st} + a^2 tR) = \frac{2\sigma_e}{a} \left( \frac{2a^3 t_s}{3} + 0,7616ba^2 t \right).$$

Hodnoty napětí v pásu udává vzorec (5)

$$\sigma(y) = \frac{M e_n(y)}{I_n} = \frac{\sigma_e e_n(y)}{a} = \sigma_e \cosh \frac{2y}{b \cosh 1},$$

což je správný nerovnoměrný průběh napětí v pásu získaný však technickým výpočtem.

Uvedené výsledky vplynuly z řešení grantových projektů č. 103/00/0604, 103/02/1005 a 103/02/0020 GA ČR a Výzkumného záměru Fakulty stavební ČVUT č. 21000003.



Obr. 2.

$a$  – tvar průřezu a rozdělení podélných normálových napětí,  
 $b$  – upravený tvar

### Literatura

- [1] Křístek, V. – Studnička, J.: Negative Shear Lag in Flanges of Plated Structures. Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 117, No. 12, 1991, pp. 3553 – 3569.
- [2] Programový systém IDA Nexis 32 – manuál betonové konstrukce. IDA, spol. s r. o., Brno, 1999.
- [3] Vítek, J. L.: Výpočetní program DOMO. ČVUT, Praha, 1985.
- [4] Zich, M. – Navrátil, J.: Vliv smykového ochabnutí na dlouhodobé chování komorových nosníků. [Sborník], konference "Betonářské dny 2001", Pardubice, s. 335 – 340.
- [5] Křístek, V. – Vítek, J. L. – Kohoutková, A.: Průhyby komorových mostů a jejich časový vývoj. [Sborník], mezinárodní symposium "Mosty 2001", Brno, s. 165 – 170.

### Křístek, V.: An Alternative to Application of Effective Flange Widths in Box Girder Technical Analysis

A simple method of analysis of shear lag effects in box girders (the distribution of longitudinal stresses across the flange widths and deflection increases), intended as a design tool, based on a modified cross sectional shape, is proposed. The method allows the basic simplicity of the elementary technical approach to be retained so that the method is regarded as a design aid.

### Křístek, V.: Alternative zur Konzeption der vollmitragenden Breiten in technischen Berechnungen von Kastenträgern

Es wird ein Verfahren zur Erfassung der tatsächlichen ungleichmäßigen Verteilung der Normallängsspannungen entlang der Breite der Platten von Kastenträgern vorgeschlagen, das in der Anwendung einer veränderten Querschnittsform besteht, die in die Berechnung eingeht. Diese Verfahren ist für die Anwendung in technischen Berechnungen bestimmt, die von der Voraussetzung der Erhaltung der Ebenheit der Querschnitte der Platten der Kastenträger ausgehen.

# Odhad retenčních schopností povrchových vrstev v krajině pomocí tříparametrické infiltrační rovnice

Ing. Jakub ŠTIBINGER, CSc.  
 ČZU – Lesnická fakulta  
 Praha

**Příspěvek se zabývá měřením infiltračních schopností a odhadem retenčního potenciálu povrchových vrstev v krajině. K vyhodnocení naměřených dat byla použita tříparametrická infiltrační rovnice Philipova typu.**

V rámci výzkumného záměru [1] byla řešena dílčí část úkolu "Infiltrační schopnosti kukuřičného pole a lesního porostu v lokalitě Kostelec nad Černými lesy" (okres Praha-východ). V listopadu 1999 se prováděla měření v lesním porostu přenosným dešťovým infiltrmetrem (simulátorem) zkonstruovaným ve Výzkumném ústavu meliorací a ochrany půdy v Praze-Zbraslavi [8], v říjnu až listopadu 2001 se zjišťovaly infiltrační schopnosti kukuřičného pole dvouválcovou metodou. Zjištěná data kumulativní infiltrace byla v obou případech vyhodnocena tříparametrickou infiltrační rovnicí Philipova typu. Metodické postupy měření infiltračních schopností pórovitého prostředí touto metodou jsou ověřeny a popsány v [2], [4] atd.

Vyhodnocování zjištěných dat kumulativní infiltrace pomocí tříparametrické rovnice Philipova typu není běžné. Článek má seznámit čtenáře s výsledky dosaženými jejím uplatněním. Kromě analýzy infiltračních schopností (sorpitivity, dlouhodobé infiltrace) zkoumaného prostředí byl stanoven koeficient hydraulické nasycené vodivosti  $K$ , efektivní drenážní pórovitost  $P_d$  a doba výtopy  $T_p$ .

## Expozice problematiky

Philipovo odvození matematicko-fyzikálního popisu nestacionární infiltrace vychází z řešení Richardsovy (Fokkerovy-Planckovy) parciální parabolické diferenciální rovnice (1) proudění vody v pórovité nasycené zóně s Dirichletovou okrajovou podmínkou

$$\frac{\delta}{\delta z} \cdot \left( k \cdot \frac{\delta \Phi}{\delta z} \right) = \frac{\delta \Theta}{\delta t} \quad (1)$$

V dalším postupu je do rovnice (1) zaveden difúzní člen a pomocí Philipovy perturbační metody [4] je kumulativní infiltrace  $i(t)$  [L] v čase  $t$  vyjádřena nekonečnou řadou typu

$$i(t) = \sum_n C_n \cdot t^{n/2} + k_i \cdot t \quad (2)$$

kde  $z$  je vertikální souřadnice [L],

$\frac{\delta \Phi}{\delta z}$  – hydraulický gradient (spád) [–],

$C_n$  – matematicko-fyzikálně odvozený  $n$ -tý člen řady [L, T],

$t$  – čas [T],

$k(k_i)$  – hydraulická nasycená vodivost odpovídající počáteční vlhkosti  $\Theta_i$  [L · T<sup>-1</sup>],

$L$  – délková jednotka,

$T$  – časová jednotka.

Podle poznatků Krejčí a Kutílka [5] je pro praktické použití  $n = 3$  dostatečně vhodná aproximace, zejména nejde-li o vysušené půdní prostředí, což bylo u svrchních půdních vrstev kukuřičného pole a lesního porostu splněno.

Dále je třeba při vyhlazení časové řady kumulativní infiltrace  $i(t)$  vynechat poslední člen rovnice (2), tj.  $k_i \cdot t$ . Za předpokladu  $n = 3$  a vynechání posledního členu  $k_i \cdot t$  v rovnici (2) přejde rovnice (2) na rovnici

$$i(t) = C_1 \cdot t^{1/2} + C_2 \cdot t + C_3 \cdot t^{3/2} \quad (3)$$

kde  $C_1$  je sorpční schopnost půdy [L · T<sup>-1/2</sup>],

$C_2$  – dlouhodobá infiltrace [L · T<sup>-1</sup>],

$C_3$  má v matematicko-fyzikálním popisu procesu kumulativní infiltrace vyrovnávací charakter [L · T<sup>-3/2</sup>].

## Stanovení parametrů Philipovy infiltrační rovnice

Ze zjištěných hodnot kumulativní infiltrace  $i$  byly odhadnuty hodnoty koeficientů (parametrů)  $C_1$ ,  $C_2$  a  $C_3$  metodou Marquardtových parametrů [1], a to jak pro povrchovou vrstvu kukuřičného pole, tak pro vrstvu mechu v lesním porostu. Hodnoty kumulativní infiltrace v povrchové vrstvě kukuřičného pole, resp. intenzity infiltrace (Kostelec nad Černými lesy), jsou uvedeny v *tab. 1*, resp. *tab. 2*, grafický záznam jejich průběhu v čase  $t$  je pro vybraná měření na *obr. 1*, resp. *obr. 2*. Stejně hodnoty zjištěné v povrchové vrstvě mechu v lesním porostu (Kostelec nad Černými lesy, poleš Jevany) jsou uvedeny v *tab. 3*, grafický záznam je na *obr. 3* a *obr. 4*.

Hledání parametrů (koeficientů) rovnice (3) představuje úlohu nelineární regrese, Marquardtova metoda či Marquardtův kompromis proto vychází ze "spojené" metody nejstrmějšího poklesu a metody Gaussovy–Newtonovy. Marquardtův princip je založen na podobnosti obou metod a na možnosti formulovat soustavu náhradních lineárních rovnic z Gaussovy–Newtonovy metody tak, až metoda nejstrmějšího poklesu bude formálně tvořit její zvláštní případ.

Vysoké hodnoty koeficientů determinace  $R$ , blíží se 1, svědčí o vhodnosti zvoleného modelu (tříparametrické infiltrační rovnice Philipova typu) a jeho optimální vypovídací (vysvětlující) schopnosti "vyjádření" vztahu mezi nezávisle proměnnou (časem  $t$ ) a závisle proměnnou (kumulativní infiltrační  $i$ ).

Hodnoty parametrů  $C_1$ ,  $C_2$  a  $C_3$  včetně koeficientů determinace  $R$  jsou pro kukuřičné pole (měření č. 1, 2, 3) a mechovou vrstvu (lesní porost) uvedeny v *tab. 4* a *tab. 5*.

## Odhad koeficientu hydraulické nasycené vodivosti a efektivní drenážní pórovitosti

Podrobněji je popsán postup odhadu koeficientu hydraulické nasycené vodivosti  $K$  [5]. Derivační rovnice (3)

Tab. 1. Kumulativní infiltrace

<i>i</i> [mm]	<i>t</i> <sub>1</sub>	<i>t</i> <sub>2</sub>	<i>t</i> <sub>3</sub>	<i>t</i> <sub>4</sub>	<i>t</i> <sub>5</sub>	<i>t</i> <sub>6</sub>	<i>t</i> <sub>7</sub>	<i>t</i> <sub>8</sub>	<i>t</i> <sub>9</sub>	<i>t</i> <sub>10</sub>
	[min]									
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	10,5	12,0	11,5	11,0	12,5	10,0	14,0	12,5	15,0	13,5
4	40,0	46,0	44,5	46,0	48,5	42,5	52,0	48,5	52,0	49,5
6	81,0	88,0	84,0	88,5	93,0	92,5	95,2	95,2	98,5	97,0
8	–	141,0	136,5	140,5	150,0	137,5	158,0	153,5	158,0	155,0
10	–	200,5	196,0	200,5	212,0	210,5	222,5	214,0	219,5	215,0

Tab. 2. Intenzita infiltrace

<i>v</i> <sub>1</sub>	<i>v</i> <sub>2</sub>	<i>v</i> <sub>3</sub>	<i>v</i> <sub>4</sub>	<i>v</i> <sub>5</sub>	<i>v</i> <sub>6</sub>	<i>v</i> <sub>7</sub>	<i>v</i> <sub>8</sub>	<i>v</i> <sub>9</sub>	<i>v</i> <sub>10</sub>	<i>v</i> = <i>i</i> / <i>t</i>
[mm/min]										
0,096	0,086	0,090	0,090	0,082	0,097	0,075	0,081	0,073	0,075	2 / <i>t</i>
0,055	0,050	0,052	0,049	0,047	0,050	0,045	0,046	0,045	0,046	4 / <i>t</i>
0,044	0,040	0,042	0,040	0,038	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	6 / <i>t</i>
–	0,035	0,039	0,035	0,033	0,033	0,032	0,033	0,033	0,033	8 / <i>t</i>
–	0,032	0,032	0,035	0,031	0,029	0,029	0,032	0,030	0,032	10 / <i>t</i>

podle času *t* dostaneme výraz pro intenzitu infiltrace ve tvaru

$$v(t) = \frac{di(t)}{dt} = (1/2) \cdot C_1 \cdot t^{-1/2} + C_2 + (3/2) \cdot C_3 \cdot t^{1/2}, \quad (4)$$

ze které byla aproximativně odvozena hydraulická nasycená vodivost (koeficient filtrace).

Předpokládáme, že pro rovnici (4) platí jako pro nekonečnou řadu (2) limitní čas *t*<sub>lim</sub>, a vzhledem k tomu, že rovnice (2) nebude konvergentní při *t* > *t*<sub>lim</sub>, musí platit

$$|d_v / d_t|_{t_{lim}} = 0.$$

Vzhledem k tomu, že teoreticky pro *t* → ∞ je *v* → *K*, platí přibližně, že *v* (*t*<sub>lim</sub>) → *K*. Položíme-li derivaci rovnici (4) podle času *t* rovnou nule, dostaneme rovnici ve tvaru

$$-(1/4) \cdot C_1 \cdot t^{-3/2} + (3/4) \cdot C_3 \cdot t^{-1/2} = 0, \quad (5)$$

potom však platí

$$t_{lim} = C_1 / 3 C_3. \quad (6)$$

Dosažením času *t*<sub>lim</sub> ze vztahu (6) do rovnice (4) a za předpokladu *v* (*t*<sub>lim</sub>) → *K* bude zřejmě platit

$$K \approx (3 \cdot C_1 \cdot C_3)^{1/2} + C_2. \quad (7)$$

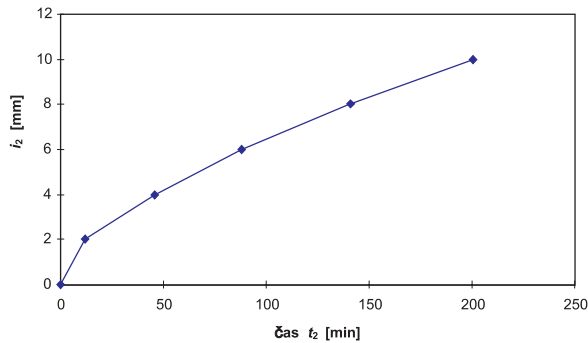
Podle této rovnice byly vypočítány hodnoty hydraulické nasycené vodivosti kukuřičného pole a vrstvy mechu v lesním porostu a ověřeny laboratorně na neporušených vzorcích odebraných z Kopeckého válečků. Laboratorně zjištěné hodnoty se řádově nelišily. Zároveň byl na základě známých hodnot hydraulické nasycené vodivosti proveden odhad efektivní drenážní pórovitosti *P*<sub>*d*</sub> podle grafu US Bureau of Reclamation [6]. Výsledky jsou uvedeny v tab. 4 a tab. 5.

### Stanovení doby výtopy

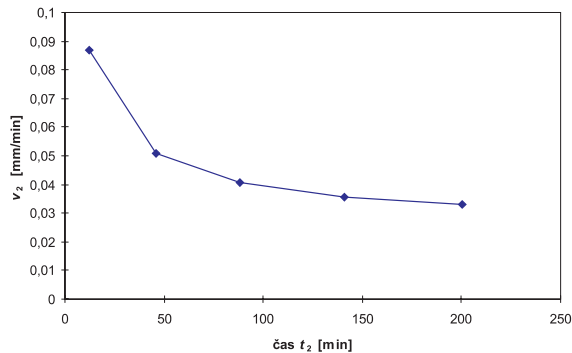
Dobu výtopy lze definovat jako čas, od kterého začíná povrchový odtok. Byla stanovena pro patnáctiminutový přívalový déšť a pro 24hodinovou srážku postupně pro periodicitu *p* = 5, 2, 1, ..., 0,020, 0,010 až 0,005 (tj. až pro déšť, resp. srážku opakující se jednou za 200 let). Symbol *T*<sub>*p*</sub> představuje její počátek a zhruba odpovídá počátku povrchového odtoku.

Tab. 3. Kumulativní infiltrace a intenzita

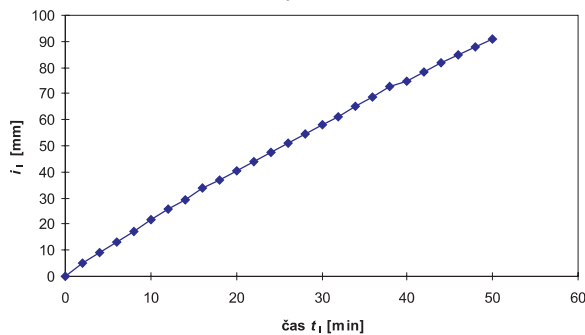
Měření	<i>t</i> [min]	<i>i</i> [mm]	<i>v</i> [mm/min]
1	0	0,00	0,000
2	2	4,95	2,475
3	4	9,04	2,261
4	6	13,12	2,201
5	8	17,21	2,151
6	10	21,51	2,151
7	12	25,59	2,132
8	14	29,46	2,104
9	16	33,62	2,101
10	18	37,07	2,059
11	20	40,59	2,029
12	22	44,12	2,005
13	24	47,57	1,982
14	26	51,24	1,970
15	28	54,47	1,945
16	30	58,21	1,940
17	32	61,31	1,915
18	34	65,18	1,917
19	36	68,84	1,912
20	38	72,51	1,908
21	40	74,89	1,872
22	42	78,05	1,858
23	44	81,72	1,857
24	46	84,81	1,843
25	48	88,04	1,834
26	50	91,06	1,821



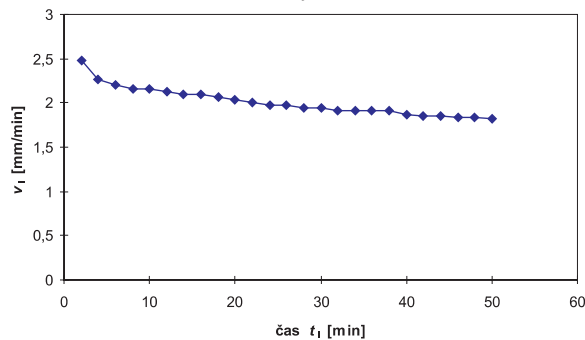
Obr. 1. Kumulativní infiltrace – měření č. 2



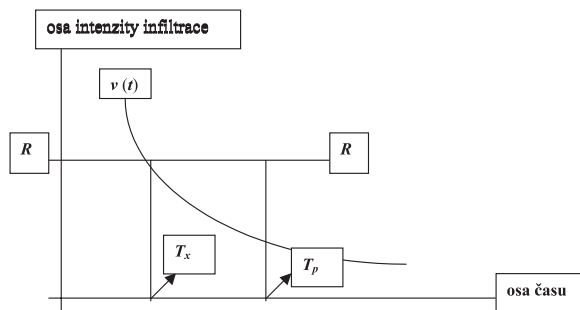
Obr. 2. Intenzita infiltrace – měření č. 2



Obr. 3. Kumulativní infiltrace – měření č. 1



Obr. 4. Intenzita infiltrace – měření č. 1



Obr. 5. Stanovení doby výtopy při působení srážky konstantní intenzity

Intenzitu infiltrace  $v(t)$  kukuřičného pole (vrstvy mechu) popisuje rovnice (4). Předpokládáme působení srážky s konstantní intenzitou  $R [L \cdot T^{-1}]$  určitého trvání, v našem případě 15 minut, resp. 24 hodin. V čase  $T_x$ , od kterého je intenzita srážky  $R$  větší než intenzita infiltrace  $v(t)$  ( $R > v(t)$ ), infiltrovala do profilu voda v množství  $R \cdot T_x$ . Toto množství je však prokazatelně menší, než by mohl sledovaný profil (kukuřičné pole, vrstva mechu) v čase  $T_x$  přijmout. V tomto čase je schopen přijmout  $\int v(T_x) = i(T_x)$  vody, a to je zřetelně větší než  $R \cdot T_x$  (platí zřejmě  $\int v(T_x) = i(T_x) > R \cdot T_x$ ). Postup je schematicky znázorněn na obr. 5.

V době výtopy, tedy v čase  $T_p$ , musí platit rovnice

$$\int v(T_x) = i(T_x) = R \cdot T_p \quad (8)$$

Čas  $T_x$  dostaneme z rovnice (4) – platí totiž, že v čase  $T_x$  je intenzita infiltrace  $v(t)$  rovna intenzitě srážky  $R$ , tedy

$$v(T_x) = C_1 \cdot T_x^{-1/2} + C_2 + C_3 \cdot T_x^{1/2} = R \quad (9)$$

Ze známých hodnot  $R$ ,  $C_1$ ,  $C_2$  a  $C_3$  v rovnici (9) stanovíme hodnotu  $T_x$ , kterou pak dosadíme do rovnice (8) a vypočítáme  $T_p$  ve tvaru

$$T_p = i(R, C_1, C_2, C_3) / R \quad (10)$$

Pomocí rovnice (10) byla odhadnuta doba výtopy pro kukuřičné pole a vrstvu mechu v lesním porostu při předpokládaném působení patnáctiminutového přívalového deště a pro 24hodinovou srážku s periodicitou  $p = 5, 2, 1, \dots, 0,020, 0,010$  až  $0,005$  (tj. až pro dešť, resp. srážku opakující se jednou za 200 let). Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tab. 6 a tab. 7.

**Závěr**

Z rozboru a hodnocení zjištěných údajů vyplývá, že infiltrační schopnosti povrchu kukuřičného pole jsou značně omezené. Součinitel dlouhodobé infiltrace charakterizovaný parametrem  $C_2$  se pohybuje mezi  $0,0012$  až  $0,0134 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ , což je v přepočtu  $2 \cdot 10^{-8}$  až  $2,23 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Koefficient dlouhodobé infiltrace mechové vrstvy lesního porostu je mnohonásobně vyšší. Jeho hodnota se pohybuje okolo  $1 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ , což činí přibližně  $1,7 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . S těmito údaji korespondují hodnoty koeficientů infiltrace (hydraulické nasycené vodivosti) vypočítané podle rovnice (7). Zatímco u kukuřičného pole se koeficient filtrace pohybuje mezi  $3 \cdot 10^{-7}$  až  $6 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , u mechové vrstvy má hodnotu  $3 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , což je hodnota o několik řádů vyšší než u kukuřičného pole. Efektivní drenážní pórovitost představující množství gravitační vody v pórovitém prostředí se pohybuje u kukuřičného pole okolo 2 % obj., ve vrstvě mechu pak 18 % obj., což je přibližně devětkrát více než u kukuřičného pole.

Retenční schopnosti mechové vrstvy v lesním porostu jsou tedy výrazně vyšší v porovnání se schopnostmi povrchu kukuřičného pole. Infiltrační schopnosti povrchové vrstvy byly vyjádřeny dobou výtopy. U vrstvy mechu s vysokou schopností reagovat na srážky výtopy při jednodenní srážce vůbec nenastane, u kukuřičného pole nastane u srážky s periodicitou  $p = 0,5$  (s opakováním jednou za 2 roky) přibližně za devět hodin, u srážky s periodicitou  $p = 0,005$  (s opakováním jednou za 200 let) přibližně za 35 minut. Patnáctiminutová přívalová srážka způsobí u vrstvy mechu výtopy při srážce s periodicitou  $p = 0,05$  (s opakováním jednou za dvacet let) za 12 minut, s periodicitou  $p = 0,005$  (s opakováním jednou za 200 let) za 1,6 minut,

Tab. 4. Parametry Philipovy infiltrační rovnice – kukuřičné pole

Měření č.	R	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	K			P <sub>d</sub> [% obj.]
					[mm/min]	[m/s]	[m/d]	
1	1,000	0,538	0,0043	0,00055	0,03417	5,7E-07	0,052	2,2
2	0,999	0,525	0,0098	0,00021	0,02818	4,7E-07	0,041	2,0
3	0,999	0,524	0,0134	8,6E-06	0,01716	2,9E-07	0,024	1,6

Tab. 5. Parametry Philipovy infiltrační rovnice – silná vrstva mechu

Měření č.	R	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	K			P <sub>d</sub> [% obj.]
					[mm/min]	[m/s]	[m/d]	
1	0,9980	3,230	1,0461	0,0500	1,7420	2,9E-05	2,5110	18,2000

tedy téměř okamžitě. Na kukuřičném poli se při patnáctiminutové přívalové srážce vytvoří výtopy u srážky s periodicitou  $p = 5$  (opakující se pětkrát za rok) téměř ihned, za 52 sekund. Rozdíl infiltračních schopností mechové vrstvy a povrchu kukuřičného pole je tedy výrazný. Zjištěné skutečnosti a hypotézy byly potvrzeny rozбором reprezentativních vzorků obou prostředí v laboratoři Katedry hydromeliorací a krajinného inženýrství Fakulty stavební ČVUT Praha. Na infiltrmetru s proměnným sklonem na Kopeckého válečcích byla ověřena hydraulická nasycená vodivost povrchu kukuřičného pole (naměřená hodnota  $9 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ).

Rozbory zrnitosti vzorků půdního povrchu kukuřičného pole podle [10], [11] a [12] charakterizují toto prostředí jako nepropustné. Vybrané ukazatele chemizmů mechové vrstvy naopak charakterizují výrazně vyšší sorpční a infiltrační schopnosti, slabou kyselost půdního prostředí s lehce organogenní půdou. Půdní prostředí je možné označit jako propustné.

Tříparametrická infiltrační rovnice Philipova typu se pro vyhodnocení infiltračních schopností jeví jako velmi vhodný nástroj. Odhad sorptivity bude zřejmě na kvalitativně stejné úrovni jako u jiných vyhodnocovacích metod, výpočet hydraulické nasycené vodivosti však bude přesnější.

V dalších etapách by bylo vhodné pro stanovení hydropedologických údajů, tolik potřebných pro odhad retenčních kapacit a infiltračních schopností povrchových vrstev v krajině, vyzkoušet, ověřit a porovnat i jiné metody (např. metodu plnění sondy s konstantním, resp. proměnným sklonem hladiny), a vytvořit tak možnost výběru optimální metody pro řešení této problematiky.

## Literatura

- [1] Možnosti zvyšování ekologické stability, retence a akumulace vody v krajině. Výzkumný záměr č. 41 41 00 00 8 MSM, ČZU Praha, 2000.
- [2] Marquardt, S.: An Algorithm for Least Squares Estimation of Non-Linear Parameters. Journal of Society of Industrial Applied Mathematics, 1963, No. 11, pp. 431 – 441.
- [3] Matula, S. – Semotán, J. – Veselá, J.: Praktikum vodohospodářské pedologie. [Učební text], ČVUT Praha, 1984.
- [4] Kutílek, M.: Aplikovaná hydroopedologie. [Učební text], ČVUT Praha, 1975.
- [5] Kutílek, M. – Kuráž, V. – Cízlerová, M.: Hydroopedologie. [Učební text], ČVUT Praha, 1996.
- [6] Kutílek, M. – Krejča, M.: Tříparametrická rovnice infiltrace Philipova typu. Vodohospodářský časopis, 35, 1987, č. 1, s. 52 – 60.
- [7] Luthin, J. N.: Drainage Engineering. New York, John Wiley and Sons, Inc. 1966.
- [8] Štíbinger, J.: Použití statisticko-grafického programového vybavení pro vyhodnocování naměřených hromadných dat v hydrologii a hydroopedologii, jejich numerická a grafická interpretace. Hydroopedologický seminář, Praha, 1990.

Tab. 6. Doba výtopy pro 24hodinovou srážku

Četnost [roky]	Periodicita	H [mm]	Kukuřičné pole [s]	Mech [min]
1/5	5,0000	–	–	bez výtopy
1/2	2,0000	–	–	
1	1,0000	–	–	
2	0,5000	38,7	8,90	
5	0,2000	52,7	3,70	
10	0,1000	61,8	2,03	
20	0,0500	71,2	1,36	
30	0,0333	76,5	1,13	
50	0,0200	82,7	0,93	
80	0,0125	88,8	0,78	
90	0,0111	90,4	0,75	
100	0,0100	91,8	0,72	
200	0,0050	100,2	0,59	

Tab. 7. Doba výtopy pro patnáctiminutovou srážku

Četnost [roky]	Periodicita	H [mm]	Kukuřičné pole [s]	Mech [min]	
1/5	5,0000	6,0	52,2	bez výtopy	
1/2	2,0000	8,5	27,3		
1	1,0000	11,5	14,9		
2	0,5000	14,0	10,1		
5	0,2000	19,0	5,4		
10	0,1000	22,5	3,1		
20	0,0500	27,0	2,7		12,0
30	0,0333	–	–		–
50	0,0200	32,0	1,9		4,0
80	0,0125	–	–		–
90	0,0111	–	–		–
100	0,0100	36,5	1,5		2,5
200	0,0050	41,2	1,2	1,6	

- [9] Poleno, Z. – Remeš, J.: Koncepce podpory hydrické funkce lesa. [Dílčí projekt], ČZU Praha, 1999.
- [10] ČSN 72 1017 Stanovení zrnitosti pro geotechniku. ČSN, 1995.
- [11] ČSN 73 1001 Zakládání staveb. Základová půda pod plošnými základy. ČSN, 1988.
- [12] ČSN 73 6850 Sypané přehradní hráze. ČSN, 1977.



Štibinger, J.: Estimation of Retention Capabilities of Surface Layers in the Landscape Using the Three-Parametric Infiltration Equation

This paper aims to describe measurement of infiltration capabilities of surface layers in the landscape and estimate their retention potential. To evaluate the measured data, the three-parametric infiltration equation of Philip's type was applied.

Štibinger, J.: Schätzung der Rückhalteigenschaften der Oberflächenschichten in einer Landschaft mit Hilfe einer Dreiparameter-Infiltrationsgleichung

Der Beitrag behandelt die Messung der Infiltrationseigenschaften und die Schätzung des Rückhaltepotentials der Oberflächenschichten in einer Landschaft. Zur Auswertung der gemessenen Daten wurde eine Dreiparameter-Infiltrationsgleichung vom Philip-

## • zprávy

### Data pro oceňování staveb zdarma na internetu

Počátek vývoje Soustavy cenových informací (SCI) – databáze sloužící pro oceňování stavební produkce – je třeba hledat někdy před sedmi lety, kdy firma Callida začala s tvorbou agregovaných položek SCI-Expres (tehdy ještě pod označením Callida Expres). V roce 1998 představila firma nově koncipovaný katalog stavebních materiálů pod označením SCI-Mat. Katalog přinesl do oceňování dosud nebývalou kvalitu (vyčerpávající popis výrobků, technické parametry, vyobrazení) a také aplikaci třídění SfB. Třídící systém SfB je mezinárodně uznávaným standardem pro zařizování stavební produkce a firma se pro něj rozhodla hned z několika důvodů. Předně to u nás není třídění neznámé. Již řadu let jej využívá Nadace ABF ve svém stavebním informačním systému. SfB je systémem speciálně navrženým pro stavebnictví, a netrpí tedy neduhy všeob-  
jímajících systémů typu SKP nebo JKPOV. Třídění samo je navrženo jako vícekritériální, tzn. umožňuje zařizovat podle různých na sobě vzájemně nezávislých kritérií. A jaksi samozřejmě umožňuje, na rozdíl od u nás doposud používaných třídění, zahrnout do jedné soustavy jak výrobky, tak stavební práce.

Katalog stavebních prací s označením SCI-Cen je další součástí databáze SCI. Zahrnuje v současné době téměř 4 000 základních reprezentativních položek prací, pod nimiž se ve druhé úrovni skrývá téměř 30 000 konkrétních rozměrových variant v orientačních cenách Callida. Díky převratné datové struktuře systému euroCALC (nového produktu pro oceňování, vytvořeného na bázi SQL a technologií třívrstvé aplikace) bylo možno provést přehledné rozdělení popisů položek do dvou úrovní. V první úrovni se uživatel setkává se soustavou tzv. reprezentativních položek, které věcně vymezují určitý druh práce včetně měrné jednotky, ale bez cenového údaje. Ve druhé úrovni se zobrazuje soubor položek odlišených hodnotami několika kvantifikovaných parametrů. Tyto položky jsou také nositeli cenových údajů. Uživatel má tak usnadněn výběr požadovaných položek do rozpočtu/kalkulace, neboť si v prvním kroku vybírá z relativně malého seznamu skutečně odlišných prací, a ve druhém kroku pouze upřesňuje u zvoleného typu práce konkrétní parametry (tloušťku, plochu, zatížení, tvar, barvu atd.), které určují výši ceny.

Soustava cenových informací SCI tak v současné době představuje ucelenou sadu oceňovacích nástrojů určených pro snadné, rychlé a efektivní oceňování stavební produkce zejména v oblasti pozemního stavitelství. Soustava je navíc téměř v celém rozsahu doplněna alternativními třídícími

kódy (SKP, TSKP), které mohou být využity jak při sestavování rozpočtu/kalkulace, tak především při přenosu do jiných oceňovacích systémů.

V únoru byl oficiálně spuštěn webový server [www.SCI-data.cz](http://www.SCI-data.cz). Nyní obsahuje katalog materiálů SCI-mat, později přibudou i katalogy stavebních prací a agregovaných položek. Server je vybaven pokročilým vyhledávacím mechanismem umožňujícím snadno a rychle získat aktuální cenové informace. K dispozici je jak fulltextové vyhledávání, tak i třídící systém SfB. Pro vyhledání výrobků je navíc možné využít (třeba i neúplné) jméno výrobce. Výsledek vyhledávání lze okamžitě využít jako základ pro hledání dalších položek prostřednictvím preference některého z vyhledávacích kritérií. U výrobků jsou podrobné informace, od textací přes vyobrazení až po kontakty na výrobce.

*Tisková informace*

## TECHNICKÝ SLOVNÍK NAUČNÝ

### 2. díl

*Encyklopedický dům, 2002, 405 stran, 390 Kč*

Od konce června mohou zájemci o technickou literaturu najít na pultech knihkupectví již druhý díl shora uvedené publikace s hesly začínajícími písmeny D až G. Tato pomůcka předpokládá úplné středoškolské vzdělání. V současné době prudkého rozvoje technických oborů a specializací si často odborník určitého zaměření potřebuje ujasnit pojmy a názvy technologických procesů v odvětvích, která přímo s jeho zaměřením nesouvisí. Pro pochopení problému plně postačí objasnění na úrovni středoškolské.

Dílo bude mít šest až osm svazků, které by měly přijít na trh v půlročních intervalech. Vydavatel založil Společnost přátel technického slovníku naučného, jehož členové budou mít při nákupu dalších svazků 10% slevu.

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

# Předpokládaný vliv změny klimatu na vodohospodářské řešení plnění jam povrchových dolů

Ing. Romana KOŠKOVÁ  
Ing. Jindřich SLÁMA  
prof. Ing. Zdeněk KOS, DrSc.  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

Globální změna klimatu je jedním z aspektů, které mohou ovlivnit nejen vodohospodářské řešení plnění jam povrchových dolů Severočeské hnědouhelné pánve, ale i některé jiné oblasti lidské činnosti u nás i ve světě.

## Úvod

Globální změna klimatu je jedním z výrazných aspektů, které budou ovlivňovat toto století. Lépe řečeno, jeho důsledky na ekonomickou a sociální sféru v globálním měřítku se patrně mohou začít projevovat již ve druhé polovině 21. století. Globální změna klimatu ve svých počátcích je patrná již dnes.

Každý z čtenářů se již s pojmem klimatická změna setkal. Dovedeme si však představit opravdu jeho příčiny a následky? Objasněme si nejprve, co to vlastně klimatická změna je a čím je způsobena. Ve smyslu Rámcové úmluvy OSN o změně klimatu se jím rozumí změna vyvolaná přímo nebo nepřímo lidskou činností, a to takovou, která vede ke změnám ve složení atmosféry v globálním měřítku a která představuje přídavek k přirozené proměnlivosti klimatu ve srovnatelných časových obdobích [1].

Tato změna tedy znamená zvýšení globální teploty (na některých místech planety se teplota vlivem změny slanosti oceánů může paradoxně snížit) způsobené především emisemi plynů podporujícími skleníkový efekt. Mezi skleníkové plyny patří především CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> a freonové plyny, jejichž produkce je z části přírodní (rozklad organické hmoty a uvolňování uhlíku do atmosféry) a z části vyplývá z činnosti lidské populace (spalování fosilních paliv, vypalování tropických pralesů, produkce skotu atd.).

## Skleníkový efekt

Tento jev lze definovat jako zvýšený ohřev povrchu půdy a dolních vrstev atmosféry vzhledem ke zvýšenému obsahu skleníkových plynů (hlavně CO<sub>2</sub>), které jako stěny skleníku umožňují vstup tepla, ale brání jeho vyzařování. Elektromagnetické záření přicházející ze Slunce v části viditelného spektra (i mimo něj) proniká atmosférou. Část je v nižších vrstvách atmosféry odražena a opět vyzářena do vesmíru. Další část tohoto energetického kvanta pronikne až k povrchu planety, kde je opět částečně odražena. Zbylé záření pohltí povrch planety. Ohřívá je a opět vyzáří do atmosféry, již však s posunutou vlnovou délkou. Velké množství oxidu uhličitého, metanu a dalších skleníkových plynů mu však neumožní proniknout do vesmíru. Je odraženo k povrchu Země, který znovu ohřívá. Tento stav atmosféry je v zásadě shodný s procesem v zahradním skleníku, podle kterého také dostal název.

## Minulost

Vliv skleníkového efektu na Zemi se uplatňuje v podstatě od vzniku atmosféry. Bez tohoto jevu by nevznikl život v ta-

kově podobě, v jaké ho známe dnes. Právě on zajistil vhodné klima k rozvoji flóry a fauny na planetě. Bez jeho vlivu by zamrzly světové oceány, jejichž bílá barva by výrazně zvýšila zemskou odrazivost (albedo), a povrch planety by se ještě více ochladil. Protože by již neexistovala přírodní síla, která by je opět uvedla do tekutého stavu, postupně by zanikl život na celé Zemi.

Přirozený skleníkový efekt zde však v minulosti byl a naše Modrá planeta se nestala zmrzlou koulí bez života. Vyhnuli jsme se i druhému extrému, výraznému působení skleníkových plynů doprovázených velkým vzestupem teploty – řádově desítky až sta stupňů Celsia, jak ho známe např. z Venuše.

## Současnost

Donedávna si lidé jen těžko připouštěli, že skleníkový efekt a globální změna klimatu vůbec existují. S rozvojem poznání, a bohužel také znečištění, jsme si začali uvědomovat palčivost této otázky a naléhavost hledání východiska z tohoto začarovaného kruhu. Současný skleníkový efekt není jen přírodního původu jako v minulosti (asi 33 °C zvýšení globální teploty [1]), ale bude umocněn zásahem člověka do této křehké rovnováhy (navýšení o 2 až 5 °C [5], [6]). Spalováním fosilních paliv a dalšími aktivitami se uvolňují ročně do atmosféry milióny tun uhlíkatých sloučenin (především CO<sub>2</sub> a CH<sub>4</sub>) které, jak již bylo zmíněno, způsobují globální změnu klimatu.

Dnes již začínáme pociťovat „počátky“ globální změny klimatu v podobě statisticky významně se opakujícího dovršení nebo překročení extrémních hodnot sledovaných veličin (teploty, srážkového úhrnu za krátké období, povodní atd.).

## Budoucnost

Co můžeme očekávat v budoucnosti? Jakou klimatickou změnu přinese a jaký bude mít vliv na příští generace? Na tyto otázky se dnes snažíme nalézt odpovědi. K odhadu změn podnebí používáme klimatické scénáře a simulační modely, např. globální cirkulační model (GCM), což je trojrozměrný matematický model cirkulace atmosféry. Tyto matematické modely závisí na vhodném matematickém principu, především však na kvalitě vstupních dat. Pro odhad budoucí změny na menším území používáme regionální scénáře (tab. 1).

Tab. 1. Regionální scénář zvýšení teploty [°C] v ČR pro rok 2050 [5]

Zima	Jaro	Léto	Podzim
5,6	3,6	2,8	4,1

## Vliv změny klimatu ve vodním hospodářství

Tento obor lidské činnosti bude klimatickými změnami ovlivněn asi nejvýrazněji. Na jedné straně bude třeba řešit rostoucí potřebu pitné i užitkové vody (pesimistický odhad až 4,5krát [5]), na straně druhé omezit nebezpečí ztráty vodních zdrojů (kvantitativně i kvalitativně). Dále bude nutné čelit riziku výskytu a dopadu náhlých a velkých povodní na rozsáhlých územích.

Hlavním rysem změn bude postupné stoupaní hladiny světových oceánů (cca 0,5 m kolem roku 2050) a s tím spjatá potřeba ochrany území nebo opuštění záplavové oblasti. V důsledku větší extremality průtoků vzniknou ve vnitrozemí vyšší nároky na funkci protipovodňové ochrany nádrží a hrází i na jejich zásobní a ochranný objem. V energetice jako celku budou kladeny nižší požadavky na vytápění v zimních měsících. Množství energie získané z hydroelektráren může být ovlivněno rozkolísaností průtoků.

Vodní doprava na řekách bude podléhat sezónním výkyvům průtoků. V zimních obdobích budou menší problémy s ledovými jevy, v době častějších extrémů bude vyražena z provozu. Ani rekreace nezůstane ušetřena globální změny klimatu. Pozitivním jevem bude zvýšení teploty vody, a tím prodloužení provozu rekreačních míst, nepříznivým pak problémy s eutrofizací.

Česká republika bude vystavena stejným problémům jako řada dalších států ve světě. Bude se potýkat se stejnou extremalitou průtoků a srážek. I zde se zvýší nároky na závlahovou a pitnou vodu. Na rozdíl od přímořských států nebude naše území přímo ohroženo vzestupem hladiny světových oceánů. Východiskem z některých problémů jsou adaptační opatření, např. racionalizační (snižování potřeby vody, ztrát a zvýšení využití vodních zdrojů).

### Vliv na rekultivaci a revitalizaci zbytkových jam po povrchové těžbě uhlí

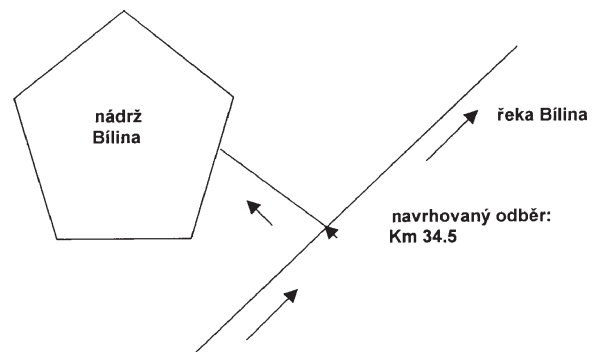
Tento článek má shrnout závěry studie důsledků změny klimatu na rekultivaci a revitalizaci zbytkových jam po povrchové těžbě uhlí na Sokolovsku, zejména dolů Jiří – Družba a Bílina. S uvedením krajiny do původního stavu (před těžbou) se nepočítá jednak vzhledem k nákladům na přesun obrovského objemu materiálů, ale především k možnostem nové architektury krajiny rekultivační zbytkových těžebních jam. Uvedení do původního stavu není žádoucí, protože by se vytvořilo příliš mnoho orné půdy, která je z krajinnotvorného hlediska méně stabilním prvkem krajiny.

Sledování a modelování vlivu klimatických změn probíhá v několika vybraných lokalitách v povodí řeky Ohře. Jejich základní technické parametry jsou uvedeny v tab. 2. Plocha vlastního povodí nádrže Jiří – Družba je 24,85 km<sup>2</sup>, průměrná dlouhodobá roční výška srážek v této oblasti 685 mm. Hodnota pro dané území byla převzata z předchozího projektu a z údajů studie Podnebí ČR [7]. Průměrný dlouhodobý roční průtok Ohře v místě plnění (zdroj plnění nádrže Jiří – Družba) je 18,9 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> [2]. Předpokládaný počátek plnění nádrže Bílina je kolem roku 2037 a dolů Jiří – Družba kolem roku 2038. V době plnění budou již tyto lokality ovlivňovány klimatickou změnou, se kterou je nutné v připravovaných záměrech zatápění počítat. Zdroji vody budou řeky Ohře a Bílina (obr. 1, obr. 2). Při téměř současném plnění obou nádrží bude vodní bilance v těchto lokalitách velmi napjatá (i za nynějších klimaticky nezměněných podmínek). Vzhledem k době plánovaného počátku plnění je pravděpodobné, že obě nádrže budou ovlivněny klimatickou změnou. Napjatost vodní bilance by se snížila posunutím počátku plnění Bíliny na rok 2045.

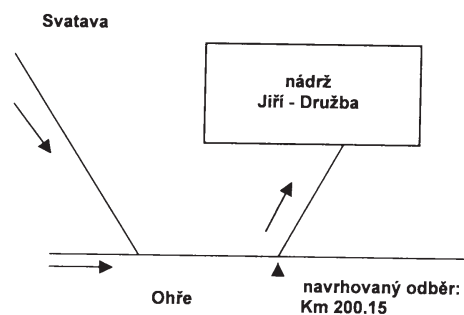
Tab. 2. Technické parametry [4]

Nádrž	Počátek plnění	Plocha hladiny [ha]	Kóta hladiny [m n. m]	Objem nádrže [mil. m <sup>3</sup> ]	Hloubka [m]	
					průměrná	maximální
Jiří – Družba	2038	1 322,3	394,0	514,9	40,6	93,0
Bílina	2037	1 145,0	200,0	645,0	56,0	170,0

Řešení plnění zbytkových jam za klimatické změny se provede při plnění z přirozených odtoků z povodí (tj. bez ovlivnění vodohospodářskou soustavou) pro tři základní hydrologické stavy, a to málovodný, vodný a průměrný. Stav vodný je nejpříznivější, stav málovodný je nejméně příznivý. Přibližná pravděpodobnost překročení těchto stavů se odhaduje na  $1/(n+1)$ , kde  $n$  je délka pozorování. Plnění za klimatické změny se počítalo pro vybrané klimatické scénáře podle zprávy IPCC (International Panel of Climate Change) [6].



Obr. 1. Hydrologická situace nádrže Bílina



Obr. 2. Hydrologická situace nádrže Jiří – Družba

Při řešení možností revitalizace a rekultivace po zatápění zbytkových jam se řešil nejen problém získání vodních zdrojů pro jejich naplnění (v našem případě dolů Jiří – Družba o objemu 515 mil. m<sup>3</sup> a dolů Bílina o objemu 645 mil. m<sup>3</sup>), ale také vliv této aktivity na vodohospodářskou soustavu v povodí Ohře včetně aktivit pod nádrží Nechanice na dolním toku Ohře.

### Závlahy

Ze studií klimatické změny v ČR vyplývá možnost zvýšení aridity oblasti dolního povodí Ohře. Jako adaptační opatření se zde uvažoval rozvoj závlah zemědělských pozemků v rozsahu asi 35 tis. ha. Tento rozsah závlah se již v minulosti plánoval a nádrž Nechanice byla dimenzována s ohledem na tento rozsah. Vlivem klimatické změny by se však zvýšily nároky závlah na vodní zdroj.

V naší studii jsme se proto pokoušeli zjistit, zda nároky na současné plnění nádrží Jiří – Družba a Bílina a uvažovaný rozsah závlah nebudou překračovat kapacity vodohospodářské soustavy v povodí Ohře s nádržemi Jesenice, Skalka, Nechranice. Pro řešení tohoto problému jsme sestavili model SIMO2, kterým jsme simulovali základní funkce vodohospodářské soustavy. Jako vstup jsme použili matematický model závlahových nároků SIM. Tento model vychází z bilance vláhy v půdě a je kalibrován podle skutečných odběrů vody pro závlahové soustavy v povodí Labe [2]. Při reakci na zvýšení teploty se uvažují také ostatní meteorologické veličiny, pokud mají statisticky významnou regresní vazbu na teplotu. Vstupní údaje pro model závlahových nároků jsme uvažovali v souladu s hydrologickým modelem BILAN. Data vycházela z lokálního (přírůstkového) klimatického scénáře, který uvažoval vzestup průměrné teploty o 4 °C a pokles srážek o 5 %.

### Závěr

V článku jsme se zaměřili na některé výsledky zpracovávané studie vlivu klimatické změny na hydrologické podmínky pro předpokládané plnění zbytkových jam po povrchové těžbě dolů Jiří – Družba a Bílina. Očekávané výsledky by měly přispět k rozhodnutí, zda je tato alternativa rekultivace možná i za klimatické změny a jak budou nově vzniklé nádrže ovlivňovat hospodaření s vodou v povodí Ohře. Na základě předběžných výsledků lze konstatovat, že při vhodné

koordinaci počátků plnění nádrží je možné očekávat jejich naplnění v politicky i ekologicky přijatelné době, tj. zhruba do sedmi let. Požadavek na relativně krátkou dobu plnění vyplývá také z řešení stability svahů při plnění jezera.

**Článek byl vypracován za podpory grantu č. 300102711 ČVUT „Vodní hospodářství zbytkových jam Severočeské hnědohelné pánve za klimatické změny“.**

### Literatura

- [1] Kalvová, J. – Moldan, B.: Klima a jeho změna v důsledku emisí skleníkových plynů. UK – Karolinum, Praha, 1996, s. 161.
- [2] Kos, Z. – Přenosilová, E.: Přehodnocení inženýrsko-geologické situace Sokolovské hnědohelné pánve pro umožnění obnovy krajiny, rozvoje sídel a infrastruktury. [Zpráva], Projekt PPŽP-MŽP, Praha, 1996.
- [3] Kos, Z.: Sustainable Irrigation Planning under Climatic Changes. In: International Conference "Advances in Planning, Design and Management of Irrigation Systems as Related to Sustainable Land Use. Leuven, ECOWARM, CIE 1992, p. 10.
- [4] Vodohospodářské řešení rekultivace a revitalizace Podkrušnohorské uhelné pánve. Projekt VaV/510/2/98 MP, Praha, 1998 – 2001.
- [5] Nemešová, I. – Klimperová, N.: Příspěvek k ověření použitelnosti teplotních výstupů z globálních cirkulačních modelů pro území České republiky. Meteorologické zprávy, 47, 1994, s. 77 – 82.
- [6] Houghton, J. T. et al.: Climate Change: The IPCC Scientific Assessment. Cambridge, University Press 1990, 365 s.

**Košková, R. – Sláma, J. – Kos, Z.: Assumed Impacts of Climate Change on Water Management Solution of Residual Surface Coal Pits Filling**

Global climate change is an aspect that can influence not only the water resources analysis of residual coal pits filling in the brown-coal region of North Bohemia but also other areas of human activities in the Czech Republic and worldwide.

**Košková, R. – Sláma, J. – Kos, Z.: Vorausgesetzte Auswirkungen der Klimaveränderung auf die wasserwirtschaftliche Lösung der Flutung von Tagebaurestlöchern**

Die globale Klimaveränderung ist ein Aspekt, welcher nicht nur die wasserwirtschaftliche Lösung der Flutung der Tagebaurestlöcher des nordböhmischen Braunkohlenbeckens, sondern auch einige andere Bereiche menschlicher Tätigkeit in Tschechien und in der Welt beeinflussen kann.

## • zprávy

### Nová budova ČSA dokončena

Provozně administrativní zázemí i vedení společnosti ČSA se od poloviny dubna stěhuje do nové budovy. Generálním dodavatelem stavby na pražském Ruzyňském letišti byla od března loňského roku společnost PSJ holding, a.s. Autorem důstojně vyhlížejícího objektu z dílny projektové kanceláře Nikodem & Partner je Ing. arch. Zdeněk Volman. V budově čochkovitého tvaru o jednom podzemním a osmi nadzemních podlažích jsou sklobeny funkce administrativní, technické i relaxační. Svým uživatelům nabídnou praktické



a současně reprezentativní prostředí pro práci i nutnou přípravu na dlouhé lety.

Nosným základem objektu je monolitická konstrukce, obvodový plášť je tvořen z valné části prosklenou fasádou, ve které se odráží obloha i nedaleké objekty. Fasáda společně s neobvyklým čochkovitým tvarem budovy jsou dominantními prvky objektu. Budova byla postavena v průběhu jednoho roku od března 2001 do března letošního roku in-

vestičními náklady 360 milionů Kč.

*Tisková informace*

# Implementace robotů do stavební výroby

**Zdeněk CVINGER**  
 ČVUT – Fakulta stavební  
 Praha

Automatizace zasáhla již téměř do všech výrobních procesů a nejenom je tomu i ve stavební výrobě. Článek informuje o kladech a záporech využití stavebních robotů, nabízí stručný přehled a ekonomickou charakteristiku.

## Úvod

Jak bude vypadat stavební výroba v 21. století? Představme si staveniště, kde nepracují lidé, ale stroje, vykonávají nejrozličnější činnosti, hloubí rýhy, zdí, připravují bednění, svařují výztuže nebo štukují. Jsou to mechanismy vysoce inteligentní a lidský pracovník na staveništi působí jen jako dozor a koordinace. Těmto strojům budeme říkat stavební roboty. Roboty se v různých výrobních procesech, jako je automobilový průmysl, vakuová technika nebo elektronika, úspěšně používají již od sedmdesátých let dvacátého století, a proto se vědci z technologicky vyspělých (a ekonomicky silnějších) zemí snaží využít nové poznatky z oblasti robotizace a automatizace i v procesech stavební výroby. Ta je však v porovnání s ostatními, převážně průmyslovými odvětvími, mnohem rozmanitější a proměnlivá, a tím i velmi náročná na vytvoření určité "sériovosti", kterou robotizace a automatizace do značné míry potřebují.

Robotem rozumíme inteligentní stroj, který je schopen reagovat na změny prostředí, to znamená přizpůsobit svou činnost (chování) současným podmínkám. To je však definice značně obecná, vedoucí k polemice o tom, zda snahy výzkumných týmů po celém světě vedou skutečně ke konstrukcím prototypů robotů, nebo pouze k jakýmsi polorobotům či jenom vyspělejším mechanismům. Definice Robotics Institute of America (RIA) je již o poznání konkrétnější a také méně "přísná". Říká, že robot je "přeprogramovatelný multifunkční stroj sestavený k přenosu materiálu, dílů, nástrojů nebo specializovaných zařízení, který má naprogramované pohyby pro vykonávání různých pracovních činností" [3]. Přesto i tato definice je poněkud nedostačující a po pravdě trochu zastaralá. Zkusme si tedy vymezit pojem stavební robot, aby vyhovoval současným podmínkám. Stavebním robotem můžeme tedy nazvat inteligentní mechanismus, který je naprogramován tak, aby byl schopen částečně nebo zcela nahradit manuální lidskou činnost – stavební profesi nebo profesi člověkem řízenou, popř. vykonávat i takové úkoly, které by pracovník provádět nemohl. Je ovšem poměrně obtížné vymezit tenkou hranici mezi skutečným robotem a jakýmsi kvazirobotem, protože ani stroj, který uvedenou definici (definicím) vyhovuje, se neobejde bez lidského asistenta, ať již v roli kontrolora, nebo koordinátora činností.

## Výhody a nevýhody uplatnění robotů ve stavebních procesech

Konstrukce stavebního robota v určitých zásadách vychází z konstrukce průmyslových robotů, většinou použí-

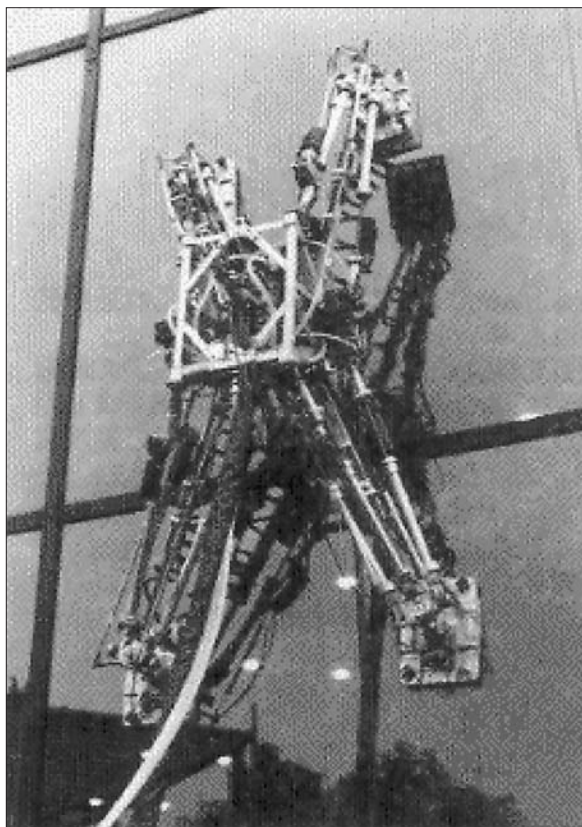
vají nějaký pracovní nástroj (efektor) umístěný na víceosém rameni a jejich činnost je řízena a kontrolována počítačem. Co však potřebuje stavební robot, na rozdíl od robota průmyslového, který většinou plní dané funkce na pevném bodě, je mobilnost a interakce s prostředím. A tady narážíme na několik úskalí, která sebou konstrukce stavebních robotů přináší:

- **pohyblivost** je pro stavebního robota vlastnost nezbytná. Aby byl pohyblivý, potřebuje navigační systém – senzory, algoritmus pro jejich obsluhu, kontrolní systém a systém pro zpracování dat, který mu umožní univerzálně pracovat, např. na lešení, ve výkopech, vyhýbat se překážkám. Pohyblivost a interakce s okolím je obecný problém konstrukce robotů, na který se zaměřují týmy "robotiků" po celém světě (u nás např. tým doc. Nahodila z Katedry kybernetiky na Fakultě elektrotechnické ČVUT);
- **snímače okolí**, tj. různé druhy senzorů sloužících k jeho orientaci v nestrukturovaném prostředí, např. dotykové, infračervené, laserové paprsky nebo kombinace ultrazvukových a infračervených senzorů;
- **pracovní nástroje (efektory)** dané jeho specializací. Činnost robota je omezena jeho schopností manipulovat s předměty, tudíž v procesech vyžadujících větší zručnost je jeho využití značně komplikované. Konstrukce pracovních nástrojů vychází z jeho specializace, problémem však zůstává, že většina úkonů ve stavebních procesech nebývá totožná, a proto je jeho univerzálnost v rámci jedné činnosti (o profesi nemluvě) omezená;
- **kontrolní systém** zpracovává jednak množství dat snímaných senzory a jednak monitoruje samotný pracovní proces, sleduje jeho jednotlivé fáze, kvalitu provádění činností a vše vyhodnocuje. Nutno poznamenat, že i přes současné možnosti výpočetní techniky je zpracování a okamžité vyhodnocení velkého objemu dat dalším problémem, a to z hlediska rychlosti zpracování a předání nových informací, na základě nichž robot reaguje;
- **cena** je dána náklady na konstrukci robota, která je u některých typů stále spíše výzkumného než obchodního rázu. Neúměrně vysoké náklady nejsou překážkou pouze pro stavitele robotů, ale i pro uživatele (stavební firmy), neboť pořizovací ceny některých strojů se pohybují v astronomické výši, což brání jejich implementaci do stavebních procesů.



Obr. 1. Britský automatizovaný miniekavátor L.U.C.I.E. [5]

Stavební roboty ovšem přinášejí mnoho výhod a nových možností, pro které se vědci a investoři otázkou jejich využití zabírají. Robotu lze použít i v místech, která jsou lidskému zdraví, nebo dokonce životu, nebezpečná, jako v podmořských plochách, na místech s vysokou radioaktivitou, v prostorech s extrémními teplotami, nebo pro činnosti, které člověk provádět nemůže (průzkum inženýrských sítí apod.). Dále je lze využít k činnostem nenáročným na zručnost, s jednoduchými pohyby, při nichž se úkony opakují, a proto jsou pro lidskou pracovní sílu neatraktivní.



Obr. 2. NINJA-II – japonský Wall-Climbing Robot pro kontroly fasád výškových budov

Další možností využití je modernizace procesů, které vyžadují zdokonalení v přesnosti a produktivitě. A posledním, neméně důležitým aspektem do budoucna, je nedostatek pracovních sil. Náhradou jak kvalifikovaných, tak neodborných pracovníků se sníží neustále rostoucí mzdové náklady.

### Možnosti využití

Více či méně úspěšné snahy o implementaci robotů jsou patrné u mnoha různých stavebních procesů a činností [4]:

- **zaměřování a mapování** – k vytyčování objektů, mapování terénu apod., k navigaci používají systém GPS;
- **inženýrské sítě** – hloubení rýh (obr. 1), průzkum kanalizačních a vodovodních řadů, některé typy jsou schopny provádět i drobné opravy;
- **jeřáby a nakladače** určené k manipulaci s předměty často bývají limitovány nosností. Příkladem je robot Rexy firmy Shimizu nebo Crane Kontrol německé firmy Liebherr;
- **demoliční práce** – robot Unit MiniCut;
- **tunelování** – kontrola vrtání a ražení štítem nebo torkretování;
- **betonářské práce** – transport a distribuce betonu

(Horiz. Conc. Distr firmy Takenaka) nebo ukládání a dokončování podkladních nebo vyrovnávacích potěrů (Troweling firmy Hazama);

- **svařování a ukládání stavebních ocelových prvků** – svařování a montáž výztuže, bodové svařování, svařování sloupů ocelových konstrukcí (Stud Welding japonské firmy Kajima, Column Weld od Shimizu);
- **ohnivzdorné postříky a nátěry** – Spraybird japonské firmy Fujita, Wet Boy od Shimizu;
- **kontrola a údržba konstrukcí** – některé typy, např. Wall-Climbing Robot (obr. 2), se pomocí speciálních šlapadel pohybují po stěnách výškových budov a provádějí definované činnosti [7]. Mohou provádět i kontrolu obkladů v exteriérech i interiérech (Tile Inspection firmy Kajima), nátěrů, čistoty pokojů (Clean Room firmy Obayashi);
- **úpravy interiérů a exteriérů** – nátěry a malování (Kfr-I – robot určený k nátěrům fasád sestavený firmou Kumagai Gumi), kartáčování (Floor Finishing od Taisei) a broušení podlah (Mtv-1 firmy Shimizu), obkládání (Tile Setting firmy Halama) atd.;
- **zdění** z libovolně tvarovaných prefabrikovaných dílů až do hmotnosti 600 kg je schopen zajistit robot Rocco německé firmy Lissmac (obr. 3).

Zemí, kde se možností využití robotů ve stavebnictví zabývají, je Japonsko, které je producentem zhruba 75 % z nich. Firmám, které se jejich konstrukci věnují (Kajima, Shimizu, Takenaka) se daří tento směr stavební výroby přenést z vědeckovýzkumné roviny do praxe. Kromě Japonska se vývoji věnují také v USA a několik zajímavých projektů se uskutečnilo i v Evropě, např. robot Rocco německé firmy Lissmac schopný provádět prefabrikaci (suché zdění), nebo izraelský projekt Tamir. Překážkou se stává, že některé typy bývají často konstruovány pro konkrétní stavby a jejich následné využití v dalších projektech je problematické, stroje jsou využívány většinou k experimentálním účelům nebo na speciálních stavbách. Navíc se výsledky výzkumů jednotlivých společností neprolínají, což zvyšuje náklady na vývoj a výzkum a efektivnost projektů se snižuje. Proniknutí na stavební trhy brání i nechuť leasingových společností zařadit roboty do svých programů, ať již pro nedostatečnou technickou podporu, nebo nevhodnost existujících produktů pro jiné než "mateřské" stavby [2].

### Ekonomická kritéria

Vývoj, konstrukce a použití stavebních robotů je třeba vidět nejen z hlediska technického, ale také ekonomického. Náklady spojené se zaváděním stavebních robotů do praxe



Obr. 3. Německý projekt Rocco – robot SLR 400/600 [5]

sestavují z nákladů přímých (souvisejících s produktem) a nepřímých (souvisejících s časem), nákladů na operátora dohlížejícího na práci robota a nákladů souvisejících s adaptací a modifikací metody procesu, kterou je třeba využít mechanismu přizpůsobit [1]. Přínos lze také rozdělit na přímý a nepřímý. Přímý přínos vyplývá z růstu produktivity proti manuální práci. Při převedení na peněžní jednotky lze stanovit úspory vyplývající z náhrady lidské pracovní síly. Nepřímým přínosem automatizace stavební výroby je rovněž vyšší bezpečnost práce a snížení rizika pracovních úrazů. S vyšší kvalitou práce a spolehlivostí souvisí menší poruchovost a nehodovost konstrukcí, a tím i nižší náklady na pozáruční opravy nebo vynucené pracovní přestávky. V mnoha průmyslových odvětvích by byl pouze tento nepřímý přínos dostatečným důvodem pro zavedení robotů do výroby, ale pro poměrně nejisté a v posledních letech stagnující prostředí stavebního trhu je zhodnocení těchto výhod mnohem složitější. Navíc poměrně konzervativní přístup stavebního odvětví k novým technologiím je vždy spojen s nedůvěrou a přírůstky efektivity musí být zřejmé, aby management stavebních firem přesvědčili.

### Závěr

Odpověď na otázku, zda má robotizace stavebnictví perspektivu, nebo je pouze slepou uličkou, v současné době nikdo nezná, ale takové míry automatizace, jaká je například v průmyslové výrobě, pravděpodobně nikdy nedosáhne. Rozvoj v tomto odvětví jde ruku v ruce s obecným vývojem

robotizace a počítačových technologií, avšak stavebnictví je odvětví velmi specifické a ani technická vyspělost tohoto století zatím není schopna spoustu problémů, které s ním souvisí, řešit. K hromadnému využití robotů možná přispějí nové technologie méně náročné na lidskou zručnost a více přizpůsobené potřebám automatizace, neboť stavebnictví je stále ještě v mnoha ohledech řemeslem, které se dá jen obtížně programovat. Skutečností však je, že robotizaci stavebnictví se vědci a investoři zabývají, např. v loňském roce se v polském Krakově konalo již osmnácté sympozium "Automatizace a robotizace ve stavebnictví", věnované aktuálním technickým i ekonomickým problémům. Předpoklady vyvíjet se tímto směrem ve stavebnictví bezesporu jsou a čas ukáže, zda se dokáží stavební roboty i přes mnohé obtíže prosadit.

### Literatura

- [1] Spath, D. – Andres, J.: Concept of Robot for Interior Building Trades by the Example of Wall Slits Masonry. Automation in Construction 6 (1997) 205 – 214.
- [2] Warszawski, A. – Navon, R.: Implementation of Robotics in Building: Current Status and Future Prospect. Journal of Construction Engineering and Management, 1998, No. 1/2.
- [3] Skibniewski, M. J.: Robotics in Civil Engineering. New York, Van Nostrand Reinhold 1988.
- [4] International Association for Automation and Robotics in Construction I.A.A.R.C. – www.iaarc.org
- [5] www.lissmac.com
- [6] www.comp.lancs.ac.uk/engineering/research/mechatronics
- [7] http://mozu.mes.titech.ac.jp/research

### Cvinger, Z.: Application of Robots in the Construction Production

Automation has influenced almost all production processes, including civil engineering. This paper addresses problems of construction robots. It informs about pros and cons of their application, offers a short survey and economic characteristic.

### Cvinger, Z.: Implementierung von Robotern in die Bauproduktion

Die Automatisierung hat bereits in alle Produktionsprozesse eingegriffen, und auch im Bauwesen ist das nicht anders. Der Artikel informiert über die Vor- und Nachteile des Einsatzes von Baurobotern und bietet einen groben Überblick und eine ökonomische Charakteristik.



mezinárodní  
slévárenský veletrh



mezinárodní veletrh  
svařovací techniky



mezinárodní  
veletrh pro řemesla



mezinárodní veletrh  
textilní techniky

**22. – 25. října 2002**

**Brno**

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



# Vytyčování přímk pomocí zrcadlově symetrické Fresnelovy difrakce

Ing. Jiří VONDRÁK, PhD.  
VUT – Fakulta stavební  
Brno

Využití zrcadlově symetrické Fresnelovy difrakce je nová metoda laserových měření v geodézii. Článek shrnuje zkušenosti získané ve volném terénu a v podzemních prostorách. Výsledkem je stanovení přesnosti detekce osy laserového svazku, posouzení vlivu změn parametrů prostředí na tuto přesnost a navržení vhodného měřického postupu.

## 1. Úvod

V geodézii se obvykle používají laserové metody založené na fokusování laserového svazku do místa detekce, metody využívající difrakci světla jsou méně časté. Při použití rotačně symetrické stopy, typické u metod s prostou fokusací, je přesnost vizuální detekce osy svazku 0,1 až 0,2 násobkem průměru stopy v místě detekce, u zrcadlově symetrie je několiknásobně vyšší [12]. Tato úvaha a teorie, rozpracovaná v [9], vedla na FSI UFI VUT v Brně k návrhu zařízení, které umožnilo zrcadlově symetrický Fresnelův difrakční jev využít při měřických pracích, především k vytyčování přímk. Jde o teodolit Zeiss-Theo 010A s laserovým nástavcem a výstupním průměrem svazku 50 mm. Zdrojem záření je laserová dioda vyvázaná do jednomodového optického vlákna (TEM 00). Napájení zajišťuje malý a lehký zdroj s hermeticky uzavřeným olověným akumulátorem připevněný na stativu (umožňuje až 12 h nepřetržitého provozu) [15], [14], [16]. Vhodnost metody se zkoumala jak za stálých podmínek blízkých laboratorním, tak především za běžných atmosférických podmínek [18]. Výsledky zjišťování přesnosti detekce bodů přímk, vytyčované difrakční laserovou metodou, mohou být podkladem pro výzkumné aktivity v oblasti aplikace laserových difrakčních metod v geodézii.

Pojem difrakce světla obecně zahrnuje oblast fyziky, jejíž výklad přesahuje rámec tohoto článku. Podrobnou teorii lze nalézt např. v [3], [10], popisu použitého jevu se věnuje [9], [15], [16].

## 2. Testování v terénu

Lokality pro měření byly zvoleny s přihlédnutím k co nejsnazšímu popisu podmínek ovlivňujících dráhu laserového svazku. Základny byly rozvinuty v rovném terénu se stejným povrchem v celé délce a v maximální možné vzdálenosti od svislých objektů a předmětů.

Cílem bylo posoudit směrovou stabilitu laserového svazku a zhodnotit přesnost vizuálního stanovení průsečíku os zrcadlově symetrické difrakčního jevu. Důležité bylo i stanovení vlivu prostředí a poznání souvislostí charakteristik přesnosti metody s fyzikálními parametry prostředí a jejich změnami.

### 2.1. Podmínky a metodika

Pro pozorování ve vzdálenosti od 50 do 150 m byla vybudována základna v atletickém areálu VUT pod Palackého

vrchem. Terén v celém průběhu základny byl vodorovný a pokrytý pravidelně udržovaným trávníkem. Pro měření na vzdálenosti 200 až 500 m, resp. 1 000 m, bylo zvoleno travnaté přírodní letiště aeroklubu Medlánky v Brně. Jednotlivé body pro postavení cílového terče byly zvoleny ve vzdálenostech 200 až 500 m po 50 m, a dále 500 až 1 000 m po 100 m. Terén byl v podstatě vodorovný a laserový svazek byl po celé dráze přibližně 1,7 m nad jeho úrovní. V okolí 40 m od základny se nenacházely žádné svislé předměty (stromy, stožáry apod.).

Měření proběhlo shodným postupem na obou základnách [18]. Přístroj na stativu postavený do výchozího bodu základny se 20 minut temperoval. Poté byl spuštěn laser a umístěn terč do nejbližšího bodu základny. Poloha průsečíku os zrcadlově symetrie se sledovala po dobu 20 minut a zaznamenávala v intervalu 1 minuty. Pro záznam polohy byla zvolena kartézská souřadnicová soustava s kladnou větví osy  $x$  směrem vzhůru. Přehled měření uvádí *tab. 1*.

V průběhu všech měření se v místě postavení přístroje zaznamenávaly parametry prostředí, a to teplota ve dvou výškových úrovních (0,5 a 2 m), rychlost větru, vlhkost vzduchu a stupeň slunečního svitu. Údaje se odečítaly v intervalu 1 minuty, pokud možno synchronně se záznamem polohy osy laserového svazku. Před začátkem měření byl pro každou vzdálenost odečten atmosférický tlak.

### 2.2. Přesnost metody

V *tabulce 2* jsou shrnuty střední chyby v detekci bodů vytyčované přímk, a to samostatně v rovině horizontální ( $m_x$ ), vertikální ( $m_y$ ) a celková hodnota  $m_{xy}$ . Dále jsou uvedeny koeficienty korelace mezi svislými odchylkami středu laserové stopy od těžiště  $v_y$  a odpovídajícím vertikálním

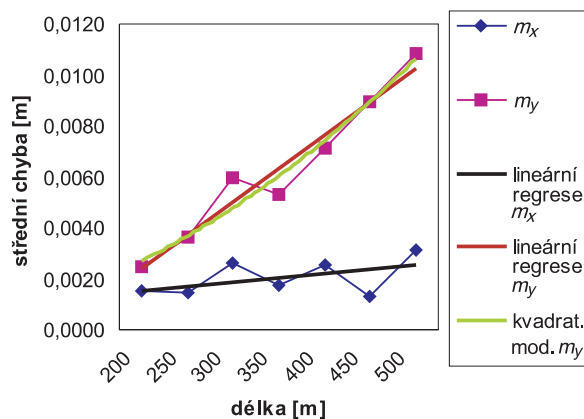
Tab. 1. Časový přehled měření

Datum	Čas [h]	Místo	Vzdálenost
21.6.2000	8:15 – 9:38	atletický areál pod Palackého vrchem	50 – 150 m po 50 m
26.6.2000	7:48 – 9:00	atletický areál pod Palackého vrchem	50 – 150 m po 50 m
28.6.2000	8:54 – 11:29	letiště Medlánky	200 – 500 m po 50 m
18.7.2000	8:54 – 11:20	letiště Medlánky	200 – 500 m po 50 m
18.7.2000 19.7.2000	21:31 – 2:00	letiště Medlánky	100 – 1 000 m po 100 m, noční měření



teplotním gradientem  $\Delta t$ . Záporné znaménko před korelačním koeficientem vyjadřuje skutečnost, že se vzdávající rozdíl teplot  $\Delta t$  se detekovaný střed laserové stopy pohyboval směrem dolů.

Nárůst chyby v detekci bodu vytyčované přímky se vzdáleností lze považovat za lineární, a to především ve vertikální rovině. V horizontální rovině je nárůst chyby se vzdáleností méně výrazný a je narušován náhodnými vlivy (krátkodobými vibracemi, chybami vizuální detekce osy laserového svazku), viz obr. 1. Kromě toho byly zkoumány i další modely (především kvadratický model, exponenciální a polynomický) [18], jejichž průběh se blíží lineárnímu modelu. Nárůst jejich spolehlivosti (kvadrátu korelačního koeficientu) proti modelu lineárnímu neodpovídá nárůstu jejich složitosti.



Obr. 1. Analýza měření z 28. 6. 2000

Zajímavé je sledovat vývoj závislosti středních chyb na vzdálenosti u měření v noci z 18. na 19. 7. 2000 [18] – mezi vzdálenostmi 500 a 600 m došlo k náhlému poklesu střední chyby v detekci bodu vytyčované přímky ve vertikální rovině ( $m_y$ ). V době kolem inverze teplotního gradientu narůstá nespolehlivost detekce, po stabilizování parametrů prostředí (atmosféry) bylo naopak dosaženo kvalitních výsledků. Z těchto důvodů bylo noční měření rozděleno na dvě části, v jejichž průběhu se daly podmínky považovat za neměnné. Po rozdělení souboru vzešlého z nočního měření rostla střední chyba se vzdáleností lineárně.

Při měření na vzdálenost do 150 m nárůst střední chyby v detekci osy svazku závisí především na náhodných vlivech (náhodné chyby). Podobně u horizontální složky chyby je nárůst z části dán náhodnými chybami, které rostou se vzdáleností velmi nepravidelně.

Pomocí lineárního modelu závislosti střední chyby v detekci bodů vytyčované přímky na vzdálenosti byla určena střední kilometrová chyba metody. Hodnoty chyby detekce bodů vytyčované přímky byly stanoveny průměrem z hodnot jednotkových chyb jednotlivých měření, a to  $m_x = 2,6$  mm a  $m_y = 8,6$  mm.

Přesností vytyčení přímky metodou využívající bílé světlo se zabývalo již mnoho autorů. Chyba souvisí s vlastnostmi použitého dalekohledu (zvětšení a světelnosti, úprave záměrného obrazce), a samozřejmě se schopnostmi pozorovatele. Podle [11] testováním na velkém počtu výsledků získaných ve volném terénu se dospěje ke shodě se vzorcem

$$m_H = \frac{60''}{z}, \quad (1)$$

kde  $m_H$  je chyba detekce bodu v cíli vyjádřená v úhlové hodnotě a  $z$  je zvětšení dalekohledu (u geodetických přístrojů pro přesné práce bývá 30krát) [11]. Podle rovnice (1) lze

odhadnout střední kilometrovou chybu pro konvenční metody vytyčování  $m_{xK} = 9,5$  mm v horizontální rovině. Ve vertikální rovině je situace dále komplikována vlivem prostředí, následkem čehož se nevyhnutelně zhorší přesnost detekce cílového bodu ve vertikálním směru.

Zásadním poznatkem je, že i přes ovlivnění atmosférou si metoda vytyčování přímky pomocí difrakčního obrazce uchovává přesnost řádově v milimetrech do 1 000 m (tab. 2). Rozhodující vliv na zhoršování přesnosti s narůstající vzdáleností cílového terče od difrakčního filtru má jednoznačně prostředí. Z výsledků je zřejmé, že chyby ve vertikální rovině způsobené prostředím jsou korelované s teplotním rozdílem na dvou výškových úrovních. Tato korelace se projevuje téměř vždy (výjimečně může být překryta působením dalších vlivů prostředí) a roste se zvětšující se vzdáleností mezi přístrojem a cílovým terčem. Naopak, nárůst zmiňované korelace v závislosti na velikosti vertikálního teplotního gradientu u přístroje není zřejmý. Například při měření na vzdálenost 250 m dne 28. 6. byl průměrný rozdíl teplot u přístroje  $0,7$  °C a na tutéž vzdálenost, měřenou 18. 7., byl rozdíl  $1$  °C. Diskutovaná korelace byla u druhého měření významně nižší. U etap měření 19. 7. 2000 (0:30 – 2:20), kdy se za bezvětří ustálily teplotní podmínky (doba po večerní inverzi), není korelace mezi vertikálními odchylkami osy svazku od těžiště a rozdílem teplot na dvou výškových úrovních u přístroje patrná. Vertikální rozdíl teplot v tomto případě činil jen několik desetin stupně mezi úrovněmi 0,5 a 2 m. To však neznamená, že prostředí na výsledky v této etapě nepůsobí – dlouhodobé odchylky jsou přítomny stále, ale zvětšuje se perioda jejich změn [2], [4], [17].

Zmínit lze i závislost velikosti střední chyby v horizontálním směru (souřadnice  $x$ ) na průměrné teplotě v průběhu etapy. S rostoucí teplotou roste i intenzita vibrací (chvění difrakčního obrazce na cílovém terči), což vede ke zhoršení přesnosti detekce osy laserového svazku. Tento jev v menší míře souvisí i s průměrnou hodnotou slunečního svitu. Další

Tab. 2. Základní parametry měření

Vzdálenost [m]	Datum	Střední chyba v souřadnici [mm]			Korelační koeficient $v_y$ na $\Delta t$
		$x$	$y$	$(x, y)$	
50	21.6.	1,42	0,94	1,21	-0,667
	26.6.	0,77	1,22	1,02	0,031
100	21.6.	1,15	2,30	1,82	-0,294
	26.6.	1,24	1,76	1,52	-0,462
	18.7.	0,55	2,70	1,95	-0,177
150	21.6.	3,53	2,03	2,88	-0,022
	26.6.	0,95	0,95	0,95	-0,034
200	28.6.	1,53	2,45	2,04	0,143
	18.6.	1,47	4,93	3,64	-0,154
	18.7.	0,72	3,05	2,22	-0,248
250	28.6.	1,44	3,63	2,76	-0,595
	18.7.	1,25	3,74	2,79	-0,274
300	28.6.	2,60	5,98	4,61	-0,554
	18.7.	1,27	3,37	2,55	-0,136
	18.7.	1,56	7,37	5,33	0,427
350	28.6.	1,73	5,29	3,94	-0,496
	18.7.	0,91	4,88	3,51	-0,499
400	28.6.	2,57	7,11	5,34	-0,275
	18.7.	1,87	5,08	3,83	0,300
	18.7.	1,11	11,55	8,21	-0,371
450	28.6.	1,34	8,96	6,40	-0,285
	18.7.	1,86	7,10	5,19	0,071
500	28.6.	3,15	10,80	7,96	-0,819
	18.7.	1,77	12,48	8,91	-0,599
	18.7.	1,12	14,08	9,99	-0,299
600	19.7.	1,19	4,98	3,62	0,083
700	19.7.	1,43	6,49	4,70	-0,017
800	19.7.	1,58	10,32	7,38	0,173
900	19.7.	1,00	7,07	5,05	-0,388
1000	19.7.	2,30	9,11	6,64	-0,590

korelace se objevují ve výsledcích jen náhodně. Jejich důsledkem je zhoršení přesnosti.

Závěrem lze konstatovat, že metoda vytyčování přímek pomocí zrcadlové symetrie Fresnelova difrakčního jevu je použitelná i za běžných atmosférických podmínek, pro práce charakteru inženýrské geodézie, s dostatečnou přesností (cca 9 mm na 1 000 m ve vertikálním směru). Pro metodiku měření lze doporučit:

- měřit při mírném větru (do  $0,7 \text{ ms}^{-1}$ ), co nejmenším slunečním svitu, průměrné teplotě přízemní vrstvy atmosféry do  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  (pro omezení vibrací);
- vyvarovat se měření v průběhu prudkých změn parametrů prostředí;
- měřit teplotu ve dvou výškových úrovních u přístroje a přihlížet k rozdílu teplot;
- měření atmosférických prvků v cílovém bodě není u popisované metody nutné.

Zkušenosti ukazují nezávislý pohyb čtyř hlavních maxim Fresnelova difrakčního jevu vůči sobě, což bylo způsobeno nehomogenitou prostředí i v malém prostoru vymezeném Fresnelovým difrakčním jevem. Z toho vyplývá jistá bezvýhodnost snah o modelování stavu prostředí mimo laboratorní podmínky na základě několika diskrétně měřených parametrů [18]. V extrémně časově nestabilním prostředí je i malá prodleva mezi zaznamenáním polohy průsečíku osy laserového svazku a odečtením všech parametrů prostředí důvodem znehodnocení (zastarání) vstupních dat pro jakoukoli početní opravu vlivu prostředí.

### 3. Měření v podzemních prostorách

Zkoušky laserového nástavce ve stabilním podzemním klimatu se prováděly v opuštěné štolě bývalé německé továrny pod Stránskou skálou v Brně – Líšni. Přístroj byl postaven uvnitř z jedné strany uzavřené štoly výšky 3,5 m a šířky 7 m ve vzdálenosti 25 m od vchodu. Paprsek probíhal 3,5 m od stěn a 1,7 m nad jejím dnem. Měření se prováděla podle stejného metodického postupu jako ve volném terénu. Vzhledem k rozměrům štoly byly zvoleny vzdálenosti 30 a 60 m.

Prostředí nebylo ideálně stabilní, stálé proudění vzduchu (pomalejší než  $0,1 \text{ ms}^{-1}$ ) vedlo k pozvolnému ochlazení. Přesto je dosažená přesnost vynikající, na hranici vizuálního rozlišení odchylek svazku od těžiště. Podobně jako ve volném terénu lze pozorovat větší nárůst chyby ve vertikálním směru proti chybě horizontální. Tento jev je však proti měření ve volném terénu významně menší. Základní údaje obsahuje *tab. 3*.

### 4. Závěr

Na základě údajů *tab. 4* lze dospět k několika závěrům. Podle předpokladů je při měření ve volném terénu, tj. v nehomogenním a časově nestabilním prostředí, patrný výrazný nárůst chyby detekce bodů vytyčované přímky ve vertikální rovině proti chybě v rovině horizontální. Střední chyby v detekci bodů vytyčované přímky v rovině horizontální korespondují s teoretickým odhadem přesnosti [9]. Proti tomu střední chyba v rovině vertikální teoretický odhad přesnosti několikanásobně překračuje (viz *tab. 4*). Výsledky měření v podzemních prostorách korespondují s teoretickým odhadem přesnosti detekce průsečíku os zrcadlové syme-

trie Fresnelova difrakčního jevu [9]. V tomto prostředí, které se blíží stabilitou laboratorním podmínkám, je pro velikost střední chyby detekce bodů vytyčované přímky rozhodující tvar, resp. měřítko Fresnelova difrakčního obrazce v konkrétní vzdálenosti. Chyba detekce závisí hlavně na rozteči světlých hřebenů Fresnelova difrakčního obrazce [9].

Při uvádění sledované metody do praxe je na větší vzdálenosti a v časově a prostorově nehomogenním prostředí třeba posuzovat její přesnost zvlášť pro rovinu horizontální a zvlášť pro rovinu vertikální.

*Tab. 3. Parametry měření v podzemních prostorách*

Vzdálenost [m]	Datum	Chyba [mm]			Teplota [ $^\circ\text{C}$ ]
		horizontální $m_x$	vertikální $m_y$	celková $m_{xy}$	
30	20.7.	0,33	0,36	0,34	13,2
60	20.7.	0,36	0,46	0,41	12,5

### Literatura

- [1] Betz, H. D.: Applied Optics 8 (1969), 1007 – 1013.
- [2] Böhm, J. – Svoboda, J.: Geometrická nivelace. Praha, SNTL 1960.
- [3] Fiala, P.: Základy fyzikální optiky. ČVUT Praha, 1999.
- [4] Hradílek, L.: Vysokohorská geodézie. Praha, Academia 1984.
- [5] Kašpar, M.: Jemná mechanika a optika 43 (1998), 184 – 194.
- [6] Kašpar, M.: Laser Alignment Method for Deformation Measurements. In: Procc. XV. Congres of Surveyors FIG, Stockholm 1977, 335 – 344.
- [7] Čada, V. – Kašpar, M. – Pospíšil, J.: Difrakční mřížky pro transformaci laserového svazku. Acta Polytechnica (I, 3) 1985, 69 – 86.
- [8] Kašpar, M. – Pospíšil, J.: Využití laserové techniky v investiční výstavbě. Praha, Nadas 1988, 344 s.
- [9] Komrska, J. – Kotačka, L.: Jemná mechanika a optika 43 (1998), 105 – 108.
- [10] Komrska, J.: Přednášky z předmětu vlnová optika, FSI VUT v Brně, 1999/2000, <http://fyzika.fme.vutbr.cz/~komrs/#Difrakce>.
- [11] Kruphanzl, V.: Inženýrská geodézie I – Základy vytyčovací práce. Praha, SNTL/SVTL 1966.
- [12] Kutík, M.: Jemná mechanika a optika 10 (1978), 275 – 279.
- [13] Švec, M.: Automatizovaný systém pro měření výškových posunů stavebních objektů. In: Vitásek, J. a kol. [Zpráva], grant, VUT Brno, 1991, 20.
- [14] Vařeka, P.: Vytyčování přímek pomocí Fresnelovy difrakce. Část 2: Návrh zařízení. [Diplomová práce], VUT Brno, 1999.
- [15] Velechovský, K.: Vytyčování přímek pomocí Fresnelovy difrakce. Část 1: Studium difrakčního jevu. [Diplomová práce], VUT Brno, 1999.
- [16] Velechovský, K. – Vondrák, J.: Využití Fresnelovy difrakce pro vytyčování přímek. [Sborník], 3. odborný seminář doktorského studia, VUT Brno, 2001, 71 – 74.
- [17] Vondrák, J.: Použití trigonometrického měření převýšení při požadavcích na přesnost vyšších než TN. [Diplomová práce], VUT Brno, 1997.
- [18] Vondrák, J.: Laserová měření využívající zrcadlové symetrie Fresnelovy difrakce. [Doktorská dizertační práce], VUT Brno, 2002.

*Tab. 4. Porovnání teoretického odhadu přesnosti [9] a zjišťované přesnosti měření*

Vzdálenost [m]	Teoretický odhad $\Delta x = \Delta y$	$m_x$	$m_y$	$m_x$	$m_y$	Poznámka
		ve volném terénu		v podzemních prostorách		
		[mm]				
50	0,5	0,77	1,22	0,36*	0,46*	*60 m
100	0,7	1,24	1,76	–	–	
500	1,5	1,77	12,48	–	–	
1000	2,2	2,30*	9,11*	–	–	*noc

**Vondrák, J.: The Use of Enantiomorphic Fresnel's Diffraction**

The use of enantiomorphic Fresnel's diffraction is a new trend in the development of laser measurement in geodesy. This paper summarises experience gained in tests performed with the laser method using the above mentioned diffraction both in the field and in underground. As a result, the accuracy of laser beam axis detection was established and the influence of environmental parameters was evaluated. Further, the measurement procedures allowing for maximal elimination of undesirable environmental influence were suggested. It is possible to say that the laser diffraction method is more accurate and more economical in comparison with commonly used surveying methods based on the focusing of the laser beam at the detection point.

**Vondrák, J.: Absteckung von Geraden mit dem Verfahren der Fresnel-Diffraktion**

Die Anwendung der Spiegelsymmetrie der Fresnel-Diffraktion ist eine neue Richtung in der Entwicklung des Lasermessens in der Geodäsie. Der Artikel fasst die bei ihrer Anwendung im Gelände und in unterirdischen Räumen gesammelten Erfahrungen zusammen. Im Ergebnis erfolgt die Bestimmung der Genauigkeit der Detektion der Achse des Laserstrahlenbündels und eine Beurteilung des Einflusses der Änderung der Umweltparameter auf diese Genauigkeit. Das Ergebnis ist auch der Vorschlag seines solchen Meßverfahrens, welches die maximale Elimination unerwünschter Umwelteinflüsse sichert. Es lässt sich feststellen: Die Genauigkeitsparameter und die Wirtschaftlichkeit der diskutierten Laserdiffraktionsmethode scheinen im Vergleich zu allgemeinen Lasermessmethoden die auf der einfachen Fucusierung des Laserbündels in den Detektionsort basieren, besser zu sein.

**TECHSTA 2002**

*Technologie pro udržitelný rozvoj  
ve stavebnictví*

16. – 18. října 2002, Praha

Třetí mezinárodní konferenci shora uvedeného názvu uspořádá v polovině října Katedra technologie staveb Fakulty stavební ČVUT v Praze za přispění akciových společností Průmstav, Konstruktiva Branko, Konstruktiva KONSIT, Metrostav a Hünnebeck Bohemia, s. r. o. Záštitu nad konferencí převzali Český svaz stavebních inženýrů, Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků a Český svaz podnikatelů ve stavebnictví. Jednacími jazyky jsou čeština, angličtina a slovenština.

**Témata:**

- nové trendy ve stavebně technologické přípravě staveb
- nové technologie stavebních procesů
- životnost staveb a jejich údržba
- vliv jakosti stavebních prací na kvalitu stavebních konstrukcí, jejich kontrola a vyhodnocování výsledků
- příčiny poruch stavebních konstrukcí
- technologie pro rekonstrukce staveb
- zvyšování bezpečnosti práce na stavbách efektivním řízením
- minimalizace nepříznivých vlivů stavební výroby na životní prostředí

[web.fsv.cvut.cz/k122/techsta](http://web.fsv.cvut.cz/k122/techsta)



## Konference o komerčních a průmyslových nemovitostech Commercial and Industrial Real Estate Conference

6. - 7. listopadu 2002, Praha 6  
Konferenční centrum hotelu Praha

- ➔ Konference je určena zástupcům měst a dalších komunálních orgánů, zástupcům z investiční, developerské, poradenské a stavební sféry
- ➔ Témata se týkají zhodnocování majetku města ve všech jeho oblastech - průmyslové zóny, komerční a kancelářské prostory, investice do bytového fondu, cestovního ruchu, účelových zařízení pro obyvatele a dalších
- ➔ Konzultantem je státní agentura na podporu zahraničních investic CZECHINVEST

Organizátor:



[www.mip.cz](http://www.mip.cz)  
[kuckova@mip.cz](mailto:kuckova@mip.cz)

Mediální partner  
konference:



## Program pro tvorbu kartogramů

Ing. Dalibor BARTONĚK, CSc.  
VUT – Fakulta stavební  
Brno

Kartogramy patří mezi účelové mapy, jejichž hlavním cílem je informovat o určitém sociálně ekonomickém jevu (nezaměstnanosti, věkové struktuře apod.) v rámci vybraného území. Vytvoření kartogramu v obecném grafickém systému (AutoCAD, MicroStation apod.) je bez speciální programové podpory pracné a časově náročné. Článek popisuje jedno z možných řešení této problematiky.

### Obecně o kartogramech

Kartogram je účelová mapa s dílčími územními celky, v nichž jsou plošně, většinou geograficky, znázorněna statistická data (relativní hodnoty). Podstatnou charakteristikou kartogramu je to, že znázorňuje relativní hodnotové ukazatele. Kvantitativní data jsou přepočtena na jednotku plochy dílčího územního celku (počet obyvatel na 1 km<sup>2</sup>, průměrný výnos plodiny z 1 ha atd.). Pokud nejsou kvantitativní data přepočtena na plochy dílčích územních jednotek, ale mají jen vnější formu kartogramu, jsou to pouze kartogramy nepravé neboli pseudokartogramy. V žádném případě nemohou plně vystihovat srovnatelnou intenzitu jevu v celém území. Vnější forma kartogramu je charakteristický způsob znázornění statistických relativních hodnot. To znamená, že dílčí územní jednotky jsou vyplněny rastrem nebo barevnými odstíny, které odpovídají relativní velikosti sledovaného geografického jevu. Hustota rastru nebo barevné odstíny jsou stanoveny na základě objektivně sestrojené stupnice.

Při jednoduchém dělení podle konstrukce [2] dojdeme k 22 konstrukčně odlišným kartogramům. Z tohoto poměrně velkého počtu však můžeme v počítačových programech zaměřených na GIS konstruovat jen některé. Z jednoduchých kartogramů to jsou homogenní, kvalifikační, selektivní a geometrické a jeden vztahový (korelační). I z těchto pěti možností se v praxi běžně využívá pouze jeden, a to kartogram jednoduchý homogenní, který prezentuje jen jeden jev. Podle formy znázornění jevu pak rozlišujeme jednoduché kartogramy homogenní, kvalifikační, selektivní, dále kartogramy jednoduché tečkované a geometrické [2], [4], [8].

### Koncepce programu

Kartogramy je možné pořídít v podstatě dvěma způsoby:

- ruční kresbou v některém grafickém editoru,
- automatizovaně pomocí speciálních programů geografických informačních systémů (GIS).

První způsob je velmi pracný a časově náročný, druhá možnost je dána ekonomickými podmínkami. Cena speciálních produktů GIS je v mnoha případech tak vysoká, že jejich využití je hospodárné jen v rutinním provozu. Pro uživatele, kteří nemohou do programového vybavení investovat velké částky, je určen programový systém popsán v tomto článku. Na základě zkušeností z praxe byly při jeho návrhu stanoveny tyto požadavky na systém:

- ze stávající databáze vytvořit kompletní předpis kresby kartogramů pro další zpracování – v navrhovaném systému lze pořídít hrubou, ale úplnou kresbu kartogramu, tj. hranice obcí a vyšších územních celků (např. okresů), značky středů obcí včetně jejich názvů a příslušnou legendu s popisem. Pro přehlednost je účelné, aby grafické prvky, které spolu logicky nesouvisejí, byly umístěny do různých vrstev;
- výstup realizovat ve standardním grafickém formátu, aby jej bylo možné importovat do libovolného grafického systému. Pro výstupní soubor s kresbou byl zvolen standardní výměnný formát DXF (Data eXchange Format). Soubor s kresbou v tomto formátu lze importovat v podstatě do běžně používaných grafických editorů;
- nesuplovat grafické funkce dostupné v běžných grafických editorech. Do programu jsou zabudovány algoritmy pro generování úseček, textů a areálových prvků. Jako nejsložitější grafickou operaci v programu bylo nutné vyřešit šrafování a vyplňování uzavřených polygonů, protože formát DXF nemá pro tento případ definován standardní předpis;
- konečné doplňkové úpravy ponechat na uživateli. Autoři vycházeli z toho, že na trhu je dostatek obecných grafických systémů v různých cenových relacích podle rozsahu a složitosti funkčního vybavení. Předpokládá se, že uživatel pracující v dané oblasti má k dispozici alespoň jeden z těchto systémů a po importu kresby si konečné úpravy provede sám. Jde většinou o přemístění grafických objektů (popisy legendy, názvy obcí, obarvení hranic areálů apod.);
- snadná a jednoduchá obsluha, přijatelný uživatelský komfort. Kromě kontextové nápovědy byl do programu zabudován i průvodce, pomocí něhož si může kartogram vytvořit i laik.

### Způsob vytvoření kresby

Jak již bylo řečeno, program generuje předpis kresby na základě údajů v databázi, jež obsahuje:

- řídicí soubor pro tvorbu kartogramu, tj. soubor typu \*.DBF, který musí povinně obsahovat alespoň číslo základní územní jednotky (ZUJ) a jedno, popř. několik polí s hodnotami územně vázaného jevu, který chceme v kartogramu sledovat. Tento soubor vytváří uživatel a jeho volitelné jméno zadává do programu jako vstupní parametr;
- soubor s číselníky a popisnými informacemi má název MORAVA.DTW a jeho struktura je uvedena v tab. 1;
- soubor s grafickými informacemi MORAVA.ARE, jehož struktura je zřejmá z tab. 3;
- pomocné databázové soubory, tj. indexový soubor MORAVA.IDX (tab. 2) a soubor s extrémními MORAVA.EXT (tab. 4).

První soubor vytváří uživatel, druhý až čtvrtý je nedílnou součástí programu. Uvedené databáze jsou relačního typu a jejich relační vazby jsou znázorněny na obr. 1. Tučně vtištěné názvy atributů v tabulkách představují primární klíče příslušných relací.

Tab. 1. Struktura souboru MORAVA.DTW

Název	Datový typ	Poznámka
ZUJ	LongInt	číslo základní územní jednotky
UTJ	LongInt	číslo územně technické jednotky
CisOkr	Word	číslo okresu
Obec	Boolean	příznak, zda dané sídlo je obec
Nazev	String[33]	název sídla
X	LongInt	souřadnice X středu sídla
Y	LongInt	souřadnice Y středu sídla
Extr	LongInt	ukazatel do souboru MORAVA.EXT
Koord	Longint	ukazatel do souboru MORAVA.IDX

Obr. 1. Relační vazby v databázi programu

Tab. 2. Struktura souboru MORAVA.IDX

Název	Datový typ	Poznámka
UTJ	LongInt	číslo územně technické jednotky
pozice	LongInt	ukazatel do souboru MORAVA.ARE

Tab. 3. Struktura souboru MORAVA.ARE

Název	Datový typ	Poznámka
X	LongInt	souřadnice X lomového bodu hranice UTJ
Y	LongInt	souřadnice Y lomového bodu hranice UTJ

Tab. 4. Struktura souboru MORAVA.EXT

Název	Datový typ	Poznámka
MinX	LongInt	minimální souřadnice X v areálu daného UTJ
MaxX	LongInt	maximální souřadnice X v areálu daného UTJ
MinY	LongInt	minimální souřadnice Y v areálu daného UTJ
MaxY	LongInt	maximální souřadnice Y v areálu daného UTJ

Databáze jsou svým územním rozsahem omezeny na Moravu (což je patrné z názvu souborů), hodnoty v souboru MORAVA.ARE byly získány sejmutím mapy v měřítku 1 : 50 000.

Program vytváří kresbu podle algoritmu. Pro každý záznam z řídicího souboru DBF se provedou tyto operace:

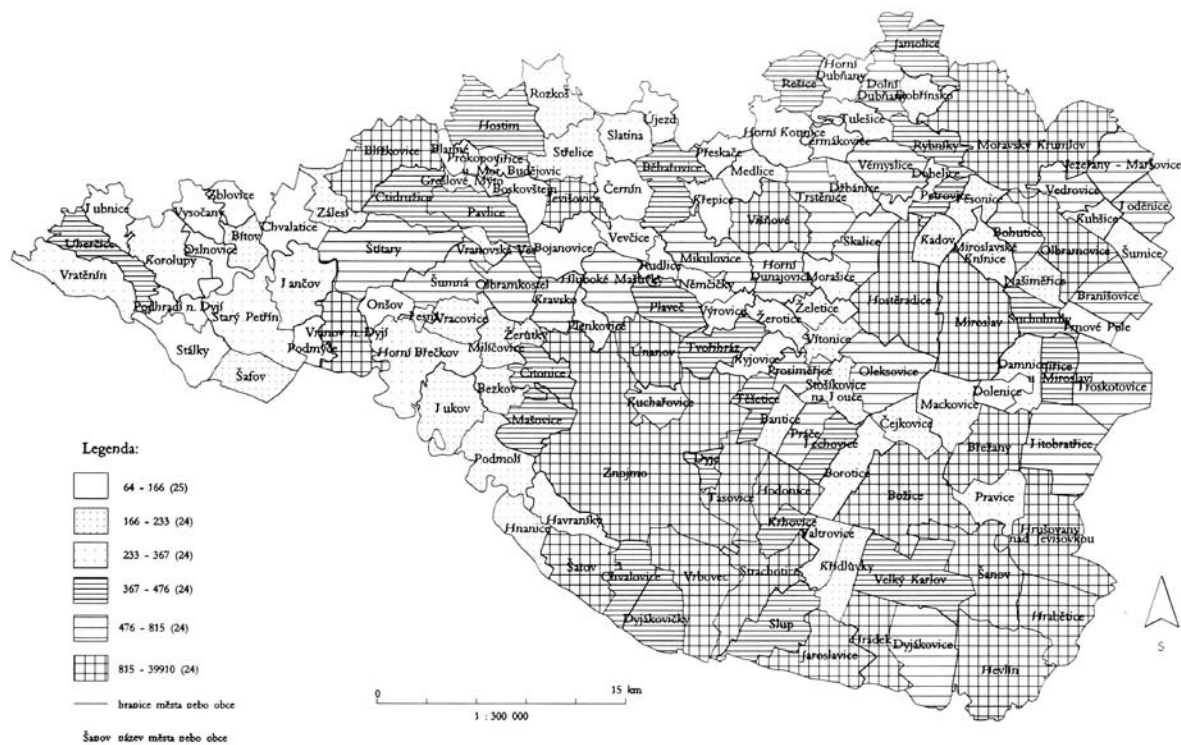
- v souboru MORAVA.DTW se vybere záznam s odpovídající ZUJ;
- na základě ukazatele "Koord" (tab. 1) se vybere záznam v relaci MORAVA.IDX;
- pro každý záznam v souboru MORAVA.IDX, který má hodnotu UTJ shodnou s hodnotou UTJ v tabulce MORAVA.DTW, se načtou všechny lomové body hranic daného UTJ z databáze MORAVA.ARE tak, že na první lomový bod ukazuje položka "Pozice" v relaci MORAVA.IDX, poslední lomový bod UTJ se pozná podle toho, že má v souboru MORAVA.ARE zápornou souřadnici Y;
- z lomových bodů UTJ se vytvoří hranice ZUJ tak, že se vyloučí vnitřní hranice UTJ a ponechají se jen hranice vnější. Vnitřní hrany tvořící hranici UTJ lze poznat snadno, protože jsou v paměti mezivýsledků uloženy duplicitně (oba lomové body jsou totožné);
- program dále analyzuje druhé povinné pole s hodnotami územně vázaného jevu a na základě požadavku uživatele (zadáva se počet vět legendy) stanoví (podle statistických metod) meze jednotlivých vět legendy;
- každé větě legendy se jednoznačně přiřadí typ výplně, kterým se vyšrafuje příslušný areál v kartogramu;
- na závěr se generuje legenda, která je součástí kartogramu;

- všechny grafické prvky se zapíšou do výstupního souboru \*.DXF, který je možné importovat do libovolného grafického editoru a tam provést konečné úpravy. Pro přehlednost se prvky zapisují tak, aby hranice obcí a hranice vyšších územních celků (okresy apod.), značky středů obcí, texty (popisy) a legenda byly umístěny v různých vrstvách. Číslo vrstvy si volí uživatel.

### Programové řešení

V diplomové práci [9] byly aktualizovány databázové soubory, v práci [10] vytvořen vlastní program v prostředí Borland Delphi a v práci [11] byl program doplněn o tvorbu legendy. Diplomové projekty byly úspěšně obhájeny a program byl začleněn do programového vybavení jak počítačové učebny, tak moderního vzdělávacího pracoviště oboru geodézie a kartografie. Toto pracoviště vzniklo v rámci projektu FRVŠ v Ústavu geodézie FAST VUT v Brně v roce 2000 [12].

Těžiště analýzy systému spočívalo v návrhu databáze programu a tvorbě metodiky pro šrafování areálů. Obě koncepce představují původní řešení. V algoritmu šrafování byly použity osvědčené postupy pro výpočet průsečíků s hranicemi oblastí (Weilerův–Athertonův algoritmus [13]). Potvrdily se také dosavadní zkušenosti z obdobných úloh v tom smyslu, že pokud šrafovací čáry nejsou rovnoběžné s některou ze souřadných os, je pro výpočet průsečíků výhodnější otočit hranice daného areálu tak, aby podmínka rovnoběžnosti byla splněna. Po skončení algoritmu se pak hranice i šrafovací čáry transformují do původní polohy.



Obr. 2. Kartogram znázorňující počet obyvatel v jednotlivých obcích okresu Znojmo (1991)

K důležitým funkcím programu patří i analýza hodnot zkoumaného jevu. K dispozici je automatické generování mezi legendy ihned po zadání počtu intervalů. Implicitně je nabízeno dělení na pentily. Výpočet je založen na statistických metodách (rovnorné rozdělení nebo medián). Meze intervalů lze interaktivně editovat. Ukázky výstupu z programu jsou na obr. 2 a obr. 3.

## Závěr

Popsaný program se využívá především při výuce předmětů "územní informační systémy" a "databáze" na Ústavu geodézie FAST VUT v Brně. Perspektivně se uvažuje o doplnění jeho některých funkcí. Z mnoha variant uvádíme nejdůležitější:



Obr. 3. Kartogram podílu produktivních obyvatel z celkového počtu v jednotlivých obcích okresu Znojmo (1991)

– rozšíření vstupního řídicího souboru o další standardní formáty;  
 – možnost zobrazení kontrolní kresby na obrazovce před převodem do výstupního formátu \*.DXF;  
 – zabudování algoritmu pro automatizované rozmísťování popisu tak, aby se textové řetězce navzájem nepřekrývaly;  
 – doplnění o funkce umožňující generovat kartodiagramy, tj. kartogramy s grafickými ukazateli (koláčový graf, histogram apod.).

Práce na programovém systému budou pokračovat ve formě ročníkových nebo diplomových projektů. Vzhledem k náročnosti řešení některých funkcí se uvažuje o spolupráci s nově vzniklou Fakultou informačních technologií VUT v Brně.

### Literatura

- [1] Jón, Z.: Geografické informační systémy. Acta Universitatis UJEP, Ústí nad Labem, 1997.
- [2] Kaňok, J. – Voženílek, V.: Tvorba tematických map v GIS. Přílohy časopisu GEOinfo č. 4/1999, 5/1999, 6/1999, 1/2000.
- [3] Kolář, J.: Geografické informační systémy 10. Praha, Vydavatelství ČVUT 1997.
- [4] Rapant, P.: Úvod do geografických informačních systémů. Přílohy časopisu GEOinfo č. 1/1999, 2/1999, 3/1999.
- [5] Smutný, J.: Geografické informační systémy. Brno, CERM 1998.
- [6] Tollingerová, A.: Geografické informační systémy. VŠB – Technická univerzita Ostrava, 1996.
- [7] Tuček, J.: GIS – geografické informační systémy – principy a praxe. Praha, Computer Press 1998.
- [8] Voženílek, V.: Aplikovaná kartografie I – tematické mapy. UP Olomouc, 1999.
- [9] Věrná, K.: Příprava a verifikace dat pro tvorbu kartogramů. [Diplomová práce], VUT Brno, 1998.

- [10] Finstrle, A.: Program pro tvorbu kartogramů. [Diplomová práce], VUT Brno, 1999.
- [11] Píkalová, P.: Modifikace programu pro tvorbu kartogramů. [Diplomová práce], VUT Brno, 2000.
- [12] Bureš, J. – Bartoněk, D.: Vybudování moderního vzdělávacího pracoviště Geodezie a kartografie na VUT v Brně. Zeměměřič, 2001, č. 4, s. 8 – 9.
- [13] Hudec, B.: Základy počítačové grafiky. [Učební text], ČVUT Praha, 1993, 222 s.

### Bartoněk, D.: A Program for Cartograms Design

Cartograms belong to special maps the aim of which is to provide information about a certain socioeconomic phenomenon (unemployment, age structure, etc.) within a given territory. To create a cartogram in a general graphic system is work and time consuming. This paper describes one of the possible solutions of this problem.

### Bartoněk, D.: Programme für die Erstellung von Kartogrammen

Kartogramme gehören zu zweckbestimmten Karten, deren Hauptzweck es ist, über ein bestimmtes sozial-ökonomisches Phänomen (Arbeitslosigkeit, Altersstruktur u. Ä.) im Rahmen eines gewählten Territoriums zu informieren. Ein Kartogramm in einem allgemeinen graphischen System (AutoCAD, MicroStation u.Ä.) ohne eine spezielle Programmunterstützung zu schaffen, nimmt viel Arbeit und Zeit in Anspruch. Der Artikel beschreibt eine der möglichen Lösungen dieser Problematik.

## • osobní zprávy

### Zomrel prof. Ing. Dr. techn. Jozef Trokan



28. mája 2002 zomrel vynikajúci pedagóg, uznávaná vedecká osobnosť v oblasti stavby mostov, bývalý rektor Slovenskej vysokej školy technickej v Bratislave, terajšej Slovenskej technickej univerzity a bývalý dekan Stavebnej fakulty, ktorý by sa 3. júna tohto roku dožil 83 rokov.

Jeho celý život bol spätý s budovaním STU – prvej polytechniky na Slovensku a so vzdelávaním technickej inteligencie. V 60-tych rokoch sa v spomínaných akademických funkciách veľkou mierou zaslúžil o výstavbu novostavieb Strojníckej a Stavebnej fakulty, Študentského domova J. Hronca a viacerých športovísk školy. Prof. Trokan bol ako rektor "spiritus movens" mnohých pozitívnych a demokratizačných zmien a aktivít, ktoré v tom čase prispeli nielen k rozvoju STU, ale i celého vysokého školstva.

Počas svojho aktívneho života pôsobil vo viacerých funkciách aj mimo univerzity. V období Pražskej jari v roku

1968 sa ako minister stavebníctva vlády ČSSR zaslúžil najmä o prijatie zákona o diaľnicach. Spolu s ministrom zahraničia J. Hájkom vystúpil v Bezpečnostnej rade OSN v auguste 1968 proti invázii spojeneckých vojsk do ČSSR a stal sa politicky neprijateľný.

Napriek tomu, že mu bolo zabránené ďalej pedagogicky pôsobiť, venoval sa odbornej a vedeckej činnosti. Svojimi osobnými vlastnosťami – pracovitou, skromnou, čestnou a cieľavedomou – vedel motivovať a presvedčiť svojich spolupracovníkov o zmysluplnosti stanoveného cieľa.

Bol známy svojou vynikajúcou pamäťou, večne mladým športovým duchom, úctou k človeku a ku klasickým morálnym hodnotám.

Aktívny zostal aj po odchode do dôchodku a naďalej podporoval svoju Alma Mater, ktorej venoval celý svoj plodný život.

Odchádza všestranne vzdelaný a vzácny človek. Nech je jeho pamiatka zachovaná aj pre budúce generácie.

Mgr. Tatiana Sikorová  
 prof. Ing. Eudovít Fillo, PhD.

## • zprávy

### Dostavba kampusu VUT v Brně

Dlouhodobý záměr vzdělávací a vědecké, výzkumné, vývojové, umělecké a další tvůrčí činnosti VUT v Brně deklaruje i dostavbu kampusu v areálu Pod Palackého vrchem. Jeho podstatnou součástí se stane Integrovaný objekt Fakulty podnikatelské a Fakulty elektrotechniky a komunikačních technologií, jehož základní kámen byl položen počátkem května. Jde o vůbec největší investiční akci VUT v Brně v jeho novodobé historii.

Integrovaný objekt vznikne přestavbou a přístavbou již dlouhodobě nevyužívané budovy menzy v areálu kolejí na Kolejní ulici. O využití bývalé menzy rozhodlo vedení VUT v Brně v červenci roku 2000 na základě studie vytvořené po dobrých zkušenostech s rekonverzí objektu někdejší Meopty a s rekonstrukcí současného sídla rektorátu VUT.

Jak to u podobných staveb bývá, spočíval hlavní problém v nedostatku finančních prostředků. Prioritou přitom bylo zahájení již v roce 2002 proti původnímu záměru, podle kterého se předpokládala výstavba pouze objektu Fakulty podnikatelské v roce 2003. Toto urychlení umožňoval právě návrh rekonverze objektu bývalé menzy, neboť jak vlastní objekt, tak přilehlé pozemky jsou ve vlastnictví VUT v Brně. Navíc bylo možné rekonstruovanou budovu napojit na existující a dostatečně dimenzované inženýrské sítě.

Ve výběrovém řízení zvítězila projekční kancelář Project building Brno. Jako dodavatel byla vybrána firma IMOS Brno, a. s., s termínem dokončení 30. dubna 2004. Smlouva o provedení stavby byla podepsána 28. února 2002



a 7. března bylo předáno staveniště. Následně začaly práce na oplocení a zařízení staveniště a bourací práce na budově menzy. Původní objekt musí být z velké části demontován, neboť v době výstavby byl navržen čistě účelově jako varna jídel včetně zázemí a stravovacích prostor. Po rekonstrukci bude tento objekt využit – vzhledem ke konstrukčnímu sys-

tému a rozměrům – k umístění velkokapacitních poslucháren, laboratoří a počítačových učeben. Celý objekt bude zvýšen o jedno podlaží. Protože bude rozšířen do přilehlého svahu, který byl v minulosti osazen zelení, musely být v souladu s povolením některé stromy v období vegetačního klidu přesazeny a jiné vykáceny.

Západním směrem bude přistavěn šestipodlažní objekt ve tvaru písmene E, čímž budou vytvořena dvě rozsáhlá atria s dostatečným osvětlením umožňující větrání vnitřních



prostor. V tomto objektu budou hlavní komunikační plochy s průchozí pasáží, dvoranou, výtahy, pracovní, seminární místnosti a počítačové učebny. Objekt bude po dokončení sloužit potřebám Fakulty podnikatelské, dosud sídlící v areálu Fakulty strojního inženýrství. Dále zde budou umístěny dosud dislokované Ústavy elektrotechnologie a mikroelektroniky. Seminární učebny jsou situovány v prvním a druhém nadzemním podlaží, kde budou i specializované počítačové učebny. Návazně na pracovní pedagoga v dalších podlažích jsou situovány lehké laboratoře. Specializované těžké laboratoře Fakulty elektrotechniky budou umístěny v přízemí bývalé menzy. Na ně navazuje plocha určená pro výzkumná centra.

Výukové prostory Fakulty podnikatelské doplňuje fakultní knihovna. Proti původním předpokladům zde nebude umístěn děkanát Fakulty elektrotechniky a Ústav jazyků. Užitkové plochy budou mezi obě fakulty rozděleny stejným dílem, hodně prostorů bude společných.

Jako samostatná akce bude vybudováno na protilehlé zelené ploše parkoviště s 254 parkovacími místy s obslužnými komunikacemi a budou dokončeny sadové úpravy.

Zpracováno podle časopisu Události č. 5/2002

**EEBW**  
**2002**  
5. - 7. listopadu 2002  
Kongresové centrum Praha  
**ENERGIE**  
**EFEKTIVNĚ**

**Odborná  
konference  
a výstava:**

- \* Liberalizace trhu a elektřina z obnovitelných zdrojů
- \* Energetické audity a investiční rozhodování
- \* Využití biomasy pro vytápění
- \* Nízkoenergetické domy bez navýšených investic
- \* Energeticky úsporné osvětlení
- \* Energy Performance Contracting a Energy Contracting
- \* Simulace budov a techniky prostředí

SEVEN

www.eebw.cz



# • ČKAIT

## Příprava na autorizační zkoušku stavebního inženýra a technika

Výkon vybraných odborných činností ve výstavbě – projektová činnost a vedení realizace staveb – je vázán na oprávnění fyzických osob získané ověřením (autorizací) jejich odborné způsobilosti před zkušební komisí České komory autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) nebo České komory architektů (ČKA). Za vybrané odborné činnosti ve výstavbě jsou považovány takové činnosti, jejichž výsledek ovlivňuje ochranu veřejných zájmů. Odborná způsobilost představuje souhrn teoretických vědomostí, praktických zkušeností, znalostí obecně závazných právních předpisů, technických norem a dalších doporučených standardů potřebných pro výkon vybraných činností ve výstavbě. Práva a povinnosti odborně způsobilých osob ve výstavbě a podmínky jejich autorizace stanoví zákon č. 360/1992 Sb., o výkonu povolání autorizovaných architektů a o výkonu povolání autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (autorizační zákon) a vnitřní předpisy obou komor.

Zákon a vnitřní řady ČKAIT vyžadují u žadatelů o autorizaci ověření jak odborných znalostí, tak znalostí platných právních předpisů upravujících výkon příslušných odborných činností a činností souvisejících. To znamená, že každý žadatel o autorizaci musí znát platné stavební, občanské, obchodní, vodohospodářské, dopravní, bezpečnostní a jiné předpisy tak, aby byl schopen běžně se v nich orientovat a v praxi je aplikovat. Průběh autorizační zkoušky upravuje zkušební řád ČKAIT. Ověření znalostí právních předpisů písemnou zkouškou je podmínkou pro pokračování druhé, odborné části zkoušky, kterou je obhajoba předložené vlastní práce žadatele o autorizaci.

S cílem usnadnit zájemcům přípravu k autorizační zkoušce v oblasti obecně závazných předpisů připravila pracovní komise jmenovaná Autorizační radou ČKAIT soubor 360 otázek rozdělených do 17 oborů. Otázky jsou rozděleny na obecné, které jsou společné pro všechny obory autorizace (úspěšná zkouška z nich platí i při rozšíření autorizace na další obory), a na oborové (při rozšiřování autorizace na další obor z nich musí zájemce absolvovat zkoušku). Otázky spolu se správnými odpověďmi a právním zdrojem (číslo, paragraf a odstavec příslušné právní normy) byly uveřejněny v publikaci

- **Rozsah požadavků pro ověření znalostí obecně závazných předpisů podle zákona č. 360/1992 Sb.**

*Informační centrum ČKAIT, A5, 104 s.*

vydané poprvé v roce 2001. Na základě zkušeností z využívání příručky v praxi a v souladu s novelami některých předpisů bylo v roce 2002 připraveno druhé, přepracované vydání.

Kromě přípravy ke zkoušce z právních předpisů při autorizaci může publikace sloužit jako příručka při řešení každodenních problémů ve stavební praxi. Soubor otázek v publikaci obsažených je průřezem nejčastějších aktuálních problémů a potřeb právních řešení ve stavebních činnostech. Vedle zkušebních otázek a správných odpovědí obsahuje publikace v platném znění autorizační zákon, Profesní a etický řád ČKAIT, Pokyny pro vyplnění žádosti o udělení autorizace ČKAIT a formulář žádosti.

### Další doporučené publikace:

- **Stavební zákon a jeho prováděcí předpisy**

Informační centrum ČKAIT vydalo v roce 1998 úplné znění stavebního zákona a prováděcích předpisů v návaznosti na jeho poslední velkou novelu provedenou zákonem č. 83/1998 Sb. Tato publikace je v současné době rozebrána. Stavební zákon prošel v souvislosti s novelizací jiných právních předpisů a nálezy Ústavního soudu řadou drobných změn a doplnění. Prováděcí vyhláška ke stavebnímu zákonu č. 131/1998 Sb. byla zrušena a nahrazena v souvislosti s novým územním uspořádáním státu vyhláškou MMR č. 135/2001 Sb., o územních plánovacích podkladech a územně plánovací dokumentaci. Také vyhláška Ministerstva hospodářství č. 174/1994 Sb., o obecných technických požadavcích zabezpečujících užívání staveb osobami s omezenou schopností pohybu a orientace, byla nahrazena vyhláškou MMR č. 369/2001 Sb. Na základě zmocnění daného § 143, odst. 5, písm. c) stavebního zákona vydalo Ministerstvo zemědělství vyhlášku č. 191/2002 Sb., o technických požadavcích na stavby pro zemědělství (s účinností od 1. 6. 2002).

Informační centrum ČKAIT proto vydalo v červnu 2002 nové úplné znění zákona č. 50/1976 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) a jeho prováděcích vyhlášek č. 132/1998, 137/1992, 135/2001 a 369/2001 Sb., v platném znění.

- **Živnostenský zákon po novele s komentářem. Veřejná zakázka po novele**

*Informační centrum ČKAIT, 2000, A5, 160 s., 140 Kč*

Plné znění dvou právních předpisů, jejichž znalost je důležitá a potřebná u vybraných činností ve výstavbě. Úplné znění zákona č. 455/1991 Sb., o živnostenském podnikání (živnostenský zákon), v platném znění zahrnuje řadu novel včetně novely provedené zákonem č. 29/2000 Sb. Komentář k živnostenskému zákonu sestavila Ing. D. Makalová se zřetelem k podnikání a vybrané činnosti ve výstavbě. Seznamuje např. podrobně s novou právní úpravou činnosti odpovědného zástupce, který musí být v pracovněprávním vztahu k podnikateli. Publikace obsahuje rovněž úplné znění zákona č. 570/1991 Sb., o živnostenských úřadech. Samostatné kapitoly jsou věnovány základním pojmům v oblasti živnostenského podnikání, poznámkám k vybraným ustanovením živnostenského zákona a obsahové náplni živností v oblasti stavebnictví. Text této části publikace vycházel z platného znění živnostenského zákona k 28. 2. 2000. Následně byly přijaty další novely (do konce června 2001 celkem padesát), na které reagoval vydavatel samostatnou vložkou v rámci základní knižnice odborných činností ve výstavbě, č. AA 3.01, nazvanou "Změny živnostenského zákona provedené jeho novelami. Obchodní zákoník po novele", vydanou v říjnu 2001. Tato vložka je přílohou publikace "Živnostenský zákon po novele s komentářem. Veřejná zakázka po novele".

Publikace dále obsahuje úplné znění zákona č. 199/1994 Sb., o zadávání veřejných zakázek v platném znění, které zahrnuje příslušné novely včetně zákona č. 28/2000 Sb.

● **Obchodní podmínky a další pomůcky pro kontraktační praxi ve výstavbě (DOS M 09)**

*Informační centrum ČKAIT, ediční řada doporučených standardů metodických (DOS M), 1998, A5, 40 s., 60 Kč*

Obchodní zákoník – na rozdíl od někdejšího hospodářského zákoníku – vyžaduje, aby smluvní strany konkretizovaly vzájemné smluvní povinnosti téměř bezvýtku v obsahu smluv. Převážná část ustanovení obchodního zákoníku má dispozitivní charakter; to znamená, že ve smlouvě se lze od těchto ustanovení odchýlit, popř. je vyloučit a upravit smluvní vztah podle konkrétní praxe a potřeb. Zejména tvorba konkrétního obsahu smlouvy o dílo ve výstavbě je velmi náročná, vyžaduje dobrou znalost právních předpisů, vlastních potřeb i možností smluvního partnera a precizní formulační schopnost. Pro usnadnění smluvní praxe umožňuje obchodní zákoník při tvorbě obsahu smlouvy využití různých technicko-právních postupů a pomůcek. Zejména v zahraničí je obvyklé používání obchodních podmínek, technických podmínek, smluvních formulářů, vykládacích pravidel a dalších obchodních zvyklostí. Publikace seznamuje s nejrozšířenějšími pomůckami ve smluvních vztazích používaných ve výstavbě v zahraničí a vyžadovaných zahraničními investory, světovou bankou či bruselskou administrativou. Tyto pomůcky vypracovávají zpravidla nadnárodní nevládní organizace. K nejznámějším patří Všeobecné obchodní podmínky FIDIC (Mezinárodní federace konzultačních inženýrů). Publikace uvádí přehled vybraných standardizovaných obchodních podmínek, vzorových smluv a smluvních formulářů v oblasti výstavby a přehled vybraných významných organizací a institucí podléhajících se na zpracování standardizovaných pomůcek pro smluvní praxi ve výstavbě.

● **Autorizovaný inženýr a technik v procesu výstavby**

*Informační centrum ČKAIT, 1999, A5, 64 s., 50 Kč*

Publikace seznamuje s vybranými činnostmi ve výstavbě, s obory a specializacemi autorizace, působností autorizovaného inženýra a autorizovaného technika (stavitele). Vysvětluje formy výkonu činnosti autorizované osoby: výkon činnosti svobodného inženýra, živnostenské podnikání, autorizované osoby jako zaměstnance. Uvádí podmínky pro zajištění odborného provádění staveb. Podrobně se zabývá prokazováním odborné způsobilosti, podmínkami pro získání autorizace, používání razítka při výkonu povolání, členstvím v komoře, požadovaným vzděláním, vzájemným uznáváním autorizace mezi ČKAIT a SKI (Slovenskou komorou inženýrů) atd. V příloze je publikováno několik důležitých dokumentů – stanovisek, např. k výkonu vybraných činností autorizovaným technikem, požárně bezpečnostní problematice ve výstavbě a k používání autorizačního razítka. Kapitola 3 byla novelizována již zmíněnou samostatnou vložkou AA 3.01 (viz publikace "Živnostenský zákon po novele s komentářem. Veřejná zakázka po novele").

Uvedené publikace je možno zakoupit nebo objednat v Informačním centru ČKAIT, Sokolská 15, Praha 2. V přízemí budovy, která je novým sídlem České komory autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě, je umístěna stálá výstava a prodejna odborné literatury. Kontaktní spojení: tel. 02/27 090 211, fax 02/27 090 222, e-mail info@ckait.cz, www.ice-ckait.cz. Publikace jsou v prodeji rovněž v Oblastních kancelářích ČKAIT, v Prodejně technické literatury ČVUT Praha a na dalších místech. Jejich seznam, adresy a kontaktní spojení je uveřejněno na internetových stránkách Informačního centra ČKAIT.

*Marie Báčová*

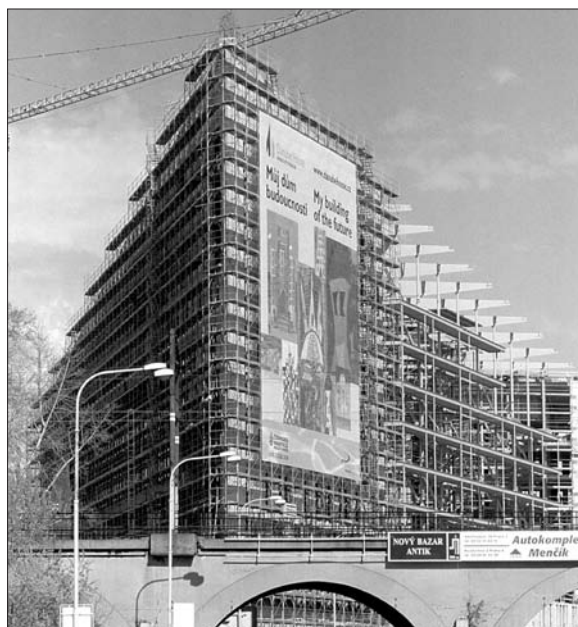
## ● zprávy

### **Hrubá stavba Danube House dokončena**

Na Rohanském ostrově na ploše 4,5 ha vyrůstá rozsáhlý projekt River City Prague rakouského investora Europolis Invest. Generálním dodavatelem stavebních prací je společnost STRABAG, a. s., řízením projektu, nákladů a technickým dozorem byla pověřena společnost HOMOLA AYH Projektmanagement. Investice v rámci první etapy výstavby dosahuje 40 mil. EUR. Společnosti STRABAG byla svěřena nejen výstavba kancelářské budovy Danube House, ale i první etapa výstavby podzemní komunikace včetně infrastruktury celého projektu. Generální dodavatel dokončil první etapu výstavby bez problémů a ve stanoveném termínu. Celková doba výstavby byla smlouvou s generálním dodavatelem stanovena na osmnáct měsíců včetně kolaudace.

Byla zahájena také výstavba lávky pro pěší, která bude součástí projektu a propojí River City Prague přes Rohanské nábřeží s Karlínem. Druhá lávka povede přes Vltavu a ostrov Štvanice s řadou rekreačních zařízení až do Holešovic.

*Tisková informace*



## • výstavy

### Švédská architektura 20. století

Švédské muzeum architektury a Švédský institut ve spolupráci s velvyslanectvím Švédského království v ČR a Švédským obchodním oddělením uspořádali počátkem léta v pražské Staré Celnici konferenci „Design a architektura“ a výstavu shora uvedeného názvu s cílem představit Švédsko jako jednoho z průkopníků v této oblasti. Pozvání odborníci a novináři diskutovali o trendech a problémech v oblasti architektury a využití průmyslového designu.

Rok 2001 byl ve Švédsku vyhlášen Rokem architektury, tvaru a designu. Jde o témata, která koncem minulého století nabývala na důležitosti, na rozdíl od jeho počátku, kdy bylo Švédsko řídko osídlenou zemědělskou zemí. Industrializace přispěla k otevření zdrojů a vytvořila potřeby, které vedly k budování nájemních domů, soukromých vil, škol a kostelů splňujících potřeby koncentrace obyvatelstva ve městech. Klientelou architektů v té době byly převážně veřejné instituce, což umožnilo rozvoj důkladně promyšlené architektury. Zahraniční vlivy, jako např. hnutí Arts and Crafts z Anglie a současné propojení se švédskou stavitelskou tradicí se odrážejí při aplikaci materiálů, jako je dřevo, cihly a žula. Dobrým příkladem uvedeného slohu je stavba Larse Israela Wahlmana, který navrhl kostel Engelbrekts (1914) na stocholmském pahorku. Kostel vyvolal značný rozruch díky své volné kompozici a použití materiálu. Hlavním dílem tohoto období je však stockholmská radnice (1923) od Ragnara Östberga. Radnice má dominantní postavení u zálivu a pojí se v ní rustikální exteriér z cihel s nádherným vnitřním zařízením, které má klasicistní znaky.

Ve slohu zušlechtněného neoklasicismu, který byl mezinárodně známý jako „švédský půvab“, stavěli kromě Östberga i Ivar Tengbom, Gunnar Asplund a další. Budova listerského okresního soudu od Gunnara Asplunda, Härads Tingshus, u Sölvesborgu v jižním Švédsku má jednoduché geometrické tvary a ploché, světle vyleštěné vnější stěny.

Velká stocholmská výstava uměleckých řemesel třicátých let 20. století přispěla k průlomu švédského funkcionalismu. Přispěl k tomu Asplund jako hlavní architekt, jakož i mnoho dalších architektů, kteří později získali velký vliv. Úroveň bydlení většiny obyvatel Švédska lze do té doby považovat spíše za nízkou, a proto se architekti rozhodli zlepšit situaci prosazováním nové, funkcionalistické a zjednodušené architektury. Také snahy o sociální reformy a sociálně demokratická strana, která se tehdy dostala k vládě, vytvářely předpoklady pro politiku, která upřednostňovala sociální bydlení.

Koncertní budova (1932) v Helsingborgu od Svena Markelia je tečkou za typickým švédským monumentálním a moderním typem staveb. Čistý funkcionalistický sloh sice získal hodnotu symbolu, všeobecně však nebyl uznaný. Postupně byl opět zastíněn tradičními prvky. Na stavbě lesního krematoria (1940) ve Stockholmu kombinoval Gunnar Asplund funkcionalistický obsah menších kapliček s klasicistními sloupy velkých kaplí, které tak vytvořily nadčasovou modernu.

Tradiční prvky v architektuře znovu získaly na důležitosti, když bylo Švédsko během 2. světové války izolované. V městských plánech figurovaly menší celky, „čtvrť“, jako nosné ideje. Mnoho promyšlených plánů obytných čtvrtí na periferiích měst je známých svou kvalitou. Předměstí jako Gröndal (Stockholm), Rosta (Örebro) nebo Guldheden (Göteborg) představují již vyspělou společnost se sociálními jistotami.

Největší pozornost v zahraničí vzbudilo Vällingby Centrum v západním Stockholmu, které bylo dokončeno v roce 1954. Navrhli ho architekti Backström & Reinius, kteří do svých plánů přenesli jeho hlavní funkce nad stanici metra a byty umístili v bezprostředním sousedství.

V poválečných letech se začalo rozvíjet hospodářství a architekti měli mnoho zakázek. Poptávka po bytech s dobrým standardem byla však nadále zřejmá, což mimo jiné znamenalo, že se stále více lidí stěhovalo do měst. V roce 1965 se rozhodlo, že během příštích deseti let se postaví kolem milionu bytů. Tento ambiciózní plán vedl k tomu, že se posilnila výroba panelů, jakož i řízení a plánování stavebnictví. Výstavba sídlíšť s rodinnými domy pro jednu nebo více rodin nabrala na rychlosti. Mnoho sídlíšť bylo kritizováno za jednotvárné plány, avšak bytové důvody, které k takovým rozhodnutím vedly, byly mimo kritiku.

Strukturalismus se uplatnil i při výstavbě kancelářských komplexů, např. Garnizóny (1972) ve Stockholmu, které navrhl architektonický ateliér A4. Mezitím se využití budovy změnilo a dnes se využívá pro mnoho jiných účelů.

Vyjadřovací možnosti architektů, pokud jde o vily a církevní budovy, byly v těchto letech podstatně odlišné. Konsekventně a v jednoduchém slohu navrhl Sigurd Lewerentz kostel St. Petri v jihošvédském Klippanu. Jedním z autorů, který se nezařadil do monotónní architektury padesátých a šedesátých let, byl Ralph Erskine. Přestěhoval se do Švédska ze Skotska a pokládali jej za obdivovatele švédských modelů. Jeho sídliště Nya Bruket (1974) v Sandvikenu se vyznačuje bohatými variacemi tvorby i z pohledu miniaturního osobního měřítka.

Architekt Carl Nyrén využíval techniku dřevěných staveb. Krajské muzeum (1991) v Jönköpingu připomíná



svými prosklenými vnitřními stěnami z betonu a dřeva tovární budovu. Gert Wingardh, jeden z nejúspěšnějších švédských architektů poslední doby, navrhl mimo jiné i Laboratoře pro Astru (1996) v Mölndalu. Je to příklad moderní architektury high-tech mezinárodního dosahu.

Internacionalizaci lze poznat i podle toho, že mnozí zahraniční architekti získali velké projekty ve Švédsku. Španěl Rafael Moneo vyhrál prestižní soutěž na Moderna Museet v roce 1991 a na Muzeum architektury ve Stockholmu. Obě budovy byly dokončeny v roce 1998.

## 2. medzinárodná konferencia inžinierskej geodézie



# INGEO 2002

Katedra geodézie Stavebnej fakulty Slovenskej Technickej Univerzity (STU) v Bratislave poriada pod záštitou dekana Stavebnej fakulty STU Bratislava 2. medzinárodnú konferenciu inžinierskej geodézie INGEO 2002. Na organizácii konferencie kooperujú: Komora geodetov a kartografov, Slovenský zväz geodetov. Odborný garant doc. Ing. Alojz Kopáčik, PhD., Katedra geodézie Stavebnej fakulty STU Bratislava.

### Tematické zameranie

Cieľom konferencie je vytvoriť priestor pre rozsiahlu diskusiu odborníkov pôsobiacich na univerzitách, výskumných pracoviskách, v stavebných organizáciách, v priemysle, a v neposlednom rade v geodetickej praxi. Geodetické práce nadobúdajú na význame. Osobitné postavenie dosiahli najmä v oblasti stavebníctva, ale aj v tých oblastiach, v ktorých doteraz nedominovali – výroba a kontrola robotov, automobilový a letecký priemysel.

Vývoj v oblasti mikroelektroniky a počítačových technológií v mnohých smeroch determinoval aj vývoj geodetických prístrojov a technológií. Vytvoril sa tak priestor pre aplikácie rezultujúce v statické a kinematické merania objektov. Medzi technológie ovplyvňujúce významnou mierou vývoj v oblasti inžinierskej geodézie radíme elektronické teodolity a univerzálne stanice, lasery, digitálne kamery, technológiu GPS a inerciálne systémy.

Rokovanie druhej medzinárodnej konferencie inžinierskej geodézie vytvára podmienky na diskusiu aktuálnych problémov, na zhrnutie poznatkov a výsledkov získaných aplikáciou moderných technológií. Rokovanie

sekcia č. 1: *Tvorba modelov a spracovanie údajov*

sekcia č. 2: *Meranie deformácií*

sekcia č. 3: *Aplikovaná fotogrammetria*

sekcia č. 4: *Meracie systémy a laserové zariadenia*

sekcia č. 5: *Informačné systémy inžinierskych konštrukcií*

konferencie bude prebiehať v tematických sekciách bez časového prekrytu jednotlivých sekcií.

Rokovacími jazykmi konferencie budú jazyky anglický, slovenský a český. Diskusie k referátom budú vedené so simultánnym prekladom. Referáty budú publikované v zborníku v anglickom jazyku.

### Miesto a čas konania

Konferencia sa uskutoční 11. – 13. novembra 2002. Odborný program a sprievodná výstava budú prebiehať v priestoroch kongresového centra Slovenskej sporiteľne v Bratislave na Záhradníckej ulici.

### Sprievodné akcie

Program budú doprevádzať akcie odborného, spoločenského a kultúrneho charakteru. Organizačný výbor pripravuje pre účastníkov niekoľko odborných exkurzií, ktoré budú zamerané na výučbu inžinierskej geodézie, testovanie a kalibráciu meracích prístrojov a zariadení, na automatizované meracie systémy realizujúce monitoring stavebných objektov a na budovanie informačných systémov. Spoločenský a kultúrny program bude tvorený slávnostným večerom, recepciou a prehliadkou historickej časti mesta.

### Výstava

Program konferencie doplní výstava meracej, výpočtovej techniky a programových produktov zameraných na inžiniersko-geodetické činnosti, monitoring stavebných konštrukcií a automatizované meracie systémy. Organizačný výbor očakáva účasť subjektov činných v oblasti predaja hardware a software, ako i v oblasti projektovania a realizácie meracích systémov. Vystavovateľom budú k dispozícii kóje obvyklých parametrov.

### Kontaktná adresa:

Katedra geodézie – INGEO 2002, Stavebná fakulta STU, Radlinského 11, SK – 813 68 Bratislava

tel.: +421 2 59274 559, fax: +421 2 52494 334 e-mail: [ingeo@svf.stuba.sk](mailto:ingeo@svf.stuba.sk)

<http://www.svf.stuba.sk/kat/GDE>

# STAVEBNÍ OBZOR

ROČNÍK 11 ČÍSLO 8/2002

[Navigace v dokumentu](#)

## OBSAH

Witzany, J. – Mencl, V. – Pospíšil, P. – Gregerová, M. – Hruška, A. – Zigler, R. – Čejka, T. – Cikrle, P. – Wasserbauer, R. <b>Karlův most – hodnocení stavebně technického stavu</b>	<b>225</b>
Lamboj, J. – Cihlář, Z. <b>Spolupůsobení plošného a pilotového základu</b>	<b>250</b>

**8 • 2002**

**ročník 11**

# 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

Witzany, J. – Mencl, V. –  
Pospíšil, P. – Gregerová, M. –  
Hruška, A. – Zigler, R. – Čejka, T.  
– Cikrle, P. – Wasserbauer, R.

**Karlův most**  
– hodnocení  
stavebně technického  
stavu ..... 225

Lamboj, J. – Cihlář, Z.

**Spolupůsobení**  
plošného a pilotového  
základu ..... 250

## CONTENTS

Witzany, J. – Mencl, V. –  
Pospíšil, P. – Gregerová, M. –  
Hruška, A. – Zigler, R. – Čejka, T.  
– Cikrle, P. – Wasserbauer, R.

**Assessment**  
**of the Current**  
**Building Condition**  
**of Charles Bridge** ..... 225

Lamboj, J. – Cihlář, Z.

**Interaction**  
**of the Spread and Pile**  
**Foundation** ..... 250

## INHALT

Witzany, J. – Mencl, V. –  
Pospíšil, P. – Gregerová, M. –  
Hruška, A. – Zigler, R. – Čejka, T.  
– Cikrle, P. – Wasserbauer, R.

**Bewertung des gegenwärtigen**  
**Zustands und Vorschlag**  
**zur Reparatur**  
**der Karlsbrücke** ..... 225

Lamboj, J. – Cihlář, Z.

**Zusammenwirken**  
**von flächigen und**  
**Pfahlfundamenten** ..... 250

Toto číslo bylo vydáno za podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR (projekt LP 0002).

## 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  
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.  
prof. Ing. Adolf PATERA, DrSc.  
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 ZDARILOVÁ

**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 18. 9. 2002. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027



## Katedra geotechniky Fakulty stavební ČVUT v Praze

si dovoluje oznámit,  
že otevírá již IV. běh speciálního kurzu

## GEOTECHNICKÉ INŽENÝRSTVÍ

Výuka v dvousemestrovém studiu formou dvoudenních soustředění (čtvrtek, pátek) bude probíhat jedenkrát za měsíc. Přijetí ke studiu bude potvrzeno na základě přihlášky. Kurz bude otevřen při minimálním počtu patnácti zájemců dne 27. 3. 2003. Náklady na studium hradí zájemci z vlastních zdrojů. Účastnický poplatek, stanovený podle počtu zájemců, by neměl přesáhnout 13 500 Kč (pro členy ČKAIT sleva 20 %).

Cílem výuky je prohloubení geotechnických znalostí stavebních inženýrů, seznámení s nejnovějšími poznatky a informacemi z oboru. Kurz bude ukončen vypracováním případové studie. Účastníci získají osvědčení o absolvování studia.

**Podrobnější informace:** Katedra geotechniky Fakulty stavební ČVUT, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel. 224 354 557 sekretariát pí. Picková, fax: 233 334 206, tel.: 224 354 542 doc. Jettmar, 224 354 353 ing. Reiser, e-mail: jettmar@fsv.cvut.cz, pickova@fsv.cvut.cz

## Karlův most – hodnocení stavebně technického stavu

prof. Ing. Jiří WITZANY, DrSc.<sup>1)</sup>, doc. Ing. Vojtěch MENCL, CSc.<sup>2)</sup>, RNDr. Pavel POSPÍŠIL<sup>2)</sup>,  
doc. RNDr. Miroslava GREGEROVÁ, CSc.<sup>3)</sup>, Ing. Antonín HRUŠKA, CSc.<sup>1)</sup>, Ing. Radek ZIGLER<sup>1)</sup>,  
Ing. Tomáš ČEJKA<sup>1)</sup>, Ing. Petr CIKRLÉ, PhD.<sup>2)</sup>, doc. Ing. Richard WASSERBAUER, DrSc.<sup>1)</sup>

Krátce po dokončení Velké opravy Karlova mostu se na mostní konstrukci objevila řada poruch. Kopané sondy provedené po dokončení opravy v roce 1983 v obloucích III., IV., IX., XIII. prokázaly pokračující zatékání srážkové vody do tělesa mostu i vysokou vlhkost výplňových vrstev mostu a jejich kontaminace solemi jsou příčinou chemických, biochemických i fyzikálních degradačních procesů znehodnocujících postupně kamennou mostní konstrukci a snižující její životnost. Dlouhodobé sledování kamenné konstrukce Karlova mostu a numerické analýzy prokazují, že řada mechanických poruch, vznik a rozvoj trhlin, které se na kamenné konstrukci i jednotlivých kamenných blocích vyskytují, jsou především způsobeny nesilovými účinky změny teploty a vlhkosti. Některé konstrukční úpravy provedené v rámci Velké opravy Karlova mostu negativně ovlivnily chování kamenné mostní konstrukce a přispívají k jejímu postupnému mechanickému narušování.

### 1. Stavebně historický vývoj Karlova mostu

Stavba prvního kamenného mostu na Vltavě byla zahájena v roce 1167 a dokončena v roce 1174. Most nechala postavit královna Judita, manželka českého krále Vladislava I. svým nákladem na místě původního dřevěného mostu. Kamenný most Juditin měl 12 kamenných pilířů v řečišti, jeden nábrežní pilíř a 12 mostních polí o světlém rozponu 16 až 18 m. Střední část mostu byla značně poškozena při povodni v roce 1273. Při velkých povodních v únoru roku 1342 za vlády českého krále a římsko-německého císaře Karla IV. byl Juditin most téměř zcela pobořen. Dřevěné provizorium na stržených polích sloužilo až do roku 1367. Z Juditina mostu se zachovaly do dnešní doby zbytky základů pilířů, jeden oblouk pod Křižovnickým klášterem na Starém městě pražském a menší Malostranská mostecká věž, jedna z mála pražských památek románského slohu.

Karel IV. položil pak 9. července 1357 základ nového kamenného mostu, situovaného o cca 6 m výše proti proudu řeky a s niveletou vyšší o 4 m proti Juditinu mostu, o 16 mostních polích o světlém rozponu 16,62 m (před Staroměstskou věží) až 23,38 m (nad Kampou při malostranském břehu). Jeho celková délka je 515,76 m a šířka 9,4 m. Most má v půdorysu mírně protáhlý, esovitý, zakřivený tvar. Rozměr masivních kamenných pilířů u klenbových patek je přibližně v rozmezí 8,50 až 10,84 m x 24,0 až 25,0 m. Zhlaví pilířů je proti vodě „přiostrěno“ v úhlu 65°. Stavba mostu, svěřená kamenické huti Petra Parlěře, byla dokončena v roce 1406. Je však doloženo, že pohřební průvod Karla IV. v roce 1378 přecházel již po funkční mostní stavbě.

Stavba kamenného mostu Karlova byla ještě před dokončením několikrát vážně poškozena – v letech 1359, 1367, pravděpodobně i 1370, 1373 a 1374. Rozsáhlé poškození dokončeného mostu je zaznamenáno při velkých povodních v roce 1432, kdy most byl protřzen na třech místech. Mezi Staroměstskou mosteckou věží a pilířem na Kampě se zřítilo osm mostních klenb a zůstaly stát jen pilíře č. 3, 4, 7, 8 a 10. Následně v roce 1496 podemletím a poklesem 3. pilíře dochází ke zřícení přilehlých mostních polí. Oprava poškozeného mostu trvala až do r. 1503. Most značně utrpěl i během třicetileté války. Založení pilířů bylo poškozeno při povodních v r. 1655. Při povodních v r. 1784 byly značně poškozeny tři pilíře a pět oblouků. Příčinou bylo podemletí pilířů. Oprava trvala do r. 1788. Protřazením jezů nad ostrovem Štvanice (Velké Benátky) se snížila staroměstská hladina Vltavy tak, že došlo k obnažení 12 zbytků pilířů Juditina mostu nad hladinou řeky.

Při rozsáhlé povodni v září 1890 byla stržena tři klenbová mostní pole (pole V., VI. a VII.) a značně poškozeno pět mostních pilířů (pilíř č. 4, 5, 6, 7 a 8). Rekonstrukce poškozených částí mostu byla zahájena v srpnu 1891 nákladem 665 tis. korun a byla dokončena již v listopadu 1892. Pilíře č. 5 a 6 byly založeny na kesonech a oblouky vyklenuty z pískovcových kvádrů s odlehčujícími klenbami podle návrhu prof. Velflíka. Odlehčující klenby byly provedeny i nad pilíři. V letech 1902 až 1904 byla provedena „pneumatickým způsobem“ sanace základů mostních pilířů (kesonový věnec, pilíře č. 3, 4 a 7). Z obrázku 1a je patrné, že k nejčastějšímu narušení Karlova mostu při povodních docházelo v jeho střední části vystavené intenzivnímu proudění vzdušné vody a podemlání pat mostních pilířů, kterému jejich původní poměrně mělké založení na skříních nebylo schopné delší dobu odolávat.

K narušení kamenné mostní konstrukce docházelo podemletím základů mostních pilířů, jejich následným nakloněním a sednutím, provázeným narušením, a posléze zřícením přilehlých mostních klenb. Založení pilířů na kesonech a provedení kesonových věnců v letech 1892 a 1902 až 1904 v této části mostu, spolu s opatřením zabraňujícím hromadění předmětů před mostem, umožnily, že most při srpnových povodních 2002 odolal náporu více než stoleté vody.

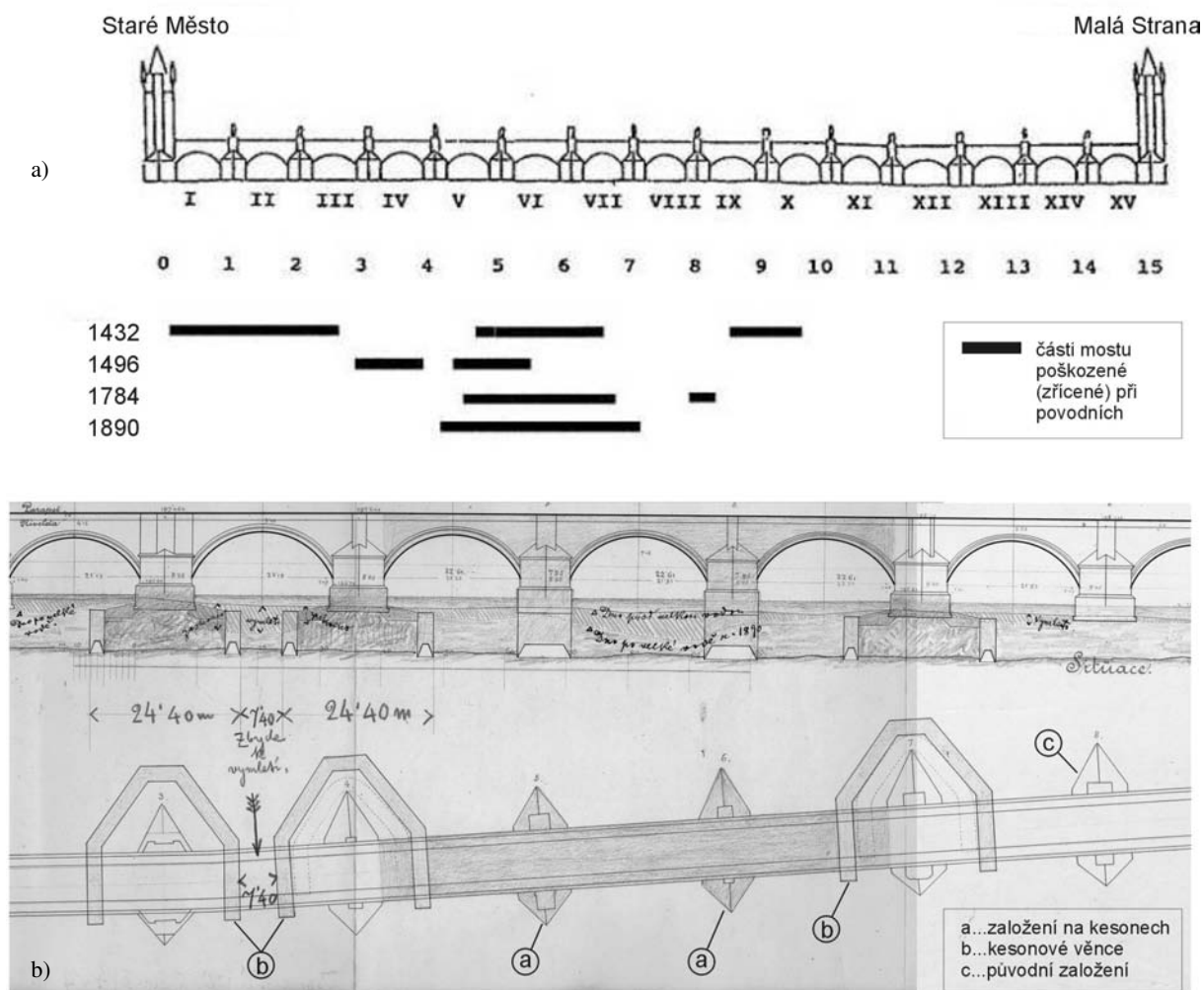
Kamenný Karlův most, který byl za dobu svého trvání mnohokrát poškozen a částečně pobořen povodněmi, byl na svou dobu velkolepou mostní konstrukcí, která je trvalým dokladem vyspělosti a zručnosti jeho stavitelů. Umožnila, aby po více než 500 letech byla na mostě zřízena dvoukolejná městská koňská dráha, kterou na počátku 20. století nahradila elektrická doprava tramvajová. Do r. 1839 byl Karlův most jediným mostem v Praze.

V letech 1966 až 1975 byla provedena rozsáhlá oprava Karlova mostu, při níž došlo k závažným zásahům do historické mostní kamenné konstrukce a výplňových vrstev mostního tělesa. Hlavní příčinou, která vyvolala tuto poslední velkou opravu, bylo vnikání srážkové vody do vrstev mostního tělesa a kamenného zdiva klenb. Krátce po jejím dokončení vznikla na mostní konstrukci řada poruch způsobených jak vadami vlastního provedení rekonstrukce, tak vadami projektu rekonstrukce (zatékání do tělesa mostu, vzdušné nedilatované dlažby, vznik trhlin v ložné spáře poprsních zdí).

Z původní konstrukce Karlova mostu ze 14. století se zachovala část mostu mezi Kampou a Malostranskou mosteckou věží a

<sup>1)</sup> Fakulta stavební ČVUT Praha, <sup>2)</sup> Fakulta stavební VUT Brno, <sup>3)</sup> Přírodovědecká fakulta MU Brno





Obr. 1. a) Stavebně historický vývoj Karlova mostu (podle V. Mencla – 1994), b) založení mostních pilířů (dokumentace z roku 1900)

u Staroměstské mostecké věže (mostní pole I–III a X–XV). Jednou z příčin častých povodní a poškození mostu je značná nerovnoměrnost srážek povodí Vltavy (28 tis. km<sup>2</sup>) i zmenšení průtokové šířky Vltavy mohutnými mostními pilíři.

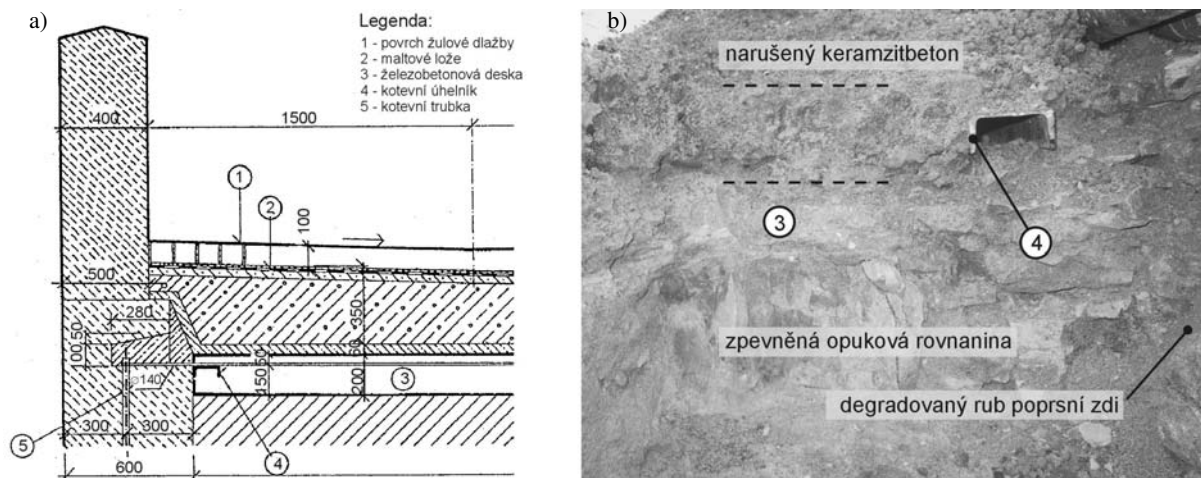
Karlův most, jehož stavbu převzala huť Petra Parlře, byl budován jako klasická kamenná mostní konstrukce tvořená klenbovými segmentovými oblouky z pískovcových kvádrů opřených do mohutných kamenných pilířů. Tloušťka pískovcového zdiva mostních klenb se podle dosud provedených průzkumů pohybuje od 0,7 do 0,9 m. Nedílnou součástí kamenné mostní konstrukce jsou poprsní zdi „uložené“ na mostních klenbách a spojitě probíhající přes mostní pilíře.

Nosné pilíře, mostní klenbové oblouky a čelní (poprsní) zdi Karlova mostu jsou vytvořeny z kamenného zdiva z opracovaných převážně pískovcových bloků různého stáří i složení a z různých lokalit, spojených na vápennou maltu z pískovcového štuku a hydraulického vápna, později s přísadou cementu. Zdivo mostních pilířů je až do úrovně hladiny Vltavy ze žulových kvádrů, nad hladinou z pískovcových kvádrů, v mnoha případech nepřilíš vynikající kvality. Nejčastěji jsou zastoupeny křemenné pískovce (66 %), které výrazně převládají nad arkózovými pískovci, glaukonitovými pískovci a pískovci s feoxyhydroxidovým tmelem. Původní pískovcový stavební kámen lze nalézt v historicky nejzachovalejší části mostu na Kampě. Při stavbě mostu byl

převážně používán pískovec a arkózový pískovec z lomů v Kamenných Žehrovicích a Vyšehořovicích. Při velké opravě Karlova mostu byly použity křemité pískovce křídového stáří z okolí Božanova a křemito-kaolinitové pískovce z okolí Hořic. Při poslední rekonstrukci bylo kromě výměny poškozených kamenných bloků použito také plombování, tj. osazení pouze části kamene na lícni straně narušených bloků do cementové malty.

Vysoké poprsní zdi měly původně větší poddajnost, k níž přispívala vápenná malta ve spárách mezi kamennými bloky a pravděpodobně i částečně nevyplněné svislé styčné spáry mezi bloky. Při následných opravách bylo zdivo poprsních zdí postupně ztužováno vyplňováním spár. Při poslední opravě (1966–1975) došlo v některých polích (VIII., X.) k částečnému rozebrání poprsních zdí až na úroveň chrlíčů. Do svislých, popř. šikmých vyvrtaných otvorů, byly vloženy a injektovány ocelové kotvení trubky procházející poprsními zdmi a zakotvené v mostních klenbách ve vzdálenosti à 1,2 m. Rozsah této úpravy není spolehlivě zachycen. Naposledy provedené sondy (pole V., VIII., XII. – 2002) neprokázaly provedení této projektované úpravy (obr. 2). Poprsní zdi mají tloušťku ve spodní části (pravděpodobně v částech mimo vrchol klenb) cca 0,6 m, která v horní části o výšce cca 1,5 m se zmenšuje na tloušťku cca 0,4 m.

Spolehlivé záznamy o způsobu založení mostních pilířů se nezachovaly. Podle prof. Z. Bažanta byly pilíře Karlova mostu zakládány na tzv. dřevěných skříních ve tvaru lodí,



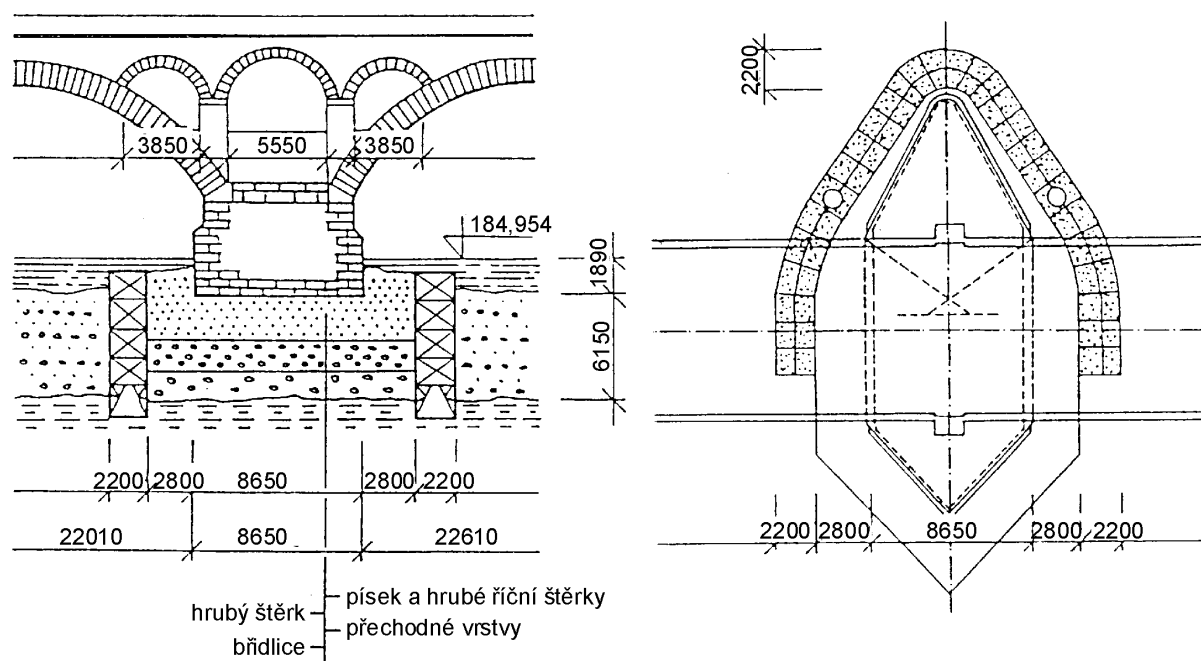
Obr. 2. Schéma kotvení železobetonové desky v poprsní zdi (projektové řešení, oprava 1966–1975)  
 a) projektové řešení, b) realizované řešení (oblouk XII.)

kteří byly přivlečeny po vodě a zakotveny v místě budoucích kamenných pilířů mostu. Postupným přitěžováním dřevěných skříňů kamenným zdívkem pilířů dosedly skříňové prostřednictvím dřevěného roštu na urovnané a prohloubené říční dno, a vytvořily tak dřevěnou roštovou konstrukci, na níž spočívaly jednotlivé mostní pilíře. Při posledním rozsáhlém poškození Karlova mostu při povodních v r. 1890 měly být nalezeny zbytky těchto dřevěných skříňů ze základů poškozených pilířů. Původně byly všechny v řečišti, až teprve v 15. a 16. století bylo řečiště u Malé Strany zasypano. Založení mostních pilířů na naplavených dřevěných vorech předurčovalo časté poškození Karlova mostu při mimořádných průtocích vody při povodních.

Podle Z. Bažanta (stav k roku 1967) byly návodní pilíře č. 3, 4 a 9 založeny na skříňích (před r. 1503), pilíř č. 10 na skříňi (před r. 1391), částečně nízkém pilotovém roštu (1794), pilíře č. 3, 4, 7 na skříňích (z r. 1391 a 1503), kolem nichž je proveden kesonový věnec (1902 až 1904) a pilíře č. 5 a 6 na dvou kesonech (1891). Na obrázku 3 je schéma

založení mostních pilířů podle návrhu prof. Velflíka z r. 1890.

Podle sond provedených v r. 1966 byla původní výplň pilířů a nad klenbovými oblouky opuková rovnánina s vápenou maltou ve vodorovných spárách. Na opukové rovnánině byla původně uložena vrstva hlinitého násypu, mazaniny a lité jílové izolační vrstvy. Konečnou úpravu tvořila kamenná dlažba uložená do hlinitého písku. Na rubové straně kamenných zděných klenbových oblouků byla provedena izolační vrstva z jílu v tloušťce cca 30 mm. Původní řešení zřetelně vymezovalo přenos zatížení z mostovky prostřednictvím opukové rovnániny, která při uvedené úpravě nepůsobí vodorovnými (rozpěrnými) tlaky na poprsní zdi a omezuje mechanické účinky cyklických změn teploty a vlhkosti. Kamenná dlažba s hlíněnou výplní spár umožňovala volnou dilataci jednotlivých dlažebních bloků. V důsledku postupných úprav, provedených zejména při velké opravě Karlova mostu (1966–1975), byl vytvořen tužší, staticky odlišný systém. Opuková rovnánina byla v některých



Obr. 3. Schéma sanace založení pilířů s kesonovým věncem a odlehčujícími klenbami podle návrhu prof. Velflíka z r. 1890

polích částečně injektována cementovou směsí colcret, hlinité násypy a mazanina nahrazeny podkladním betonem a železobetonovou deskou tl. 0,2 m zakotvenou do poprsních zdí (podle projektu, realizované provedení viz obr. 2) a vrstvou keramzitbetonu s povrchem upraveným pro položení hydroizolačního povlaku z pásů sklobitu (projektované řešení). Těžká žulová dlažba byla původně položena bez dilatace do betonového lože.

V polích porušených při povodni v r. 1890 (pole V. až VII.) bylo výplňové opukové zdivo nahrazeno vylehčovacími klenbami podle návrhu prof. Velflíka (obr. 3).

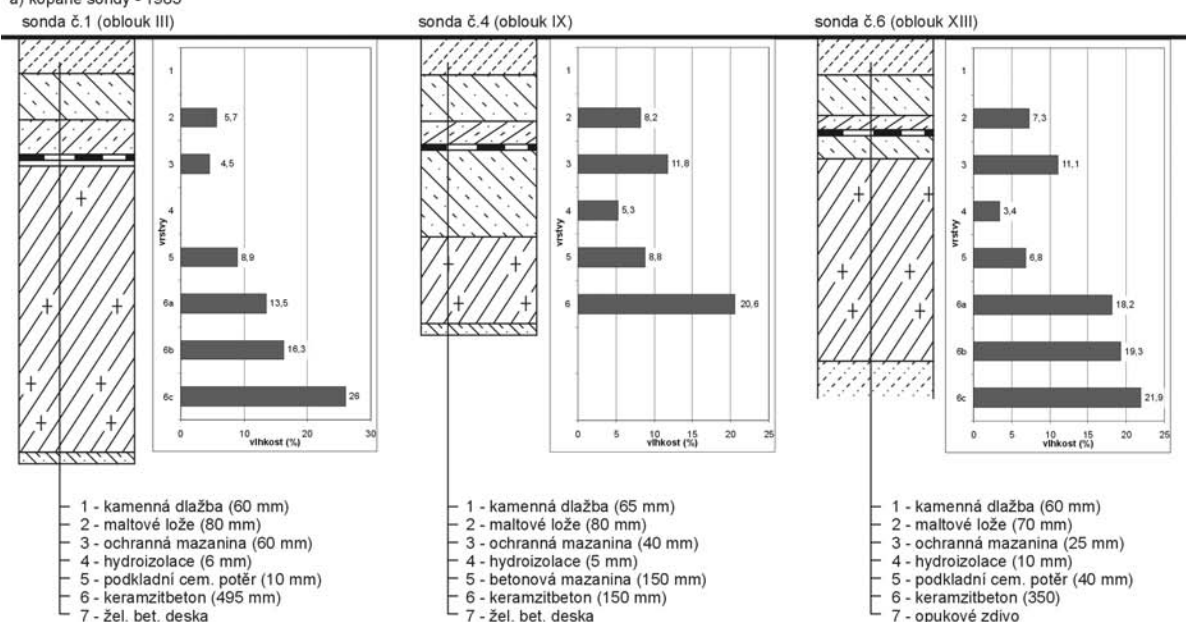
Krátce po dokončení rozsáhlé opravy ve druhé polovině šedesátých a počátkem sedmdesátých let vznikly na kamenné mostní konstrukci a dlažbě mostovky poruchy. Bylo to především narušení žulové dlažby, vyklánění poprsních zdí, zatékání do tělesa mostní konstrukce a vznik trhlin na lících plochách mostních kleneb. Vznik poruch vyvolal řadu dodnes pokračujících odborných diskuzí a také potřebu vý-

zkumu a monitorování Karlova mostu. Na obrázku 4 je znázorněn stav vlhkosti jednotlivých vrstev mostního tělesa podle kopaných sond z r. 1983 a vrtaných sond prováděných za sucha v r. 2000.

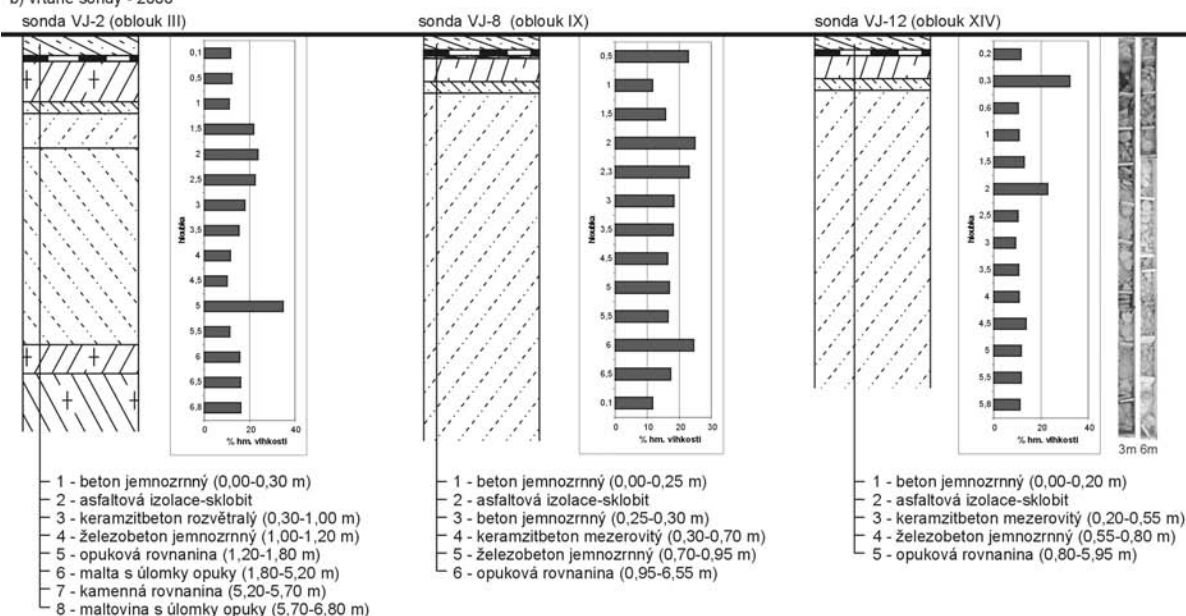
Jádrové sondy provedené v roce 2000 [5] umožnily získat objektivní informace o složení mostního tělesa, stavu konstrukčních vrstev od mostovky až po rubovou stranu klenby, tj. do hloubky téměř 7 m. Laboratorní zkoušky prokázaly vysokou vlhkost i v hlubších částech opukové rovnaniny (např. u oblouku III., kde v hloubce 5 m byla opakovaně zjištěna vlhkost až 34,8 % hm.) a přítomnost vykrystalizovaných solí v jednotlivých konstrukčních vrstvách. V pilířích byly zjištěny oblasti, kde se nacházela volná voda.

Lokalizace sond a míst odběru vzorků respektovala historické změny v konstrukci mostu (zejména všechny fáze oprav), petrografickou variabilitu stavebních kamenů, makroskopicky pozorovatelné projevy degradace a výsledky průzkumných prací provedených v předchozích letech.

a) kopané sondy - 1983



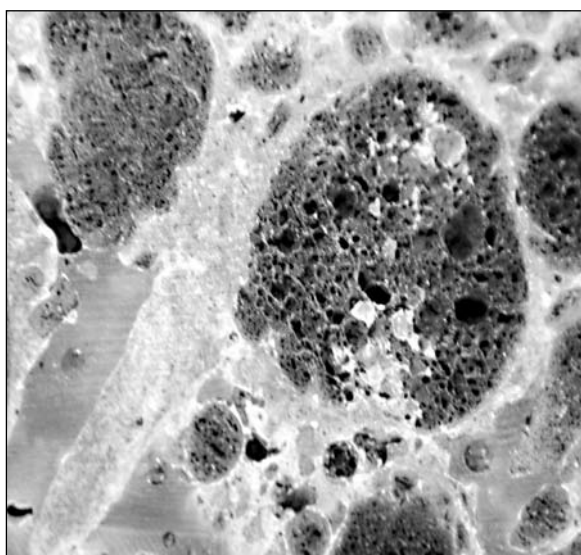
b) vrtané sondy - 2000



Obr. 4. Schéma vrstev tělesa mostu a jejich vlhkosti podle sond z let 1983 (a) a 2000 (b)



Obr. 5. Makroskopicky pozorovatelné výkvěty solí na keramzitbetonu



Obr. 6. Keramzitbeton s mocnými bílými lemy sekundárních minerálů tl. 1 mm (ettringit, thaumasit, + kalcit + sádrovec)

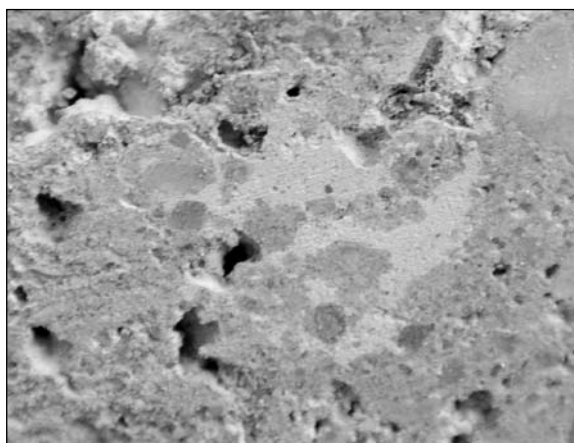
Cílem bylo dokumentovat stav stavebního kamene a jeho vlastnosti v různých stupních degradace, a nikoli jen „nejslabší místa konstrukce“. Cílem měření šíření ultrazvukových vln bylo stanovit stejnorodost vzorků a porovnat výsledky destruktivních a nedestruktivních zkoušek.

## 2. Výsledky analytického studia konstrukčních materiálů mostu

V období 1976 až 1994 bylo zpracováno 23 průzkumných a projektových prací [6]. Tato rekapitulace je dokladem intenzivní a rozsáhlé odborné a expertní činnosti zabývající se problematikou poruch a návrhem opravy Karlova mostu (SÚRPMO, SÚPP, PŮDIS, ČVUT, soudní znalci a experti). Výsledky dílčích průzkumů, odborných studií a výzkumných prací byly zohledněny a zapracovány v podrobné pasportizaci poruch mostu ve „Zprávě o doplňujícím stavebně-technickém průzkumu pro VO Karlova mostu“ (PŮDIS, a. s., Praha, listopad 1992). Výsledky průzkumu in situ a laboratorního výzkumu odebraných vzorků zahrnující měření a sledování mechanických poruch a deformací mostní konstrukce, vizuální průzkum lícnicích ploch mostních kleneb, petrografický, mineralogický, chemický a biochemický výzkum, stanovení základních mechanických vlastností a výsledky diskuze a stanoviska



Obr. 7. Vrt VJ-11. Makroskopický vzhled železobetonové desky



Obr. 8. Železobeton s mocnými polohami sekundárních minerálů tl. 11 mm (ettringit, thaumasit, + kalcit + sádrovec)

expertů a odborníků byly souhrnně zpracovány v „Odborném stanovisku k opravě a rekonstrukci Karlova mostu“ (ČVUT FSv Praha, únor 1994).

V letech 1999 až 2000 byl proveden v rámci grantu MK ČR [5] „Monitorování a hodnocení vnějších vlivů a účinků na Karlův most“ rozsáhlý doplňkový průzkum, jehož cílem bylo ověření výsledků výzkumů provedených v letech 1993 a 1994, obsažených v „Odborném stanovisku k opravě a rekonstrukci Karlova mostu“, intenzity a kinetiky degračních procesů (řešitel ČVUT FSv Praha, spolufinancováno PŮDIS, a. s., KÚ ČVUT, PAAPS, s. r. o., ARTEZIA Smetana, Metrostav, a. s., TSK hl. m. Prahy). Výsledky výzkumu prokázaly pokračující procesy degradace kamenné mostní konstrukce, vysokou vlhkost a chemismus mostního tělesa [9]. Významné informace o materiálovém složení a vlastnostech mostního tělesa byly získány ze vzorků odebraných z 12 vrtů rozmístěných a provedených na vybraných místech po celé délce mostu.

Ke komplexním petrografickým a mineralogickým analýzám byly odebrány tři typy vzorků.

- povrchové vzorky povlaků a krust tvořené nově krystalovanými minerály;
- jádrové vzorky (průměru 50 mm) délky 5 až 10 cm pro sledování stavu zdiva v přípoверхových zónách;
- jádrové vrty (průměru 137 mm) různé délky tak, aby dokumentovaly konstrukční vrstvy tělesa mostu na vybraných obloucích.

### Fyzikálně mechanické vlastnosti

V rámci studia fyzikálně mechanických vlastností stavebních materiálů byly na vzorcích pískovců odebraných z nosné konstrukce mostu jádrovým vrtáním provedeny tyto zkoušky:

- Měření doby průchodu impulsů ultrazvukového vlnění v různých směrech a stavech:
  - napříč neupravenými vzorky pískovců po vzdálenosti 10 mm v přirozeně vlhkém stavu; cílem bylo zjistit stejnorodost kamene v různých hloubkách od ústí vrtu;
  - v podélném směru po zabroušení čel vzorků, ve třech vlhkostních stavech – přirozeně vlhkém, vysušeném při 105 °C a krátkodobě nasyceném vodou (po dobu 48 hodin).
- Pevnost v tlaku, kdy z každého vzorku kamene byla vyřezána dvě válcová tělesa shodné velikosti. Jedno těleso bylo zkoušeno ve stavu vysušeném a druhé ve stavu nasyceném vodou, aby bylo možné získat orientační hodnotu ukazatele změknutí pískovce.
- Objemová hmotnost ve stavu vysušeném a nasyceném vodou (hydrostatickým vážením).
- Nasákavost po 48 hodinách a po ustálení hmotnosti, zdánlivá pórovitost.

Stejně zkoušky byly v menším rozsahu provedeny na vzorcích opuky a původní malty z vrstev rovnániny nad pískovcovou klenbou.

Měření šíření impulsů ultrazvukových vln byla provedena na zkušebních tělesech pro zkoušky pevnosti. Zjištění rychlosti šíření ultrazvuku v podélném směru sloužilo k výpočtu dynamických modulů pružnosti zkoušených materiálů. Všechny vzorky byly měřeny ve stavu přirozeně vlhkém, vzorky opuky byly testovány navíc ve stavu vysušeném.

**Mikrobiologické a biochemické rozbor**y zahrnovaly chemické a mikrobiologické analýzy, stanovení aktivní reakce pH, H<sub>2</sub>O a hmotnostní vlhkosti.

#### V rámci tohoto výzkumu byly provedeny následující analýzy materiálů Karlova mostu:

fotodokumentace – makrovzorků (137x), fotodokumentace (binokulární lupa) (55x), fotodokumentace (polarizační mikroskop) (206x), fotodokumentace SEM (169x), látkové rozbor (optická mikroskopie) (119x), mikroanalýzy EDX (122x), mikroanalýzy EDX – prvkové (112x), silikátové analýzy (19x), geochemické analýzy (19x), stanovení izotopů síry (4x), RTG analýzy (61x), mikrobiologické analýzy (820x), chemické výluhy (670x), stanovení pH (200x), vlhkost přípovrchová (hloubka 2, 5, 10 cm) + vlhkost vzorků z vrtů (260x), vlhkost povrchová (72x), teplota povrchová (72x), porozita (16x), zdánlivá porozita (34x), pevnost v tlaku (48x), modul pružnosti (56x), nasákavost (43x), objemová hmotnost (43x), mrazuvzdornost (3x), odolnost proti krystalizaci solí (3x).

Na základě provedených studií jednotlivých konstrukčních prvků Karlova mostu bylo jednoznačně prokázáno, že přítomné vodorozpustné a hygroskopické soli jsou nehomogenně obsaženy v jednotlivých konstrukčních prvcích v rámci celé mostní konstrukce, a tím ovlivňují jeho fyzikálně mechanické vlastnosti.

#### Podkladní beton, keramzitbeton, železobeton

Vzorky podkladního betonu (pod hydroizolačním povlakem) a keramzitbetonu byly analyzovány spolu se vzorky odebranými ze železobetonové desky. Keramzitbeton, který je již místy zcela desintegrován na jednotlivá zrna keramzitu, obsahuje místy zvýšený obsah solí, které jsou i makroskopicky pozorovatelné (obr. 5). Již v etapě primární dokumentace materiálu bylo pozorováno, že při průchodu vrtné korunky konstrukčními vrstvami došlo k rozpadu jednotlivých vrstev mostovky včetně betonu železobetonové desky. V žádném z dvanácti provedených vrtů nebyl ode-

brán kompaktní vzorek v celkové mocnosti železobetonové desky nebo keramzitbetonu (dokumentováno v obr. 6, obr. 7 a obr. 8). Obvyklá segmentace vzorků železobetonové desky byla 2 až 3 cm.

Tab. 1. Základní fyzikálně chemické a mikrobiologické parametry keramzitbetonu Karlova mostu (stav v r. 2000)

Vrt č.	H <sub>2</sub> O [%]	pH	Vodorozpustné soli [mg/g]			Bakterie <sup>*)</sup> [10 <sup>3</sup> ]
			NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	
1	10,6	10	0,23	3,58	0,50	51,5
2	12,2	10	0,11	0,26	0,23	0,0
3	14,2	10	0,14	4,16	0,40	0,0
4	11,1	10	0,05	2,74	0,21	0,0
5	11,8	10	0,10	3,05	0,76	0,0
6	11,2	10	0,05	1,79	0,11	0,0
7	<b>16,7</b>	10	0,19	2,32	0,48	208,1
8	<b>22,8</b>	10	0,09	2,78	0,35	19,1
9	<b>32,2</b>	10	0,10	4,37	0,57	116,9
10	11,6	9,5	0,32	3,53	0,50	40,5
11	10,9	9,5	0,08	0,31	0,31	3,1
12	<b>32,2</b>	10	0,06	0,38	0,38	0,0

\*) celkový počet chemoorganotrofních bakterií

Floušička keramzitbetonu podle provedených sond je v rozmezí 150 až 700 mm.

Přůmerná vlhkost keramzitbetonu je 12,2 %, ve vrtu č. 7, 8, 9 a 12 však obsah vody již překročil jeho sorpční kapacitu. V keramzitbetonu byla zaznamenána přítomnost volné vody ve vrtu č. 8 v hloubce 0,5 m, ve vrtu č. 9 v hloubce 0,5 m, ve vrtu č. 12 v hloubce 0,3 m. Přítomnost mikrobů pravděpodobně opět souvisí s poruchami hydroizolace. Koncentrace NO<sub>3</sub> a Cl<sup>-</sup> je podle WTA 4-5-97 nízká. Naproti tomu koncentrace SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> je podle WTA 4-5-97 u většiny vzorků klasifikována jako vysoká.

Vlhkost podkladního betonu odpovídá spíše vlhkosti cementové omítky (maximální hodnota nasákavosti cementové omítky je cca 12 %). Celkové počty chemoorganotrofní mikroflóry jsou vysoké a přibližují se empiricky zvolené limitní hodnotě 10<sup>5</sup>. Přítomnost bakterií je kladně ovlivněna průsakem vody dlažbou, která přináší do podkladního betonu dostatek živin (prach, organické látky a buňky bakterií) [10].

Tab. 3. Základní fyzikálně chemické a biologické parametry železobetonové desky Karlova mostu

Vrt č.	H <sub>2</sub> O [%]	pH	Vodorozpustné soli [mg/g]			Bakterie [10 <sup>3</sup> ]
			NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	
1	14,4	10,0	0,037	0,304	0,55	0,0
2	11,0	10,0	0,290	2,850	0,28	0,3
3	13,7	10,0	0,109	0,491	0,49	0,0
4	9,8	10,0	0,037	0,296	0,16	0,0
5	12,4	10,0	0,135	0,500	0,17	0,0
6	11,0	8,0	0,404	0,210	0,23	5,0
7	17,2	9,5	0,100	0,890	0,54	15,6
8	20,8	10,0	0,041	0,230	0,20	0,0
9	14,6	10,0	0,041	1,430	0,28	3,0
10	4,8	9,5	0,104	3,040	0,50	37,3
11	13,2	8,5	0,039	2,300	0,32	2,0
12	10,5	10,0	0,062	1,580	0,38	0,0

Železobetonová deska je uložena v hloubce 0,5 až 0,9 m.

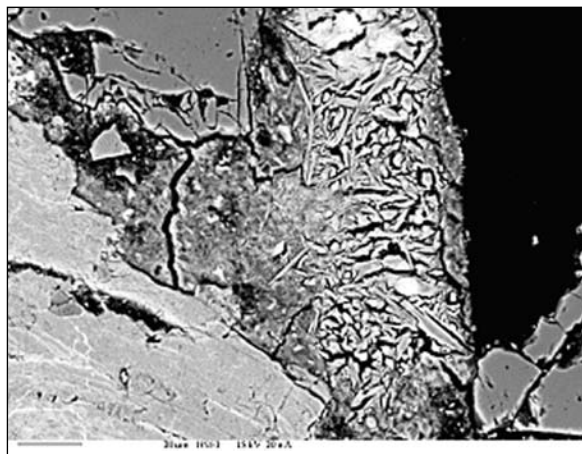
V železobetonové desce, která se nachází nad opukovou rovnáninou, byly u některých vzorků prokázány makroskopicky viditelné, nejčastěji zářivé bílé povlaky tvořené sekundárními solemi. Mikroskopicky byly soli prokázány ve všech vzorcích s tím, že míra vyplnění pórového systému

Tab. 2. Základní fyzikálně chemické a mikrobiologické parametry podkladního betonu (1) vozovky a železobetonové desky (2) Karlova mostu (stav v r. 2000)

Vrt č.	H <sub>2</sub> O [%]		pH		Vodorozpustné soli [mg/g]						Bakterie <sup>*)</sup> [10 <sup>3</sup> ]	
	(1)	(2)	(1)	(2)	NO <sub>3</sub>		SO <sub>4</sub>		Cl		(1)	(2)
					(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)		
1	12,2	14,4	10,0	10,0	0,53	0,037	3,84	0,304	0,78	0,55	420,7	0,0
2	11,6	11,0	10,0	10,0	0,24	0,290	2,58	<b>2,850</b>	0,39	0,28	233,8	0,3
3	11,4	<b>13,7</b>	10,0	10,0	0,45	0,109	3,00	0,491	0,84	0,49	51,9	0,0
4	<b>14,5</b>	9,8	10,0	10,0	0,13	0,037	0,13	0,296	0,10	0,16	74,7	0,0
5	11,8	<b>12,4</b>	10,0	10,0	0,22	0,135	0,22	0,500	0,39	0,17	65,5	0,0
6	10,5	11,0	9,5	<b>8,0</b>	0,42	0,404	0,42	0,210	0,35	0,23	57,3	5,0
7	<b>14,8</b>	<b>17,2</b>	10,0	<b>9,5</b>	0,23	0,100	0,23	0,890	0,50	0,54	330,9	15,6
8	11,7	<b>20,8</b>	10,0	10,0	0,16	0,041	0,16	0,230	0,54	0,20	100,5	0,0
9	<b>14,6</b>	<b>14,6</b>	10,0	10,0	0,04	0,041	0,04	<b>1,430</b>	0,31	0,28	15,7	3,0
10	11,6	4,8	10,0	<b>9,5</b>	0,30	0,104	0,30	<b>3,040</b>	0,46	0,50	40,6	37,3
11		<b>13,2</b>		<b>8,5</b>		0,039		<b>2,300</b>		0,32		2,0
12	11,5	10,5	10,0	10,0	0,30	0,062	0,30	<b>1,580</b>	0,37	0,38	126,5	0,0

\*) celkový počet chemoorganotrofních bakterií

betonu sekundárními minerály je značná. Byla prokázána karbonatace (vznik sparitu) i síranová korozie (vznik napětí krystalizačními tlaky tvořených minerálů). Póry a trhliny ve všech studovaných betonech jsou podél okrajů lemované nebo celé vyplněné jehličkovitými krystalky ettringitu ( $\text{Ca}_6\text{Al}_2\text{O}_6(\text{SO}_4)_3 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ , popř. thaumasitu  $\text{Ca}_3\text{H}_2[\text{CO}_3/\text{SO}_4/\text{SiO}_4] \cdot 13\text{H}_2\text{O}$  (obr. 6, obr. 7) a sádrovce  $\text{Ca}_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Kromě těchto minerálů byla prokázána RTG a EDX analýzami přítomnost dalších solí: mirabilitu ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) a smíšených Na, K – kamenců, thermonatrit ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), nitronatrit ( $\text{NaNO}_3$ ), halit ( $\text{NaCl}$ ) a vysoký obsah kalcitu. V současné době se beton nachází ve fázi, kdy se postupně zvyšuje jeho porozita tím, že soli migrují do podložních konstrukčních vrstev. Vzhledem k tomu, že z hlediska použitého kameniva zde není dostatečně zastoupena hrubá frakce kvalitního kameniva (pouze 20 %), může dojít v budoucnosti rozpadem pojiva jemnozrnné frakce betonu a vyloučením sekundárních minerálů k velkému nárůstu porozity železobetonu, a tím i ke snížení jeho fyzikálních vlastností.



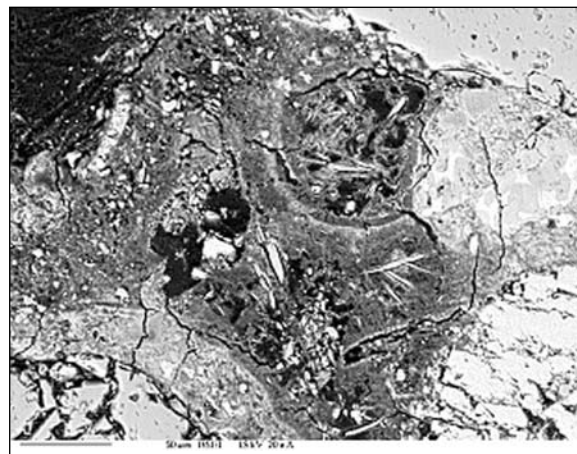
Obr. 9. Shluky ettringitu a thaumasitu v železobetonové desce (VJ-9, elektronový mikroskop Cameca, GUDŠ Bratislava, foto V. Kolláriková)

Limitní hodnota nasákavosti pro portlandský beton činí 7,5 %, limitní hodnota nasákavosti pro cementovou omítku 12 %. **Nasákavost odebraných vzorků betonů je bližší nasákavosti cementové omítky než betonu.**

Limitní hodnota pH pro korozí výtuzže je 9,5. **U vrtů č. 6, 7, 10, 11 je úroveň pH železobetonové desky pod touto hodnotou a umožňuje korozí výtuzže.**

Podle Caltrans Standard Specifications of 1988 (Section 90, Part 2.03) je jako limitní hodnota vodorozpustných síranů pro výtuzžený beton považována hodnota 1,3 mg/g (California Department of Transportation). **Ve vzorcích č. 2, 9, 10, 11, 12 bylo nalezeno více síranů, než povoluje citovaná specifikace.**

Naproti tomu všechny vzorky vyhovují limitní hodnotě pro Cl<sup>-</sup> 1,0 mg/g. Pokles obsahu chloridů v betonové desce je dán vymytím iontů Cl<sup>-</sup> z desky průsakem deště při porušené hydroizolaci mostu. Přítomnost mikrobů je ojedinělá, a souvisí buď s poruchami hydroizolace, nebo s nesterilním odběrem vzorků.



Obr. 10. Shluky ettringitu a thaumasitu v pórovém systému železobetonové desky (VJ-2, elektronový mikroskop Cameca, GUDŠ Bratislava, foto V. Kolláriková)

Tab. 3. Souhrn výsledků zkoušek betonu z podkladní vrstvy a železobetonové desky

Vrt č.	Označení tělesa	Objemová hmotnost	Nasákavost hmotn.	Zdánlivá pórovitost	Pevnost v tlaku	Dyn. modul pružnosti
		$\rho$	$n_m$	$n_v$	$f_{c,cube}$	$E_{bu}$
		[%]			[N/mm <sup>2</sup> ]	
podkladní beton						
VJ 1	1/1	1 982	10,3	20,4	11,5	26 700
VJ 3	3/1	1 970	9,9	19,5	19,8	30 200
VJ 8	8/1	2 058	8,0	16,4	25,2	33 500
beton z železobetonové desky						
VJ 1	1/2	1 937	10,8	20,9	20,4	27 100
VJ 7	7/1	1 873	11,2	20,9	14,0	23 800
VJ 8	8/2	2 067	7,0	14,5	31,3	30 500
VJ 9	9/1	1 995	11,9	23,8	26,0	32 500

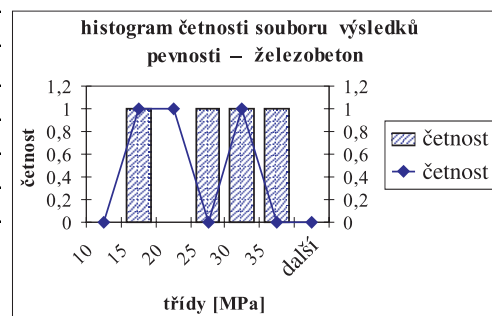
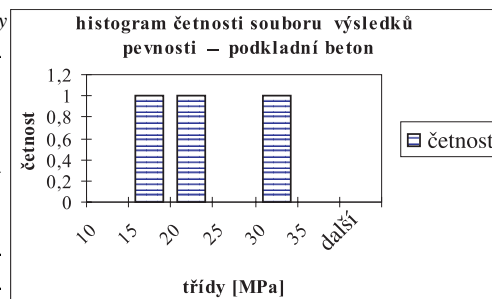
Výsledky zkoušek betonu a měření ultrazvuku na vzorcích všech druhů betonů jsou obsaženy v tab. 3. Pro porovnání jsou zde uvedeny jak výsledky dosažené na betonu železobetonové desky, tak na betonu z ostatních konstrukčních vrstev.

**Objemová hmotnost** betonu (ve stavu vysušeném) se pohybovala od 1 870 do 2 070 kg/m<sup>3</sup>, v průměru pak byla 1 960 kg/m<sup>3</sup>. Nevhodná skladba použitého kameniva podmiňuje nízkou objemovou hmotnost betonu. Na vzorcích byl zjištěn obsah hrubého kameniva do 20 %, které tak nevytváří nosnou kostru konstrukčního betonu. Část vzorků postrádala hrubé kamenivo zcela. Znamená to, že beton desky z dnešního hlediska v podstatě nevyhovuje požadavku ČSN EN 206-1 na obyčejný hutný beton, který musí mít objemovou hmotnost ve vysušeném stavu minimálně 2 000 kg/m<sup>3</sup>.

**Pevnost v tlaku** betonu byla stanovena na tělesech z vrstvy podkladního betonu a tělesech vyřezaných ze železobetonové desky. Výsledky zkoušek pevnosti v tlaku vyšly u obou souborů srovnatelně: krychelná pevnost v tlaku podkladního betonu se pohybovala od 11,5 do 25,2 MPa (průměr 18,8 MPa), krychelná pevnost betonu z železobetonové desky se pohybovala od 14,0 do 31,3 MPa (průměr 22,9 MPa). Beton byl z hlediska pevnosti v tlaku značně **nestejnorodý**, při společném hodnocení všech sedmi vzorků betonu i samostatném hodnocení čtyř vzorků z železobetonové desky vyšel variační součinitel  $v = 32$  % (pro porovnání požadavek ČSN 73 2011 pro betony B20 a horší je  $v \leq 16$  %).

Hodnoty **dynamického modulu pružnosti**  $E_{bu}$  v tahu a tlaku se u betonu železobetonové desky pohybovaly od 23 800 do 32 500 MPa, což odpovídá statickému modulu pružnosti  $E_b$  přibližně 19 500 až 24 700 MPa (při přepočtu podle ČSN 73 2011, tab. 5, zmenšovací součinitel  $\kappa_u$ ). Tyto hodnoty odpovídají třídě betonu B 12,5 až B 15 podle ČSN 73 2001, resp. ve třídě B 12,5 až B 15 podle ČSN 73 1201. Beton by však měl podle druhé z citovaných norem odpovídat třídě B 30.

Pouze jediný vzorek odebraný z železobetonové desky měl **nasákavost** hmotnostní 7 %, ostatní tři měly nasákavost vyšší než 10 % (10,8 až 11,9 %). S tím souvisí také vysoké hodnoty **zdánlivé pórovitosti** (objemové nasákavosti) od 14,5 do 23,8 %. Znamená to, že 1 m<sup>3</sup> betonu je schopen pojmout více než 200 l vody. Pro nasákavost betonu neexistují jed-



notná kritéria hodnocení. Například v ČSN 73 1325 je uvedeno jako jedno z kritérií mrazuvzdornosti, že nasákavost betonu po 1 440 minutách (1 den) má být menší než 6,5 %. Tato hranice se dá považovat za maximální hodnotu nasákavosti konstrukčního betonu.

Bylo zjištěno, že porozita se zvyšuje postupně tím, že soli migrují do podložních konstrukčních vrstev a dochází postupně k rozpadu pojiva. Jednoznačně byla prokázána existence vodorovných diskontinuit, podle nichž dochází k segmentaci železobetonové desky v relativně tenkých šupinách, rovněž byly pozorovány diskontinuity v příčném směru. V důsledku toho postupně přestává mít beton ochrannou funkci ve vztahu k jeho ocelové výztuži. Z hlediska **hodnoty pH** jsou betony na limitní hodnotě.

Při zjištěných fyzikálních, chemických, petrografických vlastnostech materiálů ze sledovaných vrstev lze konstatovat, že kvalita betonu v železobetonové desce nevyhovuje současným požadavkům pro konstrukční beton.

#### Opuková rovnanina

Na základě provedených analýz a po přepočtu na objem jednotlivých konstrukčních materiálů je zřejmé, že v současnosti je nejvíce solí akumulováno v **opukové rovnanině** mostu, která slouží jako výplňový materiál mostní konstrukce. V rámci cyklicky působících nesilových účinků

Tab. 4. Základní fyzikálně chemické a mikrobiologické parametry opukové rovnaniny Karlova mostu (stav v r. 2000)

Vrt č.	Hloubka [m]	H <sub>2</sub> O [%]	pH	Vodorozpustné soli [mg/g]			Bakterie*) [10 <sup>3</sup> ]
				NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	
1	2,65	21,7	9,0	2,41	0,80	0,51	42,3
2	6,80	23,0	9,0	1,76	0,29	0,35	2,6
3	3,00	26,0	10,0	0,24	0,37	0,14	18,6
7	2,00	13,3	8,5	3,82	0,26	0,57	0,0
8	2,00	24,9	9,0	0,21	0,54	0,33	0,0
9	6,50	19,4	8,5	0,18	0,38	0,55	0,0
10	0,80	11,1	10,0	0,96	1,51	0,54	25,0
11	3,00	12,0	9,5	0,08	0,36	0,31	0,0
12	3,00	11,1	8,5	0,17	0,26	0,84	0,0

\*) celkový počet chemoorganotrofních bakterií

okolního prostředí (kolísání teploty, vlhkosti apod.) dochází k neustálé migraci těchto solí jak v rámci materiálu opukové rovnaniny, tak i k jejímu okraji do zón interakce s kamenným, převážně pískovcovým kvádrovým zdívkem poprsních zdí a kleneb mostu. V současnosti neexistuje chemický prostředek, který by dokázal spolehlivě a dlouhodobě imobilizovat veškeré zjištěné druhy vodorozpustných solí v celém objemu opukové rovnaniny v mostní konstrukci Karlova mostu. Je evidentní, že jistá část solí při postupném snižování vlhkosti nevykrytalizuje v pórovém systému opukové rovnaniny, ale postupnou migrací se dostane do zóny interakce s kvádrovým pískovcovým zdívkem, a odtud i do pórového systému vlastního kamene. Setrvačnost tohoto procesu lze velmi přibližně odhadnout na několik desetiletí.

Nasákavost opuky kolísá v širokém intervalu 9,7 až 19,1 v závislosti na lokalitě těžby. Přesto byla nalezena i v opukové rovnanině místa, kde vlhkost opuky je **vyšší než její sorpční kapacita** (vrt č. 1, 2, 3, 8). Kapalná voda byla nalezena v rovnanině ve vrtu č. 2 v hloubce 5 m, ve vrtu č. 3 v hloubce 4 m. Přítomnost mikroflóry byla pouze nahodilá.

**Koncentrace NO<sub>3</sub>** jsou ve vzorcích opukové rovnaniny z vrtu č. 1, 2, 7 vysoké, rovněž tak **obsah Cl<sup>-</sup>** ve vrtu č. 10, a nevyhovují požadavkům WTA 4-5-97.

### Kámen

Petrografickými rozbory bylo prokázáno, že kamenné konstrukční prvky tvoří:

- karbonské arkóзовé pískovce – arkózy z okolí Kamenných Žehrovic (karbon);
- permské železité pískovce až arkóзовé pískovce červenohnědé barvy z širšího okolí Českého Brodu a okolí Nučic (použité v malém počtu na různých místech mostu);
- křídové (cenomanské) pískovce z Nehvizd, Vyšehořovic a z okolí Brandýsa nad Labem;
- křídové (cenomanské) křemeno-kaolinitové pískovce z okolí Hořic (opěrné pilíře V. a VI. oblouku, XII. až XVI. oblouk – rekonstrukce z let 1890–1892);
- křídové pískovce z lomů v Hloubětíně;
- křídové (cenomanské) křemenné pískovce až arkóзовé pískovce z okolí Božanova (hojně zastoupené v V. a VI. oblouku, na Kampě – rekonstrukce z let 1966–1975, 1996);
- opuky (opuková rovnanina uvnitř konstrukce) ze Strahova, Bílé hory a Přední Kopaniny.

Mezi stavebními kvádry V. a VI. oblouku jsou nejvíce zastoupené cenomanské křemenné pískovce (65 až 80 %), které výrazně převažují nad křemeno-kaolinitovými cenomanskými pískovci, arkóзовými pískovci až arkózami a pískovci s hydrooxidickým Fe tmelem. V IX. oblouku je tento poměr zcela odlišný. Zde je převažující horninou arkóзовý pískovec a arkóza z Kamenných Žehrovic, a to více

Tab. 5. Zastoupení makroskopicky rozlišitelných pískovců v 5. a 6. pilíři

Druh	5. pilíř	6. pilíř
křemeno-kaolinitové pískovce (Hořice)	24,5	9,4
hrubě zrnité arkóзовé pískovce až arkózy (Žehrovice)	6,1	8,9
tmavě hnědé až rudohnědé železité pískovce (Nučice)	3,5	2,3
světle hnědé až šedobílé křemenné pískovce (Božanov)	65,9	79,4

než v 80 % kamenných kvádrů. Z dalších hornin byly identifikovány hořické pískovce (2 %) a pískovce z Nehvizd a Vyšehořovic (18 %), vzácně se objevují opuky z oblasti Strahova a Bílé hory [2]. V *tabulce 5* je uveden příklad variabilního zastoupení jednotlivých horninových typů v 5. a 6. pilíři.

Zásadní v rámci petrografických studií je prokázání značné materiálové heterogenity (*obr. 11*) v tělese Karlova mostu. Tato je způsobena primárně použitými stavebními materiály různého druhu a následně výrazně prohloubena v rámci rekonstrukcí a oprav spolu s různou mírou degradace (*obr. 12*).



Obr. 11. Materiálová heterogenita stavebního kamene Karlova mostu



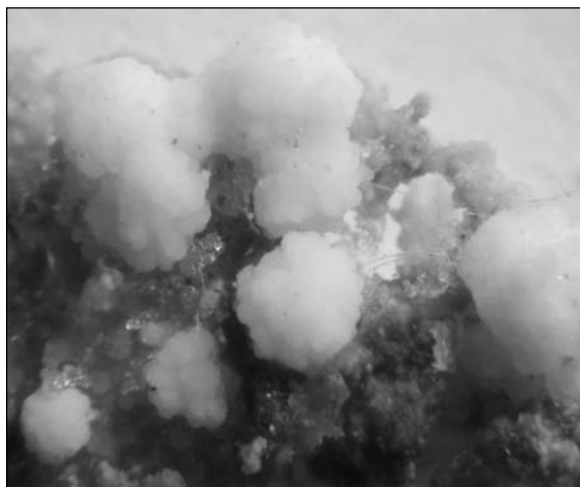
Obr. 12. Exfoliace degradovaných částí stavebního kamene místy do hloubky několika centimetrů

Chemické analýzy prokázaly, že podíl těkavých solí včetně organických látek se pohybuje v pískovcovém kameni v rozmezí od 0,70 do 3,66 %. Výsledky jsou ve velmi dobré relaci s elektronovou mikroanalýzou [1]. V návaznosti na výsledky mikroskopických rozborů provedených v letech 1994, 1999 a 2000 můžeme považovat za prokázané, že nejméně poškozené (a relativně nejodolnější) jsou božanovské pískovce. Jejich odolnost souvisí s podílem křemitého pojiva a současně s tím, že v mostní konstrukci jsou relativně krátkou dobu.

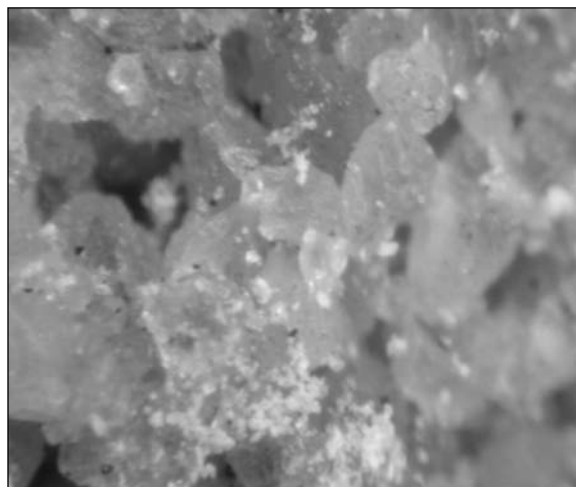
Mikroskopicky byly studovány (binokulární lupa – SEM) prostorové jevy povrchové degradace stavebních kvádrů a jejich pojiva a eflorescentů Karlova mostu. Zjištěné poznatky jsou doloženy řadou mikrofotografií (*obr. 10 až obr. 13*) a semikvantitativních analýz, které velmi dobře korelují s výsledky RTG studia [3], [4].

Pro studium solí přítomných v jádru kamenných kvádrů lícového zdiva bylo zvoleno sledování plošné distribuce vybrané skupiny prvků v hloubce 7 cm pod lícovou stranou kamene. Prostorová distribuce na vybraných vzorcích vrtných jader lícového zdiva V., VI. a IX. oblouku prokázala,

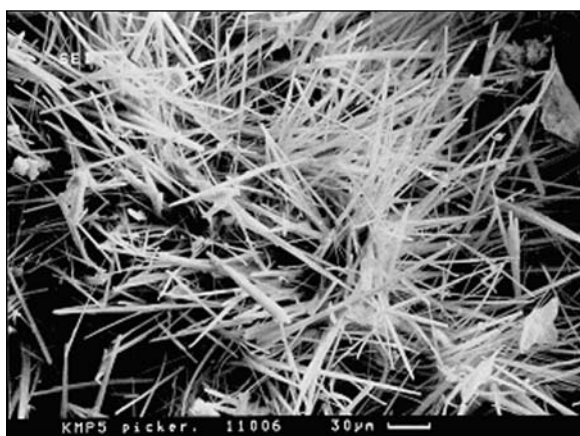




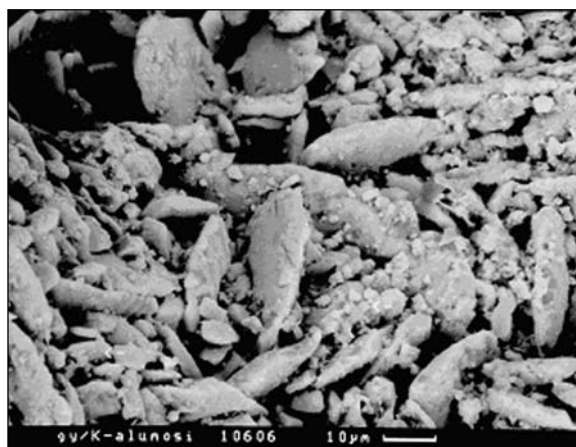
Obr. 13. Povrchové rhyolity tvořené halitem na jiném pískovcovém kvádru, v podloží jsou patrné nitráty, 9. oblouk (zvětš. 6x, foto M. Gregerová)



Obr. 14. Vyšší koncentrace nitrátů na pískovcovém kvádru, 9. oblouk (zvětš. 12x, foto M. Gregerová)



Obr. 15. Jehlicovité krystaly pickeringitu (elektronový mikroskop CamScan, SEI, foto P. Sulovský)



Obr. 16. Tabulkovité až cvočkovité krystaly sádrovce pokryté aluminosilikáty (elektronový mikroskop CamScan, SEI, foto P. Sulovský)

že vodorozpustné soli jsou zastoupeny v nitru všech studovaných pískovců. V žehrovických pískovcích byly identifikovány sodné nitrosoli a chloridy. Ve vyšehořovickém pískovci je převládající síran sodný a podružně je zastoupen síran vápenatý. V božanovském pískovci jsou to nitrosoli sodné a podružně je zastoupen síran vápenatý. Plošná distribuce chlóru v božanovském pískovci a v jednom ze dvou vzorků žehrovického pískovce naznačuje vyšší zastoupení

Tab. 6. Povrch pískovce Karlova mostu (porovnání fyzikálně chemických charakteristik r. 1994 s r. 2002)

Vzorek pískovce <sup>*)</sup>	Rok odběru	pH	Soli [mg/g]			
			NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
hořícký	1994	5,70	61,3	63,6	14,50	0,10
12. oblouk	2002	7,50	81,2	37,5	3,00	0,10
výkvěty	1994	6,60	21,0	76,6	1,60	0,32
12. oblouk	2002	7,00	69,9	17,8	4,40	0,34
hořícký	1994	6,80	7,3	35,8	2,00	0,80
vlhký, 14. oblouk	2002	6,50	12,8	21,0	13,00	0,47
arkóza	1994	7,01	9,6	44,1	1,63	5,60
14. oblouk	2002	7,00	11,6	40,9	3,60	0,84

\*) Vzorky získány rýhováním povrchu pískovce.

chloridů, než by odpovídalo pouze chloridu sodnému. Pravděpodobně zde můžeme předpokládat chlorid amonný. Nadbytek sodíku v hoříckém pískovci nám dokládá přítomnost nitrosolů.

**Koncentrace NO<sub>3</sub> a SO<sub>4</sub>** značně překračuje hodnoty uvedené ve WTA 4-5-97 pro vysokou salinitu. Od roku 1994 se výrazně zvětšila koncentrace NO<sub>3</sub> v povrchových vrstvách pískovcového obložení Karlova mostu.

Tab. 7. Pískovec – základní fyzikálně chemické a mikrobiologické parametry středů oblouků (r. 2000)

Oblouk č.	Hloubka [cm]	H <sub>2</sub> O [%]	Vodorozpustné soli [mg/g]			Bakterie [10 <sup>3</sup> ]	
			NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	hetero. <sup>*)</sup>	nitrif. <sup>**)</sup>
5	2	4,1	9,28	8,10	0,63	126	55
	5	3,8	2,44	0,67	0,44	50	27
	10	3,0	0,98	0,55	0,30	0	40
6	2	5,1	15,05	5,94	0,94	1040	111
	5	4,6	14,17	2,55	1,11	100	60
	10	4,9	14,94	0,99	1,10	20	47
9	2	16,8	0,49	24,4	0,38	315	116
	5	18,1	0,12	2,55	0,22	80	20
	10	16,4	0,14	0,55	0,19	630	28

\*) chemoorganotrofní mikroorganizmy, \*\*) nitrifikační mikroorganizmy

Tab. 8. Pískovec – základní fyzikálně chemické a biologické parametry pat pilířů cca 1 m nad vodní hladinou (r. 2000)

Pilíř č.	H <sub>2</sub> O [%]	pH	Vodorozpustné soli [mg/g]			Bakterie [10 <sup>3</sup> ]	
			NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	hetero. *)	nitrif. **)
6	4,3	7,5	15,11	3,11	0,62	700	150
8	3,8	8,0	9,72	9,89	0,40	2520	96
10	3,6	7,5	11,00	12,94	0,55	3000	75
14	8,5	7,9	9,67	11,10	2,39	5040	135
16	8,5	8,5	13,14	13,00	10,33	1890	46

\*) hetero-chemoorganotrofní mikroorganismy

\*\*) nitrifikační mikroorganismy

**Obsah chloridů** v pískovcích je téměř homogenní a pohybuje se podle WTA 4-5-97 v oblasti nízkého až středního zasolení. Proti původnímu materiálu je však stále zvýšen o jeden řád (Božanovský pískovec 0,013 mg/g materiálu, hořícký pískovec 0,028 mg/g materiálu, Kamenné Žehrovice 0,012 mg/g materiálu).

**Obsah dusičnanů** je téměř ve všech místech pískovcového obložení vysoký (oblouk V., VI., pilíře č. 6 až 16) a značně překračuje hodnoty uvedené v normě WTA 4-5-97 pro vysokou salinitu. Dusičnany hrají v chemické korozi Karlova mostu dominantní roli a od roku 1994 se jejich obsah výrazně zvýšil. Navíc koncentrace solí silně kolísají, což je nutné přičíst jejich vysoké vodorozpustnosti a vysoké migrační schopnosti. Vzestup obsahu dusičnanů je dobře patrný při porovnání s původními horninami. Božanovský a hořícký pískovec obsahují 0,0005 – 0,0020 mg NO<sub>3</sub>/g materiálu, kámen Karlova mostu až 22 mg NO<sub>3</sub>/g materiálu. Rovněž obsah vodorozpustných síranů ve většině případů překračuje hodnoty uvedené ve WTA 4-5-97 pro vysokou salinitu (obl. VI., IX., pilíře č. 6 až 16).

Tab. 9. Močovina a amoniak v pískovcových kamenech Karlova mostu (r. 2000)

Oblouk č.	Hloubka [cm]	Močovina	Amoniak
		[mg/g]	
5	2	0,05	0,000
	5	0,11	0,006
	10	0,16	0,004
6	2	0,44	0,021
	5	0,44	0,000
	10	0,28	0,000
9	2	0,11	0,001
	5	0,11	0,000
	10	0,08	0,000

**Obsah močoviny** (pravděpodobně zbytek posypových solí) je velmi nízký. Pozoruhodné je, že v tělese Karlova mostu neklesá, v některých místech se mírně zvětšuje. **Obsah amoniaku** je velmi nízký. Koncentrace amoniaku v souladu s omezením posypu Karlova mostu močovinou v porovnání s r. 1994 ubývá. Postačuje však ve všech případech k započítání intenzivních nitrifikačních procesů, které přispívají k vysokému obsahu dusičnanů v tělese mostu.

**Mikrobiální osídlení** se v roce 2000 v porovnání s rokem 1994 výrazně zvýšilo. V závislosti na zvýšení množství bakterií se naopak výrazně snížil počet korozně aktivních mi-

Tab. 10. Mikroflóra pat pilířů Karlova mostu cca 1 m nad vodní hladinou, mikroflóra středu oblouků Karlova mostu (r. 2000)

Pilíř č.	Hloubka [cm]	Bakterie			Plísň [10 <sup>2</sup> ]
		chemoorg.	nitrif.	sírné	
6	2	700	150	5,0	0
	5	126	7	1,6	0
	10	126	3	0,1	0
8	2	2520	96	3,0	0
	5	63	20	5,0	0
	10	63	8	2,0	0
10	2	3000	75	1,8	2
	5	400	55	0,3	0
	10	20	45	0,1	0
14	2	5040	135	0,0	1
	5	4000	60	1,2	0
	10	0	34	0,1	0
16	2	1890	46	0,1	0
	5	1000	43	0,7	0
	10	0	11	0,5	0
Oblouk č.					Plísň [10 <sup>3</sup> ]
5	2	126	55	1,8	0
	5	50	27	1,0	0
	10	0	40	1,3	0
6	2	1040	111	1,3	50
	5	100	60	0,5	0
	10	20	47	0,8	0
9	2	315	116	0,5	0
	5	80	20	1,7	1
	10	63	28	1,1	0

kromycet. Pouze ojediněle se vyskytovaly plísň typické pro vlhčí zdivo, Cladosporium, Acremonium, Penicillium, Aspergillus spp. Takovéto cyklické změny celkového počtu bakterií a plísni jsou charakteristické pro půdní podmínky, ale lze se s nimi setkat i na historickém zdivu.

Celkové počty **chemoorganotrofních bakterií a bakterií s nitrifikačními vlastnostmi** nalezené v povrchových vrstvách pískovcového kamene v roce 2000 jsou vysoké a překračují empiricky zvolenou hraniční hodnotu 10<sup>4</sup>, resp. 10<sup>5</sup> zárodků na 1 g pískovce. Druhá divergence je však malá. Typičtí jsou zástupci rodů Bacillus, Pseudomonas, Micrococcus, Arthrobacter, Proteus, Actinomyces a některé dosud neidentifikované formy bakterií, kvasinek a plísni.

**Sírných bakterií** je relativně méně. Jejich počet nedosahuje prozatím kritických hodnot. **Plísňová mikroflóra** je velice chudá a nezasahuje podstatně do biodegradčního procesu [8].

Z každého vzorku pískovce byly získány dva zkušební válce, aby bylo možné zjistit **pevnost v tlaku ve stavu vysušeném a nasyceném vodou**. Všechny válce měly výšku v rozmezí 53 až 54 mm shodnou s průměrem, výjimkou byla dvojice zkušebních těles ze vzorku 9 V s mírně zkrácenou výškou vzhledem k jeho malé délce. Výsledky zkoušek pevnosti v tlaku ve stavu vysušeném, resp. nasyceném vodou, a porovnání obou pevností s vypočteným ukazatelem změknutí je uvedeno v tab. 11. Hodnoty objemové hmotnosti ve stavu vysušeném a nasyceném, hmotnostní nasákavosti a objemové nasákavosti (zdánlivé pórovitosti) jsou zaznamenány v tab. 12.

Tab. 11. Pevnost v tlaku a ukazatel změknutí  $KZ_c$  pískovce

Pevnost v tlaku pískovce ve stavu vysušeném							
Vzorek č.	Stav (vlhkost)	Průměr	Výška	Hmotnost suchého $m_s$	Maximální síla $F$	Objemová hmotnost $\rho$	Pevnost v tlaku $R_c$
		$d$	$l$				
		[mm]		[g]	[kN]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[MPa]
6 MS / 1	vysušený	53,80	53,75	247,69	74,0	2 027	<b>32,6</b>
6 S / 1	vysušený	53,00	53,70	232,35	63,1	1 961	<b>28,6</b>
6 V / 1	vysušený	53,60	53,90	238,34	56,3	1 960	<b>25,0</b>
9 S / 1	vysušený	54,00	53,95	272,43	107,0	2 205	<b>46,7</b>
9 V / 1	vysušený	53,95	48,50	200,49	41,0	1 808	<b>17,9</b>
9 MS / 1	vysušený	53,70	54,00	246,40	111,0	2 015	<b>49,0</b>
Pevnost v tlaku pískovce ve stavu nasyceném							
6 MS / 2	nasycený	53,90	54,30	268,18	58,1	2 165	<b>25,5</b>
6 S / 2	nasycený	53,50	53,15	253,80	22,0	2 124	<b>9,8</b>
6 V / 2	nasycený	53,45	54,00	258,54	22,7	2 134	<b>10,1</b>
9 S / 2	nasycený	53,95	53,85	282,45	96,0	2 294	<b>42,0</b>
9 V / 2	nasycený	53,65	49,70	232,48	31,6	2 069	<b>14,0</b>
9 MS / 2	nasycený	53,90	53,50	259,92	75,2	2 129	<b>33,0</b>
Orientační hodnoty ukazatele změknutí $KZ_c$							
Vzorek vysušený	Pevnost v tlaku $R_c$ [MPa]	Vzorek nasycený	Pevnost v tlaku $R_{c,n}$ [MPa]	Ukazatel změknutí $KZ_c$			
6 MS / 1	32,6	6 MS / 2	25,5	<b>0,78</b>			
6 S / 1	28,6	6 S / 2	9,8	<b>0,34</b>			
6 V / 1	25,0	6 V / 2	10,1	<b>0,40</b>			
9 S / 1	46,7	9 S / 2	42,0	<b>0,90</b>			
9 V / 1	17,9	9 V / 2	14,0	<b>0,78</b>			
9 MS / 1	49,0	9 MS / 2	33,0	<b>0,67</b>			

Všechny vzorky měly v nasyceném stavu menší pevnost než ve stavu vysušeném. Překvapující skutečnost byla zaznamenána u vzorků 6 S a 6 V, u nichž klesla pevnost v tlaku v nasyceném stavu na 34 a 40 % pevnosti zjištěné ve stavu vysušeném. U zbývajících čtyř vzorků (6 MS, 9 S, 9 V a 9 MS) se hodnota ukazatele změknutí pohybovala v rozmezí 0,67 až 0,90.

## Souhrn

**Vliv anorganických solí vnesených do kamene buď ve formě posypových solí, nebo reakcí s atmosférickými polutanty významně zatěžuje zejména pískovcové kameny Karlova mostu.** Aby bylo dosaženo rovnováhy vlhkosti vnitřního a vnějšího prostředí při navlhání kamene, soli

vzhledem ke svým hygroskopickým vlastnostem přijímají nebo uvolňují vodu za přechodu na krystalickou formu. Jak krystalizace z roztoku, tak i hydratační změny solí jsou provázány hydratačními a krystalizačními tlaky, které dosahují vysokých hodnot ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – 111 MPa,  $\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – 130 MPa), které již mají vliv na tvorbu dilatačních spár či mikrotrhlin v kameni. Vzhledem k vysokým koncentracím solí v kameni lze odůvodněně tvrdit, že hydratační a krystalizační tlaky se účastní tvorby mikrotrhlin v kameni, které se dále zvětšují, a tím zvyšují povrch reakční ploch stavebního materiálu. Tímto způsobem (společně se statickými poruchami) dochází k tvorbě trhlinového systému, který již ohrožuje stabilitu povrchových vrstev kamene.

Jak ukázaly dřívější chemické analýzy, mikrobi rovněž produkují do kamene množství organických kyselin, které uvolňují z minerálů v kameni a v dalších konstrukčních materiálech  $\text{Ca}^{2+}$ . Jako významný druhotný metabolit je nutno uvést  $\text{KNO}_3$ , který se účastní tvorby solných krust a výrazně degraduje povrchovou strukturu kamene. Vzhledem k tomu, že na řadě míst byly nalezeny sírné bakterie, je pravděpodobné, že určitá část síranových krust i síranů v kameni je rovněž tvořena mikroorganismy. Veškeré zmíněné metabolity mikrobu oslabují pojivovou složku kamene a napadají jílové minerály kamene za tvorby solí (dusičnany, sírany, citrany, salicylany, oxalocitany, mravenčany aj.), které ucpávají či otevírají póry kamene a přispívají i k transformaci v kameni obsa-

Tab. 12. Objemová hmotnost ve stavu vysušeném a nasyceném, nasákavost po 48 h, nasákavost po ustálení hmotnosti a zdánlivá pórovitost pískovců

Oblouk	Označení tělesa	Objemová hmotnost		Nasákavost		Zdánlivá pórovitost
		ve vysušeném stavu $\rho$	v nasyceném stavu $\rho_n$	po 48 h $NV_{48}$	po ustálení $NV$	
		[kg/m <sup>3</sup> ]		[%]		
VI.	6 MS	2 071	2 210	6,10	6,71	13,90
VI.	6 S	1 978	2 152	8,15	8,78	17,37
VI.	6 V	1 995	2 154	7,38	8,00	15,96
IX.	9 S	2 222	2 323	4,07	4,54	10,08
IX.	9 V	1 858	2 108	12,77	13,45	24,99
IX.	9 MS	1 995	2 156	7,40	8,06	16,08

Tab. 13. Kvantifikace a klasifikace vybraných poruchových jevů na plochách kleneb oblouků V., VI., IX.

Oblouk č.	CV/m <sup>2</sup>	MK/m <sup>2</sup>	ZK/m <sup>2</sup>	VZ/m <sup>2</sup>	MS/m	OSRT/m
V.	+2,0	-31,2	+1,7	+0,55	+0,6	+2,3
VI.	+10,2	-74,5	+0,4	+0,40	+0,7	+5,4
IX.	+7,0	+140,8	+1,8	+1,80	+12,3	+9,7

V tabulce je uveden rozdíl hodnot naměřených v roce 1999 a 2000 (podle PÚDIS, a. s.)

žených minerálů. Hydratační a rekrystalizační tlaky mikrobiálních solí v kameni urychlují tvorbu mikrotrhlin v kameni a zvyšují nestabilitu povrchových vrstev kamene. Urychlení celkového stárnutí pískovcových kamenů je dále dáno oboustranným gradientem vlhkosti, který umožňuje jak vyplavování, tak migraci lehce rozpustných solí do hloubky pískovcového kamene.

Provedené sondy (obr. 17) a analýzy dokládají značnou rozdílnost fyzikálně mechanických, chemických, petrografických a mineralogických vlastností výplňových vrstev a kamenných bloků mostní konstrukce. Průzkumné sondy ukazují na značné rozdíly nejen v kvalitě, ale i provedení, mocnosti a konstrukčního uspořádání výplňových vrstev tělesa mostu proti projektu. Průzkum prokázal, že rozdílná vlhkost jednotlivých konstrukčních materiálů v závislosti na intenzitě místního zatékání srážkové vody má významný vliv na sledované vlastnosti (porozita, objemová hmotnost, dilatometrické vlastnosti, mechanické vlastnosti apod.).

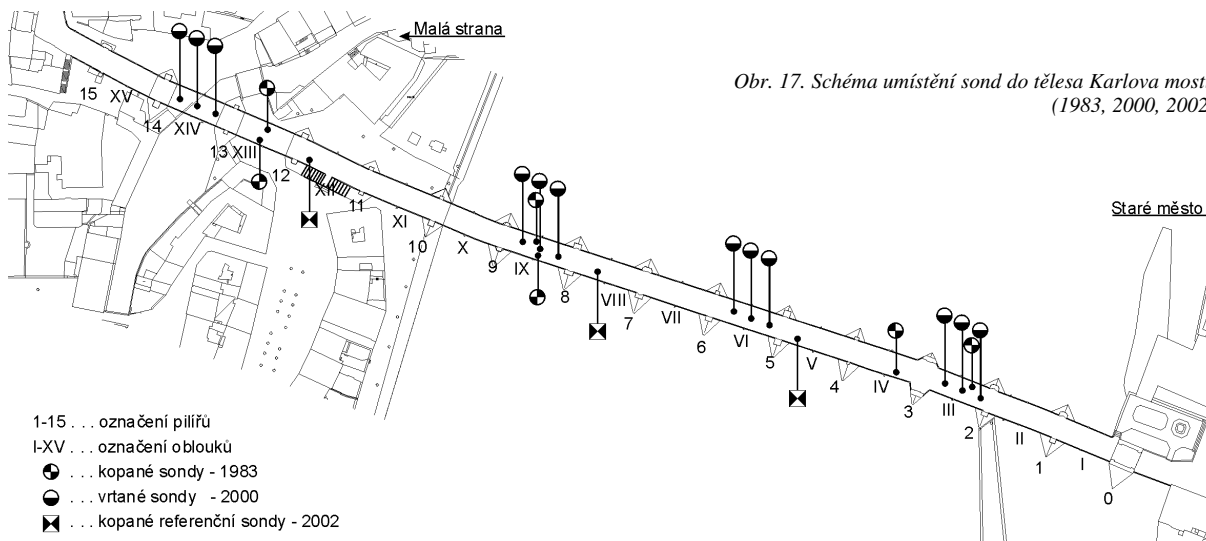
Kvádrové zdivo je jak z lícní, tak z rubové strany vystaveno faktorům degradace, přičemž míru degradace je nutno posuzovat individuálně u jednotlivých bloků. Pro dokumentaci různého stupně degradace lícní strany stavebních kamenů kleneb oblouků Karlova mostu byla použita metodika hodnotící stupeň degradace podle makroskopických projevů degradace povrchu kamenných kvádrů v kombinaci s detailním mikroskopickým studiem sekundárních minerálů. Klasifikace povrchových jevů, např. na V., VI. a IX. oblouku prokázala, že během jednoho roku došlo ke zvětšení povrchu zvětralých kvádrů, zvětšení plochy vypadaného zdiva a zvýšila se i délka mokrých spár. U oblouků V. a VI. došlo téměř ke dvojnásobnému zvětšení plochy s výskytem kalcitových, resp. solných výkvětů.

Vzestup vlhkosti kamenů v některých místech klenbových oblouků směrem dovnitř tělesa mostu je dokladem intenzivního zatékání srážkové vody do tělesa mostu. Dosaďovací průzkum přinesl v potřebném rozsahu informace o změně vlhkosti zdiva z pískovcových kvádrů, změně

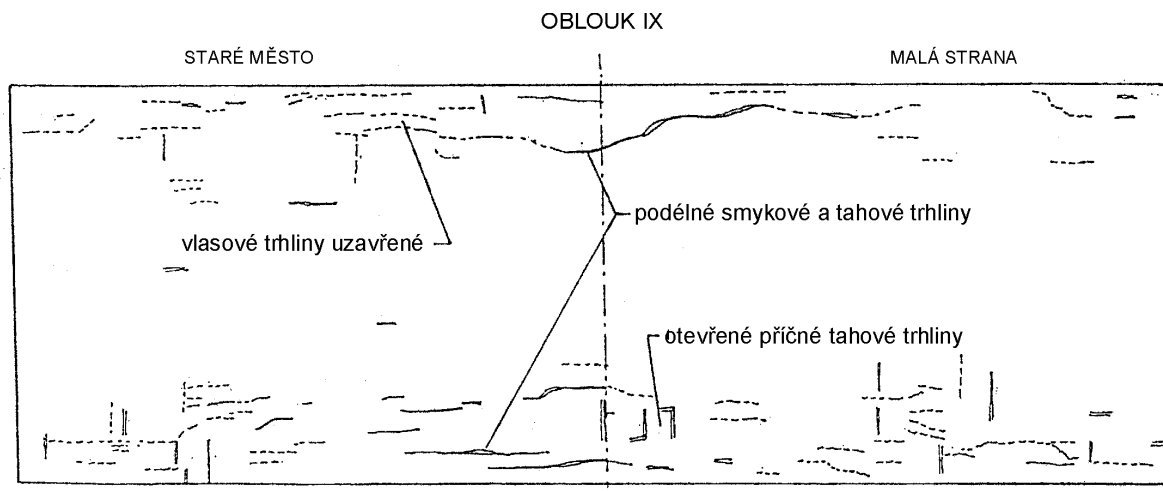
chemického složení (vodorozpustné soli), obsahu mikroorganismů a obsahu novotvořených minerálních asociací. Například vlhkost u IX. oblouku stoupla v povrchových vrstvách za šest let ze 6,2 na 16,8 % hm. v r. 2000. Vlhkost pilíře č. 8 stoupla v povrchové vrstvě za stejné období z 2,2 na 8,5 % hm. V případě vodorozpustných solí vzrostl obsah dusičnanů za šest let v povrchové vrstvě např. VI. oblouku z 11 na 15 mg/g horniny. Obsah chloridů na IX. oblouku u 8. pilíře stoupl během jednoho roku z 7,9 na 10,3 mg/g horniny. Ještě větší jsou rozdíly zjištěné v hlubších vrstvách (5 až 10 cm) kamene. Od roku 1994 do roku 2000 průběžně vzrůstá obsah močoviny, a to z 0,028 na 0,120 mg/g. Celkový počet chemoorganotrofních bakterií stoupl např. na povrchu VI. oblouku 103x, pětkrát se zvýšil obsah nitrifikačních bakterií. V povrchových eflorescentech během šesti let došlo ke změnám ve vzájemném poměru síranů a dusičnanů. Poklesl obsah sádrovce a stoupl obsah vodorozpustných síranů. Změna obsahu dusičnanů je v přičinné souvislosti s rostoucím obsahem nitrifikačních bakterií.

### 3. Dlouhodobé přetvoření a mechanické poruchy

Hlavním projevem **mechanických poruch** Karlova mostu jsou na lícní ploše **klenbových oblouků** vizuálně pozorovatelné převážně vlasové až výrazné podélné tahové a smykové trhliny procházející jak spárami kamenného zdiva, tak kamennými bloky. Rozsah a intenzita narušení kamenného zdiva jednotlivých klenbových oblouků jsou rozdílné. Některé klenbové oblouky jsou porušeny výraznými podélnými trhlinami šířky až několik milimetrů (oblouky I., III., IX.), které procházejí přes několik vrstev zdiva a jsou převážně situovány ve vrcholu, poblíž okrajů klenby, v místě uložení čelní (poprsní) zdi. Vznik a rozvoj těchto trhlin souvisí s vertikálními deformacemi klenbových oblouků způsobených teplotními změnami v průběhu ročního období („protlačování“ klenbových oblouků v letním ob-



Obr. 17. Schéma umístění sond do tělesa Karlova mostu (1983, 2000, 2002)



Obr. 18. Schéma tahových a smykových trhlin na lícni ploše IX. klenbového oblouku (podle PÚDIS, a. s. – 1994)

dobí – obr. 21). Ostatní trhliny, zpravidla lokální neprůběžné, jsou situovány v různých místech a nelze vysledovat další zákonitosti (obr. 19). Numerická analýza mostního klenbového pole prokázala výskyt příčných tahových napětí  $\sigma_y$ , zejména v oblastech mostní klenby přiléhajících k poprsním zdem, způsobených účinkem svislého zatížení a teploty, které přesahují únosnost kamenného zdiva v tahu. Při předpokládaném sprážením poprsních zdí železobetonovou deskou (projektové řešení) dochází ke snížení celkových deformací příčného průřezu, avšak za cenu podstatného zvýšení příčných tahových napětí  $+\sigma_y$ , která narušují kamenné zdivo tahovými trhlinami (obr. 18).

**Čelní – poprsní zdi** jsou místně porušeny trhlinami v patní ložné spáře mezi klenbou a zdí a trhlinami v ložné spáře v úrovni maltového lože a ochranné betonové vrstvy pod žulovou dlažbou (u oblouku XIII. je ve spáře patrný i vodorovný posuv, v okolí porušených ložných spár usazené vyplavené soli, obr. 20a). Výrazné trhliny lze pozorovat na rozhraní mezi krajními oblouky mostních klenb a částmi vystupujících mostních pilířů (obr. 20c, d). Řada výrazných vodorovných trhlin je porovnatelná, v ložné spáře pod nejvyšší řadou kamenných bloků v poprsních zdech včetně uvolněných bloků a narušených částí v místech výklenků po sochy.

Ve velkém rozsahu lze dokumentovat povrchové až hloubkové **narušení lícních ploch kamenných bloků**, zejména mostních klenb (obr. 20b).

V průběhu celoročního cyklu dochází účinkem změny teploty ke **svislým deformacím** – vzepětí a zploštění klenby, které ve vrcholu klenb dosahují hodnot v rozsahu 1/7500 až 1/2500 rozponu klenby, přičemž charakter průběhu svislých deformací odpovídá průběhu venkovních teplot v souladu s ročním obdobím. Hodnota rozdílu naměřených svislých deformací daná rozdílem nejvyšší kladné (vzepětí) a nejvyšší záporné (pokles, zploštění) hodnoty leží v intervalu 2 až 10 mm. Hodnota rozdílu trvalých svislých deformací dosahuje např. v klenbovém poli č. XIV – 7,9 mm (rozdíly měření 4/84 a měření 9/88). Celkové hodnoty trvalých deformací (přetvoření) sledovaných klenbových oblouků dosahují postupně v čase vyšších hodnot (přibližně 0,4 až 0,7 mm/rok) a jejich důsledkem je postupné narušování (vznik trhlin ve spárách zdiva) a dezintegrace kamenného zdiva (obr. 21).

Rozdílná teplota po průřezu kamenné mostní konstrukce a její cyklická změna v čase je příčinou tvarových změn mostní konstrukce provázených **vodorovnými deformacemi**

poprsních zdí. Při pomalejším chladnutí železobetonové desky chráněné vrstvou keramzitbetonu proti rychlejšímu chladnutí kamenné mostní konstrukce vystavené bezprostředně změně teploty vnějšího prostředí působí železobetonová deska jako rozpěra, jejímž účinkem dochází k vodorovné deformaci poprsních zdí (obr. 21).

Vznik strukturálních trhlin, jejich rozvoj a následné porušení kamenného zdiva při cyklickém působení teploty a vlhkosti nastává dosažením kritických a mezních deformací, nikoli dosažením mezních hodnot namáhání. Historie tohoto procesu postupného narušování závisí na četnosti a intenzitě zatěžovacích cyklů, a současně na šíři pružné a pružně plastické oblasti zdiva. V případě kamenného zdiva je tato šíře relativně malá a je charakteristická zvětšováním trvalých přetvoření provázených vznikem a rozvojem tahových a smykových trhlin, popř. drcením výplně ložných spár a kamenných bloků a postupnou dezintegrací zdiva.

Experimentální sledování stavu a rozvoje trhlin kamenné konstrukce a náklonu poprsních zdí Karlova mostu (mostní oblouky V., VI., IX) prokázalo, že u sledovaných oblouků dochází k postupnému nárůstu délky otevřených trhlin.

Podobně byl zjištěn v rámci posledního výzkumu i výraznější podíl hodnot **vodorovných deformací** rostoucího náklonu některých poprsních zdí proti podílu hodnot stagnujících (porovnání naměřených hodnot z 11/92 a 05/00, PÚDIS, a. s.).

#### 4. Numerická analýza napjatosti a deformací kamenné konstrukce mostu

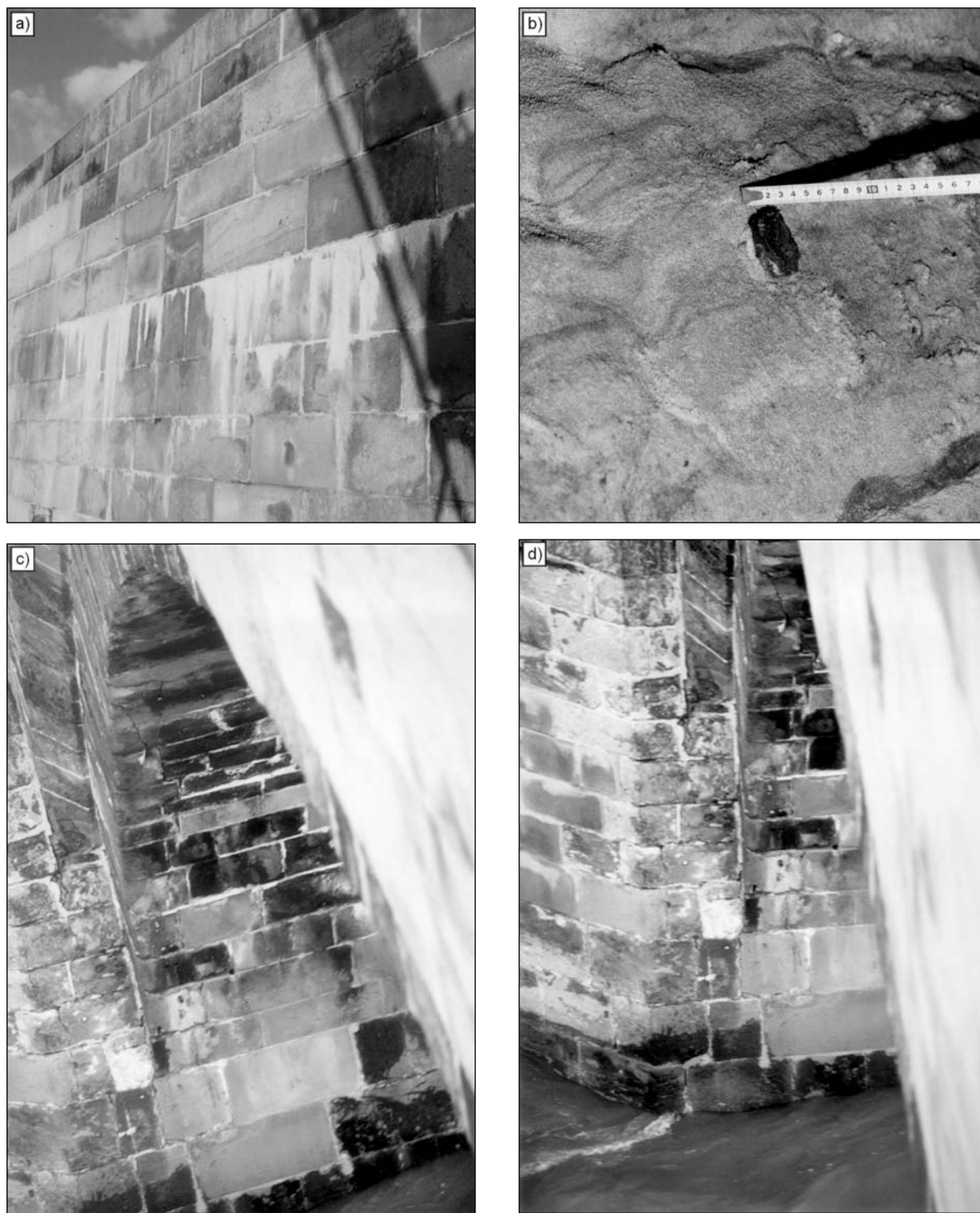
Vytvoření výstižného výpočtového materiálového modelu kamenné konstrukce Karlova mostu by vyžadovalo identifikaci hornin jednotlivých stavebních kamenů, stupně jejich zvětření a vlhkosti a experimentální stanovení jejich fyzikálně mechanických vlastností. Je zřejmé, že takováto úloha je prakticky neřešitelná. Numerická analýza heterogenní kamenné mostní konstrukce vyžaduje přijetí řady zjednodušujících předpokladů, a to jak z hlediska materiálového modelu, tak i geometrického modelu a modelu zatížení vlastní tíhou výplňových vrstev a kamenné konstrukce. S přihlédnutím k těmto skutečnostem je nutné interpretovat výsledky numerických analýz napjatosti a deformace „idealizované“ mostní konstrukce od účinků svislého zatížení a nesilových zatížení. Obtížné je i stanovení fyzikálně mechanických vlastností, např. smykové tuhosti a rozpěrných účinků opukové rovnániny, kontaktních vrstev, rozsah inte-



Obr. 19. Tahové trhliny, prosakování srážkové vody a usazené soli na lícní ploše mostních kleneb (a, b); narušení klenbového zdiva v místě uložení poprsní zdi (c); trhliny v poprsní zdi (d)

rakce keramzitbetonu a betonové desky vyztužené diagonální sítí apod. Například kopané sondy (oblouk V., VIII., XII., 2002) ukazují staticky neúčinné, problematické zakotvení

betonové desky do kamenné mostní konstrukce, popř. úplnou absenci železobetonové desky (oblouk V., 2002, oblouk XIII., 1983). Z obrázku 22 je současně patrný

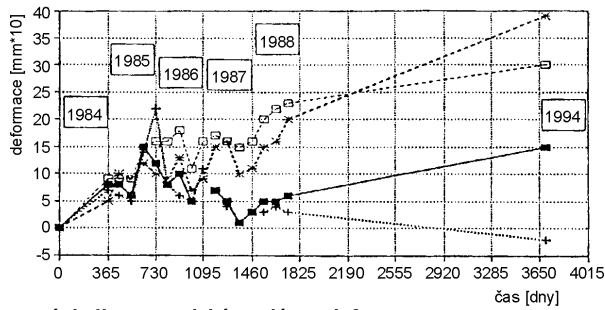


Obr. 20. Vyplavené soli v místě narušené ložné spáry (a), pokročilá degradace povrchových vrstev pískovcových bloků (b), trhliny a narušení v patě klenby, ve styku s mostním pilířem (c, d)

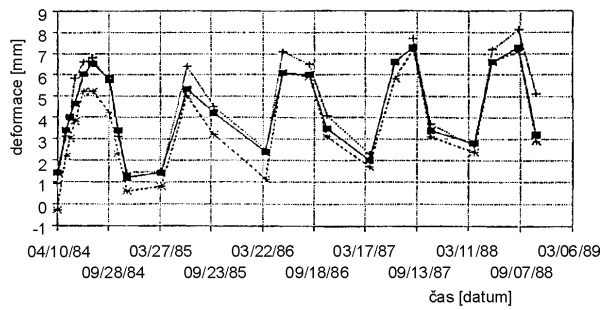
značný rozsah narušení rubových ploch kamenných bloků poprsní zdi v rozsahu nově provedených vrstev, nekvalitní provedení hydroizolační vrstvy bez odpovídajícího ukončení u poprsní zdi, částečně již rozpadlý keramzitbeton a „opukovou rovnatinu“ se spárami vyplněnými vápenocementovou maltou. Průzkumné vrtané i kopané sondy prokázaly značné rozdíly v mocnosti jednotlivých vrstev, v jejich fyzikálně mechanických vlastnostech i ve složení výplně tělesa mostu (obr. 4). V řadě případů je proto nutné omezit se především na kvalitativní analýzu.

V následující části jsou uvedeny dílčí výsledky numerické analýzy MKP mostního klenbového pole o rozpětí 22,62 m s tloušťkou kamenného zdiva klenby 0,90 m. Vzhledem k celkovému uspořádání klenbové mostní konstrukce – kamenné klenbové oblouky vetknuté do mohutných mostních pilířů (rozměrů 8,5 až 10,8 m x 24 až 25 m) – byla numerická analýza účinku svislých zatížení a účinku teploty provedena na výseku mostní konstrukce v rozsahu jednoho mostního pole včetně přilehlých částí poprsních zdí nad mostními pilíři.

• experimentálně naměřené hodnoty  
vodorovné deformace - oblouk V

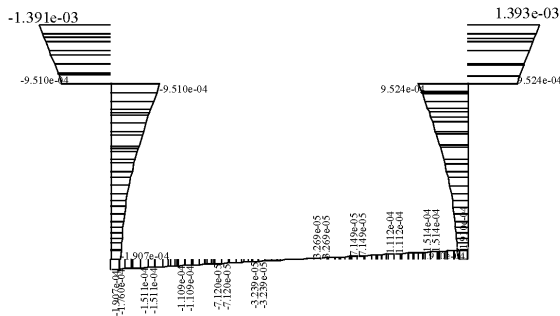


svislé deformace - oblouk V

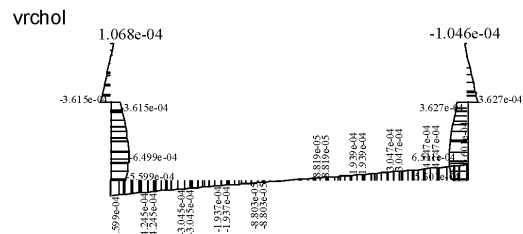
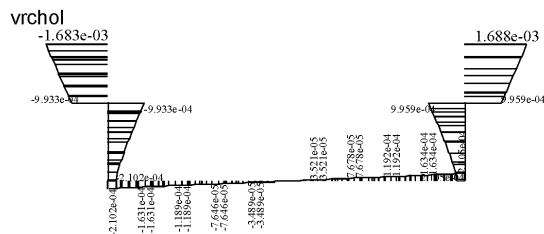
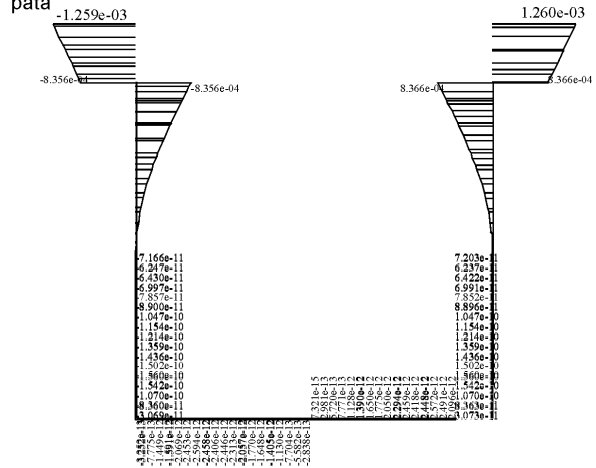


• výsledky numerické analýzy - deformace

deska +15°C, ostatní +5°C  
oblouk



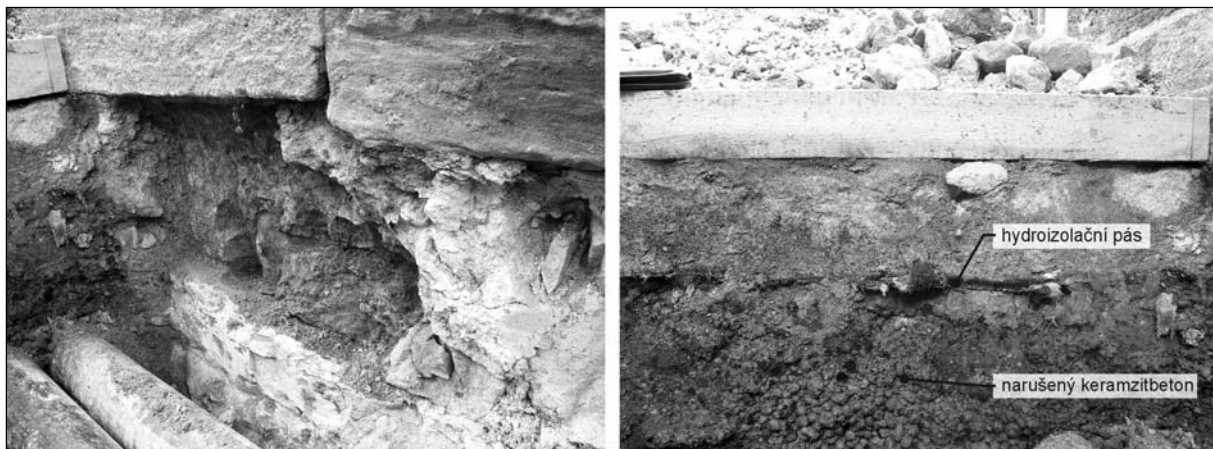
deska +5°C, ostatní +15°C  
pata



Obr. 21. Vodorovné deformace protilehlých poprsních zdí a svislé deformace vrcholových průřezů mostních kleneb

V současné době je Karlův most využíván jako pěší komunikace (nahodilé zatížení 5,0 kNm<sup>2</sup>,  $\gamma_f = 1,2$  nákladní a jiné automobily, jejichž hmotnost nepřesahuje 2,5 t, ČSN 73 0035, tab. 3).

Nekonstantní průběh teploty po průřezu masivní mostní konstrukce způsobuje cyklické tvarové změny mostní konstrukce, které jsou příčinou postupného vzniku a rozvoje trhlin v oblastech tahových napětí a trvalých přetvoření.



Obr. 22. Hluboké narušení rubových ploch kamenných oblouků poprsních zdí, nekvalitní provedení hydroizolace a degradovaný keramzitbeton (oblouk XII.)



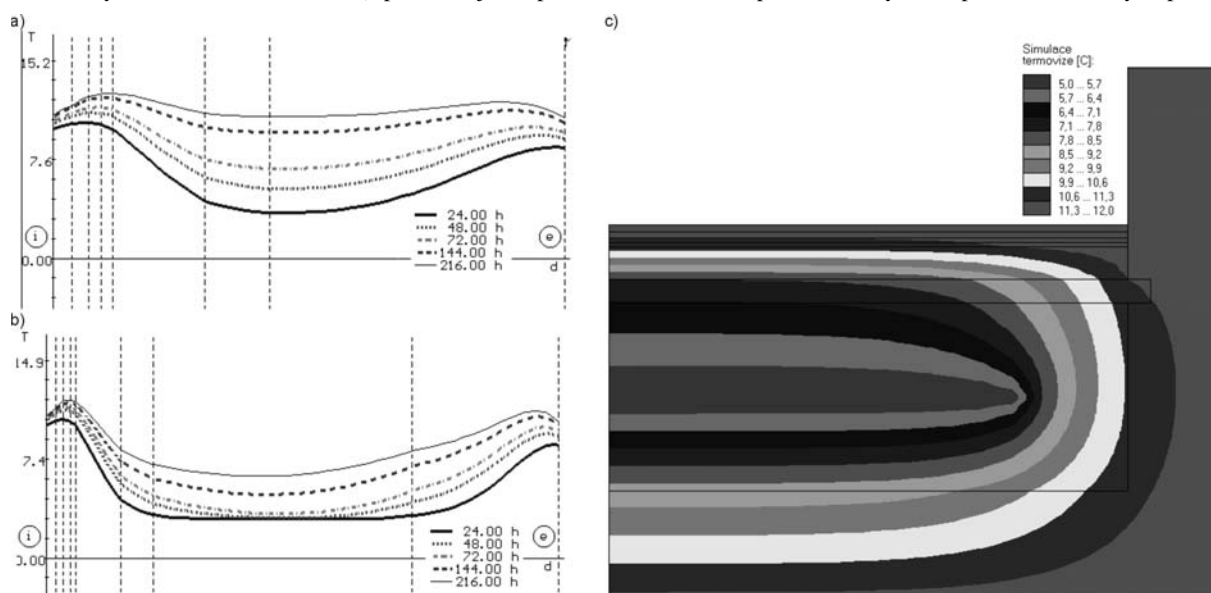


Obr. 23. Kotvení železobetonové desky v poprsní zdi (oblouk XII.), absence výztuže betonové desky (oblouk V.)

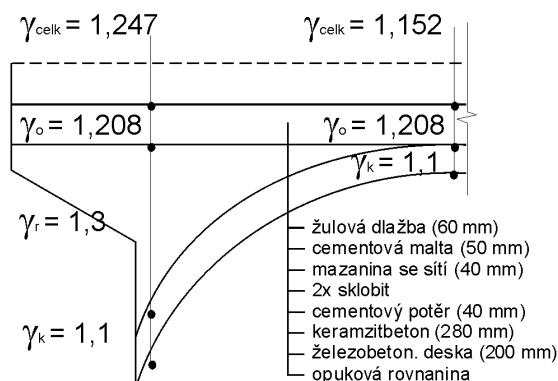
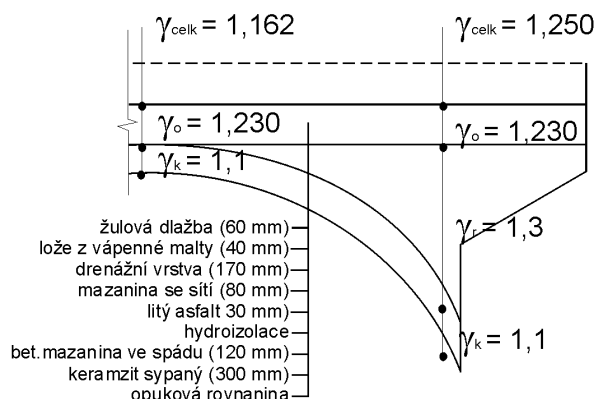
Situování tepelně izolační vrstvy z keramzitbetonu při povrchu výplňových vrstev tělesa mostu zvyšuje, zejména v přechodných obdobích, krátkodobě gradient teploty po průřezu mostní konstrukce, především rozdíl teploty vnitřního a vnějšího povrchu a teploty železobetonové desky. Numerická analýza deformací a napjatosti kamenné mostní konstrukce účinkem teploty byla provedena pro dva zatěžovací stavy  $+5/-5$  °C a  $-5/+5$  °C (teplota vnějšího povr-

chu/teplota vnitřního povrchu kamenné mostní konstrukce) a zatěžovací stavy rozdílné teploty železobetonové desky a kamenné mostní konstrukce  $+5/+15$  °C a  $+15/+5$  °C (teplota mostní konstrukce/teplota železobetonové desky, obr. 24).

Vzhledem k celkovému uspořádání tělesa mostu je ve výpočtu uvažován rozpěrný účinek opukové rovnániny jako „zemní“ tlak v klidu. Výpočet hodnot zatížení je proveden v souladu s proměnnou výškou opukové rovnániny odpoví-



Obr. 24. a) Průběh teploty v železobetonové desce ve vrcholu oblouku v jarním období (výchozí teplota desky  $+3$  °C, průměrná denní teplota  $12$  °C s amplitudou  $6$  °C); b) dto  $1/3$  rozpětí oblouku; c) orientační teplotní pole  $1/3$  rozpětí oblouku – jaro, 6. den vzestupu teplot)

součinitele  $\gamma$  - původní skladbasoučinitele  $\gamma$  - nová skladba mostovkyObr. 25. Skladba mostovky a součinitele zatížení  $\gamma_f$ 

dající podélnému průřezu klenby, hodnotě úhlu vnitřního tření  $\varphi = 44^\circ$  a objemové hmotnosti  $1\,800\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Hodnota proměnného účinku rozpěrného tlaku zavedená do statické analýzy v úrovni patní spáry poprsní zdi se pohybuje od 16 (ve vrcholu) do  $40,3\text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$  (v patě klenby). Na horní úrovni opukové rovnaniny dosahuje účinek rozpěrného tlaku hodnoty  $8\text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$  (účinek tíhy nadložních vrstev). Hodnoty součinitelů zatížení  $\gamma_f$  pro skladbu vrstev mostního tělesa jsou patrné z obr. 25.

Na základě statistického vyhodnocení souboru experimentálně stanovených pevností a modulu pružnosti v tlaku pískovcových vzorků odebraných z kamenných bloků (výběr 17 vzorků odebraných z pískovcových bloků z líce šesti různých klenbových oblouků – hloubka odběru do 200 mm) byla určena průměrná pevnost pískovce v tlaku  $34,32\text{ MPa}$  a průměrný modul pružnosti pískovce v tlaku  $5\,355\text{ MPa}$ . Hodnota výpočtové pevnosti kamenného zdiva stanovená extrapolací hodnot uvedených v ČSN 73 1101, tab. 2, pro zdivo řádkové čistě (jakosti III) a maltu kvality 0,4 MPa činí  $R_{\text{ms,d}} = 1,75\text{ MPa}$ . V souladu s ČSN 73 0038 byla vypočtena upravená výpočtová pevnost zdiva s přihlédnutím k vlhkosti, celistvosti a kvalitě zdiva a podrobnosti průzkumu  $R_d = 1,56\text{ MPa}$ .

Numerická analýza MKP byla provedena pro výpočtový model materiálový a výpočtové modely konstrukce znázorněné na obr. 26. Použité výpočtové modely odpovídají pravděpodobným stavům působení kamenné mostní konstrukce, a tím umožňují v potřebném rozsahu posoudit její statickou spolehlivost a objasnit příčiny vzniku trhlin a přetvoření. Ve výpočtu není uvažováno spolupůsobení kamenné mostní konstrukce s jednotlivými výplňovými vrstvami tělesa mostu s výjimkou železobetonové desky (stávající stav), popř. předepnutých táhel (navrhovaný stav).

Díličí výsledky numerické analýzy v charakteristických řezech klenbové mostní konstrukce jsou graficky znázorněny na obr. 27 a obr. 28. Souhrnné porovnání číselných hodnot normálových napětí a deformací je uvedeno na obr. 29 a obr. 30.

Numerická analýza prokázala nepříznivý účinek spřažení poprsních zdí železobetonovou deskou (varianta „c“) zejména v oblasti vrcholu mostní klenby, a to jak z hlediska extrémních hodnot normálových napětí v tahu a tlaku ( $\pm\sigma_x \pm \sigma_y$ ), tak z hlediska vodorovných cyklických deformací (vychýlení  $\Delta_y$ ) vrcholů klenby účinkem teploty. Spolupůsobení mostní klenby s poprsními zdmi (varianta „b“ až „f“) je charakteristické vznikem příčných normálových napětí  $\pm\sigma_y$  a posunem výslednicové

(tlakové) čáry ve vrcholu poblíž okrajů klenby (v oblastech klenby přiléhajících k poprsním zdem), k horním lícím mostní klenby, a tím ke vzniku podélných tahových napětí  $+\sigma_x$ . Příčná normálová napětí  $+\sigma_y$  způsobená spolupůsobením mostní klenby s poprsními zdmi a účinkem spřažení poprsních zdí železobetonovou deskou jsou hlavní příčinou vzniku příčných tahových trhlin na spodním líci klenby. Podélná tahová napětí  $+\sigma_x$  ve vrcholu klenby jsou příčinou zvýšení normálových napětí v tlaku  $-\sigma_x$  v části vzdorujícího průřezu klenbového zdiva.

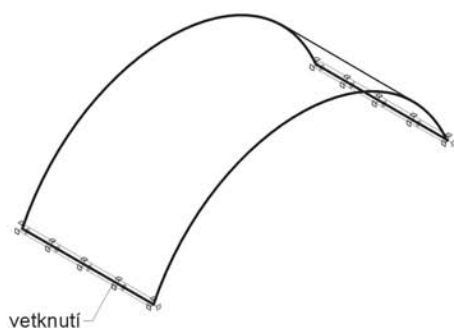
Na základě porovnání normálových napětí  $\sigma_x$  a  $\sigma_y$  a vodorovných deformací poprsních zdí od účinku svislého zatížení, vodorovného tlaku výplňových vrstev a účinku teploty lze konstatovat:

- normálové napětí  $\sigma_x$  (podélné):
  - největší hodnoty **tahových normálových napětí  $+\sigma_x$**  ve vrcholu klenby jsou ve var. „c“ – svislé zatížení (+334 kPa), teplota  $+5/-5^\circ\text{C}$  (+352 kPa, +430 kPa). Největší hodnoty **tlakových normálových napětí  $-\sigma_x$**  ve vrcholu klenby jsou ve var. „d“ a „e“ – svislé zatížení (-1 119 kPa, -1 180 kPa);
  - rozdíly v hodnotách normálových napětí  $\pm\sigma_x$  ve var. „b“ až „f“ v oblouku klenby nejsou podstatné. Největší hodnoty **normálových napětí v tlaku  $-\sigma_x$**  jsou ve var. „a“ – svislé zatížení (-1 361 kPa, -1 422 kPa);
  - rozdíly v hodnotách normálových napětí  $\pm\sigma_x$  ve var. „b“ až „f“ v patě klenby nejsou výrazné. Největší hodnoty **normálových napětí v tlaku  $-\sigma_x$**  jsou ve var. „a“ – svislé zatížení (-1 288 kPa, -1 736 kPa). Největší hodnoty **normálových napětí v tahu  $+\sigma_x$**  jsou ve var. „a“ – teplota  $+5/-5^\circ\text{C}$  (+587 kPa).
- normálové napětí  $\sigma_y$  (příčné):
  - největší hodnoty **normálových napětí v tahu  $+\sigma_y$**  ve vrcholu klenby jsou ve var. „c“ – svislé zatížení (+376 kPa, +517 kPa), teplota  $+5/-5^\circ\text{C}$  (+376 kPa). Největší hodnoty **normálových napětí v tlaku  $-\sigma_y$**  ve vrcholu klenby jsou ve var. „c“ – svislé zatížení (-366 kPa), teplota (-284 kPa);

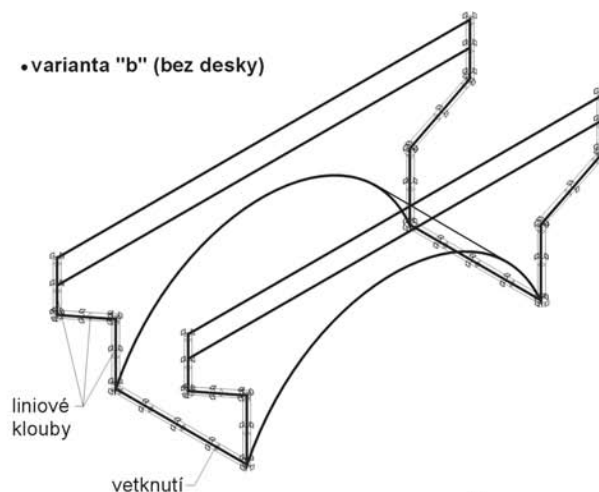
Tab. 14. Porovnání mezní únosnosti zdiva stanovené podle ČSN 73 1101 a ČSN 73 0038 (bod „I“) a výslednice vnitřních sil (výpočty zatížení extrémních, varianta „c“ a „f“)

Varianta	Řez	Výpočtová únosnost průřezu $N_{\text{ud}}$ [kN]	Výslednice vnitřních sil (výp. zat. ext.) $N_d$ [kN]	$N_d/N_{\text{ud}}$ [%]
„c“	I-I'	907,380	739,080	0,815
	II-II'	1 015,350	917,950	0,904
	III-III'	1 366,725	1 322,550	0,968
„f“	I-I'	896,710	753,390	0,840
	II-II'	1 028,940	921,510	0,896
	III-III'	1 390,120	1 329,525	0,956

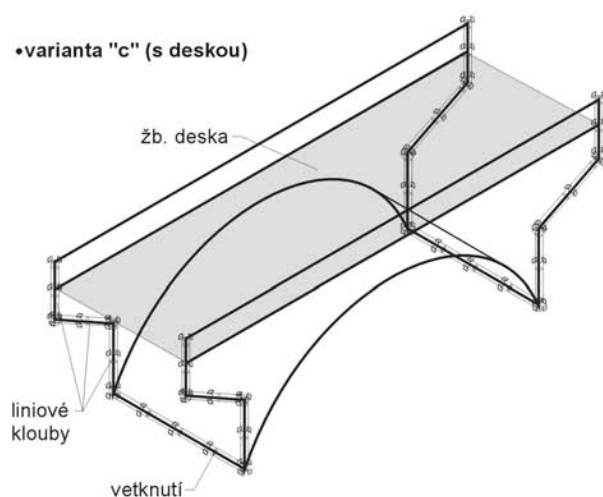
## •varianta "a" (klenba)



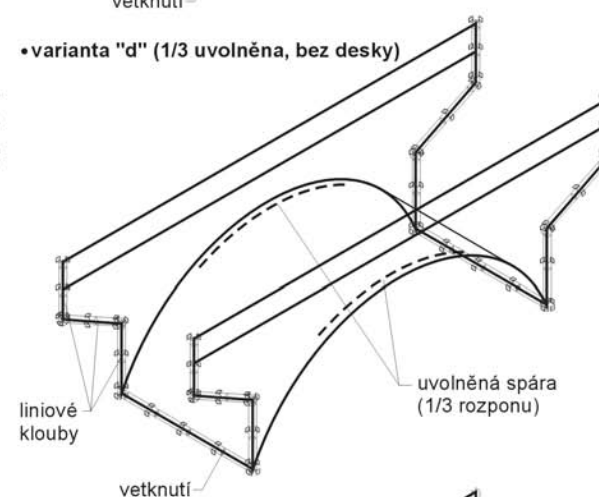
## •varianta "b" (bez desky)



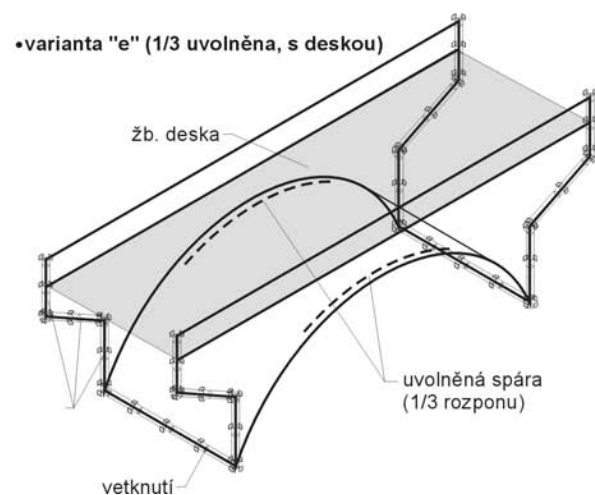
## •varianta "c" (s deskou)



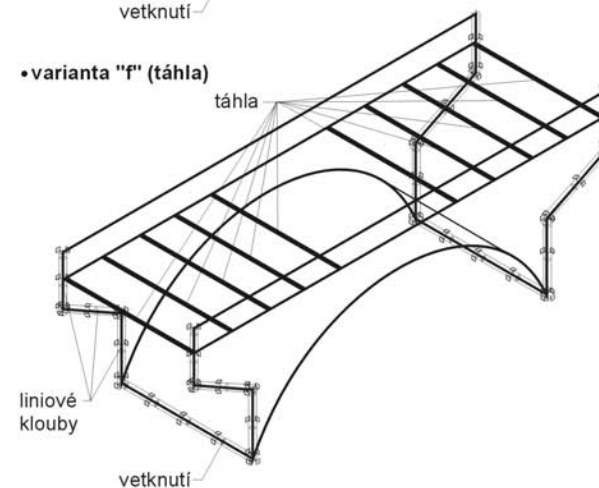
## •varianta "d" (1/3 uvolněna, bez desky)



## •varianta "e" (1/3 uvolněna, s deskou)



## •varianta "f" (táhla)



Obr. 26. Výpočtové modely výseku mostní klenbové konstrukce

- varianta „a“ – kamenná mostní klenba je vetknuta do mostních pilířů a nespolečupůsobí s poprsními zdi  
 varianta „b“ – kamenná mostní klenba je vetknuta do mostních pilířů, společupůsobí s poprsními zdi  
 varianta „c“ – kamenná mostní klenba je vetknuta do mostních pilířů, společupůsobí s poprsními zdi a železobetonovou deskou vetknutou do poprsních zdí  
 varianta „d“ – dtto ad „b“, v rozsahu 1/6 délky oblouku na obě strany od vrcholu klenby nespolečupůsobí poprsní zdi s mostní klenbou (trhlina v patní ložné spáře poprsních zdí)  
 varianta „e“ – dtto ad „d“, klenba společupůsobí s železobetonovou deskou vetknutou do poprsních zdí  
 varianta „f“ – dtto ad „b“ poprsní zdi jsou příčné sepnuty předpjatými ocelovými táhly

– největší hodnoty **normálových napětí v tahu**  $+\sigma_x$  v **oblouku klenby** jsou ve var. „c“ a „e“ – svislé zatížení (+261 kPa), teplota (+293 kPa). Největší hodnoty **normálových napětí v tlaku**  $-\sigma_x$  v **oblouku klenby** jsou ve var. „c“ a „e“ – svislé

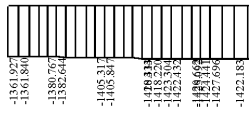
zatížení (–171 kPa, –205 kPa), teplota +5/–5 °C (–257 kPa, –263 kPa);

– rozdíly v hodnotách **normálových napětí**  $\pm\sigma_x$  ve var. „b“ až „f“ v **patě klenby** nejsou výrazné. Největší hodnoty **nor-**

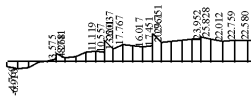
• svislé zatížení+tlak výplň. vrstev

• zatížení teplotou (+5/-5)

• varianta a) (klenba)  
dolní povrch, Sx



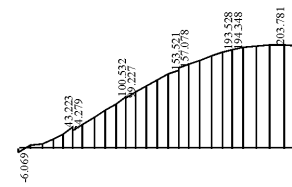
dolní povrch, Sy



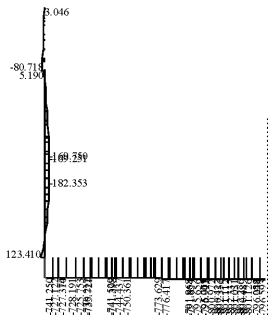
dolní povrch, Sx



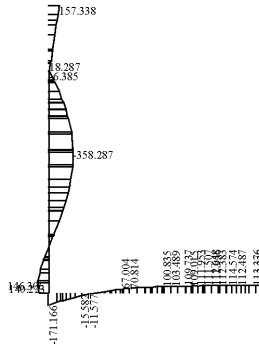
dolní povrch, Sy



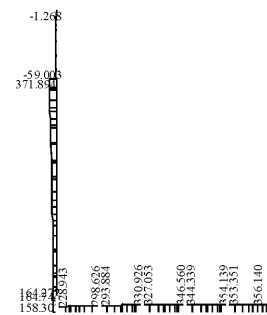
• varianta b) (s deskou)  
dolní povrch, Sx



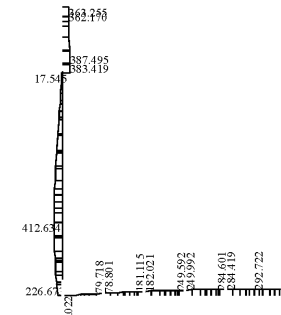
dolní povrch, Sy



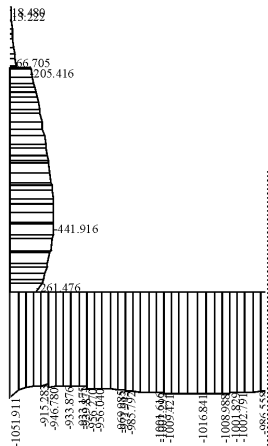
dolní povrch, Sx



dolní povrch, Sy



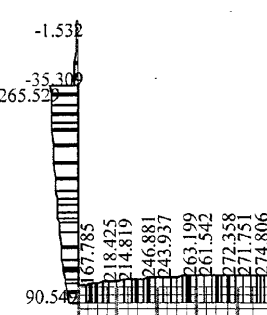
• varianta c) (bez desky)  
dolní povrch, Sx



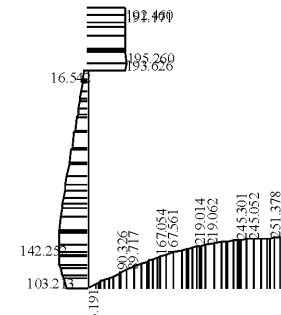
dolní povrch, Sy



dolní povrch, Sx



dolní povrch, Sy



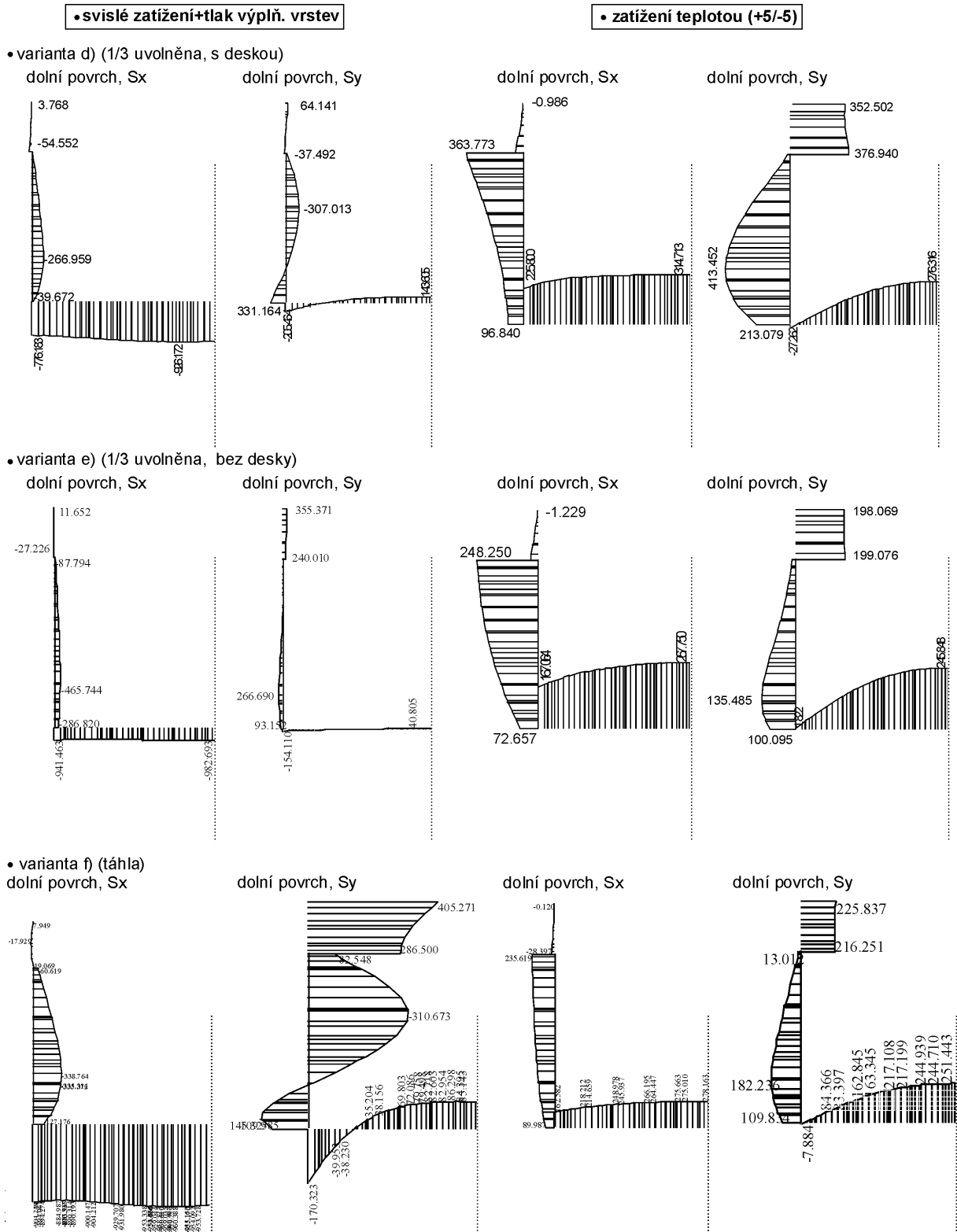
Obr. 27. Schéma průběhu normálových napětí  $\sigma_x$  a  $\sigma_y$  v příčném řezu (oblouk) – varianty „a“, „b“, „c“

málových napětí v tlaku  $-\sigma_y$  v patě klenby jsou ve var. „a“ – svislé zatížení (-430 kPa, -627 kPa). Největší hodnoty normálových napětí v tahu  $+\sigma_x$  v patě klenby jsou ve var. „c“ a „e“ – teplota +5/-5 °C (+288 kPa, +304 kPa).

- vodorovné deformace poprsních zdí:
  - číselně největší hodnoty rozdílu kladné a záporné hodnoty výchylky vrcholu poprsní zdi od účinku změny teploty jsou ve var. „c“ a „e“ (vrchol klenby  $\Delta_y = 3,05$  a  $2,75$  mm; oblouk klenby  $\Delta_y = 2,5$  mm; pata klenby  $\Delta_y = 2,3$  mm). Největší hodnoty vychýlení vrcholu poprsní zdi jsou ve var „b“ a „d“ od účinku svislého zatížení ( $\Delta_y = 3,4$  a  $10$  mm).

**Shrnutí výsledků materiálové a statické analýzy**

■ Stavebně technický stav Karlova mostu je charakteristický zejména vysokou vlhkostí výplňových vrstev a kamenné mostní konstrukce, výskytem solí a produktů chemických a mikrobiálních procesů obsažených ve významném množství v kamenném zdivu a výplňových vrstvách, výskytem povlaků a krust tvořených minerály s vysokým obsahem krystalizovaných solí a molekulové vody, výskytem vlasových až výrazných smykových a tahových trhlin na kamenné mostní konstrukci, zvětralými a lokálně povrchově

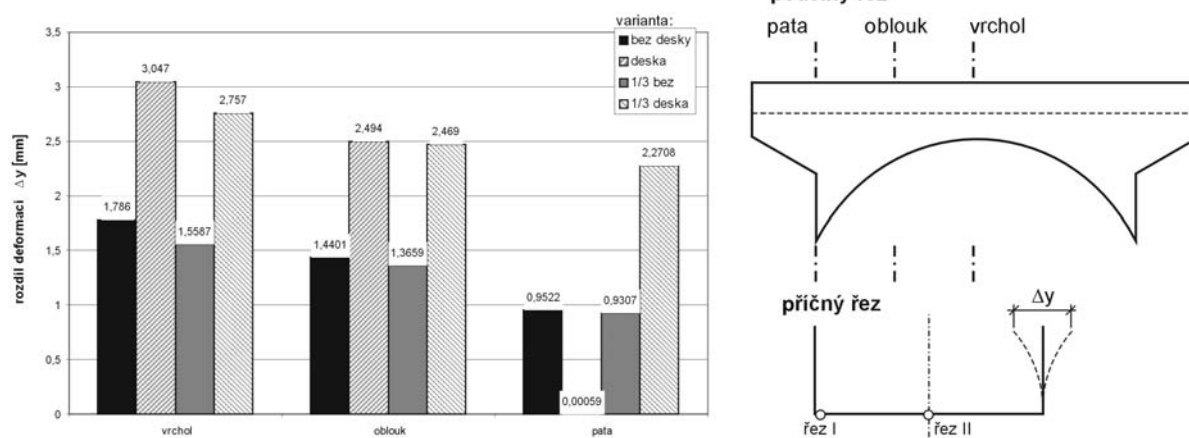


Obr. 28. Schéma průběhu normálových napětí  $\sigma_x$  a  $\sigma_y$  v příčném řezu (oblouk) – varianty „d“, „e“, „f“

narušenými kamennými bloky a uvolněnou výplní spár zdiva a vykloněním poprsních zdí v některých polích. Při hodnocení závažnosti uvedených poruch, které jsou v řadě případů vizuálně prokazatelné, je nutné zvážit, že převážná část těchto poruch vznikla v období od poslední rekonstrukce mostu, tedy přibližně za třicet let. Tato skutečnost je dostatečným dokladem závažnosti a intenzity probíhajících degračních procesů znehodnocujících Karlův most a snižujících jeho životnost.

■ Klasifikace povrchových jevů, např. na V., VI. a IX. oblouku prokázala, že během jednoho roku došlo ke zvětšení povrchu zvětralých kvádrů, zvětšení plochy vypadaného zdiva a prodloužila se i délka mokrých spár. U oblouku V. a VI. došlo k téměř dvojnásobnému zvýšení plochy s výskytem kalcitových, resp. solných výkvětů.

■ Pevnostní zkoušky pískovcového kamene z oblouku VI., nasyceného vodou, ukázaly pokles pevnosti v tlaku o 10 až 66 % proti pevnosti v tlaku vzorků ve vysušeném stavu.



Obr. 29. Deformace  $\Delta y$  vrcholu poprsní zdi účinkem změny teploty ( $-5/+5^\circ\text{C}$ ;  $+5/-5^\circ\text{C}$ )

Pokračující degradace a s tím spojené snižování pevnosti narušených vrstev pískovcových kamenů i rozdílná intenzita těchto procesů v jednotlivých kamenech, popř. částech mostní klenbové konstrukce, je příčinou redistribuce a změny napjatosti mostní klenbové konstrukce v čase i při neměnném stálém zatížení. Z tohoto pohledu nelze hovořit o konsolidované napjatosti nosné mostní konstrukce.

■ Vlhkost výplňových vrstev mostního tělesa a kamenné mostní konstrukce dosahuje na mnoha místech kritických hodnot (20 až 30 % hm., v pilířích byly zjištěny oblasti, kde se nachází volná voda).

■ V případě provedení pouze nové hydroizolace a ponechání keramzitbetonové vrstvy a železobetonové desky dojde difúzí vodních par prostupujících kamennou mostní konstrukcí k postupnému a dlouhodobému snižování vlhkosti v celém objemu mostního tělesa obsahujícího s vysokou vlhkostí i vodorozpustné a hygroskopické soli, které jsou nehomogenně obsaženy v jednotlivých konstrukčních prvcích. Degradáční účinky kapilární vody stejně jako působení vody vázané v pórovém systému a vody adsorbované na povrchu jednotlivých zrn budou trvat i nadále. Z toho důvodu bude dále dlouhodobě docházet k migraci solí z míst s vyšší koncentrací do míst s jejich nižší koncentrací a periodické rekrystalizaci solí v pórovém systému. Je evidentní, že jistá část solí obsažená v tělese mostu při postupném snižování vlhkosti nevykrytalizuje v pórovém systému např. opukové rovinaniny, ale postupnou migrací se dostane do zóny interakce s kvádřovým pískovcovým zdivem, a odtud i do pórového systému vlastního kamene. Setrvačnost tohoto procesu lze velmi přibližně odhadnout na několik desetiletí. Riziko ponechání novodobých chemicky kontaminovaných vrstev mostního tělesa vyplývá i z dlouhodobým výzkumem prokázaného synergického působení mikrofauny s určitými typy minerálů.

■ Výsledky chemických a mikrobiologických analýz pískovcového kamene prokázaly nárůst obsahu dusičnanů a dusitanů jako výsledek rozkladu posypových solí na bázi močoviny. Na pískovcovém kameni se zvýšily počty mikroorganizmů, které produkují do mostní konstrukce látky, které negativně ovlivňují pórový systém kamene a přispívají k transformaci v kameni obsažených minerálů. Hydratační a rekrystalizační tlaky mikrobních solí v kameni urychlují tvorbu mikrotrhlin a zvyšují nestabilitu povrchových vrstev.

■ Výsledky mineralogických rozborů prokázaly výskyt krystalů chloridů, dusičnanů, síranů a močoviny.

■ Laboratorními zkouškami bylo ověřeno, že narušování pískovcových kamenů nezpůsobují pouze „zmrazovací“ cykly, ale také cykly „rekrystalizační“, při nichž dochází ke

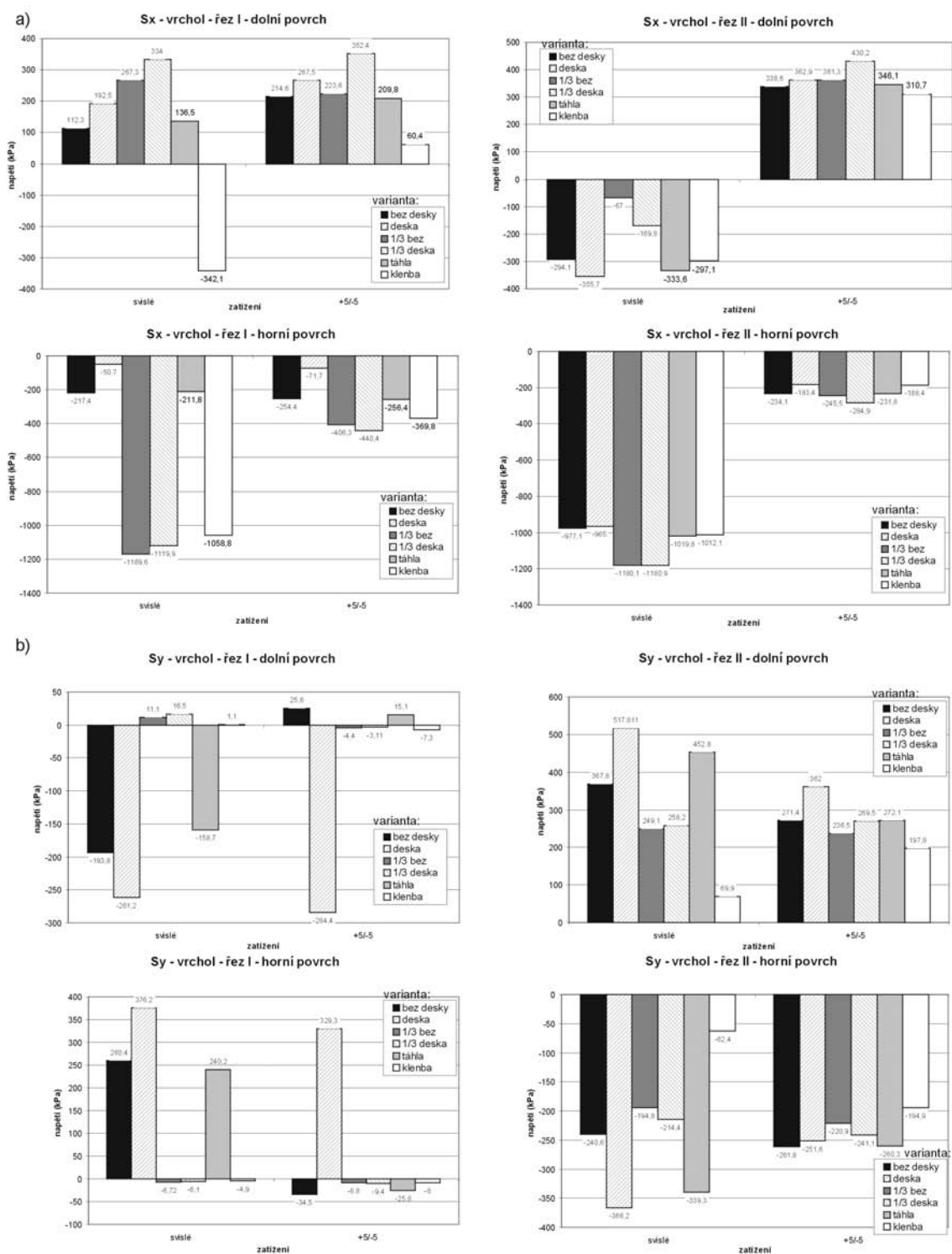
střídavému rozpouštění a krystalizaci solí obsažených v pórovém systému pískovcových bloků charakteristických velkým obsahem krystalické vody, přičemž tyto procesy z hlediska pískovcových kamenů lze hodnotit jako závažnější.

■ Výsledky numerické analýzy prokázaly, že spolupůsobení mostní klenby s poprsními zdi a se železobetonovou deskou přispívá k postupnému vzniku tahových trhlin ve zdivu kamenné klenby, v poprsních zdech a k nárůstu jejich trvalé vodorovné deformace (vyklánění). Nekonstantní průběh teploty po průřezu masivní mostní kamenné konstrukce způsobuje cyklické tvarové změny, zejména příčných průřezů, které jsou příčinou vzniku a rozvoje trhlin v oblastech tahových napětí a trvalých přetvoření. Situování tepelně izolační vrstvy z keramzitbetonu při povrchu mostovky zvyšuje krátkodobě (při přechodných změnách teploty) gradient teploty po průřezu kamenné mostní konstrukce (zvyšuje rozdíl teploty vnitřního a vnějšího povrchu). Účinek teploty patří mezi proměnná cyklická obousměrná zatížení, pro které je charakteristický mechanismus porušení dosažením mezní deformace po určitém konečném počtu cyklů, jejichž počet závisí na tažnosti materiálu, která v případě kamenného zdiva je relativně malá, bez toho, že by byla překročena mez pevnosti.

■ Cyklickým vertikálním deformacím kamenných mostních oblouků způsobených účinkem rozdílné teploty brání vertikálně uspořádané poprsní zdi (vznik smykových trhlin na okrajích klenbových oblouků v oblasti vrcholu – „protlačování“ klenbových oblouků).

■ Numerická analýza prokázala, že relativně vysoká tuhost kamenné mostní konstrukce, v důsledku vzájemné interakce mostní klenby, poprsních zdí a výplňových vrstev, v porovnání s „čistou“ klenbovou konstrukcí, omezuje její celkové deformace, je současně příčinou zvýšeného namáhání, přičemž zejména tahová normálová napětí způsobují vznik a rozvoj trhlin v kamenném zdivu mostních klenb a poprsních zdí. Z hlediska prevence vzniku mechanických poruch a trvalých přetvoření mostní konstrukce patří k základním opatřením odstranění rozpěrného účinku výplňových vrstev mostního tělesa včetně železobetonové desky a omezení interakce výplňových vrstev a poprsních zdí s klenbovou mostní konstrukcí, tj. „navrácení“ kamenné mostní konstrukce do „původního“ stavu.

■ K základním opatřením ochrany Karlova mostu před narušením při povodni patří spolehlivé hlubinné založení mostních pilířů, popř. sanace současných základů mostních pilířů (včetně včasného odstranění předmětů zabráňujících volnému průtoku povodňové vody).



Obr. 30. Normálová napětí  $\sigma_x$  a  $\sigma_y$  ve vrcholu mostní konstrukce od účinku svislého zatížení + vodorovný tlak výplně tělesa mostu a od účinku teploty (+5/-5 °C)

#### Poznámka:

● Výsledky numerické analýzy napjatosti a deformací kamenné mostní konstrukce Karlova mostu zatížené účinkem změny tvaru základové spáry mostních pilířů a účinkem povodňové vlny budou publikovány v některém z následujících vydání časopisu *Stavební obzor*.

● Projekt „Oprava Karlova mostu, I. etapa“, který zahrnuje oblouky XIII. až XVI., mostní pilíře založené na pevnině a schodiště (u oblouku XVI.) má ověřit navržené projektové řešení a poskytnout

dílicí informace, které nelze získat v rámci průzkumu bez větších zásahů do konstrukce Karlova mostu a které budou následně využity při zpracování projektu jeho opravy (oblouky I. až XII.). Projekt I. etapy opravy nepředpokládá zásah do stávající historické kamenné mostní konstrukce, ani do historických vrstev tělesa mostu bez souhlasu odborníků památkové péče. Cílem navržených opatření, která především zahrnují provedení spolehlivého hydroizolačního systému, rekonstrukci novodobě provedených vrstev mostního těle-

sa (o mocnosti cca 0,7 m), sepnutí poprsních zdí systémem předpjatých táhel situovaných poblíž mostních pilířů, odstranění rozpěrných účinků výplňových vrstev mostního tělesa včetně železobetonové desky, snížení smykové tuhosti novodobých vrstev a vzájemné interakce výplňových vrstev a kamenné mostní konstrukce, vytvoření provětrávacího systému mostního tělesa, výrazné omezení chemických a biochemických degradačních procesů, opravu a ošetření narušeného kamenného zdiva, je především zastavit mechanizmy narušující historickou kamennou konstrukci tak, aby ve své současné podobě zůstala zachována budoucím generacím. Provedené sondy v mostním tělese prokázaly výskyt historické opukové rovnániny s proměnlivou velikostí úlomků v hloubce 0,7 až 0,9 m od stávajícího povrchu vozovky (na několika místech znehodnocenou předchozími rekonstrukčními zásahy).

**Příspěvek byl vypracován za podpory grantu č. 103/02/0990 GA ČR a výzkumného záměru č. 210000001 VZ MSM.**

### Literatura

- [1] Sulovský, P. – Gregerová, M.: Geochemical Characterisation of Weathering of the Charles Bridge in Prague, Czech Republic. In: Third International Symposium on Environmental Geochemistry (Krakow, Poland, 12–15 September 1994), Abstract Volume. University of Mining and Metallurgy, Krakow, 1994, pp. 395–396, ISBN 83-902365-0-8.
- [2] Gregerová, M. – Pospíšil, P. – Locker, J. – Sulovský, P.: Engineering-Geological Aspects of the Reconstruction of Charles Bridge in Prague. In: Oliveira, R. – Rodrigues, L.F. – Coelho, A.G. – Cunha, P. [Proceedings], 7<sup>th</sup> Congress of the International Association of Engineering Geology, Lisboa, Balkema 1994, pp. 3627–3634, ISBN 90-5410-503-8.
- [3] Sulovský, P. – Gregerová, M. – Pospíšil, P.: Mineralogical Study of Stone Decay in Charles Bridge. [Proceedings], 8<sup>th</sup> Int. Congress on Deterioration and Conservation of Stone, ed. J. Riederer, Berlin, Moeller druck und verlag GmbH, 1996, pp. 29–36, ISBN 3-00-000779-2.
- [4] Gregerová, M.: Degradace stavebního kamene – experimentální studie (Degradation of Building Stone – an Experimental Study). Geol. výzk. Mor. Slez. v r. 1995, Brno: MU Brno, ČGÚ Brno, III., 1996, č. 1, s. 184–185.
- [5] Witzany, J. a kol.: Monitorování a hodnocení vnějších vlivů a nesilových účinků vnějšího prostředí na kulturní památky se zvláštním zaměřením na Karlův most. [Závěrečná zpráva], Grantový projekt MK ČR, č. PK 99P04OPP031, MS ČVUT Praha, Fakulta stavební, 2000.
- [6] Josef, D. – Mencl, V. – Šmerda, Z. – Witzany, J.: Karlův most. Pamětní publikace „Most tisíciletí a mosty století v České republice“, mezinárodní sympozium „Mosty 2001“, Brno.
- [7] Witzany, J. – Gregerová, M. – Pospíšil, P. – Mencl, V.: Hodnocení současného stavu a oprava Karlova mostu I. etapa. Projekt, VI, 2002, č. 2, s. 21–31. ISSN 1211-9490.
- [8] Gregerová, M. – Wassebauer, R.: Charles Bridge Biocorrosion (Charles Bridge Biocorrosion). „Kontra 2002“, Warszawa-Zakopane, 2002., p. 257–262.
- [9] Witzany, J. – Gregerová, M. – Pospíšil, P. – Wasserbauer, R. – Hruška, A. – Cikrle, P.: Projekt Karlova mostu. I. etapa – diskuze. Projekt, VI, 2002, s. 27–35, ISSN 1211-9490.
- [10] Wasserbauer, R.: Biologické znehodnocení staveb. Praha. ABF 2000, 258 s., ISBN 80-86165-30-2.

### Witzany, J.: Assessment of the Current Building Condition of Charles Bridge

Following the completion of large repairs of Charles Bridge, a number of faults appeared in the bridge structure. The dug holes made right after the completion of the repairs in arches III, IV, IX, and XIII in 1983 proved continued leakage of rain water into the body of the bridge and high moisture content of fillers. The high moisture content of the bridge fillers and their contamination by salts cause chemical, biochemical and physical degradation processes gradually damaging the stone structure of the bridge and reducing its durability. Long-term monitoring of the stone structure of Charles Bridge and numerical analyses show that a number of mechanical failures, origination and development of cracks, which occur in the stone structure and individual stone blocks, are mostly caused by non-force effects of temperature and moisture changes. Some structural interventions performed within the large repairs of Charles Bridge had a negative impact on the bridge structure behaviour and contribute to its gradual mechanical degradation.

### Witzany, J.: Bewertung des gegenwärtigen Zustands und Vorschlag zur Reparatur der Karlsbrücke

Kurz nach Abschluss der großen Reparatur der Karlsbrücke zeigte sich an der Brückenkonstruktion eine Reihe von Schäden. Kurz nach Abschluss der Reparatur im Jahre 1983 in den Bögen III., IV., IX. und XIII eingebrachte Sonden erwiesen das fortschreitende Einsickern von Niederschlagswasser in den Brückenkörper und einen hohen Feuchtigkeitsgehalt der Verfüllschichten. Die hohe Feuchtigkeit der Verfüllschichten des Brückenkörpers und ihre Kontamination mit Salzen sind die Ursache von chemischen, biochemischen und physikalischen Zersetzungsprozessen, die nach und nach die steinerne Brückenkonstruktion schädigen und ihre Lebensdauer verringern. Die Langzeitbeobachtung der steinernen Konstruktion der Karlsbrücke und numerische Analysen weisen nach, dass eine Reihe mechanischer Beschädigungen, die Entstehung und Entwicklung der Risse, die an der steinernen Konstruktion und an einzelnen Steinblöcken auftreten, vor allem durch kraftlose Wirkungen der Änderung der Temperatur und Feuchtigkeit bewirkt werden. Einige im Rahmen der großen Reparatur der Karlsbrücke vorgenommene konstruktive Veränderungen haben das Verhalten der Brückenkonstruktion beeinflusst und tragen zu deren schrittweisen mechanischen Beschädigung bei.



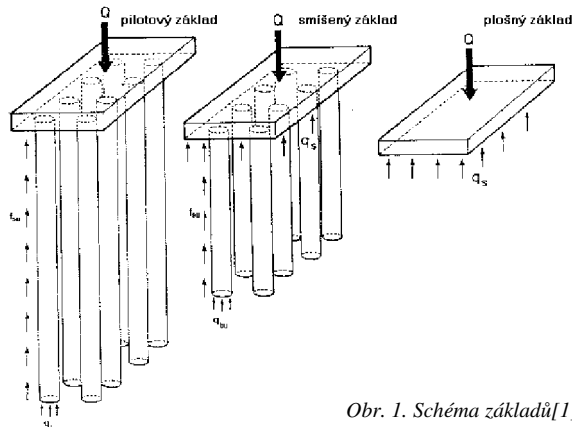
# Spolupůsobení plošného a pilotového základu

doc. Ing. Ladislav LAMBOJ, CSc.  
Ing. Zdeněk CIHLÁŘ  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

Tradiční metody statického výpočtu zakládání na pilotách jsou založeny na předpokladu, že vnější zatížení se přenáší do základové půdy pouze pilotami. Ve většině případů je konstrukce spojující hlavy pilot (deska, patka, pás, rošt) v přímém kontaktu se základovou půdou, která často vykazuje dobré pevnostní a deformační charakteristiky, což umožňuje plošné konstrukci přenos určitého podílu vnějšího zatížení do základové půdy. Opomenutí tohoto přenosu se jeví jako konzervativní a neekonomické.

## Současný stav

Problematikou únosnosti a sedání smíšeného základu se asi dvě desetiletí zabývá několik autorů. Numerické metody, experimenty a měření in situ prokázaly pozitivní efekt v chování smíšeného základu vedoucí k redukcí sedání a zvýšení únosnosti o podíl plošného základu spočívajícího přímo na základové půdě. Za smíšený základ se považuje spolupůsobení plošného a pilotového základu (obr. 1).



Obr. 1. Schéma základů [1]

Interakce mezi plošným a pilotovým základem (skupinou pilot) se projevuje následujícími jevy:

- **strengthening effect** je pozitivní efekt, který je způsobený plošným základem přenášejícím část vnějšího zatížení. Zvýší se únosnost na patě piloty  $q_{bu}$  ve skupině pilot tím, že dochází ke zvýšení svislého napětí v úrovni pat pilot. Tento efekt klesá se vzrůstajícím poměrem  $L/B$  ( $L$  – délka piloty,  $B$  – šířka plošné základové konstrukce spojující hlavy pilot), viz obr. 2;

- **weakening effect** je negativní efekt způsobený plošným základem, který se projevuje zmenšením plášťového tření  $f_{su}$  v důsledku menšího relativního pohybu mezi pilotou a základovou půdou. To je závislé na poměru  $L/B$  (obr. 3). Tento efekt roste se snižujícím se poměrem  $L/B$ . V případě, že  $L/B < 1$ , je hodnota plášťového tření skupinové piloty  $f_{su}$  cca  $1/3 f_{su1}$  osamělé piloty.

**Hardening/softening settlement** jsou efekty způsobené interakcí mezi pilotami a základovou půdou a jejich vliv se

projeví pouze zvýšením či snížením plášťového tření skupiny pilot. Ve skupině pilot, kde  $L \geq 1,5 B$ , hodnota plášťového tření  $f_{su}$  přesahuje mobilizovanou hodnotu pro osamělou pilotu  $f_{su1}$  a dále roste se sedáním. Základová půda mezi pilotami, namáhaná smykem a stlačovaná v prostoru omezeném pilotami, vyvolává dodatečné normálové napětí, které působí na plášť piloty, a tudíž tření roste. Jestliže ve skupině pilot  $L < B$ , pak po dosažení plášťového tření  $f_{su1}$  odpovídajícího osamělé pilotě hodnota plášťového tření  $f_{su}$  se zvětšujícím se sedáním klesá (obr. 4). Toto lze vysvětlit vzrůstem deformační zóny pod patami pilot. Pokud chceme tomuto jevu zabránit, je třeba délku pilot ve skupině navrhnout alespoň  $1,5 B$ .

Je třeba si uvědomit, že ve dvou případech nemůže dojít ke spolupůsobení [1]:

- základová půda pod patami pilot je málo stlačitelná a zemina pod plošným základem je značně stlačitelná;
- vnější vlivy způsobí větší deformaci zeminy pod plošným základem, takže se ztratí kontakt mezi plošným základem a základovou půdou (násypy, dynamické účinky).

Naskytá se otázka, jak zavést spolehlivě a jednoduše vliv spolupůsobení jak do výpočtu únosnosti, tak do výpočtu sedání smíšeného základu. Metody výpočtu a navrhování lze rozdělit do tří skupin, a to na metody **empirické, analytické a numerické**.

## Empirické metody

Mezní únosnost smíšeného základu  $R_u$  s uvažováním interakce lze stanovit z výrazu

$$R_u = \eta_s \cdot n \cdot R_{su1} + \eta_b \cdot n \cdot R_{bu1} + 0,1 \cdot R_{cu} \cdot A_{cu}, \quad (1)$$

kde  $n$  je počet pilot,

$\eta_s$  – průměrné mezní plášťové tření skupiny pilot  $f_{su}$  / průměrné mezní plášťové tření osamělé piloty  $f_{su1}$ , pro kypré a středně ulehle písky (obr. 3),

$R_{su1}$  – mezní únosnost pláště osamělé piloty,

$\eta_b$  – průměrná mezní únosnost v úrovni paty skupiny pilot  $q_{bu}$ /průměrná mezní únosnost paty osamělé piloty  $q_{bu1}$ , pro kypré a středně ulehle písky (obr. 2),

$R_{bu1}$  – mezní únosnost paty osamělé piloty,

$R_{cu}$  – mezní únosnost základové půdy pod redukováným plošným základem,

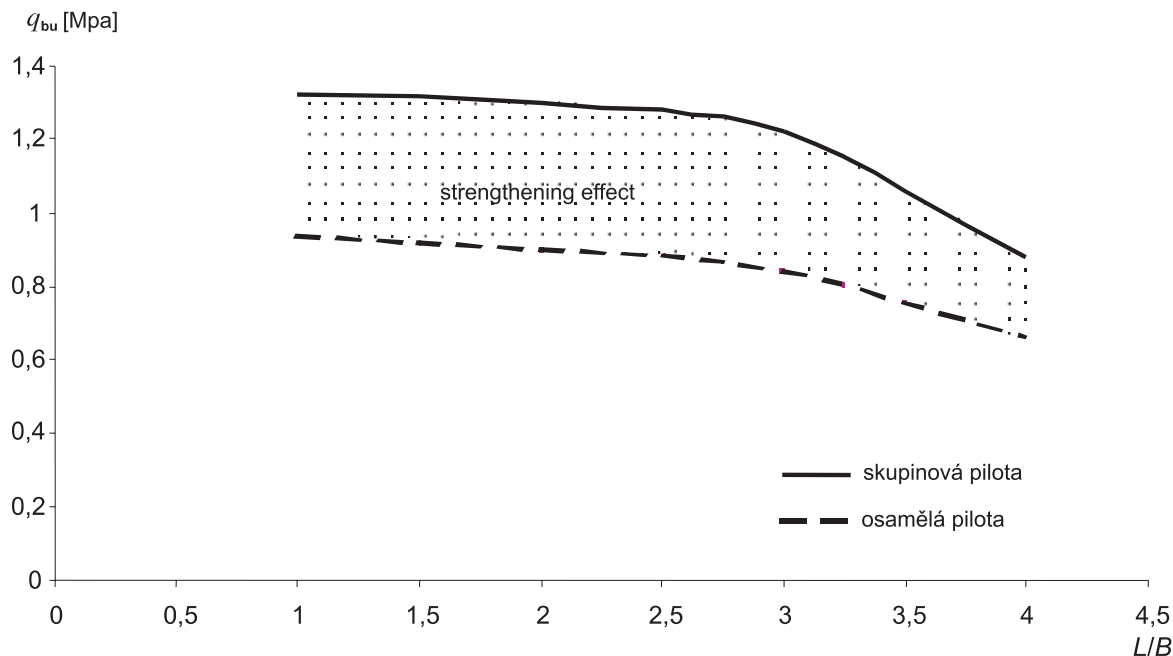
$A_{cu}$  – plocha redukováného plošného základu (příslušná plocha základové konstrukce je snížena o plochu vztahující se k  $n$  pilotám).

Pro **sedání smíšeného základu** musí být splněny dva předpoklady:

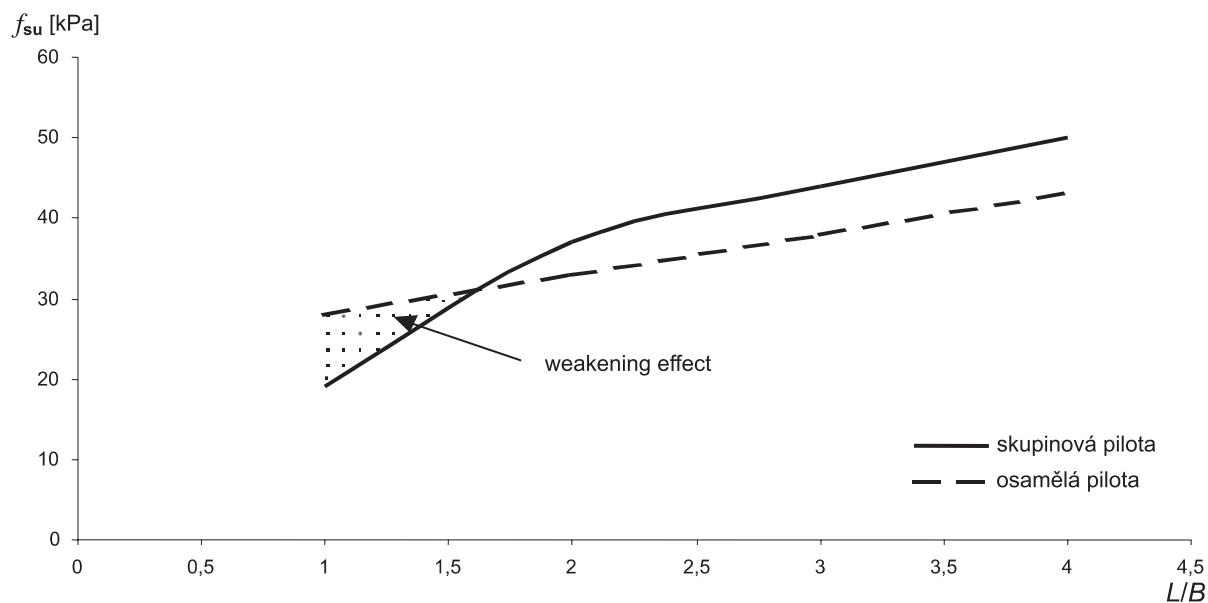
- podmínka rovnováhy

$$Q = Q_c + n \cdot (Q_b + Q_s); \quad (2)$$

- podmínka, že deska je dostatečně tuhá, pak základová půda v úrovni hlav pilot vykazuje stejnou deformaci jako hlavy pilot.



Obr. 2. Strengthening effect - závislost  $q_{bu}$  na poměru  $L/B$  vyšetřovaného modelu pro kypré až středně ulehlé písky [2]



Obr. 3. Weakening effect - závislost  $f_{su}$  na poměru  $L/B$  vyšetřovaného modelu, pro kypré až středně ulehlé písky [2]

Ke stanovení funkcí  $Q_c$  (zatížení přenášené plošnou konstrukcí základu),  $Q_b$  (zatížení přenášené patami pilot),  $Q_s$  (zatížení přenášené pláští pilot), tj. závislosti rozdělení zatížení na deformaci, lze použít různé aproximační metody. Například podle Chena [3] lze jednoduchou empirickou grafickou metodou, podloženou sérií zkoušek, přímo stanovit poměr  $Q_c/Q$  v závislosti na poměru  $L/a$  a hodnotě  $E_s$ , pro úroveň zatížení  $Q/R_u = 50 \approx 100 \%$  (obr. 5).

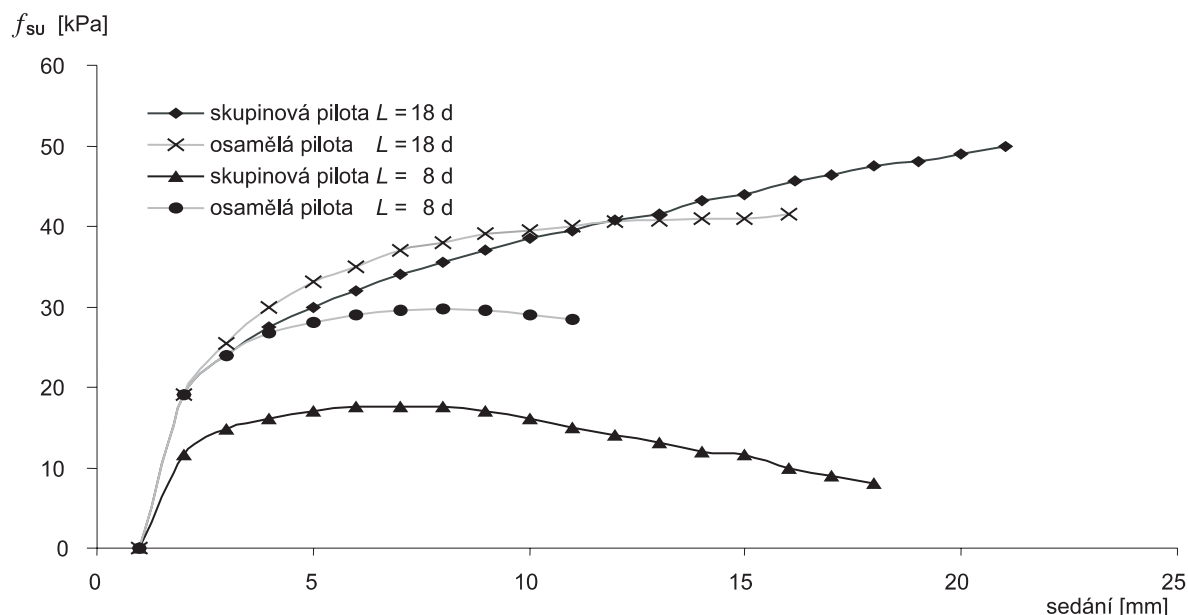
Znalost podílu jednotlivých prvků základu na přenosu zatížení umožňuje také sestavit zatěžovací diagram celého základu, a následně výpočet sedání smíšeného základu.

#### Příklad

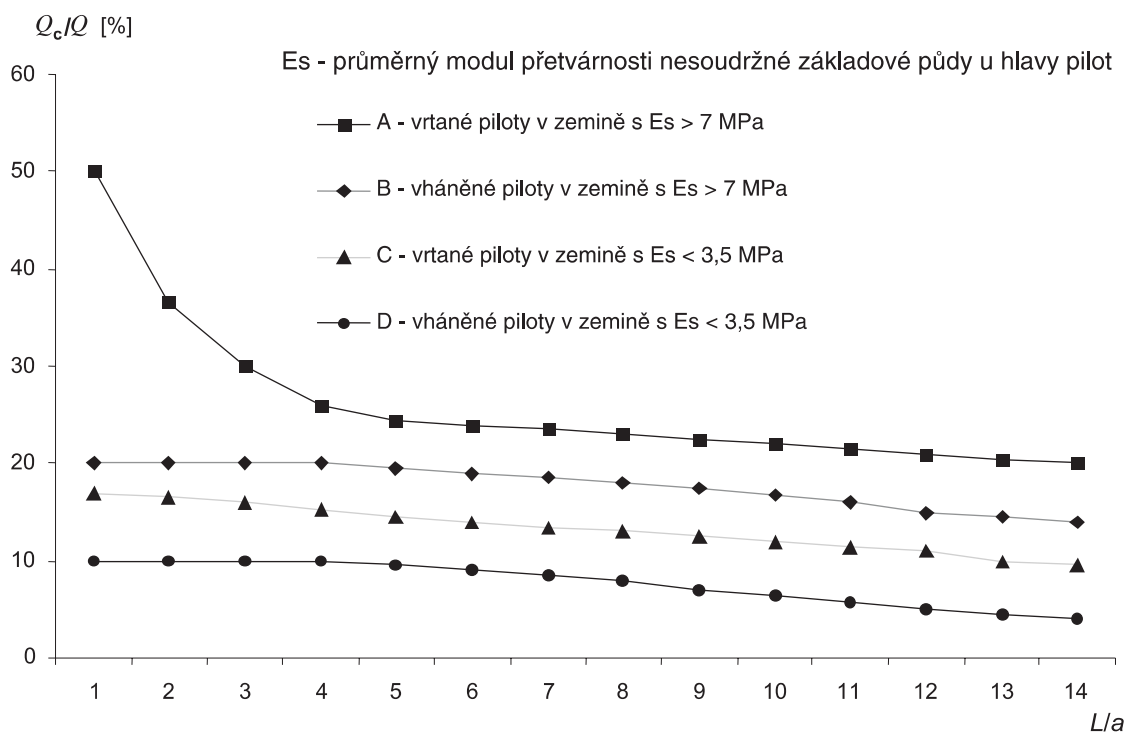
Pro znázornění uvedených poznatků o chování smíšeného základu je zvolena základová konstrukce složená z kon-

strukce spojující hlavy pilot (patka) o rozměrech 3,2 x 3,2 m a tl. 1 m, která je v přímém kontaktu ze základovou půdou, a skupina pilot tvořená devíti beraněnými pilotami čtvercového průřezu 40 x 40 cm, délky 6,4 m (obr. 6). Základovou půdu tvoří kypré až středně ulehlé písky třídy S1 ( $\varphi = 35^\circ$ ;  $\gamma = 20 \text{ kNm}^{-3}$ ;  $c_{ef} = 0,00$ ;  $v = 0,28$ ;  $I_D = 0,33$  až  $0,67$ ;  $E_{def} = 65 \text{ MPa}$ ;  $\beta = 0,78$ ). Základová konstrukce je zatížena vnějším návrhovým zatížením pro I.MS  $Q = 5\,000 \text{ kN}$ , pro výpočet sedání je hodnota návrhového zatížení  $Q = 3\,572 \text{ kN}$ .

Návrhová únosnost smíšeného základu vypočtená podle vztahu (1) s využitím hodnot uvedených na obr. 2 a obr. 3 pro poměr  $L/B = 2$  je  $R_d = 8\,162 \text{ kN}$ . Návrhová únosnost pilotového základu (skupiny pilot) vypočtená podle komentáře k ČSN 73 1002 je  $R_{pu} = 5\,921 \text{ kN}$ . Z uvedených výsledků je zřejmé, že návrhová únosnost smíšeného základu je



Obr. 4. Hardening/softening settlement – závislost  $f_{su}$  na sedání vyšetřovaného modelu pro kypré až středně ulehlé písky [2]



Obr. 5. Podíl přenosu zatížení plošným základem  $Q_c$  z celkového zatížení  $Q$  smíšeného základu v závislosti na poměru délky piloty  $L$  k osové vzdálenosti pilot  $a$  [3]

cca o 38 % větší než návrhová únosnost pilotového základu (skupiny pilot). Tento závěr potvrzují i modelové zatěžovací zkoušky.

Za předpokladu, že konstrukce spojující hlavy pilot je dostatečně tuhá a je v přímém kontaktu se základovou půdou, platí vztah (2). Pak základová půda v úrovni hlav pilot vykazuje stejnou deformaci jako hlavy pilot. Z obrázku 5 pro vřáněné piloty v zemině s  $E_s > 7$  MPa pro poměr  $L/B = 6,4/3,2 = 2$  a  $L/a = 6,4/1,1 = 5,8$  platí poměr  $Q_c/Q = 0,18$ , to znamená, že zatížení přenášené plošnou kon-

strukcí (patkou) je  $Q_c = 643$  kN a skupinou pilot  $n \cdot (Q_b + Q_s) = 2\,929$  kN.

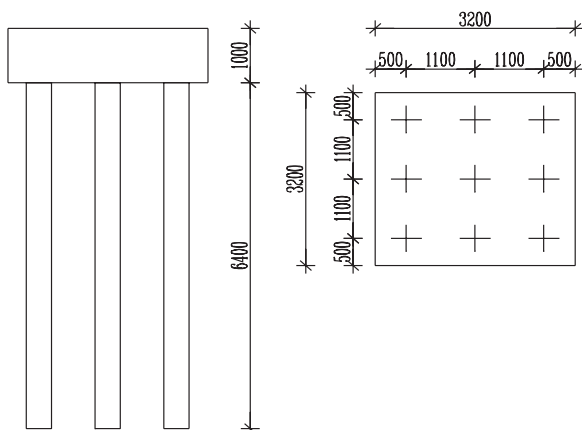
Vypočítané sedání smíšeného základu zatíženého návrhovou silou  $Q_c = 2\,929$  kN je podle ČSN 73 1002  $s = 2,19$  mm. Vypočítané sedání pilotového základu zatíženého návrhovou silou  $Q = 3\,572$  kN je podle ČSN 73 1002  $s = 3,2$  mm. Z uvedených hodnot je patrné, že sedání smíšeného základu je cca o 31 % menší než sedání pilotového základu (skupiny pilot). Tento závěr potvrzují i modelové zatěžovací zkoušky.

### Analytické metody

Analytické metody založené na aplikaci Mindlinovy teorie zatížení uvnitř poloprostoru pro výpočet interakce jednotlivých prvků základu lze rozdělit do dvou skupin:

■ Brandl [4] navrhuje idealizovaný model pro navrhování a posouzení smíšeného základu v měkké zemině tak, že vytvoří skříňový základ z dotýkajících se obvodových pilot nebo z podzemních stěn, nad kterými spočívá tuhá deska v přímém kontaktu se zeminou. Skříňový základ sestavený uvedeným způsobem působí jako celek vytvořený z uzavřeného jádra, tuhé desky a dotýkajících se pilot (podzemních stěn);

■ Poulosova metoda [5] se používá hlavně pro výpočet sedání smíšeného základu a není vhodná pro výpočet průběhu momentů v plošném základu. V této metodě se pro interakci mezi prvky smíšeného základu základ rozdělí na ekvivalentní jednotky.



Obr. 6. Schéma základové konstrukce smíšeného základu

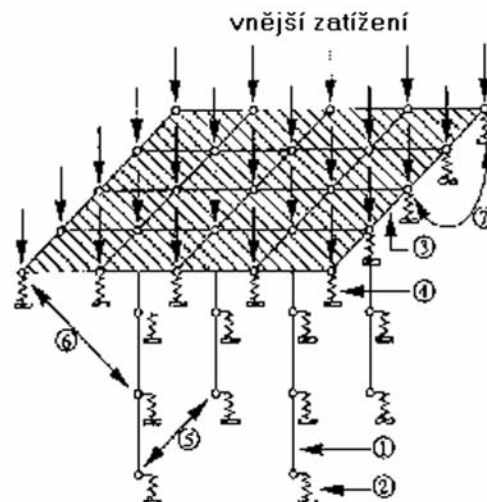
### Numerické metody

Předpokládá se, že plošná základová konstrukce je úplně flexibilní. Příkladem numerických metod je metoda konečných prvků MPK, výpočetní model je na obr. 7. V této metodě se jak základová půda, tak piloty a plošný základ rozdělí do konečných prvků (plošný základ se modeluje dvourozměrně, zatímco piloty a základová půda se modelují trojrozměrnými prvky).

### Aktivovaný smíšený základ

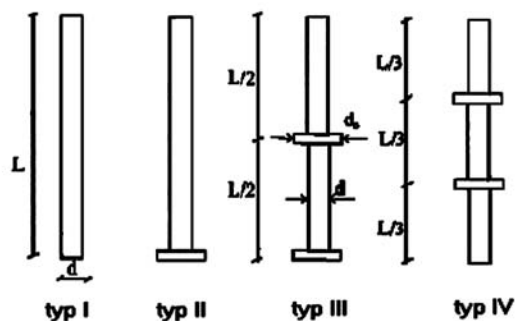
V letech 1997 až 1998 probíhal na Katedře geotechniky ČVUT [6] experiment týkající se porovnání obyčejného a aktivovaného modelu smíšeného základu. Základní rozdíl mezi obyčejným a aktivovaným modelem smíšeného základu spočívá v tom, že základová půda aktivovaného smíšeného základu je předem zatížena s využitím tahové únosnosti pilot. Model smíšeného základu sestával ze čtyř pilot (nejdelší měla 70 cm) rozložených pravidelně po roznášecí čtvercové desce o rozměrech 40 x 40 cm. Osová vzdálenost pilot se pohybovala v poměru  $a/d = 4,3$  až  $6,2$  ( $a$  – osová vzdálenost pilot,  $d$  – průměr pilot). Piloty byly železobetonové  $\varnothing 50$  a 30 mm. Schéma použitých pilot je uvedeno na obr. 8. Piloty II, III, IV byly použity uzlové, aby byl zvýšen odpor pilot proti jejich vytažení.

Rozměry pilot byly zvoleny tak, aby pilota působila jako hlubinný základ a platilo  $L/d > 12$ . Piloty byly postupně zasypávány v dřevěném stendu 1 200/1 200/1 200 mm pískem hutněným po vrstvách 150 mm. Byl použit zbraslavský



Obr. 7. Výpočetový model MKP

1 – jednorozměrný pilotový prvek, 2 – transformační pružina, 3 – deskový prvek, 4 – zemní pružina, 5 – interakce různých pilotových prvků, 6 – interakce deskových a pilotových prvků, 7 – interakce deskových uzlů



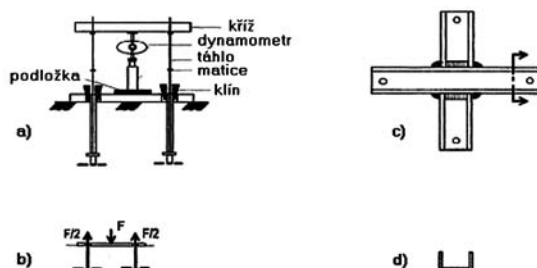
Obr. 8. Schéma použitých pilot

písek o objemové tíze  $\gamma_d = 16,8$  kN/m<sup>3</sup>, úhlu vnitřního tření  $\varphi = 35^\circ$  a ulehlosti  $I_D = 0,67$ , což lze považovat za středně ulehlý písek. Pro měření chování modelu bylo použito jedenáct snímačů tak, že čtyři byly umístěny pod patou pilot a dalších sedm pod plochou roznášecí desky.

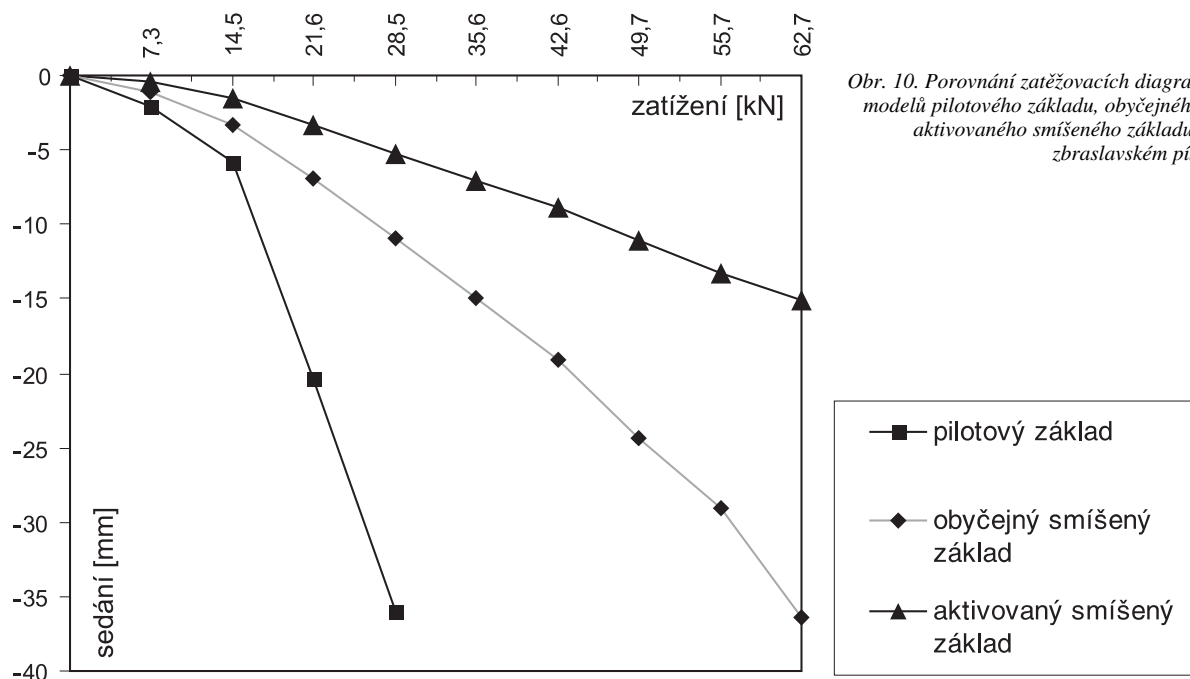
Experimentálně byly porovnány tyto typy základů:

- pilotový,
- obyčejný smíšený,
- aktivovaný smíšený.

Způsob aktivování modelu smíšeného základu je znázorněn na obr. 9. Hodnota aktivační síly  $F$  a její přírůstek při zatěžování úzce souvisí s únosností pilot v tahu, přitom nesmí dojít k plné mobilizaci plášťového tření. Tahová síla se určuje tak, že je mnohonásobně menší než síla způsobující plné vytažení pilot. Takto aktivovaný model byl podroben zatěžovací zkoušce.



Obr. 9. Způsob aktivování modelu smíšeného základu  
a – schéma modelu smíšeného základu, b – schéma zatížení, c – půdorys ocelového kříže, d – řez I-I'



Obr. 10. Porovnání zatěžovacích diagramů modelů pilotového základu, obyčejného a aktivovaného smíšeného základu ve zbraslavském písku

Z porovnání zatěžovacích diagramů obyčejného a aktivovaného modelu smíšeného základu na obr. 10 je patrné, že aktivovaný smíšený základ vykazuje vyšší únosnost než obyčejný smíšený základ bez ohledu na použitý druh pilot.

V celém rozsahu zatížení je sedání modelu aktivovaného smíšeného základu nejméně o polovinu menší než sedání obyčejného modelu smíšeného základu. Tento efekt je závislý na charakteru základové půdy pod deskou a na geometrických rozměrech základu, jako např.  $ald$ ,  $L/d$ ,  $B/L$ .

### Závěr

Experimenty prokázaly, že předtížení základové půdy vyvolá:

- těsný kontakt mezi deskou a základovou půdou;
- ztuhnutí základové půdy pod deskou do poměrně větší hloubky úměrné délce piloty. Toto statické ztuhnutí vede ke zlepšení fyzikálních a mechanických vlastností základové půdy. Poloha a rozměr uzlů (prstenců) mají značný význam při vymezení aktivní zóny pod deskou;
- zvýšení účasti desky na přenášení zatížení, zejména v počáteční fázi zatěžování;
- zvětšení napětí pod deskou aktivovaného modelu smíšeného základu proti obyčejnému modelu smíšeného základu.

Na základě získaných výsledků lze především výhodně použít aktivovaný smíšený základ tam, kde je vrstva základové půdy pod plošným základem méně únosná a značně stlačitelná.

### Literatura

- [1] Combarieu, O.: Calcul d'une fondation mixte, semelle-pieux sous charge verticale centrée., Ministère de l'équipement et du logement, Paris: Laboratoire central des ponts at chaussées, 1988.
- [2] Liu, J. L. – Yuan, Z. L. – Zhang, K. P.: Cap-Pile-Soil Interaction of Bored Pile Groups. Proc. 11. ICSMFE, San Francisco, 1985, pp. 1433–1436.

- [3] Chen, Z. C. – Xu, H. – Wang, J. H.: Cap-Pile Interaction of Pile Groups. In: VanImpe W.F. (ed.), Deep Foundations on Bored and Auger Piles., Rotterdam, Balkema, 1993, pp. 133–141.
- [4] Brandl, H.: Die Übertragung konzentrierter hoher Lasten im weiche Untergrund, Proc. of 2<sup>nd</sup> Baltic Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Tallin, 1988.
- [5] Poulos, H. G. – Davis, E. H.: Pile Foundation Analysis and Design. New York, Wiley & Sons 1980.
- [6] Kblan, A.: Spolupůsobení plošného a pilotového základu. [Dizertace], ČVUT Praha, 1998.

### Lamboj, L. – Cihlář, Z.: Interaction of the Spread and Pile Foundation

Traditional methods of analysis of pile foundations follow from the assumption that the external load is transferred to the foundation soil only through piles. In most cases, the structure connecting pile heads (slab, footing, strip, raft) is in direct contact with the foundation soil, which has good strength and deformation characteristics. It allows the spread foundation to transfer a certain rate of the external load to the foundation soil. Ignoring this transfer appears to be conservative and uneconomical.

### Lamboj, L. – Cihlář, Z.: Zusammenwirken von flächigen und Pfahlfundamenten

Die traditionellen Methoden zur statischen Berechnung von Pfahlgründungen basieren auf dem Ansatz, dass die äußeren Lasten nur durch die Pfähle in den Baugrund eingetragen werden. In den meisten Fällen ist die Pfahlköpfe verbindende Konstruktion (Platte, Fußplatte, Streifen, Rost) im direkten Kontakt mit dem Baugrund, der oft gute Festigkeits- und Verformungscharakteristiken aufweist, was der flächigen Konstruktion die Übertragung eines bestimmten Anteils der äußeren Lasten in den Baugrund ermöglicht. Die Vernachlässigung dieser Übertragung erweist sich als konservativ und unwirtschaftlich.

## • konference

### **EEBW: Energie efektivně 2002**

**5. – 7. listopadu 2002  
Kongresové centrum Praha**

Konference „EEBW: Energie efektivně“ je tradičním místem pro setkávání a výměnu zkušeností odborníků různých profesí – technických a energetických profesionálů, manažerů a politiků na komunální i státní úrovni, podnikatelů a vrcholového vedení z průmyslové sféry a energetiky. Je to příležitost k výměně názorů na aktuální problémy i novým obchodním setkáním, pro neformální diskuzi podnikatelů s představiteli státní správy, ale také možnost získání zahraničních zkušeností a navázání kontaktů s domácími i zahraničními odborníky z oboru. Garanty a partnery konference jsou Český svaz stavebních inženýrů, Hospodářská komora ČR, Společnost pro techniku prostředí, Ministerstvo životního prostředí, Svaz podnikatelů v oboru technických zařízení, REHVA, Ministerstvo pro regionální rozvoj a Státní fond životního prostředí.

#### **Hlavní tematické okruhy:**

- energetické audity
- nízkoenergetické domy
- využití biomasy pro vytápění
- liberalizace trhu s elektřinou a elektřina z obnovitelných zdrojů
- energeticky úsporné osvětlování
- příprava a financování projektů Energy Performance Contracting a Energy Contracting

Náplní konference budou informace a diskuze o současném stavu a vývoji v oblasti výroby a spotřeby energie v ČR, EU i ve světě, přednášky a panelové prezentace, výstava energeticky úsporných výrobků a nezávislé poradenství pro spotřebitele.

Členové ČKAIT mají možnost přihlásit se na sekce Energetické audity a Nízkoenergetické nízkonákladové stavby pro bydlení v rámci programu Celoživotního vzdělávání ČKAIT a získat tak 20% slevu ze základního vstupného. Pedagogové a zaměstnanci škol všech typů mají až 45% slevu.

**Informace: SEVEN, Středisko pro efektivní využívání energie, o.p.s., Slezská 7, 120 56 Praha 2, tel.: 224252115, e-mail: eebw@svn.cz, www.eebw.cz**

**DENKMAL**

**EUREGIA**

**HoZzTec**

30. října – 2. listopadu 2002

**Lipsko**

### **Skanska CZ, a. s., se rozvíjí, značka IPS končí**

Tradiční značka Inženýrské a průmyslové stavby, se kterou se obchodní partneři a veřejnost setkává již padesát let, letos definitivně končí. Změny avizovalo i obchodní jméno IPS Skanska, a. s., které společnost používala v posledním roce. Nyní se s tímto stavebním obrem budeme v České republice setkávat pod novým názvem Skanska CZ, a. s.

Změna názvu je přitom završením několikaletého složitějšího procesu, kterým firma prošla. Výsledkem tohoto procesu je zprůhlednění organizace skupiny, zmenšení administrativy, snížení nákladů, zvýšení produktivity a možnost větší specializace divizí.

#### **Skupina Skanska posilovala vliv v IPS postupně**

Současná IPS Skanska, a. s., je členem globální stavební skupiny Skanska. V jejím čele stojí Skanska AB, která má sídlo ve Švédsku a prostřednictvím společnosti Skanska Kraft AB vlastní sto procent akcií společnosti Skanska CZ, a. s., která v současné době vlastní více než 96 % akcií společnosti IPS Skanska, a. s. Skanska AB považuje za korektní mít ve svých dceřiných společnostech stoprocentní vlastnictví, které jí umožní jednodušeji realizovat vlastnická práva a nést plnou odpovědnost za výsledky podnikání v celé skupině Skanska.

K dosažení tohoto cíle bylo využito možnosti, kterou dává obchodní zákoník v § 220p o zrušení akciové společnosti bez likvidace s převodem jmění na hlavního akcionáře. Tyto změny schválila valná hromada IPS Skanska, a. s., dne 31. května 2002. Valná hromada odsouhlasila i schválení návrhu smlouvy o převzetí jmění společnosti IPS Skanska, a. s., hlavním akcionářem, společností Skanska CZ, a. s. V souvislosti s ním valná hromada rozhodla o zrušení společnosti IPS Skanska, a. s., bez likvidace převzetím jmění hlavním akcionářem Skanska CZ, a. s.

#### **Skanska CZ, a. s., naváže na tradice**

Převod jmění ani změna obchodního jména se nijak nedotkne závazků a podnikatelských aktivit společnosti a nijak nebudou ohroženy existující ani připravované projekty.

„Rád bych všechny naše obchodní partnery i veřejnost ujistil, že společnost Skanska CZ, a. s., také převezme dnešní organizační strukturu IPS Skanska, a. s. Představenstva IPS Skanska, a. s., a Skanska CZ, a. s., mají identické složení a důvěru vrcholného vedení skupiny Skanska, takže ani personální vztahy nebudou narušeny“, říká k celému procesu Ing. Zdeněk Burda, předseda představenstva a generální ředitel IPS Skanska, a. s., a Skanska CZ, a. s.

**SKANSKA**

# • ČKAIT

## Malá ediční řada velkých osobností českého stavitelství

Druhá polovina dvacátého století nepřála v technických oborech elitám a osobnostem. Zatímco ve slovesném a výtvarném umění bylo vždy samozřejmostí uvádět jména autorů, u staveb tato tradice vzala za své. I tvůrci architektonicky a technicky zdařilých staveb – architekti, inženýři a konstruktéři – zůstávali většinou v anonymitě. Jednalo se přitom současně o vynikající odborníky, kteří pečovali o technický rozvoj svého oboru a přispěli k tomu, že úroveň českého stavebnictví minimálně zaostávala za světem. Drobnou splátkou dluhu, který máme vůči předním osobnostem stavebních oborů, je Malá ediční řada ČKAIT, představující postupně tvorbu a životní dílo těchto představitelů českého stavitelství.

*Barvínek, R. a kol.*

### **Quido Záruba – zakladatel československé inženýrské geologie (1899–1993)**

*Praha, 1999, brož., 56 s., 100 Kč*

Publikace byla vydána u příležitosti konání Geotechnických dnů 1999, věnovaných památce prof. Q. Záruby, předního odborníka a zakladatele čs. inženýrské geologie, profesora ČVUT Praha a prvního prezidenta Mezinárodní asociace inženýrských geologů (IAEG). Obsahuje přednášky z odborného semináře „Sesuvy a inženýrskogeologické poměry Prahy“, příspěvky jeho spolupracovníků a žáků.

*Studnička, J. a kol.*

### **František Faltus – zakladatel svařování ocelových konstrukcí (1901–1989)**

*Praha, 2000, brož., 48 s., 100 Kč*

Pamětní spis vydaný ke 100. výročí narození F. Faltuse patří rovněž do řady malých monografií věnovaných předním osobnostem českého stavitelství. Byl profesorem ČVUT, kde zavedl strukturovanou výuku ocelových konstrukcí. Jako mladý inženýr nastoupil v roce 1926 u Škodových závodů v Plzni. Iniciovat zde výzkumné práce v nové metodě spojování ocelových konstrukcí – svařování elektrickým obloukem. Stál u zrodu celosvařovaného obloukového silničního mostu v Plzni přes Radbuzu. Pamětní spis obsahuje příspěvky rodinných příslušníků, žáků a spolupracovníků, dokumentující jeho pedagogickou, výzkumnou, návrhovou i praktickou činnost. Na závěr je připojen výběr z publikační činnosti a přehled nejvýznamnějších staveb, na jejichž přípravě nebo realizaci se podílel.

*Čížek, P. – Rusek, B.*

### **František Čížek – protagonist betonového stavitelství (1901–1984)**

*Praha, 2001, brož., 87 s., barevné ilustrace, 200 Kč*

Malá monografie byla vydána u příležitosti 100. výročí narození Dr. Ing. Františka Čížka, vynikajícího konstruktéra – statika, erudovaného odborníka v oboru betonových konstrukcí s hlubokými matematickými znalostmi, propagátora nových teorií a metod a autora řady odborných knih a statí. Jako statik se podílel na řadě staveb, u nichž prosazoval nová, technicky odvážná řešení. Patří k nim např. budova telekomunikační ústředny v Hradci Králové s monolitickým

skeletem, jídelna Tepny Náchod s železobetonovou skořepinovou konstrukcí, trolejbusové garáže v Hradci Králové s variantou křížových kleneb, městské autobusové garáže v Ústí nad Labem, výrobní haly, pyramidové administrativní budovy nebo kruhové hotely. U etážových skladů řešil deskové stropy do průvlakového roštu, popř. hříbové stropy s vykrakorcovanými okraji. K posledním realizovaným budovám patřil hotel Černigov v Hradci Králové s monolitickou konstrukcí. Svou první knihu „Řešení patrových rámmů metodou deformační“ vydal vlastním nákladem v roce 1935. Rukopis své druhé práce „Kroucení rámových průvlaků“, kterou dokončil v roce 1944, vydal Spolek českých inženýrů. Řadu let pracoval na knize „Železobetonové výškové budovy“ (vydána 1978).

Publikace přináší vlastní životopis Františka Čížka, vzpomínky kolegů a žáků a vybrané ukázky z jeho knih, zejména úvahy, eseje a zamyšlení nad tvorbou a odpovědností stavebního inženýra a architekta. Svě úvahy zasazují do souvislostí historie oboru a technického rozvoje ve světě. Na závěr je uveden výběr z publikační činnosti a realizovaných stavebních konstrukcí.

*Stejskal, F.*

### **Ing. Josef Zeman a jeho inženýrské dílo (1922–1997)**

*Praha, 1998, brož., 32 s., 120 Kč*

První z řady malých monografií o svém životním díle začal připravovat Ing. Josef Zeman ve spolupráci s ČSSI a ČKAIT. Po náhlém úmrtí ji dokončil jeden z jeho spolupracovníků Ing. František Stejskal. Najdeme v ní základní životopisné údaje a shrnutí celoživotní činnosti Ing. Zemana v oboru ocelových konstrukcí. Místem jeho celoživotního působení byly především projektové kanceláře ve VŽKG Bratislava a v Hutním projektu Praha. Popisnými texty, technickými údaji, fotografiemi a technickou dokumentací jsou připomenuty jeho nejvýznamnější stavby, k nimž patří mj. obloukový silniční most přes Vltavu u Žďákova, rekonstrukce Tyršova mostu v Litoměřicích nad soutokem Labe a Ohře, návrhy mostních konstrukcí po druhé světové válce využívající materiál válečného mostního provizoria Bailey, který dodala naší republice organizace UNRA, lávky pro pěší, obloukové střešní konstrukce s lamelovými klenbami uplatňované při stavbě sportovních hal, střešní konstrukce se šikmými oblouky, „čtyřkloubové“ konstrukční systémy, veletržní pavilon v Damašku, letní kina a otevřené scény, tribuny, osvětlovací stožáry. S dalšími kolegy se zúčastnil soutěží vypsanych na významná mostní díla, např. na dálniční most ve Velkém Meziříčí, přemostění Dunaje v Bratislavě, přemostění Labe mezi Děčínem a Podmokly. Ve svých sedmdesáti letech navrhl a realizoval pódium pro návštěvu papeže v Praze v roce 1995.

*Uvedené publikace vydalo ve formátu A4 Informační centrum ČKAIT, Sokolská 15, Praha 2, tel. 227 902 211, e-mail info@ckait.cz. Kromě prodejny vydavatele je lze zakoupit v Oblastních kancelářích ČKAIT, v prodejnách technické literatury ČVUT Praha a VUT Brno. Písemné objednávky vyřizuje Informační centrum ČKAIT, expedice Hradec Králové, Jižní 870, 500 03 Hradec Králové.*

# STAVEBNÍ OBZOR

ROČNÍK 11 ČÍSLO 9/2002

## Navigace v dokumentu

### OBSAH

Florian, A. <b>Parametrická studie náhodného chování ohýbaných průřezů z recyklovaného betonu – 2. část</b>	257
Jiříčková, M. – Černý, R. <b>Vliv hydrofobizačních přísad na vlhkostní vlastnosti cementovápenných malt</b>	264
Bartoněk, D. <b>Vyhodnocení vad izolace potrubí detekovaných Pearsonovou metodou</b>	268
Hánková, D. – Štefanová, P. <b>Extrémní hydrologické jevy a stoková síť</b>	271
Čistý, M. – Skalová, J. – Klementová, E. <b>Kalibrácia hydraulického distribučního systému závlahovej sústavy</b>	275
Košťál, J. <b>Laboratorní stanovení filtračního součinitele Na-bentonitů</b>	279
Pospíšil, J. – Štroner, M. <b>Využití digitální kamery k ověření modelů vlivu atmosféry</b>	283



**9 • 2002**

**ročník 11**

# 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

Florian, A.

**Parametrická studie náhodného chování ohýbaných průřezů z recyklovaného betonu – 2. část . . . . . 257**

Jiříčková, M. – Černý, R.

**Vliv hydrofobizačních přísad na vlhkostní vlastnosti cementovápených malt . . . . . 264**

Bartoněk, D.

**Vyhodnocení vad izolace potrubí detekovaných Pearsonovou metodou . . 268**

Hánková, D. – Štefanová, P.

**Extrémní hydrologické jevy a stoková síť . . . . . 271**

Čistý, M. – Skalová, J. –  
– Klementová, E.

**Kalibrácia hydraulického distribučního systému závlahovej sústavy . . . . . 275**

Košťál, J.

**Laboratorní stanovení filtračního součinitele Na-bentonitů . . . . . 279**

Pospíšil, J. – Štroner, M.

**Využití digitální kamery k ověření modelů vlivu atmosféry . . . . . 283**

## CONTENTS

Florian, A.

**Statistical Analysis of Reinforced Cross Sections from Recycled Concrete – Part II . . . . . 257**

Jiříčková, M. – Černý, R.

**The Effect of Hydrophobic Additives on Hygric Properties of Cement-Lime Plasters . . . . . 264**

Bartoněk, D.

**Assessment of Defects in Pipeline Insulation Detected by Pearson's Method . . . . . 268**

Hánková, D. – Štefanová, P.

**Extreme Hydrological Events and the Sewerage . . . . . 271**

Čistý, M. – Skalová, J. –  
– Klementová, E.

**Calibration of the Hydraulic Distribution Scheme of an Irrigation System . . . . . 275**

Košťál, J.

**Laboratory Determination of Hydraulic Conductivity of Na-Bentonite . . . . . 279**

Pospíšil, J. – Štroner, M.

**The Use of the Digital Camera for the Verification of Models of Atmospheric Effects . . . . . 283**

## INHALT

Florian, A.

**Parameterstudie des zufälligen Verhaltens von gebogenen Querschnitten aus Recyclingbeton – 2. Teil . . 257**

Jiříčková, M. – Černý, R.

**Der Einfluss hydrophobierender Zusätze auf die Feuchteigenschaften von Kalkzementmörteln . . . . . 264**

Bartoněk, D.

**Auswertung von mit der Pearson-Methode ermittelten Beschädigungen der Rohrdämmung . . . . . 268**

Hánková, D. – Štefanová, P.

**Extreme hydrologische Erscheinungen und das Abwassernetz . . . . . 271**

Čistý, M. – Skalová, J. –  
– Klementová, E.

**Kalibrierung des hydraulischen Verteilungssystems einer Bewässerungsanlage . . . 275**

Košťál, J.

**Laboratormäßige Bestimmung des Filtrationskoeffizienten von Na-Bentonit . . 279**

Pospíšil, J. – Štroner, M.

**Einsatz einer Digitalkamera zur Überprüfung von Modellen des Einflusses der Atmosphäre . . . . . 283**

Toto číslo bylo vydáno za podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR (projekt LP 0002).

## 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

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.

prof. Ing. Adolf PATERA, DrSc.

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. Podávání novinových zásilek povoleno Ředitelstvím pošt Praha, č. j. NP 144/1994, ze dne 21. 10. 1994. Do tisku 7. 10. 2002. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

## Parametrická studie náhodného chování ohýbaných průřezů z recyklovaného betonu – 2. část

Ing. Aleš FLORIAN, CSc.  
VUT – Fakulta stavební  
Brno

Příspěvek navazuje na [1] a uvádí další výsledky získané v rámci statistické analýzy mezního momentu únosnosti ohýbaných průřezů vyrobených z betonů s příměsí recyklovaných složek a vyztužených betonářskou ocelí. V parametrické studii se sleduje vliv měnicí se šířky a výšky průřezu, podíl vyztužení a vlastností betonu s různou kvalitou a množstvím příměsí recyklovaných složek na některé statistiky mezního momentu. Pro výpočet mezního momentu je použit výpočetní model vycházející z ČSN P ENV 1992-1-1 (1994). Výsledky jsou porovnány se standardním betonem a s normovými hodnotami. Celkem je analyzováno 1 550 různých průřezů. Jako náhodné vstupní veličiny jsou zvoleny pevnost betonu v tlaku, pevnost betonářské výztuže, modul pružnosti betonářské výztuže, výška průřezu, šířka průřezu a poloha betonářské výztuže. Pro potřeby statistické analýzy je použita metoda Monte Carlo (Simple Random Sampling).

### 1. Úvod

Pozornost je věnována statistické analýze mezního momentu únosnosti obdélníkového betonového průřezu z recyklovaného betonu vyztuženého betonářskou výztuží a namáhaného na prostý ohyb. Parametrická studie je provedena v závislosti na měnicí se šířce a výšce průřezu pokrývající reálně možné spektrum vyráběných prvků, vyztužení od minimální do maximální hodnoty, a konečně v závislosti na vlastnostech betonu s různou kvalitou a množstvím příměsí recyklovaných složek. Cílem je posoudit vliv přítomnosti betonu vyrobeného z recyklovaných příměsí na základní statistiky momentu únosnosti a na spolehlivost průřezu navrženého podle ČSN P ENV 1992-1-1 (1994) [2]. Podrobnosti je možné nalézt v [3]. Příspěvek navazuje na první část [1], kde byla studie podrobněji popsána a kde byly diskutovány výsledky pro střední hodnotu a výběrové rozpětí mezního momentu. V předkládané části jsou publikovány výsledky pro variační koeficient, šikmost, vhodné rozdělení pravděpodobnosti a informace o materiálu, který rozhoduje o dosažení mezní únosnosti.

### 2. Popis studie

Podrobněji je popsána v [1]. Předpokládá se, že průřezy jsou vyrobeny z betonu třídy C20/25 a betonářské oceli S500. Průřez je vyztužen jednou vrstvou výztuže v tažené oblasti a je namáhan prostým ohybem. Parametry, jejichž vliv na výsledek analýzy se sleduje, jsou šířka průřezu  $B$ , výška průřezu  $H$ , vyztužení  $\rho$  a vlastnosti betonu s příměsí

recyklovaných složek. Jsou uvažovány čtyři typy betonu odpovídající třídě betonu C20/25 (označeny typ 1–4) s příměsí recyklovaných složek. Charakteristika těchto typů: typ 1 – kvalitní beton obsahující pouze hrubý betonový recyklát, typ 2 – kvalitní beton obsahující hrubý i jemný betonový recyklát v poměru cca 8 : 1, typ 3 – méně kvalitní beton obsahující hrubý i jemný betonový recyklát v poměru cca 3 : 1, typ 4 – nejméně kvalitní beton obsahující hrubý i jemný betonový recyklát v poměru cca 1 : 1, popř. další recyklované příměsí (např. zbytky zdiva).

Jako náhodné vstupní veličiny jsou zvoleny pevnost betonu v tlaku  $f_c$ , pevnost betonářské výztuže  $f_y$ , modul pružnosti betonářské výztuže  $E_s$ , výška průřezu  $H$ , šířka průřezu  $B$  a poloha těžiště betonářské výztuže v průřezu měřená od spodního taženého okraje  $x_s$ . O všech vstupních veličinách se předpokládá, že jsou popsány normálním rozdělením pravděpodobnosti a jsou vzájemně statisticky nezávislé. Protože reprezentativní informace o statistických parametrech pro betony s příměsí recyklátu neexistují, byly s uvažováním výše uvedených faktů a s přihlédnutím k prvním experimentálním výsledkům jednotlivých typů betonu odpovíděně odhadnuty. Přitom se pro každý typ betonu s recyklátem (typ 1–4) statistiky vztahovaly ke statistikám standardního betonu (typ 0) jako určitý násobek jeho střední hodnoty a variačního koeficientu. Tyto násobitele se uvažovaly svou konzervativní hodnotou, tj. na straně bezpečnosti [1].

Pro porovnání výsledků vlivu recyklátu v betonu na výsledky statistické analýzy je zvolen standardní beton třídy C20/25, který je označen jako typ 0. Dále je určována hodnota normového mezního momentu podle [2] získaného s uvažováním charakteristických hodnot a dílčích součinitelů materiálu. Statistická analýza se vždy provádí pro každý rozměr průřezu, každé vyztužení a každý typ betonu. Celkem je tudíž analyzováno 1 550 různých variant betonového průřezu. Výpočet mezního momentu únosnosti betonového průřezu vyztuženého betonářskou výztuží a namáhaného na prostý ohyb vychází z [2]. Pro potřeby statistické analýzy je využita jednoduchá metoda Monte Carlo (Simple Random Sampling) s 5 000 simulacemi.

### 3. Výsledky studie

Z výsledků statistické analýzy jsou tentokrát k diskuzi vybrány variační koeficient popisující náhodnou proměnlivost, šikmost charakterizující nesymetričnost rozdělení pravděpodobnosti vzhledem ke střední hodnotě, rozdělení pravděpodobnosti vhodné pro popis náhodné proměnlivosti mezního momentu, a konečně informace, který materiál (jehož mezní přetvoření je vyčerpáno) rozhoduje o dosažení mezní únosnosti. Z velkého množství graficky zpracova-

ných výsledků jsou uvedeny pouze reprezentativní obr. 1 až obr. 7.

### 3.1. Variační koeficient

V obrázku 1 jsou uvedeny pro daný ilustrativní rozměr průřezu v závislosti na měnícím se podílu vyztužení průběhy variačního koeficientu pro jednotlivé analyzované typy betonu (označeny „typ 0–4“). V obrázcích 2 a 3 je uveden pro typy betonu 1 a 4 (reprezentující beton s příměsí recyklátu velmi dobré kvality, resp. velmi špatné kvality) průběh variačního koeficientu pro jednotlivé výšky průřezu v závislosti na měnícím se vyztužení.

Náhodná proměnlivost se zvyšuje s rostoucím vyztužením a klesající výškou a kvalitou betonu. Vliv šířky průřezu je zanedbatelný. Rozdílné chování vykazují nízké průřezy do cca 0,2 m, které mají podstatně vyšší variační koeficienty v porovnání s průřezy vyššími. Například pro průřez výšky 0,1 m je při malém vyztužení do cca 1 % variační koeficient až třikrát větší a při velkém vyztužení nad cca 2,0 % až dvakrát větší než u průřezů s výškou nad 0,2 m. Zcela odlišné hodnoty variačního koeficientu také vykazují málo vyztužené, a naopak velmi vyztužené betony. Velmi vyztužené betony mohou mít variační koeficient až třikrát větší než málo vyztužené.

Při malém vyztužení není větší rozdíl mezi jednotlivými typy betonu, zatímco u většího vykazují kvalitnější betony menší variační koeficient. Například u průřezu výšky 0,1 m je minimální hodnota variačního koeficientu cca 0,17 totožná pro všechny typy betonů, maximální hodnota je cca 0,33 pro kvalitní beton (typ 0) a cca 0,36 pro nejméně kvalitní beton (typ 4). Pro průřezy větší než 0,2 m je minimální hodnota variačního koeficientu v intervalu 0,05–0,07, maximální hodnota v intervalu 0,16–0,17 pro kvalitní beton a cca 0,21 pro nejméně kvalitní beton.

Zvyšování hodnoty variačního koeficientu obecně nepříznivě ovlivňuje spolehlivost konstrukce. Závisí samozřejmě také na střední hodnotě, přesto se dá konstatovat, že přítomnost recyklátu v betonu se zvýšením variačního koeficientu nepříznivě promítne do spolehlivosti konstrukce.

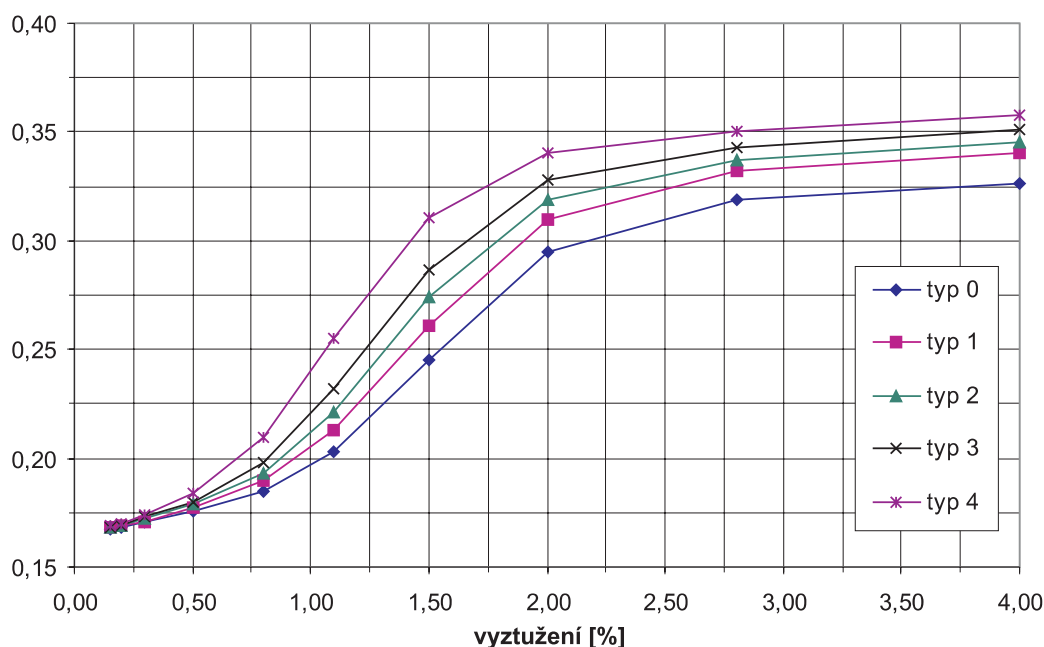
### 3.2. Šikmost

V obrázcích 4 a 5 je uveden pro typy betonu 1 a 4 (reprezentující beton s příměsí recyklátu velmi dobré kvality, resp. velmi špatné kvality) průběh šikmosti pro jednotlivé výšky průřezu v závislosti na měnícím se vyztužení. Šikmost se mění v závislosti na výšce průřezu, míře vyztužení a na kvalitě betonu. Rozdíly ovšem nejsou velké a šikmost se pohybuje v intervalu  $\pm 0,18$ , což pro tuto statistiku nejsou nijak významné hodnoty, které navíc mohou být ovlivněny použitou simulační metodou a zvoleným počtem simulací. Pro nejnižší podíl vyztužení je šikmost kladná s hodnotou maximálně do 0,18 pro nejnižší průřezy. S rostoucím vyztužením šikmost postupně klesá do záporných hodnot, přičemž pokles je rychlejší pro méně kvalitní betony. Největších záporných šikmostí nabývají nejvyšší průřezy. Se stoupajícím vyztužením se záporná šikmost opět začíná zmenšovat, resp. roste do kladných hodnot, aby se posléze ustálila v intervalu  $\pm 0,07$ . Kladnou hodnotu šikmosti ovšem mají pouze nejnižší průřezy do výšky 0,2 m. Rozdíly ovlivněné výškou průřezu a kvalitou betonu zůstávají zachovány.

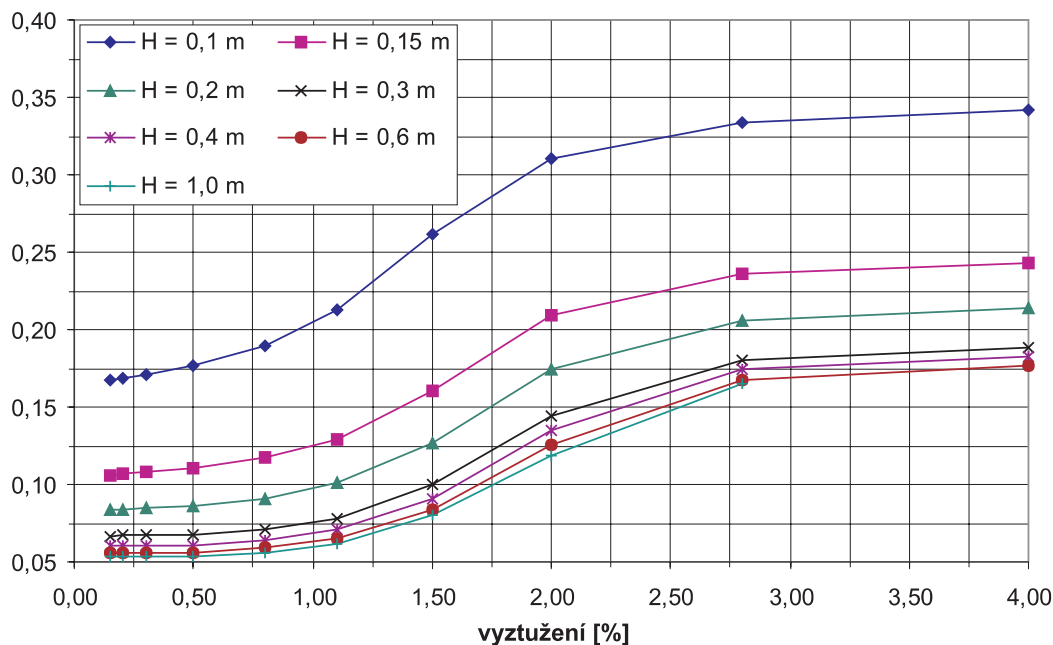
Tab. 1. Vhodné rozdělení pravděpodobnosti

Beton	Rozdělení pravděpodobnosti				
	N	LN	TN	W	P3
typ 0	51	103	7	35	114
typ 1	74	100	6	33	97
typ 2	97	85	1	27	100
typ 3	101	77	1	42	86
typ 4	101	73	6	39	88

Závěrem vyplývajícím z analýzy šikmosti je její relativně malá hodnota. Dá se tedy očekávat, že se průběžně bude měnit i vhodné rozdělení pravděpodobnosti pro popis náhodné proměnlivosti mezního momentu. V důsledku relativně malých hodnot šikmostí nemusí ovšem být rozdíl v jednotlivých rozděleních pravděpodobnosti zásadní.



Obr. 1. Variační koeficient momentu únosnosti průřezu rozměru  $B = 0,4 \text{ m}$ ,  $H = 0,1 \text{ m}$



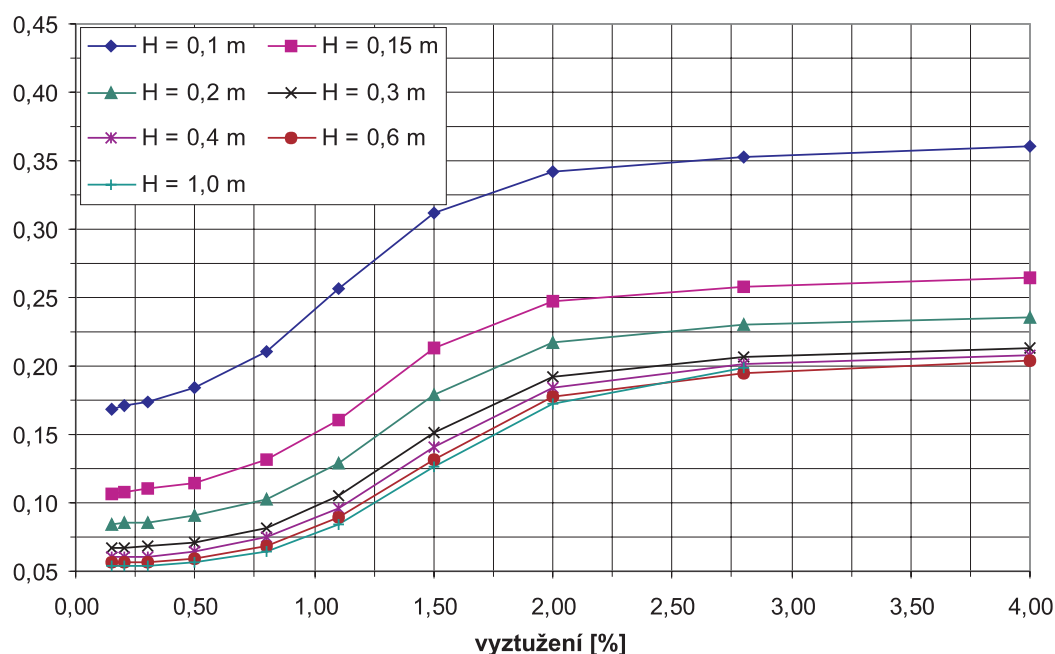
Obr. 2. Variační koeficient momentu únosnosti pro beton typ 1

### 3.3. Vhodné rozdělení pravděpodobnosti

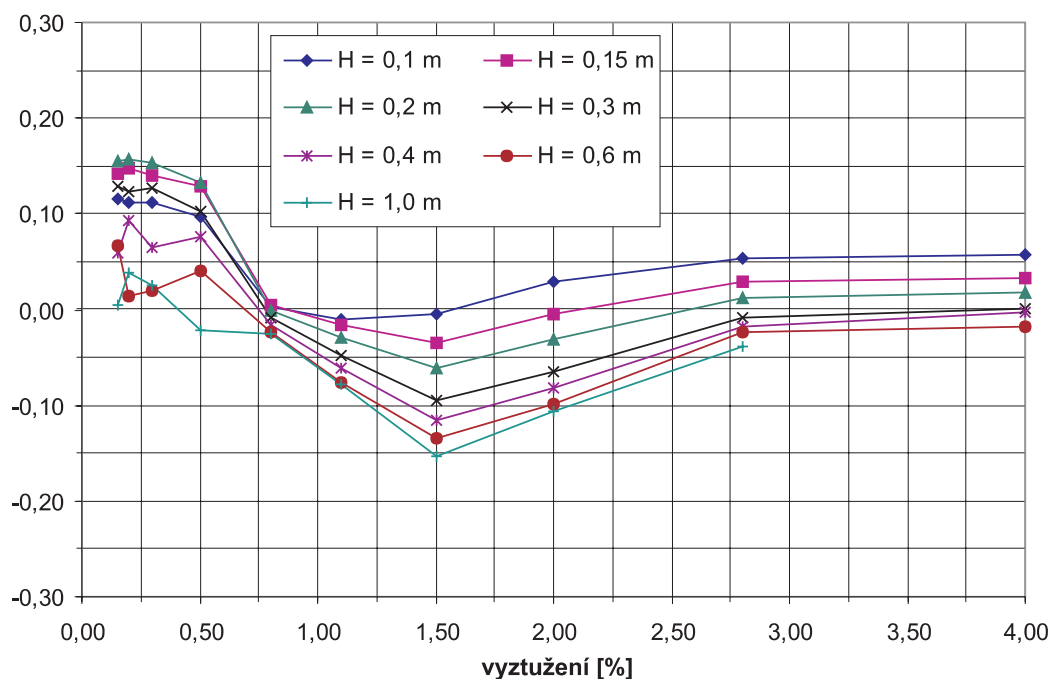
Specifickou sledovanou statistikou byl odhad vhodného rozdělení pravděpodobnosti pro popis náhodného chování momentu únosnosti. Obecně platí, že často používané normální rozdělení není vždy tím nejvhodnějším, neboť nulová šikmost a neomezení rozdělení do nekonečna pro ně charakteristické, je v realitě vlastností spíše výjimečnou. Pokud se navíc budeme zabývat pravděpodobností poruchy, tj. vyhodnocováním malých hodnot pravděpodobnosti, mohou být výsledky získané použitím různých rozdělení odlišné až o několik řádů. V této práci se k volbě vhodného rozdělení pravděpodobnosti používá postup založený na srovnávacích testech [4], který je schopen na základě vhodně definovaných statistik z určité množiny soutěžících rozdělení pravděpodobnosti vybrat rozdělení nejvhodnější. V této

množině je normální (N), lognormální (LN), useknuté normální (TN), Weibullovo (W) rozdělení pravděpodobnosti a rozdělení Pearson III (P3). Jako třetí parametr (kromě střední hodnoty a směrodatné odchylky) je použita šikmost s výjimkou useknutého normálního rozdělení, kdy třetím parametrem je upravená minimální, resp. maximální hodnota v souboru [5].

V tabulce 1 je souhrnně uvedeno, kolikrát bylo určité rozdělení pravděpodobnosti vybráno pro daný typ betonu jako nejvhodnější bez ohledu na rozměry průřezu a podíl vyztužení. Typ vhodného rozdělení závisí především na výšce průřezu a podílu vyztužení. Projevuje se i vliv recyklátu v betonu, i když jen v některých případech. Naopak, vliv šířky průřezu je minimální. Pro konkrétní rozměr průřezu se s rostoucím podílem vyztužení mění typ vhod-



Obr. 3. Variační koeficient momentu únosnosti pro beton typ 4



Obr. 4. Šikmost momentu únosnosti pro beton typ 1

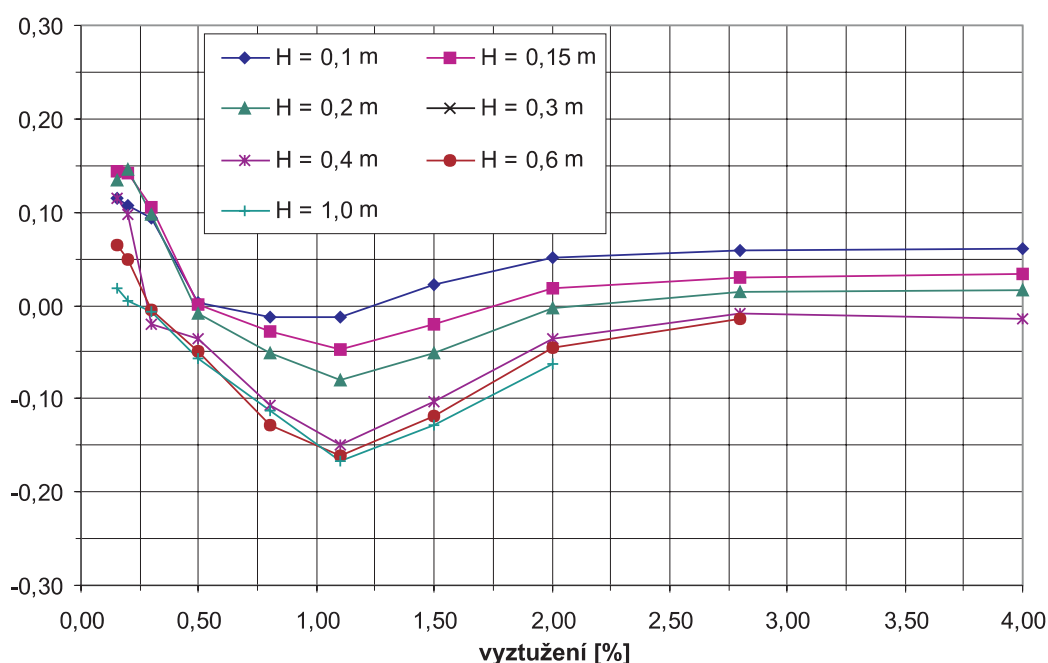
ného rozdělení. Obecně nejvhodnějším rozdělením se jeví rozdělení Pearson III, normální a lognormální rozdělení. Tyto výsledky jsou v souladu i s výsledky analýzy šikmostí, kdy její relativně malé hodnoty předem nediskvalifikují normální rozdělení předpokládající nulovou šikmost. Naopak, obecná nenulovost šikmostí je respektována lognormálním rozdělením a rozdělením Pearson III.

### 3.4. Porušení materiálu

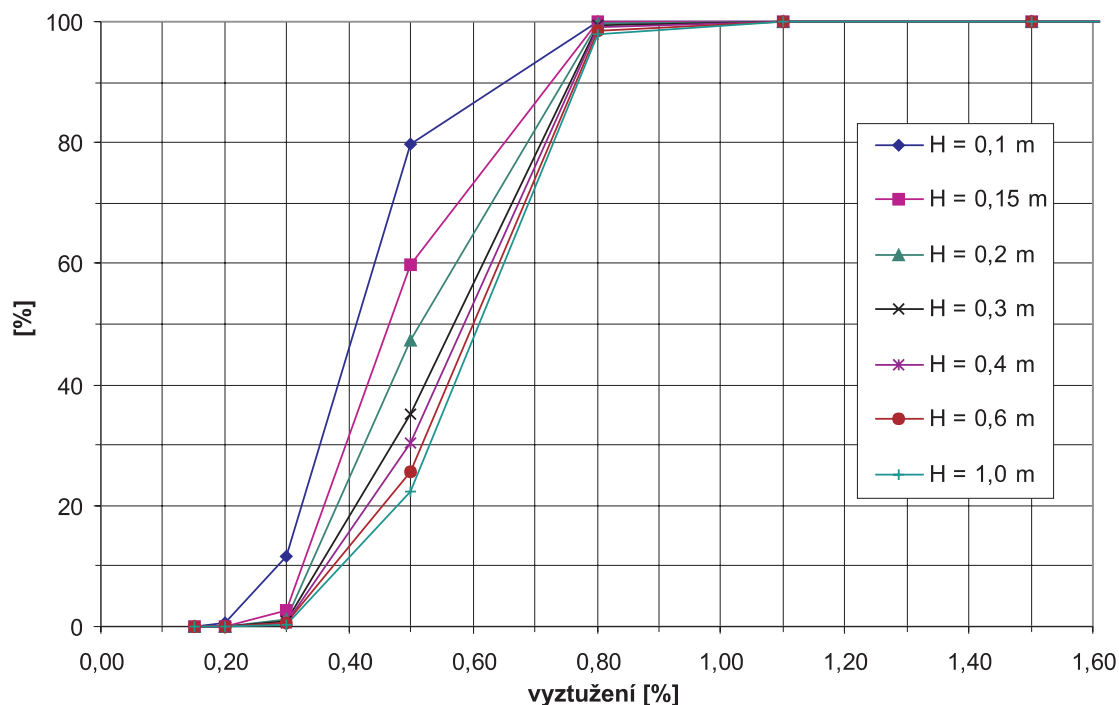
Poslední sledovanou veličinou bylo, jaký materiál dosažením svého mezního protažení, a tudíž svým porušením, rozhodoval během 5 000 opakování výpočtu o dosažení mezního momentu únosnosti průřezu. Dále bylo sledováno, zda skutečnost, že o dosažení mezní únosnosti rozhoduje

porušení betonu či oceli, je možné vysvětlit některé trendy týkající se vlivu míry vyztužení, rozměrů průřezů i kvality betonu na sledované statistiky mezního momentu únosnosti – střední hodnotu, výběrové rozpětí, variační koeficient, popř. vhodné rozdělení pravděpodobnosti. V *obrázcích 6 a 7* je v závislosti na měnícím se vyztužení souhrnně uvedeno pro typy betonu 0 a 4, které reprezentují beton s příměsí recyklátu ve vynikající kvalitě (blížíci se svými vlastnostmi betonu standardnímu bez recyklátu) a velmi špatné kvality, podíl případů z celkového počtu 5 000, kdy došlo k porušení betonu. Počet porušení oceli je samozřejmě doplňkem do 100 %.

S rostoucím vyztužením se zvyšuje pravděpodobnost porušení betonu a klesá pravděpodobnost porušení oceli, což je pochopitelné. Porušení betonu je také pravděpodob-



Obr. 5. Šikmost momentu únosnosti pro beton typ 4

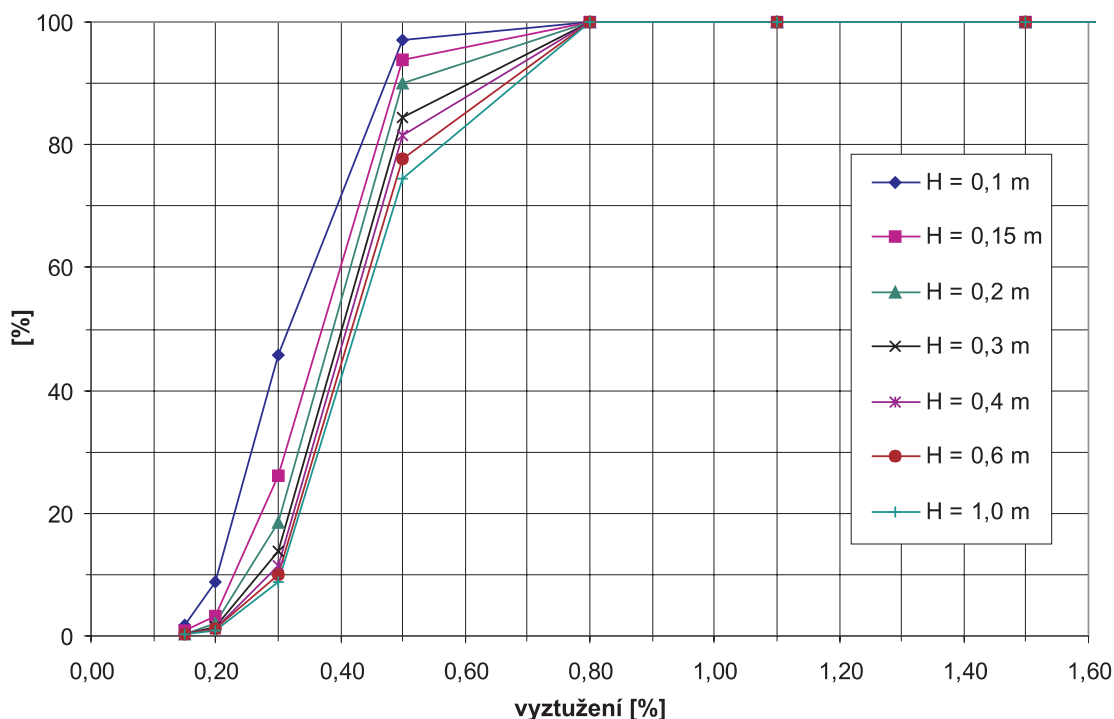


Obr. 6. Porušení betonu pro beton typ 0

nější pro nižší průřezy a méně kvalitní betony. Vliv šířky průřezu se neprojevuje. U kvalitních betonů do vyztužení cca 0,3 % dominuje porušení oceli. Jedinou výjimkou jsou průřezy do výšky cca 0,1 m, kdy je touto hranicí vyztužení cca 0,2 %. S klesající kvalitou betonu v důsledku přítomnosti recyklátu se hranice s dominantním vlivem porušení oceli postupně snižuje k hodnotě 0,2 %. Opět výjimkou jsou velmi nízké průřezy 0,1 m, kdy tato hranice začíná již u vyztužení 0,15 %. Pokud je vyztužení vyšší než výše uvedená hranice, začíná rychle k dosažení mezní únosnosti rozhodovat porušení betonu. Tento trend je rychlejší pro nižší průřezy a méně kvalitní betony. Od hranice vyztužení 0,8 %

dominuje porušení betonu. Tato hranice je téměř pevná a není ovlivněna ani výškou průřezu ani kvalitou betonu.

Existenci dvou hranic vyztužení, které rozhodují, zda k dosažení mezní únosnosti dojde dominantně porušením oceli, dominantně porušením betonu, anebo jak porušením betonu, tak oceli, je možné vysvětlit řadu trendů typických pro střední hodnotu, výběrové rozpětí, variační koeficient, popř. vhodné rozdělení pravděpodobnosti. Jak známo, náhodná proměnlivost pevnosti oceli je podstatně menší než náhodná proměnlivost pevnosti betonu. Pro vyztužení do 0,2 až 0,3 % tak rozhoduje pevnost oceli s menší náhodnou proměnlivostí, pro vyztužení větší než 0,8 % rozhoduje



Obr. 7. Porušení betonu pro beton typ 4

pevnost betonu s mnohem větší náhodnou proměnlivostí. Pro mezilehlá vyztužení v závislosti na řadě faktorů může rozhodovat jak pevnost oceli, tak pevnost betonu.

V případě střední hodnoty mezního momentu únosnosti je tím možné vysvětlit fakt, že do úrovně 0,8 až 1 % vyztužení se přítomnost recyklátu na střední hodnotu projevuje velmi mírně, a není tedy větší rozdíl mezi jednotlivými betony. Teprve od této hranice se totiž dominantně projevuje vliv diferenciace pevnosti betonu (snížení střední hodnoty a zvýšení náhodné proměnlivosti v důsledku přítomnosti recyklátu) pro jednotlivé typy betonu, a to jako důsledek dominantního vlivu porušení betonu na dosažení mezní únosnosti. Do této hranice se více či méně projevuje vliv oceli, a tudíž diferenciace je malá. Také je tím možné vysvětlit, proč do hranice vyztužení cca 1 % je nárůst únosnosti s růstem vyztužení více či méně lineární, zatímco nad touto hranicí nelineární, a především výrazně pomalý.

Obdobné závěry se týkají i výběrového rozpětí a variačního koeficientu, konkrétně toho, že od určité hranice vyztužení výběrové rozpětí výrazně roste a projevuje se vliv přítomnosti recyklátu a vliv výšky průřezu (především velmi nízkých průřezů). Pokud totiž od určité hranice vyztužení o porušení rozhoduje pevnost betonu s větší náhodnou proměnlivostí, je jistě pravděpodobnější, že maximální hodnoty mohou být výrazně větší než minimální. Pravděpodobnost, že o porušení bude rozhodovat beton, přitom roste s klesající kvalitou betonu a klesající výškou, a tudíž zvýšení výběrového rozpětí a variačního koeficientu je toho pouze logickým důsledkem.

#### 4. Souhrn výsledků

Výsledky statistické analýzy mezního momentu únosnosti obdélníkového betonového průřezu vyztuženého jednou vrstvou betonářské výztuže v tažené části průřezu a vyrobeného z betonů s různým charakterem a množstvím příměsí recyklátu je možné shrnout.

■ Přítomnost recyklátu v betonu se projevuje poklesem střední hodnoty mezního momentu únosnosti. Do hodnoty vyztužení 0,8 až 1 % je tento pokles relativně malý a není významnější rozdíl mezi jednotlivými betony. K diferenciaci dochází až při vyšších hodnotách vyztužení. Náhodná proměnlivost charakterizovaná variačním koeficientem se zvyšuje s rostoucím vyztužením a klesající výškou a kvalitou betonu. Vliv šířky průřezu je zanedbatelný. Rozdílné chování vykazují nízké průřezy do cca 0,2 m, které mají podstatně vyšší variační koeficienty v porovnání s průřezy vyššími. Tento trend je totožný pro všechny analyzované betony. Zcela odlišné hodnoty variačního koeficientu také vykazují málo vyztužené, a naopak velmi vyztužené betony. Velmi vyztužené betony mohou mít variační koeficient až třikrát vyšší než málo vyztužené. Šikmost se mění v závislosti na výšce průřezu a vyztužení a mírně i na kvalitě betonu. Nabývá relativně malých hodnot v intervalu cca  $\pm 0,18$ .

■ Pro konkrétní rozměr průřezu se s rostoucím vyztužením obecně mění typ vhodného rozdělení pravděpodobnosti pro popis náhodné proměnlivosti mezního momentu únosnosti. Typ vhodného rozdělení je především závislý na výšce průřezu a míře vyztužení. Projevuje se i vliv recyklátu v betonu, i když jen v některých případech. Obecně nejvhodnějším rozdělením se jeví rozdělení Pearson III, normální rozdělení a lognormální rozdělení.

■ S rostoucím vyztužením se zvyšuje pravděpodobnost dosažení mezní únosnosti v důsledku porušení betonu a klesá pravděpodobnost v důsledku porušení oceli, což je pochopitelné. Porušení betonu je také pravděpodobnější pro

nižší průřezy a méně kvalitní betony. U kvalitních betonů do vyztužení cca 0,3 % dominuje porušení oceli. Jedinou výjimkou jsou průřezy do výšky cca 0,1 m, kdy je touto hranicí vyztužení cca 0,2 %. S klesající kvalitou betonu v důsledku přítomnosti recyklátu se hranice s dominantním vlivem porušení oceli postupně snižuje k hodnotě 0,2 %. Opět výjimkou jsou velmi nízké průřezy 0,1 m, kdy tato hranice začíná již u vyztužení 0,15 %. Pokud je vyztužení větší než výše uvedená hranice, začíná rychle o dosažení mezní únosnosti rozhodovat porušení betonu. Tento trend je rychlejší pro nižší průřezy a méně kvalitní betony. Od hranice vyztužení 0,8 % dominuje porušení betonu.

#### Závěr

Jak vyplývá z parametrické studie, vliv recyklátu v betonu se projevuje nepříznivě na mezní moment únosnosti. S klesající kvalitou betonu v důsledku přítomnosti recyklátu se snižuje střední hodnota mezního momentu a zvyšuje se jeho náhodná proměnlivost. Tento trend je přitom ovlivněn mírou vyztužení a výškou průřezu, a nijak nezávisí na šířce. Negativní důsledky se projevují především u nízkých průřezů do 0,2 m a průřezů vyztužených nad 0,8 %.

Jak již bylo konstatováno [1], normová hodnota mezního momentu je jednotlivými analyzovanými typy betonu zaručena s různou spolehlivostí. Pokud by tedy pro posouzení průřezů vyrobených z betonů s příměsí recyklátu byly použity stávající předpisy a nebyly např. vhodně upraveny dílčí součinitele spolehlivosti, bude vždy u těchto betonů spolehlivost nadhodnocena v porovnání se standardním betonem bez příměsí recyklátu. Současné normy totiž vůbec nepostihují vliv přítomnosti recyklátu v betonu na spolehlivost průřezu namáhaného na prostý ohyb. Zde je ovšem nutné zdůraznit, že to v žádném případě automaticky neznamená, že tyto průřezy jsou nespolehlivé či nesplňují spolehlivost zaručovanou předpisem [2] – stále mohou předpisům vyhovovat a požadovanou spolehlivost i s rezervou splňovat. Jaká je reálná spolehlivost těchto průřezů v porovnání se spolehlivostí požadovanou [2] je náplní další studie.

**Práce, jejíž výsledky jsou publikovány v tomto příspěvku, vznikla v rámci výzkumného záměru CEZ J22/98:261100008 VUT FAST Brno.**

#### Literatura

- [1] Florian, A.: Parametrická studie náhodného chování ohybaných průřezů z recyklovaného betonu – 1. část. Stavební obzor, **11**, 2002, č. 1, s. 7–10.
- [2] ČSN P ENV 1992-1-1 – Navrhování betonových konstrukcí, Část 1.1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. ČSNI, 1994.
- [3] Florian, A.: Statistická analýza náhodného chování obdélníkového průřezu z recyklovaného betonu namáhaného prostým ohybem – parametrická studie. Projekt CEZ J22/98:261100008, Ústav stavební mechaniky, VUT FAST Brno, 2000.
- [4] Florian, A. – Novák, D.: The Statistical Model Selection for Random Variables. Engineering Workstations Journal, 1988, 4(3), pp. 158–162.
- [5] Florian, A.: Srovnání přesnosti a spolehlivosti odhadů některých statistických parametrů metodou Latin Hypercube Sampling a metodou Simple Random Sampling. v.u. III-3-1/05, Ústav stavební mechaniky, VUT FAST Brno, 1990.



### Florian, A.: Statistical Analysis of Reinforced Cross Sections from Recycled Concrete – Part II

The influence of recycled concrete on the ultimate capacity of reinforced cross sections is analyzed taking into account the random properties of input variables. The statistical analysis is performed in the form of a parametric study with respect to different dimensions of crosssections, a different amount of mild steel, and a different amount and quality of recycled components. The following input variables are supposed to be random ones - strength of concrete, strength and modulus of mild steel, width and depth of the cross section, and the position of mild steel in cross section. In total, 1,550 different reinforced cross sections are statistically analyzed. The Simple Random Sampling is used for statistical analysis. Results are compared with standard concrete and with design values from ESN P ENV 1992-1-1 (Eurocode).

### Florian, A: Parameterstudie des zufälligen Verhaltens von gebogenen Querschnitten aus Recyclingbeton – 2. Teil

Der Beitrag knüpft an [1] an und stellt weitere im Rahmen einer statistischen Analyse des Grenzmoments von aus Beton mit einer Beimischung von wiederaufbereiteten Bestandteilen hergestellten und mit Betonstahl bewehrten gebogenen Querschnitten ermittelte Ergebnisse vor. In der Parameterstudie wird der Einfluss der sich verändernden Breite und Höhe des Querschnitts, des Maßes der Bewehrung und der Eigenschaften von Beton mit verschiedener Qualität und Menge der Beimischung wiederaufbereiteter Komponenten auf einige Statistiken des Grenzmoments verfolgt. Für die Berechnung des Grenzmoments wird ein von der Norm ČSN P ENV 1992-1-1 (1994) ausgehendes Modell angewandt. Die Ergebnisse werden mit Standardbeton und den Normenwerten verglichen. Insgesamt werden 1550 verschiedene Querschnitte analysiert. Als zufällige Eingabegrößen werden die Druckfestigkeit des Betons, die Festigkeit der Bewehrung, das Elastizitätsmodul der Bewehrung, die Querschnittshöhe und -breite und die Lage der Bewehrung gewählt. Für den Bedarf der statistischen Analyse wird die Monte-Carlo-Methode (Simple Random Sampling) angewandt.

# SKANSKA

## Skanska Prefa předběhla konkurenci ve vývoji zdvojené stěny

Výrobek společnosti Skanska Prefa, označovaný jako zdvojené stěny, není na trhu neověřenou novinkou, ale již několik let používaným systémem, který nabízí i několik konkurenčních firem. Skanska Prefa chce nabízet ucelený sortiment v oblasti stěnových prvků, které by mohly najít uplatnění i v projektech realizovaných skupinou IPS Skanska.



## Zdvojené stěny typu Skanska Prefa

V současné době je problematika svislých železobetonových stěnových konstrukcí, bez ohledu na to, zda jde o stěny nosné, výplňové, nebo stěny ztužující nosnou skeletovou konstrukci, řešena buď monolitickým způsobem, nebo klasickou panelovou výstavbou. První varianta znamená velkou stavební pracnost, časovou náročnost výstavby a z toho vyplývající zvýšenou finanční náročnost. Na druhé straně představuje monolitická konstrukce obrovský rozsah různých variant umožňujících každou stavbu řešit podle individuálních požadavků. Druhým způsobem řešení je použití klasických prefabrikovaných panelů, má však nevýhodu v nižší variabilitě konstrukčního řešení. Nabízí však i spoustu výhod, mezi něž patří maximální zrychlení výstavby, odstranění mokrého procesu ze stavby atd.

Třetím moderním způsobem, jak řešit problematiku železobetonových stěn, je využití již zmíněné technologie zdvojených stěn, již Skanska Prefa nyní uvádí na trh. Tato technologie zahrnuje výhody obou předchozích, a zároveň v maximální míře eliminuje jejich nevýhody. Oblast použití takto vytvářených stěn je takřka neomezená. Lze je aplikovat u sklepů rodinných domů, stěn pro čistící stanice, suterénní průmyslových hal, suterénní objektů občanské vybavenosti a v řadě dalších případů u občanské, bytové a průmyslové výstavby. Nejde však jen o prvky určené pro suterénní stavby a průmyslovou výstavbu, ale i pro nadzemní podlaží v občanské a bytové výstavbě.

Postup výstavby se potom dá shrnout do několika bodů – přivezení kompletních stavebních prvků na stavbu, osazení zdvojených stěn pomocí jeřábu na místo, kde se vytváří stěna, ukotvení a vyrovnání stěn pomocí montážních vzpěr, uložení přídatného armování, popř. instalací, ztužení konstrukce betonem minimální třídy podle statického výpočtu. Tento jednoduchý postup přinese uživateli mnoho výhod, zejména:

- přenesení velkého množství práce ze stavby do výroby, což omezuje její sezónnost;
- rychlou a hospodárnou montáž sklepa i nadzemních podlaží;
- nezávislost na rozměrech půdorysu stavby;
- volitelnou délku stěn a úhlů zkosení;
- úsporu celkových stavebních nákladů;
- úsporu tesařských a armovacích prací, a tím i snadnější montáž;
- zrychlení stavebních prací – odpadá nutnost zřizování bednicí konstrukce, což umožňuje pokračovat v dalších stavebních pracích (instalacích atd.);
- přesné a jednoduché vytvoření otvorů a následně vkládání jejich výplní;
- ideálně rovné a hladké povrchy, které většinou není nutné omítat, stačí malba;
- možnost tvarování povrchů pomocí různých matic.

Nespornou výhodou je i zlevnění výstavby. Díky kratší realizační době jsou i nižší mzdové náklady. Navíc ve stísněných podmínkách městských center nejsou potřeba obtížně vyčlenitelné plochy na ukládání bednění, nemusí se pronajímat drahé bednicí systémy, a tím odpadají požadavky na skladování a hlídání bednění.

## Vliv hydrofobizačních přísad na vlhkostní vlastnosti cementovápenných malt

Ing. Milena JIŘÍČKOVÁ  
prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

Článek se zabývá stanovením základních vlhkostních parametrů průmyslově vyráběné cementovápenné malty, která byla vzhledem k uvažovanému využití jako retardér vodní páry modifikována přidávkou hydrofobizačního činidla. Sledovaná malta má být součástí navrhovaného systému vnitřní tepelné izolace historických budov.

### Úvod

Vnitřní tepelné izolační systémy mohou být konstruovány jako třívrstvé systémy sestávající z retardéru vodní páry, jež zmírňuje tok vodní páry do nosné konstrukce během zimního období, kapilárně aktivního tepelně izolačního materiálu, který je schopný kondenzovanou vodu částečně odvést zpět do interiéru, a vnitřní lehké omítky, umožňující snadný transport přebytečné vodní páry do interiéru [1].

V tomto článku jsou experimentálně určeny základní vlhkostní parametry běžně vyráběné cementovápenné malty KAM (SAKRET CZ, k. s.) upravené známým množstvím hydrofobizační složky tak, aby splňovala požadavky kladené na retardér vodní páry v systému vnitřní tepelné izolace.

### Měření vlhkostních materiálových parametrů

Jsou měřeny dva transportní parametry přenosu vlhkosti, konkrétně součinitel difúze vodní páry a vlhkostní absorpční koeficient, který reprezentuje přenos vlhkosti v kapalném stavu. Jsou určeny též sorpční izotermy, jež jsou základním akumulacním parametrem přenosu vlhkosti.

Měření součinitele difúze vodní páry metodou bez teplotního spádu je založeno na jednorozměrném šíření vodní páry vzorkem a spočívá v měření difúzního toku vodní páry prošlé vzorkem při znalosti parciálních tlaků vodní páry ve vzduchu pod měrným povrchem vzorku a nad ním [2]. Vzorek je vzduchotěsně upevněn v misce naplněné roztokem známé relativní vlhkosti. 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  $\delta$  se vyhodnocuje podle vztahu

$$\delta = \frac{\Delta m \cdot d}{S \cdot \tau \cdot \Delta p_p} \text{ [s]},$$

kde  $\Delta m$  je množství páry difundující vzorkem [kg],

$\delta$  – tloušťka vzorku [m],

$S$  – měrná plocha vzorku [m<sup>2</sup>],

$\tau$  – období korespondující s transportem hmotnosti vodní páry  $\Delta m$  [s],

$\Delta p_p$  – rozdíl parciálních tlaků vodní páry ve vzduchu nad měrným povrchem vzorku a pod ním [Pa].

Za izotermních podmínek platí vztah mezi součinitelem difúze vodní páry  $D$  a součinitelem difúzní propustnosti

$$D = \delta RT/M \text{ [m}^2\text{s}^{-1}\text{]},$$

kde  $R$  je univerzální plynová konstanta,

$T$  – absolutní teplota,

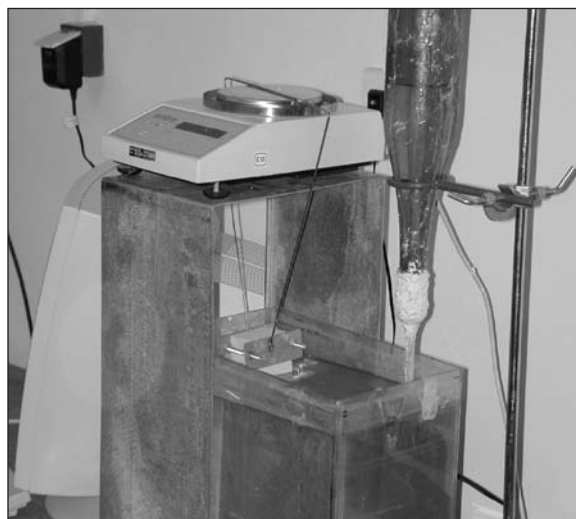
$M$  – molární hmotnost vody.

Ve stavební praxi se nejčastěji používá faktor difúzního odporu

$$\mu = D_a/D \text{ [-]},$$

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

Měřicí aparatura pro stanovení vlhkostního absorpčního koeficientu (obr. 1) sestává z nádoby na vodu, nad níž se na kovové konstrukci zavěsí na automatickou digitální váhu vzorek s parotěsně a vodotěsně izolovanými bočními stěnami. Vzorek se ponoří 1 až 2 mm pod hladinu v nádobě.



Obr. 1. Aparatura pro měření vlhkostního absorpčního koeficientu

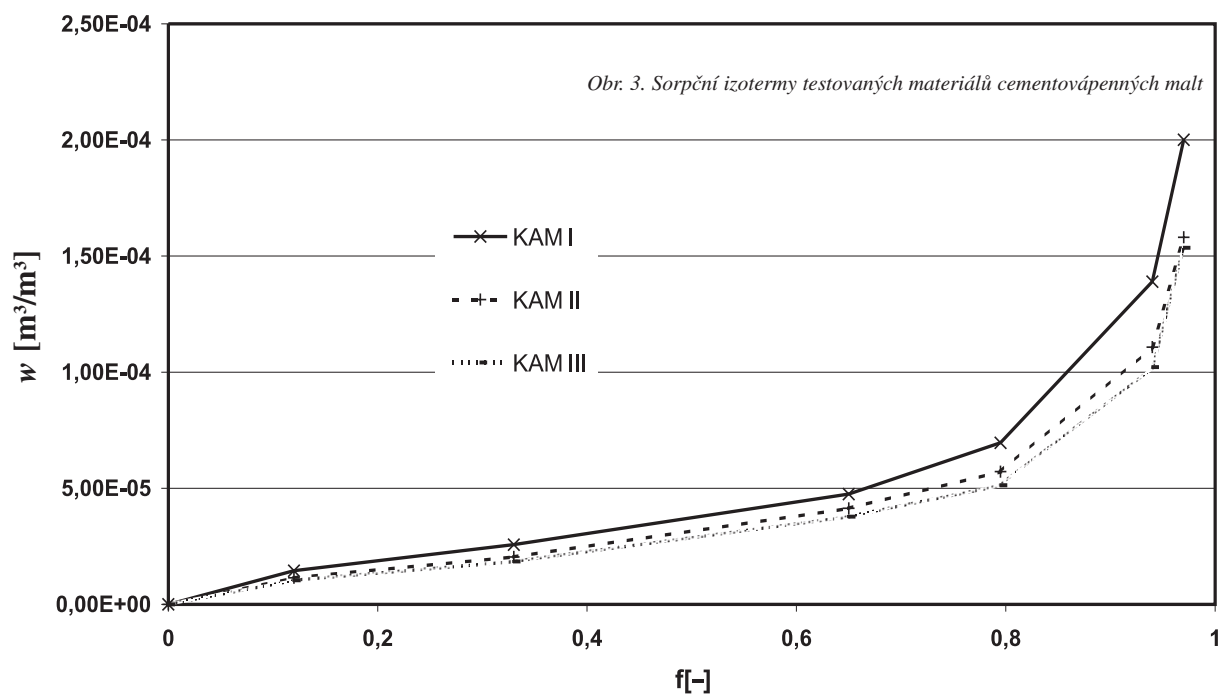
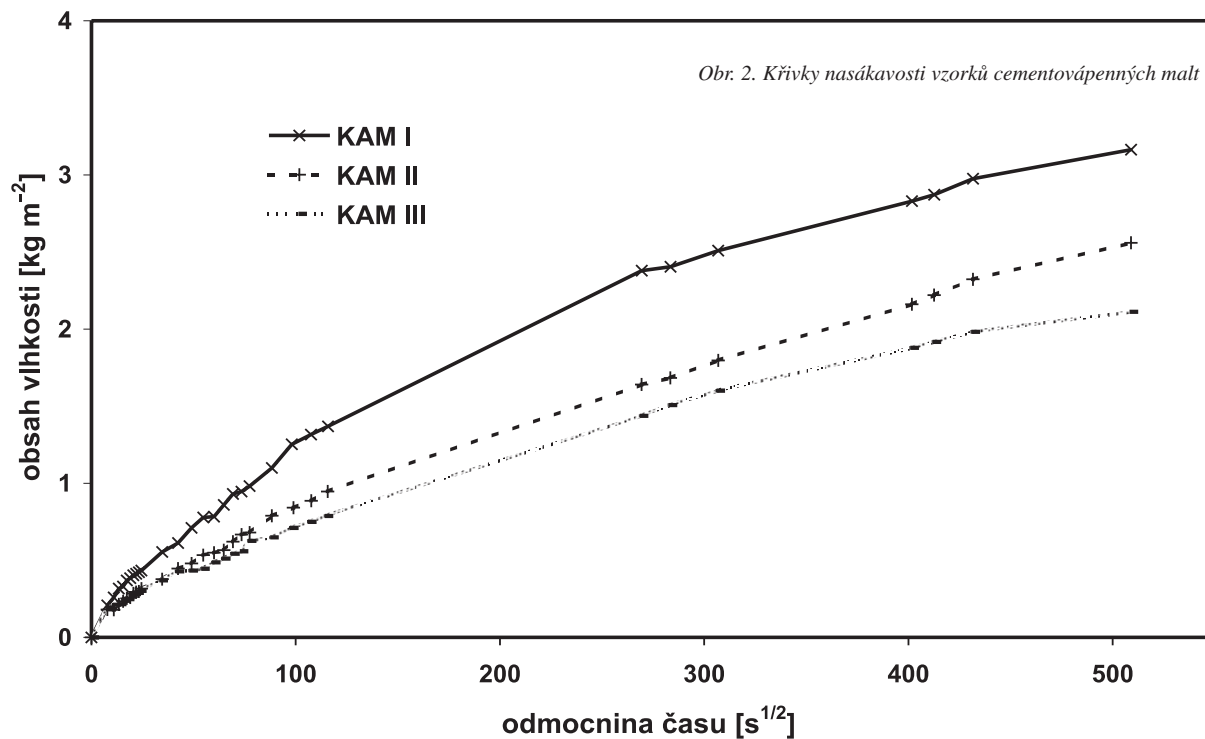
Program vytvořený speciálně pro toto měření zaznamenává časový průběh navlhání vzorku. Umožňuje libovolné nastavení intervalů pro odečtení aktuální hmotnosti vzorku. Ze zjištěných hodnot se sestrojí závislost kumulativního obsahu vlhkosti (na jednotku plochy) na odmocnině z času, ze které se lineární regresí přímo určí vlhkostní absorpční koeficient. Průměrnou hodnotu součinitele vlhkostní vodivosti [3] lze vypočítat z rovnice

$$D_w \approx \left( \frac{A}{w_c} \right)^2 \text{ [m}^2\text{s}^{-1}\text{]},$$

kde  $A$  je absorpční koeficient vody [kgm<sup>-2</sup>s<sup>-1/2</sup>],

$w_c$  – obsah nasycené vlhkosti [kgm<sup>-3</sup>].

Pro měření adsorpčních izoterm se vzorky umístí do exsikatorů s různými roztoky simulujícími rozdílné hodnoty relativní vlhkosti [4]. Experiment probíhá paralelně ve



všech přístrojích. Hmotnost vzorků se měří v určitém čase až do dosažení rovnováhy. Pak se obsah objemové vlhkosti vypočítá podle rovnice

$$w = \frac{m_s - m_0}{V \cdot \rho_w} [\text{m}^3 \text{m}^{-3}] ,$$

kde  $m_s$  je hmotnost vlhkého vzorku za ustáleného stavu,  
 $m_0$  – počáteční hmotnost suchého vzorku,  
 $V$  – objem vzorku,  
 $\rho_w$  – hustota vody při průměrné teplotě 20 °C,  
 $\rho_w = 998 \text{ kgm}^{-3}$ .

### Testované materiály

Tabulky 1 a 2 ukazují základní vlastnosti, tedy složení a zrnitost suché cementovápenné směsi pro malty.

### Vzorky

K suché směsi pro výrobu malty se přidala voda v takovém množství, aby byla vytvořena směs s vodním součinitelem 0,39. Z té se odlily standardní trámečky 160 x 40 x 40 mm, z nichž se po 28 dnech tvrdnutí řezaly vzorky o rozměrech 10 x 40 x 40 mm. Vzorky pro měření difúze

vodní páry se vyráběly kladením maltové směsi do formy průměru 110 mm a tloušťce 7 až 10 mm a zhutňovaly se dusáním, doba tvrdnutí byla rovněž 28 dní.

Tab. 1. Surovinové složení suché cementovápenné směsi

Surovina [%]	KAM I	KAM II	KAM III
písek frakce 0,0–0,5 mm	51,00	51,00	50,00
vápenný hydrát	2,00	2,00	2,00
cement	43,00	43,00	43,00
DLP*	3,00	3,00	3,00
natriumoleat**	0,15	0,25	0,35
FMC***	0,40	0,40	0,40

\* DLP – vinylacetatetylenkopolymer, disperzní prášek

\*\* natriumoleat –  $C_{15}H_{33}COONa$ , tzv. hydrofobizační činidlo

\*\*\* FMC – methylcelulóza, plnidlo

Tab. 2. Sítový rozbor

Maximální velikost částic [mm]	Zbytek na sítu [% hm.]
0,335	8,1
0,180	30,2
0,090	46,0

### Experimentální podmínky

Měření difúze vodní páry a vlhkostního absorpčního koeficientu se prováděla za laboratorních podmínek při  $25 \pm 1$  °C a relativní vlhkosti 30 až 35 %, měření adsorpčních izoterem při  $25 \pm 1$  °C a různé relativní vlhkosti (0; 9,2; 25; 44,5; 54,5; 64; 73,4; 83,2; 91,4 %). Výchozí hodnotou pro měření byla hmotnost vysušených vzorků.

### Výsledky experimentů

Naměřené a vypočítané hodnoty vlhkostních vlastností jsou uvedeny v tab. 3, obr. 2 a obr. 3.

Z experimentálně získaných hodnot pro hustotu materiálu je zřejmé, že přidavek hydrofobizační přísady snižuje měrnou hmotnost vzniklé směsi. Faktor difúzního odporu cementovápenné malty klesá s rostoucím podílem hydrofobizační přísady, a to z hodnoty 26,7 pro 0,15 % hm. na 17,0 pro 0,25 % hm. a 14,1 pro 0,35 % hm.

Pro materiál určený jako retardér vodní páry v systému vnitřní izolace je požadována spíše vyšší hodnota faktoru difúzního odporu [1], aby do materiálu nosné konstrukce pronikalo jen takové množství vodní páry, které je materiál schopen transportovat v zimním období bez kondenzace do exteriéru. Přidavek 0,15 % hm. se proto jeví jako nejvhodnější. Součinitel vlhkostní vodivosti testovaného materiálu je dosti nízký a výrazně klesá s rostoucím přidavkem natriumoleatu. Zde se jeví jako nejvhodnější přidavek 0,35 % hm. Z měření adsorpčních izoterem vyplývá zřetelný nárůst obsahu objemové vlhkosti s klesajícím přidavkem hydrofobizačního činidla.

Tab. 3. Transportní parametry přenosu vlhkosti

Typ	$\rho$ [kgm <sup>-3</sup> ]	$d$ [m]	$\delta$ [s]	$\mu$ [-]	$A$ [kgm <sup>-2</sup> s <sup>-1/2</sup> ]	$D_w$ [m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]
KAM I	1529,54	8,96E-3	6,4E-12	26,7	1,16E-2	1,00E-9
KAM II	1415,05	7,52E-3	1,0E-11	17,0	8,00E-3	2,98E-10
KAM III	1382,57	9,32E-3	1,2E-11	14,1	6,00E-3	2,14E-10

### Závěr

Retardér vodní páry v třívrstevném vnitřním tepelně izolačním systému [1] by měl mít nízkou hodnotu součinitele vlhkostní vodivosti a faktor difúzního odporu by měl být vyšší než faktor difúzního odporu nosné konstrukce. Tyto požadavky splňují všechny sledované cementovápenné malty pouze pro cihelnou stěnu, pro kamenné zdvo bylo jejich použití bylo pro příliš nízkou hodnotu faktoru difúzního odporu nevhodné.

Z výsledků měření vlhkostních vlastností v tomto článku vyplývá, že jejich modifikace pomocí natriumoleátu je velmi významná, a lze je tedy tímto způsobem účinně regulovat podle požadavku daného podkladním zdívkem. Je ovšem třeba poznamenat, že v daném případě vedlo použití natriumoleátu k ambivalentním důsledkům, kdy snížení hodnoty součinitele vlhkostní vodivosti bylo doprovázeno snížením faktoru difúzního odporu. Účinek těchto přísad v cementovápenných maltách tedy není jednoznačně pozitivní. Vhodnost použití jednotlivých variant pro systémy s vnitřní tepelnou izolací by bylo třeba posoudit na základě podrobné počítačové analýzy teplotně vlhkostních poměrů ve stěně, např. využitím počítačového programu DELPHIN [5].

Článek vznikl na základě podpory grantu pátého rámcového programu EU G5RD-CT-2000-00197 a výzkumného záměru MSM:21000004 MŠMT ČR.

### Literatura

- [1] Černý, R. – Maděra, J. – Grunewald, J.: Numerical Simulation of Heat and Moisture Transport in Building Envelope Systems with Inside Thermal Insulation Systems on the Mineral Wool Basis. [Proceedings], International Conference on Building Envelope Systems and Technologies, B. Baskaran, R. Paroli (eds.). NRC-CNRC, Ottawa 2001, pp. 251–255.
- [2] ČSN 72 7031 Měření součinitele difúze vodní páry stavebních materiálů metodou bez teplotního spádu. ČSN, 1974.
- [3] Kumaran, M.K.: Moisture Diffusivity of Building Materials from Water Absorption Measurements. IEA Annex 24 Report T3-CA-94/01, Ottawa 1994.
- [4] Brunauer, S. – Emmet, P.H. – Teller, E.: Adsorption of Gases in Multimolecular Layers. J. Am. Chem. Soc. Vol. 60, 1938.
- [5] Grunewald, J.: DELPHIN 4.1 – Documentation, Theoretical Fundamentals. TU Dresden, 2000.

Jiříčková, M. – Černý, R.: The Effect of Hydrophobic Additives on Hygric Properties of Cement-Lime Plasters

The basic hygric properties of industrially produced cement-lime plaster are determined in the paper. The plaster was modified using a hydrophobic agent due to its potential use as water vapour retarder. It should be a part of an interior thermal insulation system to be used in historical buildings.

Jiříčková, M. – Černý, R.: Der Einfluss hydrophobierender Zusätze auf die Feuchteigenschaften von Kalkzementmörteln

Der Artikel behandelt die Bestimmung der grundlegenden Feuchteparameter von industriell hergestelltem Kalkzementmörtel, der in Anbetracht der beabsichtigten Verwendung als Dampfbremse durch eine Zugabe eines Hydrophobierungsmittels modifiziert wurde. Der untersuchte Mörtel ist als Bestandteil eines entworfenen Systems einer innenseitigen Wärmedämmung historischer Gebäude vorgesehen.

## • veletrhy

### elec 2002

9. – 13. prosince

Paříž



Počátkem prosince uvítá severní výstaviště Villepinte v Paříži návštěvníky čtvrtého největšího veletrhu ve Francii. Pořadatel Elec Promotion očekává na ploše 100 tis. m<sup>2</sup> účast dvou tisíc společností, z toho polovinu zahraničních. Veletrh je určen pro odborníky z průmyslu, stavebnictví, architektury, zástupce místních správ a dalších oborů. V halách 5 a 6 lze nalézt mezinárodní nabídku z oblasti elektrické energie, automatizačních procesů, vytápění, klimatizace, chlazení, vzduchotechniky, osvětlení. Profesní úroveň veletrhu zajišťuje více než čtyřicet sdružení, asociací a svazů. V rámci doprovodného programu uspořádají tito partneři konference:

- Řízení a správa v průmyslu
- Správa a kontrola stavebního díla
- Průmyslové chlazení
- Místní správy a územní celky
- Stavební multitechnologie.

Jako doplňující článek k průmyslovým sekcím je poprvé přičleněna samostatná expozice Light Premiere, specializovaná na osvětlení a osvětlovací tělesa. Mezinárodní setkání odborníků bude zaměřeno na témata:

- noční život a osvětlení,
- nové technologie, kvalita života a rozvoj,
- světlo, komunikace, architektura.

Návrháři a realizátoři osvětlení, jejichž práce byla v posledních dvou letech zajímavá či přínosná, mohou získat ocenění v soutěži Light Premiere. Nejlepší práce vybere mezinárodní odborná porota a vítězové budou odměněni cenami v celkové hodnotě 20 tis. EUR.

Další novinkou je začlenění veletrhu MESUCORA, původně samostatného veletrhu věnovaného automatizovaným systémům řízení, provozu, měření, kontrole a regulaci, do struktury veletrhu Elec 2002.

[www.promosalons.com](http://www.promosalons.com)

## • recenze

Ramberger, G.

### Structural Bearings and Expansion Joints for Bridges

IABSE, Zurich, 2002, 1. vydání, 89 s., 131 obr., cena 60 CHF, pro členy IABSE 30 CHF, ISBN 3-85748-105-6

Jako šestou položku v řadě monografií nazvaných Structural Engineering Documents vydala nejstarší mezinárodní inženýrská organizace IABSE, sdružující více než 4 000 členů z celého světa, publikaci profesora TU Vídeň a vedoucího katedry ocelových konstrukcí Dr. G. Rambergera, věnovanou ložiskům a dilatačním závěrům silničních mostů.

Mostní ložiska musejí přenášet značné síly a dovolovat přítom mostní konstrukci předpokládané pohyby. Současně se žádá jejich dlouhá životnost při minimální údržbě. Proto jsou ložiska poměrně složitým výrobkem, který má řadu modifikací podle účelu, požadavků a zatížení. V knize se stručnou formou probírají zásady návrhu ložisek, jejich konstrukce a materiál, způsoby instalace, inspekce a údržby či případné výměny.

Dilatační závěry přímo souvisejí s ložisky, a proto je jim logicky věnována druhá část textu. Závěry překlenují mezeru mezi mostní konstrukcí a opěrou, která se v závislosti na zatížení mostu a teplotě konstrukce plynule mění. Vysoké požadavky na závěry, jimiž jsou plynulá jízda, malé nebo žádné zvukové emise, odolnost při pojezdu vozidel i při solení vozovky a jednoduchost výměny opotřebovaných částí či kompletních závěrů činí i z mostních závěrů technicky vyspělé výrobky. Současný stav v této oblasti je zachycen v knize.

Publikace je určena studentům vysokých škol i inženýrům pracujícím na návrzích mostů, stavbě i jejich provozu a údržbě. Rukopis nahlíželi přední evropské odborníci – Nethercot (GB), Kuhlmann (D), Hirt (CH), Johansson (S) a další, a vyjádřené názory lze proto chápat i jako sjednocený celoevropský pohled na ložiska a závěry mostů pozemních komunikací.

Knihu věnoval profesor Ramberger svému kolegovi, předčasně zesnulému prof. Tschemmerneggovi z University Innsbruck, který se právě mostním závěrům ve své výzkumné činnosti velmi intenzívně věnoval.

Jiří Studnička

## Vyhodnocení vad izolace potrubí detekovaných Pearsonovou metodou

Ing. Dalibor BARTONĚK, CSc.  
VUT – Fakulta stavební  
Brno

V článku je popsán programový systém, který slouží k vyhodnocování vad izolace potrubí zjištěných Pearsonovou metodou. Je uveden nový způsob aplikace této dnes již klasické metody včetně speciálního programového vybavení, které automatizovaně eviduje a zpracovává údaje o jednotlivých vadách. V závěru jsou shrnuty zkušenosti z praxe doplněné grafickým výstupem z programu.

### Úvod

Rozsáhlá potrubní síť ocelových plynovodů a produktovodů v ČR je uložena převážně v zemi, kde je vystavena agresivnímu prostředí půdy, které způsobuje korozi materiálu. Proti tomuto nepříznivému jevu se potrubí chrání:

- **aktivně** systémem územně rozložených zařízení pracujících na elektrochemickém principu [1];
- **pasivně** izolací potrubí, která znemožňuje přístup depolarizátorů (vody a kyslíku) k ocelovému plášti, a tím zabráňuje vzniku koroze.

Protože i ta nejlepší izolace má omezenou životnost, musí se kontrolovat nejen při ukládání potrubí, ale i nadále. Kontrolních metod existuje značné množství, některé z nich jsou uvedeny v [2]. Kromě vizuálních, při nichž je nutné potrubí odkryt, se používají metody:

- detekující jednotlivé vady v izolaci – k nim patří Pearsonova metoda,
- zjišťující průměrnou kvalitu izolace v daném úseku potrubí.

### Princip Pearsonovy metody

Na dané místo potrubí – kontrolní vývod (KVO) nebo propojovací objekt (POA) – se přivádí střídavé napětí z generátoru o tónovém kmitočtu. Signál se šíří z porušených míst izolace potrubí do okolí, kde současně způsobuje pokles napětí. K detekci vad je nutný hledač potrubí a přijímač signálu. Vady v izolaci vyhledávají dvě osoby vybavené speciální obuví s kovovými hroty pro zajištění vodivého kontaktu se zemí. Pracovníci postupují buď za sebou, nebo vedle sebe, a přijímač detekuje rozdíl napětí mezi místy, kde se oba pracovníci nacházejí (obr. 1). Pokud jsou oba



Obr. 1. Princip Pearsonovy metody

v místech, kde není izolace porušena, není ani detekován rozdíl napětí. Jestliže jeden z nich přechází přes poškozené místo, přijímač detekuje změnu úrovně signálu, což se projevuje zvětšením výchylky měřicího přístroje přijímače i akustickým signálem. Vady se zaměřují vzhledem k pevným

bodům na potrubí (vytyčovací body, propojovací objekty apod.). Tyto body mají přiřazeno staničení, což je vzdálenost [km] od pevného počátku dané trasy. Měření vyžaduje jistou zkušenost, protože přístroj může zaznamenat změnu signálu, i když nejde o vadu (např. změna prostředí).

### Inovace metody

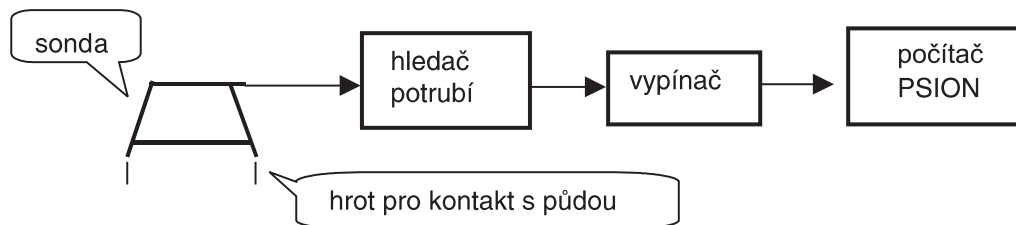
V původní variantě se účastnili měření Pearsonovou metodou nejméně tři pracovníci. Dva postupovali uvedeným způsobem, další zapisoval výsledky měření spolu se staničením měřeného místa do speciálního formuláře. Hodnoty staničení se zjišťovaly měřením vzdálenosti pásmem od pevných bodů trasy, aby bylo možné vadu dodatečně lokalizovat. Z protokolu se pak údaje přepisovaly do počítače a zde byly vyhodnoceny. Nevýhodou této varianty byla obtížná manipulace s pásmem, zejména v členitém terénu, a velká pravděpodobnost vzniku chyby jak při ručním zápisu v terénu, tak během přepisování protokolu do počítače. Proto se v polovině devadesátých let začalo uvažovat o efektivnější variantě detekce vad potrubí. Iniciativy se ujali pracovníci protikoročního oddělení tehdejších Jihomoravských plynáren pod vedením Ladislava Hrbáčka.

Inovace spočívala v tom, že hledač potrubí byl doplněn speciální detekční sondou tvaru písmene A a propojen sériovým kabelem s kapesním počítačem typu PSION (obr. 2). Hledač typu RD 432 PDL je produktem britské firmy Radio-detection, která vyrábí i speciální měřicí sondy na zakázku. Konstrukční přípravek s počítačem a vypínačem dodává firma Elgas Pardubice.

Při měření v terénu se na kontrolní bod potrubí připojí generátor střídavého signálu s kmitočtem 8 nebo 16 kHz. V tomto případě stačí k měření jen dva pracovníci – jeden identifikuje trasu hledačem potrubí, druhý jde za ním s přístroji podle obr. 2. Sondu propojenou s hledačem v pravidelných vzdálenostech zapichuje hroty do půdy nad potrubím, druhou rukou ovládá hledač, k němuž je konstrukčně upevněn počítač PSION. Oba přístroje jsou propojeny sériovým kabelem. Sonda přijímá signál z potrubí a posílá jej do hledače, kde je zpracován do textové zprávy ve standardním formátu. Takto upravená postupuje přes sériové rozhraní do kapesního počítače, kde ji speciální programové vybavení zapisuje do pracovního souboru. Zjištěné hodnoty je možné zaznamenávat:

- ručně stisknutím příslušného tlačítka na panelu hledače;
- automaticky v pravidelných intervalech, které může nastavit na ovládacím panelu počítače.

Staničení měřeného místa se v tomto případě určí automaticky na základě počtu kroků, které ujde pracovník s měřicí soupravou mezi dvěma záznamy hodnot. Přesnost výpočtu staničení vyžaduje dodržet stejný počet kroků stejné délky. Tato nevýhoda, kladoucí značné nároky na zkušenost měřiče, je vyvážena tím, že odpadá nepříjemná manipulace s pásmem. Podle potřeby (při únavě obsluhy apod.) je možné měření kdykoli přerušit mechanickým vypínačem (obr. 2). Program vestavěný v počítači automaticky připočítává během každého intervalu mezi záznamem hod-



Obr. 2. Blokové schéma zapojení přístrojů pro měření Pearsonovou metodou

not počet kroků k počátečnímu staničení. Výchozí staničení, délku a počet kroků lze nastavit již před měřením. Dosáhne-li pracovník pevného bodu na trase, zapíše jeho přesné staničení do souboru buď ručně, nebo poloautomaticky výběrem z nabízeného seznamu pevných bodů. Tento seznam, sloužící jako základ pro přepočet přibližného staničení v krocích na přesné staničení v kilometrech, se musí přenést do kapesního počítače ještě před měřením v terénu. Soubor musí obsahovat alespoň dva pevné body, jinak staničení nelze přepočítat. Každý záznam o měření lze interaktivně doplnit poznámkou. To je důležité v okamžiku, kdy terén znemožňuje měření (přírodní překážka, soukromý pozemek apod.) – v tom případě se do poznámky v záznamu měření na počátku i konci přerušového úseku zapíše znak „\*“\*. Program v počítači pak vyloučí daný úsek ze statistického vyhodnocení.

Pro měření můžeme zvolit jednu ze tří variant Pearsonovy metody, a to:

- **proudovou** pro detekci vad potrubí na vzdálenosti řádově stovky metrů;
- **napěťovou**, detekující vady v úseku řádově desítky metrů;
- **CD** (Current Direction), určenou pro měření na vzdálenosti řádově v jednotkách metrů.

Proudovou nebo napěťovou metodu používáme ke zjištění vad na delších úsecích trasy potrubí. Pokud poklesne amplituda signálu u proudové metody o více než 80 %, popř. u napěťové metody o více než 70 dB, je pravděpodobné, že se na daném úseku vady izolace potrubí vyskytují. V tom případě se daný úsek proměří metodou CD, která najde vady potrubí s přesností asi na 0,5 m.

### Programové vybavení

Pro měření a vyhodnocení výsledků vyvinula firma SHINE speciální programové vybavení [2] sestávající ze souboru procedur pro kapesní počítač PSION a programu PEARSON pro počítač.

**Programové vybavení pro PSION** vytvořil autor v prostředí jazyka OPL (Organiser Programming Language). Zajišťuje tyto funkce:

- prohlížení seznamu souborů s naměřenými hodnotami,
- založení nového souboru měření,
- přenos dat mezi počítači,
- rušení a editaci záznamů o měření,
- prohlížení souboru s měřením nebo souboru s pevnými body trasy,
- modul pro nápovědu,
- podprogram pro systémové informace,
- měření, jež patří k nejsložitějším funkcím, protože mimo jiné analyzuje zprávu z hledáče, ze které vybírá jen nejdůležitější informace (úspora kapacity paměti).

**Programové vybavení PEARSON** na počítači zpracovává a vyhodnocuje data zjištěná v terénu. Skládá se z rela-

tivně samostatných modulů, z nichž každý realizuje určitou třídu funkcí:

- komunikační modul zajišťuje přenos dat mezi počítači;
- databázový modul se základními funkcemi pro databázové operace se soubory (databáze tras, pevných bodů a měření);
- modul pro grafickou prezentaci výsledků měření. Zjištěné hodnoty lze zobrazit na obrazovce nebo vytisknout na tiskárně či kreslicím zařízení ve formě grafu uvedeného na obr. 3, z něhož jsou patrné význačné shluky vad na staničení 62,0 km, 62, 4 km a 62,8 km;
- modul systémových funkcí zajišťuje obslužné funkce pro zálohování dat, odskok do operačního systému, spuštění zvoleného textového editoru apod.;
- základem systému je modul pro zpracování měření, zejména:
  - transformaci dat z formátu kapesního počítače do databáze měření,
  - přepočet přibližného staničení měřeného místa v krocích, které se nalézá mezi dvěma pevnými body na přesné staničení podle interpolačního vztahu

$$x_m = x_p^1 + (x_{mk} - x_{pk}^1) \frac{x_p^2 - x_p^1}{x_{pk}^2 - x_{pk}^1}, \quad (1)$$

kde

$x_p^1$ , resp.  $x_p^2$  je přesné staničení 1., resp. 2. pevného bodu na trase [m],

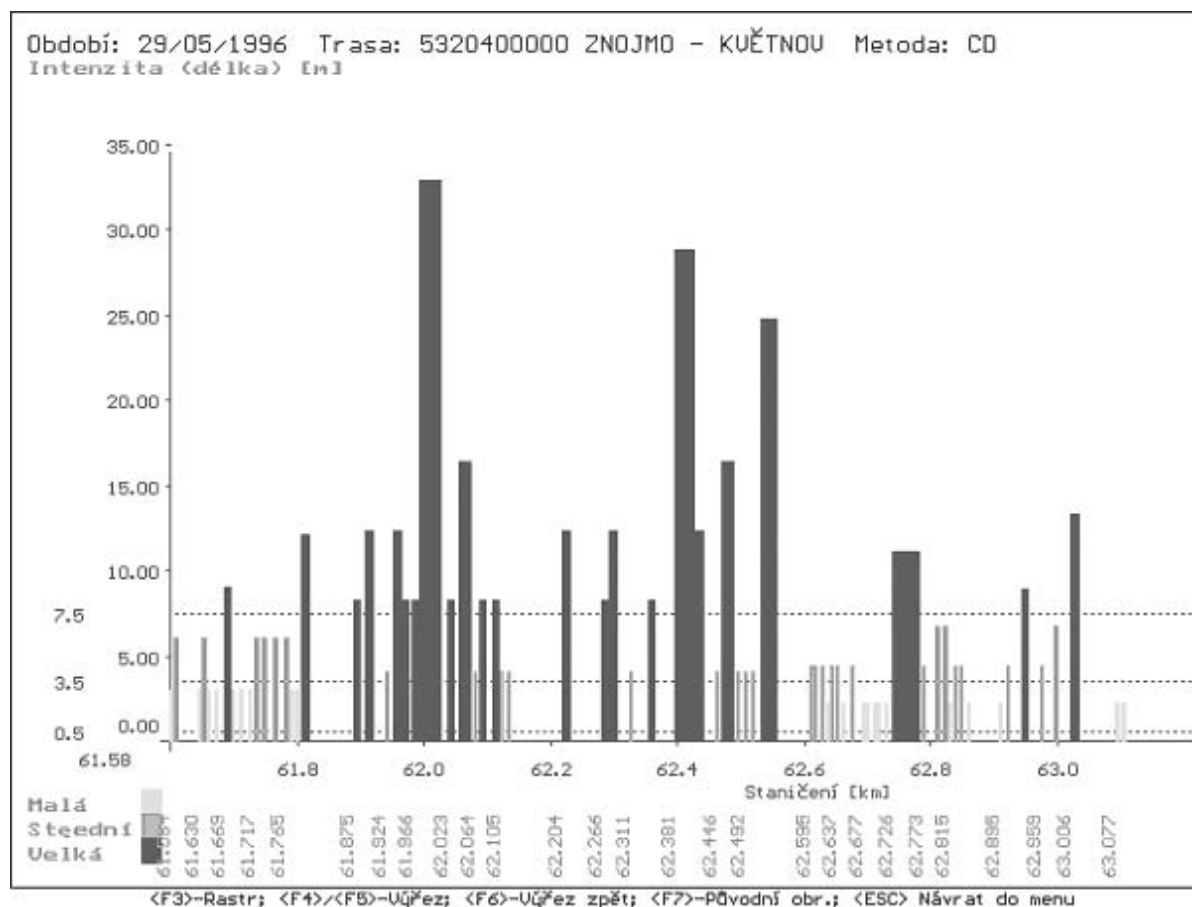
$x_{pk}^1$ , resp.  $x_{pk}^2$  – přibližné staničení 1., resp. 2. pevného bodu na trase v krocích,

$x_m$ , resp.  $x_{mk}$  – vypočtené [m], resp. přibližné, v krocích staničení měřeného místa,

- filtry, jimiž lze prohlížet databázi naměřených dat podle různých kritérií,
- tvorbu protokolu o měření sestaveného:
  - z hlavičky měření, která obsahuje společné údaje např. název organizace, jména osob, podmínky měření, název a číslo trasy, použitá metoda a přístroje,
  - z podrobné zprávy o průběhu měření, která obsahuje záznamy všech měřených míst na trase,
  - ze statistiky měření. V této části se vady člení podle intenzity na malé, střední a velké. Kritéria členění lze nastavit v inicializačním souboru programu. Na obrázku 3 jsou vyznačeny hodnoty v rozmezí 0,5 – 3,5 – 7,5. V rámci statistiky se zpracovává především počet vad v daném úseku a shluková analýza, tj. počet shluků vad a počet vad v každém shluku. Shlukem se rozumí množství vad potrubí, jejichž vzájemná vzdálenost nepřekročí zadanou mez (v grafu na obr. 3 má mez hodnotu 5 m).

### Závěr

Pearsonovou metodou se měří a vyhodnocují vady potrubí v těchto plynárenských podnicích:



Obr. 3. Ukázka grafického výstupu měření vad potrubí Pearsonovou metodou – varianta CD

- Jihomoravská plynárenská, a. s., Brno,
- Severomoravská plynárenská, a. s., Ostrava,
- Středočeská plynárenská, a. s., Praha,
- Východočeská plynárenská, a. s., Hradec Králové,
- Severočeská plynárenská, a. s., Ústí nad Labem,
- Východoslovenské plynárny Michalovce.

Používá se rovněž jako součást systému protikorozní ochrany v organizacích MERO ČR, Kralupy nad Vltavou a ČEPRO, a. s. Zkušenosti z praxe potvrdily, že jde o metodu spolehlivou, protože v oblastech, kde byl detekován shluk velkých vad, šlo vždy o závažné poškození izolace potrubí.

#### Literatura

- [1] Člupek, O. – Davidová, H.: Protikorozní ochrana. GAS, s. r. o., Praha, 1998, 141 s.
- [2] ČSN 03 8375 Zásady provozu, údržby a revize ochrany proti korozi kovových potrubí a kabelů s kovovým pláštěm uložených v zemi. ČSN, 1977.
- [3] Sedláček, S. – Bartoněk, D.: Systém PEARSON. [Uživatelská příručka], SHINE Brno, 1996.



Fakulta stavební ČVUT v Praze

14. 11. 2002

**MANAGEMENT RIZIKA VE VÝSTAVBĚ**

Informace: Studio AXIS, spol. s.r.o., tel.: 271732095

#### Bartoněk, D.: Assessment of Defects in Pipeline Insulation Detected by Pearson's Method

This article deals with Pearson's system programme which evaluates defects in pipeline insulation found by Pearson's measurement method. It describes a new method of application of the system which is nowadays considered to be a classical way of detecting insulation defects. The description also includes special software which automatically processes data taking into consideration individual defects of pipeline insulation on given routes. The conclusion sums up practical experience complemented with graphical output from the software.

#### Bartoněk, D.: Auswertung von mit der Pearson-Methode ermittelten Beschädigungen der Rohrdämmung

In dem Artikel wird das Programmsystem Pearson beschrieben, das zur Auswertung von Defekten an Rohrdämmungen dient, die nach der Pearson-Methode ermittelt wurden. Es ist eine neue Art der Anwendung dieser heute bereits klassischen Methode zur Ermittlung Dämmungsschäden beschrieben, einschließlich der speziellen Programmausstattung, die die Angaben über die einzelnen Defekte an der Rohrdämmung in bestimmten Abschnitten erfasst und verarbeitet. Im Resümee werden die praktischen Erfahrungen zusammengefasst, die um eine grafischen Programmausgabe ergänzt sind.



## Extrémní hydrologické jevy a stoková síť

Ing. Dagmar HÁNKOVÁ  
Ing. Pavla ŠTEFANOVÁ  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

Článek se zabývá vlivem extrémních hydrologických jevů na stokovou síť a čistírny odpadních vod. Na základě zkušeností s povodněmi, které se vyskytly na našem území v posledním desetiletí, a z literárních rešerší byla stanovena doporučení pro projekční činnost a provoz čistíren odpadních vod.

### Úvod

Povodním a ostatním škodlivým účinkům vod z nadměrných srážek se nedá zabránit. Jejich nepříznivé důsledky můžeme však úspěšně omezovat vhodným hospodařením v krajině a realizací účinných technických opatření. Nedávné povodně, které zasáhly téměř celé území naší republiky, ukázaly, že je nutné se této problematice věnovat i v oblasti stokování, a to nejen při návrhu, ale i při provozu stokových sítí a čistíren odpadních vod.

### Povodně

Extrémní hydrologické jevy vznikají jako důsledek působení výjimečných průběhů přírodních procesů, které jsou ovlivněny nejen geografickými podmínkami, ale také činností člověka. Hlavní příčinou těchto jevů v povodí je výskyt abnormálních meteorologických situací a jimi vyvolaných jevů (přivalových dešťů, náhlého tání sněhové pokrývky). Vznik a průběh mimořádných hydrologických jevů však ovlivňují i geografické podmínky jednotlivých povodí, k nimž náleží zejména reliéf, vegetace, klimatické, pedologické, geologické, hydrologické a hydrogeologické poměry.

### Z historie

První zachovanou zprávou o povodni v Praze je zápis v Kosmově kronice ze září roku 1118. Druhou největší známou povodní v posledním tisíciletí je povodeň z konce

února 1784. Byl při ní pobořen Karlův most, do Vltavy se zřítily strážnice s několika vojáky, došlo k poničení jedné z nejstarších barokních soch na mostě. V polovině dubna 1785 způsobila pozdní obleva další velkou povodeň. Rok 1845 přinesl povodně na všech tocích povodí Labe, způsobené táním ohromného množství sněhu. Na Labi pod Mělníkem bylo zcela zničeno několik obcí. V Praze byla zatopena polovina Starého Města. Povodeň v roce 1872 způsobily přivalové deště na Berounce a jejich přítocích. Při velké vodě v Čechách přišlo o život více než 200 lidí. Velká povodeň v létě 1890 zasáhla povodí Labe a Vltavy [3]. Příčinné srážky v povodí Vltavy dosáhly hodnoty 111 mm (tj. 200letá srážka). V Praze se zřítily tři pole Karlova mostu (obr. 1).

### Největší povodně v posledních desetiletích

Začátkem července 1997 postihly severní Moravu a Slezsko povodně mimořádného rozsahu a později se rozšířily i na východní Čechy. Probíhaly ve dvou vlnách:

- 4.–9. července, kdy srážkový úhrn na většině území Moravy činil více než 100 mm, na severní Moravě a ve Slezsku více než 200 mm (extrémní srážky na Lysé hoře měly hodnotu 109 mm/6 h);

- 18.–21. července, kdy začala v jižní části Šumavy a na Českobudějovicku a přešla přes severovýchodní Čechy na Moravu a Slezsko.

V roce 2000 byl povodní postižen nejvíce okres Mladá Boleslav. Na Jizeře se sledují vodní stavy již od roku 1887 v profilu Rožátova. Dne 10. 3. v ranních hodinách hladina kulminovala na kótě 4,90 m, tj. 0,75 m pod hladinou stoleté vody.

Letos v srpnu Čechy (a dalších části Evropy) zasáhly povodně přesahující i hodnoty stoletých průtoků. Záplavy postihly asi 2,5 % území České republiky, což je téměř 2 000 km<sup>2</sup>, tedy území asi čtyřikrát větší, než je rozloha hlavního města Prahy. Během druhé povodňové vlny, tj. od 11. do 13. 8., spadly jen v jižních a západních Čechách 3 mil. m<sup>3</sup> dešťové vody. Vltavská kaskáda od Lipna až po Vrané je však schopna pojmout pouze 1,359 mil. m<sup>3</sup> vody.



Obr. 1. Zřícení polí Karlova mostu 4. 9. 1890 [4]

## Škody na čistírnách odpadních vod a na stokových sítích

### Povodí Odry (1997)

Škody na soukromém i veřejném majetku byly značné. V sedmi lokalitách došlo k úplné destrukci kanalizace, šest kanalizačních shybek bylo poškozeno. Nejvíce byly postiženy výústní objekty, dešťová odlehčení a malé čistírny odpadních vod (ČOV) bez obtoku. Vážně poškozeno bylo pět objektů a úplně zničena byla čistírna ve Fulneku [2].

### Povodí Moravy (1997)

Město Uherské Hradiště bylo zcela zaplaveno. Povodeň vyřadila z provozu čistírny odpadních vod ve Velehradu, Huštěnovicích, Kněžpoli a Prakšicích. V provozu zůstaly ČOV v Uherském Brodu, Nedakonicích, Buchlovicích, Uherském Ostrohu a biologická část v Uherském Hradišti [5].

### Povodí Labe (2000)

- ČOV I Mladá Boleslav–Neuberk je sice chráněna hrázemi, ale přesto musela být odstavena z provozu, protože hrozil efekt spojitých nádob. Technologické zařízení nebylo poškozeno, ale velké škody byly na výtakovém objektu a výustí do recipientu.

- ČOV II Mladá Boleslav–Podlázky měla zcela zatopenou hlavní technologickou linku včetně pojezdových mostů, podzemních kolektorů a strojovny. Do provozu byla uvedena po týdenní odstávce (*obr. 2*).

- ČOV Benátky nad Jizerou měla zatopenou celou hlavní technologickou linku a většinu areálu, výjimkou byl pouze objekt kalového hospodářství a strojovna s dmychadly. Velké škody byly způsobeny na výtakovém objektu a částečně byl poškozen i výústní objekt odlehčení před objektem. Čistírna byla uvedena do provozu po deseti dnech (*obr. 3*).

- ČOV Bakov nad Jizerou byla odstavena z provozu, protože hrozilo vypláchnutí aktivovaného kalu a ochlazení aktivací nádrže čerpanými povodňovými vodami. Částečně byla zatopena i přístupová komunikace [1].

### Povodeň v srpnu 2002

Voda zaplavila 39 okresů a hlavní město ČR. Zcela zatopeno bylo 99 měst, obcí a městských částí s 263 tis. obyvatel. Částečně poznamenala voda dalších 654 obcí s 1 333 tis. obyvatel. Bylo zničeno 253 mostů, cca 282 km železničních tratí a 76 čistíren odpadních vod.

Podrobnější údaje o rozsahu škod zatím ještě nejsou známy.

### Důsledky povodní

K poškození stok dochází buď zborcením, nebo částečným, popř. úplným odplavením a zanášením profilu potrubí. Stokové sítě se nenavrhují na hodnoty extrémních srážek, a proto při jejich výskytu dochází k přetížení. Následně vzniká nebezpečí zpětného vzduť do domovních přípojek a zatopení podzemních prostor objektů. Proti zpětnému vzduťi vody kanalizací je také nutné do budoucna zabezpečit jak čistírny odpadních vod, tak i území s protipovodňovou ochranou. Přečasnému odstavení z provozu se nelze vyhnout ani v případě chráněných objektů. Důvodem je efekt spojitých nádob. U většiny čistíren dochází k velkému poškození výtakových objektů a výustí do recipientu.

Na kanalizaci se nachází řada objektů, z nichž jsou nejvíce ohroženy výústní objekty dešťových odlehčovačů. K dalším často ohroženým objektům patří kanalizační shybky, dešťové odlehčovače a dešťové nádrže. Velice negativní úlohu při všech velkých vodách mají inundační území zastavěná různými provizorními i trvalými objekty a špatná údržba břehových a doprovodných porostů.



Obr. 2. ČOV II Mladá Boleslav – Podlázky (foto povodí Labe, a.s.)



Obr. 3. Zanesená ČOV Karbo v Benátkách nad Jizerou (foto povodí Labe, a.s.)

### Doporučení pro projektovou činnost

Pro řešení dané problematiky se v dnešní době využívá řada výpočetních programů založených na posuzování nestacionárního proudění v recipientech i ve stokovém labyrintu, např. SWMM, MOUSE, SURDYN. Z rešerší a ze zkušeností provozovatelů vyplynulo, že je třeba:

- již do projektové dokumentace zahrnout nejen opatření na stoletou vodu, ale i posouzení víceletých průtoků a odhad jimi způsobených škod. Za podklad by měly sloužit upřesněné čáry překročení. K jejich přepočítání se přistoupilo po velkých povodních v posledních letech;

- statické výpočty nádrží provádět pro stoletou i víceleté vody na stavu: nádrž během výstavby, prázdná nádrž během rekonstrukcí a oprav;

- pro 150leté a větší průtoky stanovit předpokládané kóty hladin a zaznamenat je do provozního řádu čistírny. Technické zázemí s elektromotory umístit nad tyto hladiny;

- nezapomenout na způsob odvádění větších přítoků z ČOV v době, kdy je ještě v provozu (např. pro čerpání přes ochranné hráze zajistit vhodná čerpadla);

- na stoletou vodu posoudit i odlehčovací komoru před ČOV;

- provést posouzení výpadku ČOV na jakost vody v recipientu. Nejen v období povodně, ale i po zmenšení průtoků v recipientu, pokud ČOV ještě není v provozu. U méně vodních toků hrozí ekologická havárie;

- vytipovat území pro budování přirozených akumulčních nádrží, které mohou zejména z kvantitativního hlediska výrazně omezit první fázi povodňové vlny.

Ze zkušeností vyplývá, že nejvíce jsou ohroženy výtokové objekty. Těmto škodám nelze zabránit, protože tyto objekty se nacházejí mimo ochranné hráze, ale lze je zmenšit vhodným umístěním v toku, a to do přímé trati, kde jsou

menší vymálcací síly. Koryto opevnit kamennou dlažbou nejen v bezprostřední blízkosti, ale v delším úseku, aby odolalo podemletí.

### Doporučení pro provoz

Ze zkušeností z průběhu povodní v minulých letech a vyhodnocení jejich následků vyplývají jednoznačná doporučení pro provoz stávajících i plánovaných zdravotně inženýrských staveb:

- odlehčovací komory a výusti opatřit uzávěry, aby nedocházelo ke zpětnému vzduťi;

- připravit „evakuační plán“. Při ohlášení velkých vod jako první demontovat strojní zařízení a odvézt je do bezpečí. Strojovny chránit samostatně, např. mobilními protipovodňovými stěnami nebo hrázemi z pytlů s pískem. Do provozního řádu uvést sklad protipovodňových stěn, popř. zdroj písku;

- pro rychlou likvidaci škod smluvně zajistit servis strojního zařízení, především čerpadel a motorů, náhradní zdroj elektrické energie, kompresor;

- vyřešit problém hromadění odpadních vod v případě, že nelze vypouštět vodu do recipientu.

### Závěr

Z hodnocení škod způsobených povodněmi na stokových sítích a čistírnách odpadních vod vyplynulo, že k omezení škod přispívají v nemalé míře předchozí zkušenosti provozovatelů s povodněmi. Problematice se musí věnovat značná pozornost již při projektování. Nezanedbatelný vliv má i přístup odpovědných orgánů, např. povolování výstavby v zátopových územích.

Opatření k ochraně kanalizací a čistíren odpadních vod nestačí řešit pouze v oblasti zdravotního inženýrství, ale je nutné řešit problém důsledku extrémních srážek v rámci celého povodí.

**Příspěvek byl zpracován v rámci řešení interního grantu CTU č. 0203311. Je rozšířeným a upraveným textem příspěvku [6].**

**Hánková, D. – Štefanová, P.: Extreme Hydrological Events and the Sewerage**

This paper studies effects of extreme hydrological events on the sewerage and wastewater treatment plants. The recommendations for design activities and the operation of wastewater treatment plants have been suggested based on experience with floods occurring in the Czech territory in the last decade, and from bibliography searches.

#### Literatura

- [1] Čuban, M.: Čistírny odpadních vod na Jizeře prošly povodní stoly. SOVAK, 9, 2000, č. 6, s. 13–15.
- [2] Hošek, A.: Situační zpráva o povodňové situaci v povodí Odry a Horní Moravy ve dnech 6.–12. 7. 1997. ČHMÚ, Ostrava, 1997.
- [3] Kakos, V. – Kulasová, B.: Povodeň v září 1890 na Vltavě v Praze. Vodní hospodářství, 1990, č. 7, s. 267–273.
- [4] Státníková, P.: Historie povodní v Praze. Tisk k výstavě „Podnebí a povodně v Praze“. Praha, Muzeum hl. m. Prahy 2001.
- [5] Tisková konference „Povodně a vodohospodářství“. SOVAK, 6, 1997, č. 11, s. 1–2.
- [6] CD–Sborník 4. odborné konference doktorandského studia. VUT Brno, 2000.

**Hánková, D. – Štefanová, P.: Extreme hydrologische Erscheinungen und das Abwassernetz**

Der Artikel befasst sich mit dem Einfluss extremer hydrologischer Erscheinungen auf das Abwassernetz und auf Kläranlagen. Auf Grund der Erfahrungen mit Hochwässern, die auf unserem Territorium im letzten Jahrzehnt aufgetreten sind, und aus Literaturrecherchen wurden Empfehlungen für die Planung und den Betrieb von Kläranlagen erstellt.

## • výročí

### **K pětadesátinám doc. Ing. arch. Josefa Švastala, DrSc.**



V polovině října se dožívá významného životního jubilea zaslužilý pedagogický a vědeckovýzkumný pracovník Fakulty stavební ČVUT pan doc. Ing. arch. Josef Švastal, DrSc. Narodil se v Praze a po absolvování odborné školy stavební pokračoval ve studiích na Vysoké škole architektury a pozemního stavitelství. Nacistickou okupací přerušené studium dokončil až po osvobození v roce 1946. Velmi cennou zkušeností v oboru byla jeho činnost u firmy Poncar & Novák, zaměřená především na projektování objektů pro průmysl výživy, např. mlékárny ve Zvolenu a v Sedlčanech. Na Fakultě architektury a pozemního stavitelství ČVUT začal pracovat jako odborný asistent od roku 1951. Průběžnému pracovnímu styku s praxí zůstal věrný i v těchto letech, a to především v úzké spolupráci se SÚRPMO. Známý jsou renovace historických objektů v Praze, Litomyšli, Litoměřicích, Chebu, Telči, Bardějově a další, na nichž se významně podílel. U příležitosti 25. výročí založení ústavu mu byla udělena pamětní medaile za spolupráci s ateliérem R. Bohatě rekonstrukční zkušenosti a konstruktivně ekonomická řešení aplikoval úspěšně při záchraně historických památek ve Veltrusích (historické stropy) a v Litoměřicích (arcibiskupská rezidence).

Vedení katedry konstrukcí pozemních staveb jej pověřilo přípravou zavedení předmětu rekonstrukce, asanace a údržba budov. Pro tento předmět připravil i učební texty, především „Rekonstrukce staveb“. Kromě intenzivní pedagogické práce se věnoval i činnosti vědeckovýzkumné, což se projevilo na jeho stálém rozvoji v této oblasti a na získání vědeckých hodností. Kandidátskou práci „Materiálně tech-

nické otázky přestavby dožívajících obytných částí města“ obhájil v roce 1963 a za práci „Konstrukce pozemního stavitelství v obnovách historických objektů“ v roce 1964 mu byl přiznán titul docenta. Doktorskou práci na téma „Odkaz historie a péče o památky jako součást životních hodnot vyspělé společnosti“ obhájil v roce 1986.

Příkladem uplatnění jeho bohatých zkušeností s rekonstrukcemi může být i vedoucí projektová činnost při rekonstrukci Staroměstských mlýnů. Zde šlo o ojedinělou a náročnou vestavbu rámových patrových ocelových skeletů, které staticky zajišťují historické pláště budov. Mikropiloty, injektované při zakládání ocelových skeletů, zde byly v rámci pozemního stavitelství u nás použity poprvé. Docent Švastal spolupracoval i při projektování budov pražské stavební fakulty (astronomicko-geodetická observatoř atd.).

K profilu jeho osobnosti je třeba uvést i nemalou účast na vědeckých konferencích a bohatou odbornou publikační, recenzní a expertizní činnost. Moderní přístup k pedagogickým úkolům projevil i v tvorbě audiovizuálních pomůcek ve spolupráci s VUIS při ČVUT v Praze. Filmy „Konstrukce pozemních staveb I. a II.“ a „Schody“, k nimž napsal scénáře a různé předlohy, byly oceněny na mezinárodních kolokviích technických filmů v Brně a v Praze.

Jeho obětavá činnost v nejrůznějších odvětvích byla oceněna řadou diplomů, čestných uznání, stříbrnou Felberovou medailí, zlatou Šolínovou medailí a Zlatou medailí ČVUT.

*K jeho životnímu jubileu mu přeji nejen jeho bývalí studenti, ale i kolegové a přátelé pevně zdraví, radost ze života a mnoho dalších spokojených let.*

*Ing. Mgr. Miloš Štencel*

# Kalibrácia hydraulického distribučného systému závlahovej sústavy

*Ing. Milan ČISTÝ, CSc.  
doc. Ing. Jana SKALOVÁ, PhD.  
doc. Ing. Eva KLEMENTOVÁ, PhD.  
STU – Stavebná fakulta  
Bratislava*

V záujme získania hodnoverného hydraulického modelu staršej závlahovej sústavy je potrebné vykonať jeho kalibráciu. Tento krok predstavuje vyhľadanie skutočných drsností potrubí a iných parametrov, pri ktorých hodnoty tlakov a prietokov v sústave zodpovedajú nameraným hodnotám. Autor vo svojom príspevku predstavuje optimalizačnú metódu, ktorá efektívne umožňuje získať presné údaje.

## Úvod

Simulačné modely hydraulikkej časti tlakových závlahových sústav pre závlahu postrekom sa používajú pri projektovaní a spravovaní závlah v rôznych situáciách. Keď sa navrhuje nová závlahová sústava, parametre pre vytváraný model sú známe (napr. parametre čerpacej stanice, stav potrubia, priemer, jeho trasovanie, drsnostné charakteristiky, tlakovo-prietokové charakteristiky použitého závlahového detailu atď.), nakoľko sa uvažuje s parametrami, ktoré projektant navrhuje, resp. ktoré udáva výrobca použitých materiálov a technológií. Naproti tomu pri zostavovaní modelu pre existujúcu, staršiu sústavu je nutné uvažovať pri týchto údajoch s rôznymi neistotami. Zmena niektorých parametrov oproti údajom v dokumentácii vzniká napr. nevidovanými zásahmi pri oprave porúch alebo je spôsobená starnutím sústavy. Pri zbere informácií a vytváraní zložitejšieho modelu je niekoľko možných zdrojov chýb, ktoré následne spôsobujú, že zostavený model nie je presný, t.j. vznikajú rozdiely medzi vypočítanými hodnotami stavových veličín (tlakov a prietokov) a hodnotami týchto parametrov, ktoré v sústave skutočne nastávajú, resp. sa zisťujú meraním. Pred použitím simulačného modelu je preto potrebné nájsť chyby vo vstupných údajoch a model kalibrovať.

Proces kalibrácie nepredstavuje iba určenie drsnostných charakteristík potrubia, nakoľko v jeho rámci je potrebné upresniť všetky údaje a odstrániť v maximálnej možnej miere rôzne chyby, ktoré prekážajú tomu, aby sa dosiahla zhoda modelu so skutočnosťou. Prv, ako sa uplatnia ďalej popísané metódy kalibrácie, je potrebné čo najjasnejšie stanoviť rôzne príčiny, prečo počítačový model môže poskytovať výsledky, ktoré nie sú v zhode so skutočnými parametrami skúmaného hydraulického systému.

Ak je súčasťou systému čerpadlo alebo čerpacia stanica, čo bude v tlakových závlahových sústavách obvyklé, bude potrebné dodať do simulačného modelu údaje o jej tlakovo-prietokovej charakteristike. Väčšina hydraulických modelov používa nejaký typ krivky, ktorej parametre sa určujú zadaním troch a viacerých bodov, získaných z výrobných katalógov. Postupom času sa obežné kolesá čerpadiel opotrebovávajú a menia sa charakteristiky čerpadiel. Preto je

potrebné vykonávať v rámci kalibrácie merania na čerpacej stanici nielen z hľadiska tlakov, ale aj prietokov (aspoň pokiaľ ide o výstupy z čerpacej stanice). Hlavným problémom zadania správnych hodnôt parametrov čerpacích staníc je existencia veľkých tlakových strát, ktoré sa vyskytujú v armatúrach a potrubiach nasledujúcich za čerpadlami vplyvom turbulencie.

Podobná situácia ohľadne presnosti tlakovo-prietokových kriviek je so zavlažovacími zariadeniami. Existuje určitý rozdiel medzi vodovodnými sieťami a závlahovými, ktorý spočíva v tom, že odber v závlahovom detaile významne závisí od (veľmi premenlivého) tlaku v mieste hydrantu. Nie je preto možné pri závlahových sústavách zadávať odber konštantnou hodnotou, ako sa to väčšinou robí pri výpočtoch vodovodov. Zadávanie odberov pomocou tlakovo odbernej krivky musí zohľadniť priemer použitej dýzy postrekovača, jeho typ, prípadne je vhodné – pokiaľ je to technicky a časovo možné – premerať parametre aspoň jedného zariadenia, nakoľko i tu môže dochádzať k rozporom v správaní sa oproti katalógovým hodnotám. Simulačný model musí umožniť zadávanie tlakovo závislých odberov, čo nie je štandardná vlastnosť týchto modelov. Vyplýva to z toho, že sa väčšinou vyvíjali v rámci vodárenstva, kde táto požiadavka nie je natoľko dôležitá.

Kalibračný proces je založený na známych zákonoch hydrauliky tlakovej siete a vyžaduje skúsenosť a technickú znalosť potrebnú pre identifikovanie vyššie uvedených zdrojov nepresností. Okrem toho je z hľadiska množstva výpočtov náročný a potrebuje vhodnú metódu, ktorá by výpočty, ktoré tento proces pomáhajú uskutočniť a vyhodnotiť, pokiaľ možno čo najviac uľahčovala, prípadne čiastočne automatizovala. Predkladaný príspevok predstavuje takúto metódu určenú pre automatické vyhľadávanie kalibračných parametrov pomocou genetických algoritmov.

## Materiál a metóda

Genetické algoritmy sú vyhľadávacie algoritmy založené na princípoch motivovaných evolučnou teóriou. V kontexte kalibrácie majú za úlohu eliminovať zbytočné manuálne úsilie venované hľadaniu hodnôt kalibrovaných parametrov systémom pokus – omyl, ktorý je v zložitejších prípadoch veľmi pracný až neriešiteľný. Využívajú princípy, ako je selekcia, kríženie či mutácia na vyhľadávanie najlepšieho riešenia problému.

Každé potenciálne riešenie kalibračného problému sa v prípade použitia metódy genetických algoritmov kóduje v chromozóme, ktorého počet génov je totožný s počtom hľadaných parametrov. Pre každý gén sa nastaví interval hodnôt, medzi ktorými leží očakávaná hodnota parametra, ktorý reprezentuje. V prípade, že sa algoritmu nedarí nájsť uspokojivé riešenie, je buď potrebné hľadať zdroj chyby, alebo tieto intervaly prípustných hodnôt rozšíriť. Pri používaní je vždy potrebné uvažovať s viacerými behmi výpočtu a s postupným nalaďovaním vstupných hodnôt. Schému

výpočtu pomocou genetických algoritmov môžeme vyjadriť podľa pseudokódu:

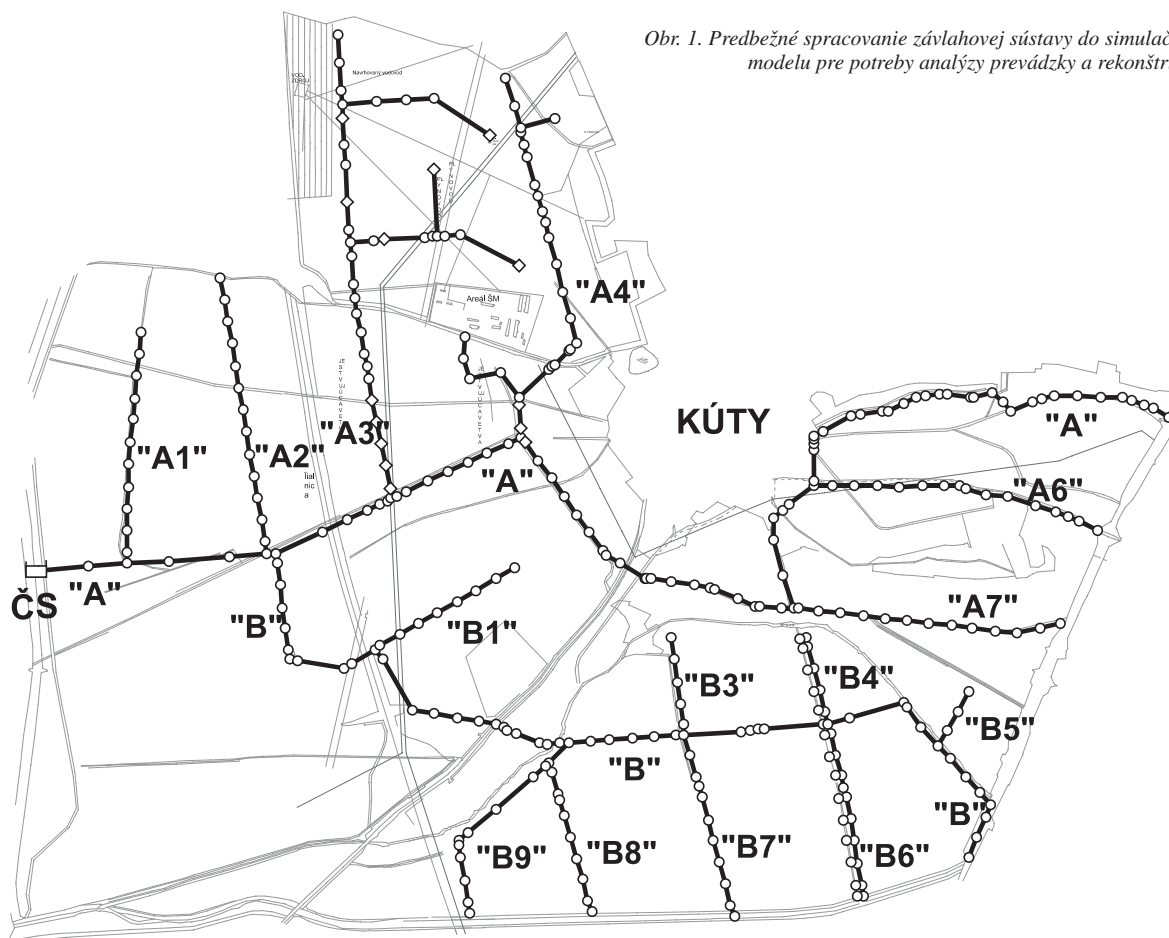
```
BEGIN /* genetický algoritmus */
  Generovanie iniciálnej populácie;
  Výpočet fitness každého individua (chromozómu);
  WHILE NOT splnené terminačné kritériá DO LOOP
    BEGIN
      Výber chromozómov z predchádzajúcej
      generácie pre kríženie;
      Tvorba nových chromozómov aplikovaním
      kríženia a/alebo mutácie na vybraných jedincov;
      Výpočet fitness pre nové chromozómy;
      Vylúčenie chromozómov s nízkou hodnotou
      fitness a tvorba novej generácie;
      IF Populácia konvergovala THEN
        splnené terminačné kritérium := TRUE;
      END
    END
  END
```

Na začiatku výpočtu algoritmus generuje iniciálnu populáciu. Medzi citlivé parametre výpočtu patrí jej veľkosť. V rámci kalibrovania problémov tej veľkosti, ako sú priemerné závlahové systémy, sa zvyčajne vystačí s počtom 100 chromozómov v populácii. Táto populácia sa ďalej po mnoho generácií vyvíja, pričom vývoj je riadený v pseudokóde uvedenými algoritmickými analógiami s genetikou, ako je kríženie, mutácia, selekcia atď. Vhodnosť individua (chromozómu – jedného zakódovaného riešenia problému) pre ďalšie pokračovanie vo vývojovom procese, a teda aj jeho genetického príspevku do výsledného – optimálneho riešenia, je daná jeho hodnotou fitness optimalizačnej funkcie. Táto funkcia je v prípade kalibračného problému

definovaná ako rozdiel medzi simulovanými údajmi (vypočítanými hydraulickým solverom pre sústavu s parametrami odvodenými z príslušného chromozómu) a pozorovanými údajmi. Každé riešenie sústavy – chromozóm charakterizuje jedna hodnota fitness. Boli vyskúšané rôzne formy tejto funkcie, ale ukazuje sa vhodnou v podobe súčtu druhých mocnín rozdielov vypočítaných a nameraných parametrov. Vo funkcii fitness môže byť pomocou váhových koeficientov zohľadnený rôzny vplyv chýb v prietokoch a tlakoch, keďže dosiahnutie čo najpresnejšej zhody prietokov na strategických miestach sústavy je významnejšie než menší rozdiel v tlakoch napr. na koncových miestach siete.

Hlavnými (i keď nie jedinými možnými) premennými pri aplikácii genetických algoritmov na kalibračný problém sú zvyčajne drsnostné súčinitele pre potrubia v systéme. V našich podmienkach pôjde predovšetkým o drsnostný súčiniteľ  $k$  z Colebrookovej-Whiteovej rovnice (totožný so súčiniteľom z Darcyho-Weisbachovej rovnice, ktorá sa používa v zahraničí). Drsnostné súčinitele (ako hľadané neznáme) môžu byť hľadané individuálne pre každé potrubie, alebo môžu byť pred začiatkom výpočtu vytvorené skupiny potrubí, v ktorých sa budú predpokladať spoločné hodnoty drsnostného súčiniteľa. Selekcia do skupín môže byť založená na priemere potrubia, materiáli, veku a umiestnení, alebo sa zoberie do úvahy kombinácia týchto faktorov. Pri kalibrácii môžu byť zobrazené do úvahy aj iné parametre – nemusia byť napríklad celkom jasné technické parametre odborných zavlažovacích zariadení, čerpacej stanice, a ak nie je možné zistiť tieto údaje priamo (čo je vhodnejšie), možno v takomto prípade ponechať ich nastavenie kalibračnému výpočtu v určitom rozumnom rozsahu.

V chromozómoch môžu byť zakódované rôzne objekty



Obr. 1. Predbežné spracovanie závlahovej sústavy do simuláčného modelu pre potreby analýzy prevádzky a rekonštrukcie

hydraulickej sústavy (vodojemy, čerpadlá, armatúry), ktorých skutočné parametre hľadáme. Program pre výpočet bol zostavený autorom v jazyku Visual Basic. Ako hydraulický solver bol využitý EPANET Toolkit. Toolkit je programátorský nástroj pre vývojárov programov, ktoré obsahujú hydraulické výpočty. Ako Public Domain ho dala k dispozícii Environmental Protection Agency USA.

### Výsledky a diskusia

Uvedený postup kalibrácie závlahovej sústavy je v ďalšom texte aplikovaný na závlahovej sústave Kúty (obr. 1). Táto aplikácia bola vykonaná za účelom verifikácie metódy. Vzhľadom na rozsah vstupných a výstupných údajov je výpočet popísaný iba rámcovo. Bližšie informácie sú k dispozícii u autora príspevku. Výstavba tejto závlahovej sústavy sa ukončila v polovici šesťdesiatych rokov. Znamená to, že sústava sa blíži k hranici svojej životnosti, a preto je vhodným objektom pre overenie navrhovaných metód kalibrácie. Závlahová sústava pozostáva z odberného objektu závlahovej vody, ktorý je situovaný na závlahovom privádzači (kanále) k závlahovej čerpacej stanici, samotnej čerpacej stanici, tlakového rozvodu závlahovej vody a závlahového detailu.

V roku 2001 boli na tejto závlahovej sústave vykonané meracie práce. Okrem meraní boli ako podklady k dispozícii rastrové situácie sústavy a situácie poskytnuté prevádzkovateľom závlahovej sústavy.

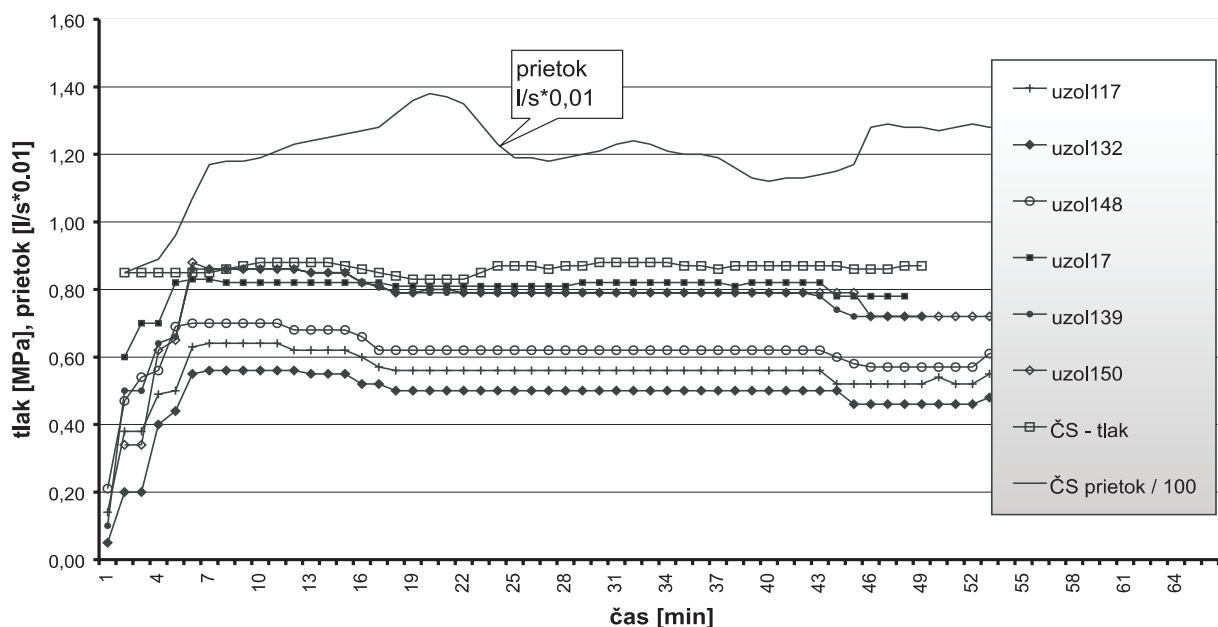
Závlahová rúrová sieť pôvodnej sústavy bola navrhnutá z azbestocementových rúr profilu JS 150 – 500 mm. V roku 1986 bolo vyprojektované a zrealizované rozšírenie sústavy, ktoré nadväzuje na vetvy A3 a A4 pôvodnej sústavy. Pri tomto návrhu rozšírenia boli použité potrubia PVC 225 a 160.

V čase vykonávania meraní sa zavlažovalo najmä z vetvy A pred diaľnicou (kukurica), z vetiev A, A3, A4 zemiaky a na zmienovaných rozšíreniach z vetiev A3 a A4 sa zavlažovala špargľa. Závlaha bola v čase meraní v týchto miestach veľmi intenzívna, nakoľko to vyžadujú pôdne vlastnosti (piesčité pôdy), klimatické podmienky aj biologické potreby pestovaných plodín. Táto skutočnosť je dôležitá z hľadiska vykonania meraní, nakoľko pri malých odberoch sú merania

nepresné až prakticky nepoužiteľné (v sústave vznikajú malé hydraulické straty).

Merania umožnili identifikovať rôzne poruchy, chyby prevádzky a podobne, ktoré je možné investične nenáročne odstrániť (napr. identifikáciou nedostatočne otvorených uzáverov na sieti, prípadne zistením porúch potrubia, ktoré spôsobujú úniky vody alebo zníženie tlakov v sieti a z toho vyplývajúce plytvanie energiou). Zistenie a odstránenie tohto typu problémov je prvý krok kalibračných prác. Ak ich odstránenie nie je možné, je tieto stavy taktiež potrebné modelovať.

V prípade, že ani odstránením bežných porúch a nedostatkov, ani reorganizáciou prevádzky nie je možné dosiahnuť potrebné parametre prevádzky (ako aj v prípade zastaralosti systému), je potrebné prikráčať k čiastočnej alebo komplexnej rekonštrukcii. Tento zásah je investične náročný a nevyhnutne vyžaduje príslušné projekčné práce. Na danej sústave boli v kontexte niektorých odberných situácií zistené nedostatočné tlaky, ktoré obmedzovali najmä zavlažovanie špargle a zemiakov v oblasti vetiev A3, A4 a v časti rozšírenia pôvodnej sústavy. Keďže je daná lokalita na pestovanie uvedených plodín veľmi priaznivá, uvažuje sa s rozšírením plošnej výmery týchto plodín už v nasledujúcom roku. Postupne možno očakávať ďalšie rozšírenie pestovania uvedených i ďalších plodín, čím sa rozširuje aj naraz zavlažovaná plocha. To vyplýva z toho, že zmena oševného postupu má tendenciu k viac „monokultúrnemu“ charakteru. Možno očakávať, že tento jav sa bude objavovať častejšie vzhľadom na globalizáciu ekonomiky, obchodu a poľnohospodárstva, ktorá vyvoláva podmienky, v ktorých je vhodné špecializovať sa na užší pestovaný sortiment plodín s nižšími výrobnými nákladmi umožňujúcimi uplatnenie na trhu. Tento stav zvyšuje nároky na kapacitu rúrovej siete, ktorá už v súčasnosti preukazuje nedostatočnosť. Ako vhodné opatrenie sa ukazuje okruhovanie niektorých častí rúrovej siete, napr. zokruhovanie vetiev A3 a A4, ale aj iných miest sústavy. Takéto riešenie je optimálne jednak z hľadiska ekonomických nákladov, dosiahnutia potrebných technických parametrov (tlaky), zjednodušuje prácu pri samotnej prevádzke a je výhodné aj v prípade vzniku porúch (existuje alternatívny spôsob ako dopraviť vodu k hydrantom v prípade poruchy na rúrovej sieti). Nevyh-



Obr. 2. Priebeh meraných parametrov v závlahovej sústave

nutnou súčasťou takéhoto riešenia nového stavu (rekonštrukcia) je zostavenie a kalibrácia simulačného modelu.

Pre tento účel sa vykonalo meranie tlakov na výstupe z čerpacej stanice, prietoku tesne za čerpacou stanicou a meranie tlakov v typických miestach závlahovej sústavy, ktoré boli zvolené s ohľadom na prevádzkovú situáciu, aktuálnu v čase zavlažovania, t.j. v miestach prietoku vody k hydrantom, na ktoré boli v čase merania napojené zavlažovače. Zavlažovalo sa najmä z hydrantov vetiev A, A1 a A2.

Odber vody zo sústavy, podobne ako pri vodovodných systémoch, podlieha zmenám v priebehu času. Po zmenách odberov prietok nejaký čas dynamicky kolíše aj pri tom istom usporiadaní odberov. Pri meraní je potrebné mať presný prehľad o zapínaní alebo vypínaní závlahového detailu. Je potrebné zorganizovať zber údajov tak, aby sa odčítavali údaje paralelne na viacerých miestach sústavy. Merania je potrebné vykonávať simultánne a súvisle pre časový úsek, ktorý zahŕňa periódu maximálnej závlahy v systéme. Po analýze výsledkov je potrebné vybrať vhodné časové body pre kalibračný výpočet. Vhodný časový bod je taký, keď bola maximálna a ustálená prevádzka. Príklad analýzy meraní a hľadania vhodného časového bodu je na obr. 2. V tomto grafe sa kontroluje pri priebehu tlakov tendencia v čase, napr. podobný režim stúpania a klesania hodnôt. Ako najvhodnejší časový bod pre kalibráciu môže byť v tomto prípade zvolená 48. minúta meraní. Okrem toho treba nájsť ďalšie vhodné body (prípadne získať z iného merania) pre overenie správnosti kalibrácie.

Dôležitým údajom je zaznamenanie rozmiestnenia závlahového detailu, jeho typu a ďalších parametrov (priemer dýzy postrekovača). Charakteristická krivka zavlažovača sa stanoví podľa údajov výrobcu. Keďže ide o údaj závislý od technického stavu zariadenia, parametre  $QH$  charakteristiky zavlažovača boli v určitom rozsahu tiež predmetom výpočtu. Koeficienty drsnosti potrubia sa pri prvom behu výpočtu uvažovali individuálne pre každý úsek, čo umožnilo identifikovať rôzne anomálie v distribučnej sústave, ktoré majú za následok zväčšenie hydraulických strat. V ďalšom behu programu sa vytvorili skupiny úsekov s predpokladaným rovnakým drsnostným súčiniteľom na základe zhodnosti priemerov potrubia.

V optimalizačnej funkcii bola pomocou váhových koeficientov zdôraznená nutnosť dodržať merané prietoky

$$f_{\min} = \sum_{i=1}^n (P_{i,\text{mer}} - P_{i,\text{calc}})^2 + k(Q_{\text{mer}} - Q_{\text{calc}})^2,$$

$P_{i,\text{mer}}$  je meraný tlak  $i$  v sústave [MPa],

$P_{i,\text{calc}}$  – vypočítaný tlak  $i$  [MPa],

$Q_{\text{mer}}$  – meraný prietok za čerpacou stanicou [l/s],

$Q_{\text{calc}}$  – vypočítaný prietok za čerpacou stanicou [l/s],

$k$  – váhový koeficient zdôrazňujúci význam dodržania prietokov za ČS.

Výsledky výpočtu kalibrovanej sústavy pre overovaciu prevádzkovú situáciu (odlišnú od kalibračnej – zistenú v čase 29. minúty meraní) vykázali rozdiely v tlakoch do 3,8 % a v prietokoch 4,9 %. Dosiahnutý výsledok predstavuje dobrú zhodu. Väčší rozdiel v prietokoch spôsobuje spomenutá turbulencia prúdenia za čerpacou stanicou a pulzácia údajou vzhľadom na neustálenosť prúdenia. Ako už bolo uvedené, presnosť kalibrácie nezávisí iba od nastavenia drsnostných súčiniteľov, ale aj od ďalších parametrov, ktoré môžu byť zdrojom rôznych chýb, takže v prípade ďalších upresnení, napr. dĺžok úsekov, ktoré boli stanovené iba na základe grafického odčítania zo situácie (neboli k dispozícii číselné údaje), možno získať aj presnejšie výsledky. Dĺžky

úsekov by bolo možné upresniť buď z pozdĺžnych profilov na základe projektu, alebo priamym meraním v teréne. Výsledok však preukazuje vhodnosť metódy aj pri nedostatočných podkladoch, s čím sa v praxi často stretáme, takže ďalšie upresnenia už neboli pre potreby tejto štúdie vykonávané.

## Záver

V prípade použitia simulačných modelov, napr. pri návrhu rekonštrukcií závlahových systémov, je potrebné vykonať kalibráciu týchto modelov, nakoľko vplyvom staršieho zariadenia čerpacej stanice, závlahového detailu a rúrového materiálu rozvodnej siete nie su viaceré parametre známe. Aby sa dosiahla zhoda modelu s reálnou skutočnosťou a mohli sa navrhovať optimálne úpravy prevádzky, prípadne investičné zásahy do sústavy, je potrebné príslušným postupom v slede rekognoskácia sústavy, meranie a kalibrácia získať adekvátny model pre riešenie týchto úloh.

Vlastným obsahom príspevku je popis metodológie pre určenie kalibračných parametrov, ktorá je založená na optimalizačných postupoch využívajúcich metódu genetických algoritmov.

**Výsledky príspevku, riešeného v rámci grantů č. 1/9364/02 a 2/2016/22 GAV Ministerstva školstva SR a Slovenskej akadémie vied, ukazujú vhodnosť použitia metódy ako z hľadiska presnosti, tak aj z hľadiska relatívne jednoduchej metodiky, uplatniteľnej pri použití vyvinutého software aj v bežnej projekčnej činnosti.**

## Literatúra

- [1] Čistý, M. – Savič, D.A. – Walters, G.A.: Rehabilitation of Pressurised Pipe Networks Using Genetic Algorithms. In: W.A. Price et al. eds.: Water for Agriculture in the Next Millennium. 17<sup>th</sup> Congress on Irrigation and Drainage, Granada, International Commission on Irrigation and Drainage, 1999, pp. 13 – 27.
- [2] Rossman, L. A.: Epanet Users Manual. U.S. Environmental Protection Agency, 1994.

**Čistý, M. – Skalová, J. – Klementová, E.: Calibration of the Hydraulic Distribution Scheme of an Irrigation System**

**Hydraulic models of older irrigation systems should be calibrated so that their results may be interpreted with confidence. Model calibration essentially comprises adjusting pipe roughness and other parameters until the pressure and flow values predicted by the model are consistent with field measurements. This paper shows that this process can be effectively automated using an optimization approach.**

**Čistý, M. – Skalová, J. – Klementová, E.: Kalibrierung des hydraulischen Verteilungssystems einer Bewässerungsanlage**

**Zur Bestimmung des hydraulischen Modells einer älteren Bewässerungsanlage muss man dessen Kalibrierung durchführen. Dieser Schritt bedeutet die Ermittlung der tatsächlichen Rauheit und anderen Parameter, bei denen die Druck- und Durchflusswerte im System den gemessenen Werten entsprechen. Im Artikel stellt der Autor ein Optimierungsverfahren vor, durch das effektiv die genauen Werte ermittelt werden können.**



# Laboratorní stanovení filtračního součinitele Na-bentonitů

Ing. Jiří KOŠTÁL  
 ČVUT – Fakulta stavební  
 Praha

Článek popisuje jednoduchou laboratorní metodu pro stanovení filtračního součinitele Na-bentonitů, založenou na principu časového průběhu konsolidace při využití jednorozměrné deformace. Průběh konsolidace byl stanoven nezávisle ve čtyřech přístrojích s rozdílnou možností maximálního zatížení. Poté byla stanovena závislost filtračního součinitele jako funkce vysušené objemové hmotnosti bentonitu.

## Úvod

Filtrační součinitel je významná veličina pro numerické modelování transportu kontaminantů, a zároveň důležitá kontrolní veličina pro návrh ochranných bariér, tj. skládek nebo úložišť. V současné době se uvažuje o využití bentonitů pro stavbu úložišť radioaktivních odpadů. Velmi přísné podmínky, kladené na těsnicí bariéry, mohou být splněny pouze pro vysoké hodnoty vysušené objemové hmotnosti bentonitu. Proto je vztah mezi jeho filtračním součinitelem a objemovou hmotností velmi důležitý.

Pro laboratorní stanovení filtračního součinitele existují dvě metody – přímá a nepřímá. První metodou se stanovuje hodnota filtračního součinitele v propustoměru s využitím Darcyovy rovnice. Za nepřímé metody můžeme považovat stanovení podle časového průběhu konsolidace nebo vyhodnocení retenční křivky [1], [2]. Další možností je využití fyzikálních charakteristik zeminy [3].

Přímé metodě pro málo propustné a nasycené zeminy se věnuje mnoho autorů. Například Daniel a Trautwein [4] uvádějí přehled přímých měřicích metod (state-of-the-art). Laboratorními zkouškami zjistili nejmenší hodnotu filtračního součinitele v řádu  $10^{-12}$  m/s. Menších hodnot nebylo touto metodou dosaženo. Další odborníci [5], [6] uvádějí řádově stejné hodnoty. Je tedy zřejmá nutnost zkoušení nových metod, které by byly schopny měřit menší hodnoty. U přímé metody je největším problémem časová náročnost měření. Chyby v určení filtračního součinitele vyplývají nepřímo z délky měření pro netěsnost přístroje, sorpci iontů z vody na sledovaném vzorku, a díky proudění také pro částečné ztuhnutí vzorku.

## Stanovení výpočtem z časového průběhu konsolidace

Filtrační součinitel se stanovuje podle konsolidace zeminy závislé na propustnosti a dráze částice vody. V počátku se snižuje pórový tlak, voda odtéká, čímž se vzorek deformuje. V další fázi dochází již k vlastní deformaci zrníček zeminy. Důležité je tedy zjistit dobu přechodu první fáze ve druhou, z níž se určí stupeň konsolidace  $c_v$  nutný pro stanovení filtračního součinitele  $k$ . Zároveň musíme určit oedometrický modul deformace  $E_{\text{oed}}$ . Stanovení filtračního součinitele nepřímou metodou se většinou provádí pomocí jednorozměrné odvodněné konsolidace (obr. 1), kde  $H$  je

poloviční výška vzorku (oboustranně drénovaného),  $D$  je průměr vzorku,  $\varepsilon$  je poměrná deformace a  $\sigma_z$  je svislé napětí. Na základě tohoto schématu můžeme stanovit oedometrický modul deformace

$$E_{\text{oed}} = \frac{\Delta\sigma_{\text{ef}}}{\Delta\varepsilon}, \quad (1)$$

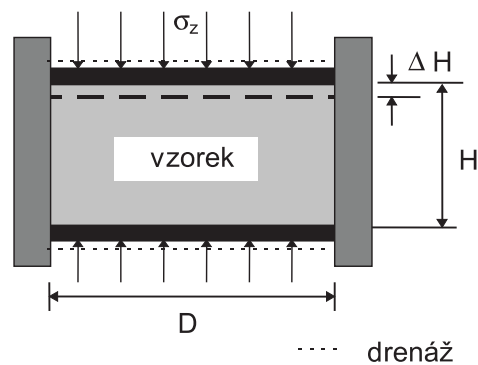
kde  $\Delta\varepsilon$  je přírůstek poměrné deformace vyvolaný přírůstkem efektivního přetížení  $\Delta\sigma_{\text{ef}}$ . Pro stejný časový úsek měříme deformační křivky  $\Delta\varepsilon = f(t)$  nebo  $\Delta\varepsilon = f(\sqrt{t})$  a z nich určíme stupně konsolidace. Podle metod Casagrandea (1) nebo Taylora (2) určíme stupeň konsolidace [7].

V rovnicích (obr. 2 a obr. 3) pro výpočet stupně konsolidace je  $t_{50}$  čas potřebný k dosažení 50% a  $t_{90}$  k dosažení 90% filtrační konsolidace. Podrobnější výklad grafického určení stupně konsolidace nalezneme v [8].

Z rovnice (2) již můžeme stanovit hodnotu filtračního součinitele [7]

$$k = \frac{c_v \gamma_w}{E_{\text{oed}}}, \quad (2)$$

kde uvedené parametry již byly definovány a  $\gamma_w$  je hustota vody.

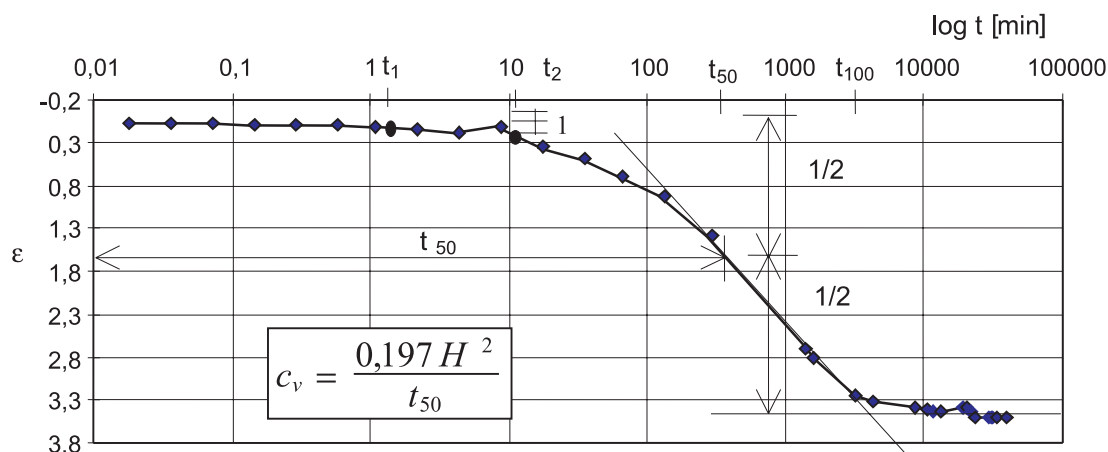


$$\varepsilon = \varepsilon_z = \frac{\Delta H}{H}$$

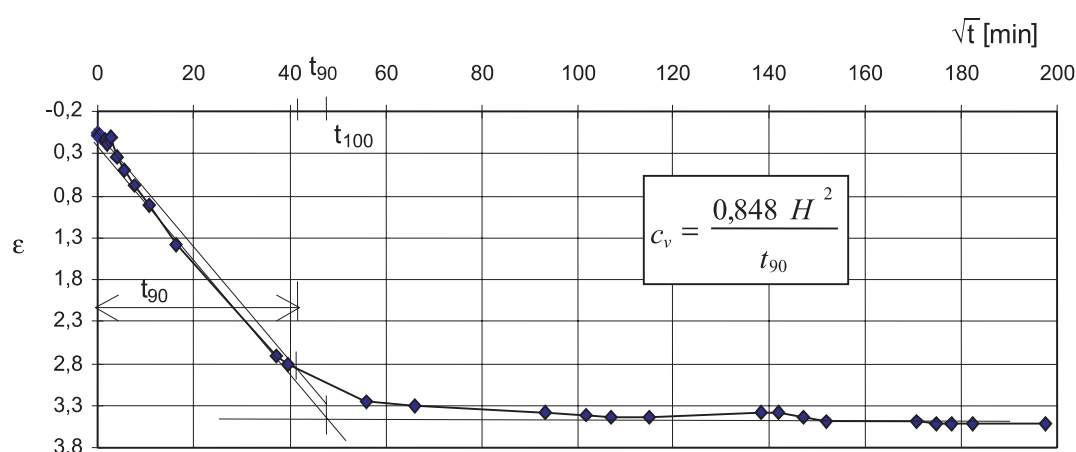
Obr. 1. Schéma jednorozměrné konsolidace (oedometrický typ)

## Příprava vzorku

Pro stanovení filtračního součinitele byl použit aktivovaný Na-bentonit (Keramost, a. s., Most) mezi tekutosti  $w_L = 326$  %, mezi plasticity  $w_p = 40$  %, indexem plasticity  $I_p = 286$  %, indexem koloidní aktivity jílu  $I_a = 5,4$  a měrnou hmotností zrn zeminy  $\rho_s = 2738$  kg/m<sup>3</sup>. Práškový materiál byl smíchán s vodou tak, aby vznikla jílová kaše. V této konzistenci vyplní dokonale formu a předchází vzniku vzduchových bublin. Stupeň nasycení připraveného vzorku se rovná 1 a po ukončení měření se znovu kontroluje. Na zarovnaný povrch byla položena filtrační destička (případně nerovnosti by se mohly stát zdrojem nepřesností při měření poměrných deformací). Protože se sledoval rovněž vztah mezi filtračním součinitelem a objemovou hmotností vysu-



Obr. 2. Casagrandeova metoda (metoda log t)

Obr. 3. Taylorova metoda (metoda  $\sqrt{t}$ )

šené zeminy, byla pro jednotlivá měření zvolena rozdílná počáteční hodnota objemové hmotnosti vysušené zeminy neboli vlhkost zkoumaného vzorku (70 až 200 %).

### Laboratorní měření

První měření bylo provedeno v klasickém oedometru (Edp.). Základem přístroje je tuhý válcový prstenec (oedometrická krabice), který zabraňuje vybočení vzorku do stran, a tím zaručuje jeho jednoosou stlačitelnost. Zemina je z obou stran chráněna karborundovými destičkami umožňujícími proudění vody oběma směry. Pohyblivý píst v horní části válce se zatěžuje přes páku, aby bylo dosaženo vyššího napětí. Indikátorovými hodinkami se měří deformace vzorku. Volné prostory za karborundovými destičkami nad vzorkem i pod ním umožňují vodě vytékat, nebo naopak vzorek prosytit vodou. Zkoumaný vzorek byl 0,03 m vysoký a jeho průměr byl 0,1125 m. Nejvyšší napětí, kterého zde bylo dosaženo, mělo hodnotu 0,7 MPa.

Při druhém měření v reologickém lisu (Rep.) byl vzorek uložen ve stejné oedometrické krabici jako v prvním případě. Díky jiným pákovým převodům při zatížení vzorku bylo při měření dosaženo napětí 3,2 MPa. Pro konstantní kroková zatížení bylo napětí u obou měření zajištěno mrtvým zatížením.

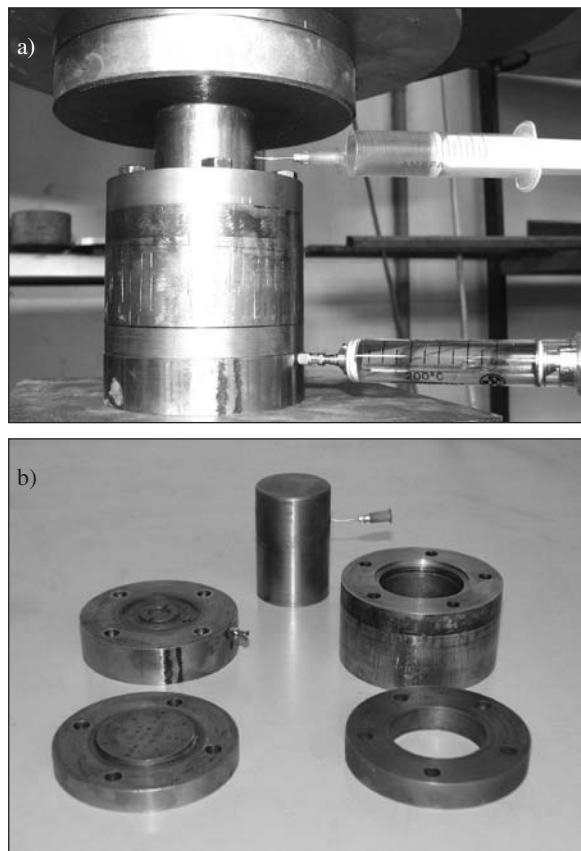
Poslední stanovení součinitele konsolidace a oedometrického modulu deformace, nutných pro výpočet filtračního součinitele, bylo provedeno ve vysokotlakém lisu (Hp.). Tento přístroj umožňuje v jednotlivých zatěžovacích stupních udržet konstantní napětí po celou dobu měření s velmi

malou oscilací od zvolené hodnoty. Aby bylo možné použít vysoká napětí, a tím dosáhnout vyšších hodnot objemové hmotnosti vysušeného materiálu, byly vytvořeny nové komory pro uložení vzorku. V první komoře průměru 0,0038 m a výšce 0,01 m (obr. 4) bylo nejvyšší použité napětí 11 MPa. Pro sledování závislosti filtračního součinitele a objemové hmotnosti vysušeného vzorku jiného průměru byla vytvořena další komora. U dalšího vzorku průměru 0,075 m a výšce 0,06 m (obr. 5) bylo nejvyšší použité napětí 31 MPa. V jednotlivých krocích bylo postupně zvyšováno normálové napětí a pro jednotlivé intervaly přitížení vypočítána hodnota  $c_v$  a  $E_{\text{od}}$ . Ze znalosti počáteční vlhkosti, určené jako hmotnostní podíl vysušeného a zkoumaného vzorku, a objemu vzorku bylo možné určit objemovou hmotnost vysušené zeminy. Byla určena pro jednotlivé intervaly měření, a tím bylo možné zjistit její změnu vyvolanou deformací vzorku. Stupeň nasycení se ještě kontroloval po skončení celého cyklu zkoušky. Z rovnic a předpokladů bylo možné následně stanovit hodnotu filtračního součinitele.

### Výsledky laboratorních zkoušek

Výsledky laboratorních zkoušek pro stanovení součinitele konsolidace podle Casagrande jsou znázorněny v grafu na obr. 6. Pro informaci je zde také uvedena hodnota filtračního součinitele získaná přímým měřením univerzálním propustoměrem (Pr.).

Stanovení filtračního součinitele bentonitů výpočtem z časového průběhu konsolidace zeminy se jeví jako velmi

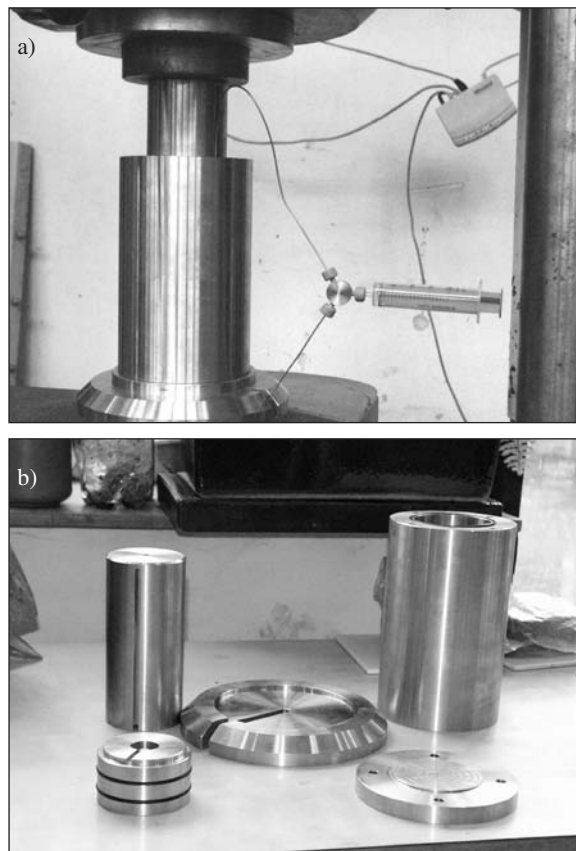


Obr. 4. Schéma první komory pro vysokotlaký lis  
a – celkový pohled spolu s odvodněním, b – jednotlivé díly

slibné. Tato metoda vylučuje závažné chyby (časovou náročnost, netěsnost přístroje, zhuštění vzorku atd.), které se objevují při měření propustnosti v propustoměru. Výsledky závisí na vlhkosti, objemové hmotnosti vysušené zeminy, velikosti zkoumaného vzorku a použitého normálového napětí. Nejnižších hodnot filtračního součinitele bylo dosaženo pro největší napětí za použití vysokotlakého lisu. Tuto metodu je možné doporučit jako relativně rychlou a vhodnou pro měření extrémně nízkých hodnot ( $10^{-12}$  až  $10^{-14}$  m/s). Je jí možné stanovit závislost filtračního součinitele a objemové hmotnosti vysušené zeminy na jediném zkoumaném vzorku. Zároveň byla prokázána závislost propustnosti na objemové hmotnosti vysušené zeminy.

### Porovnání výsledků

Stanovené hodnoty filtračního součinitele byly porovnány s výsledky, které uvádí například [9]. Hodnoty objemové hmotnosti vysušené zeminy bylo nutné přepočítat na hodnoty čísla pórovitosti (obr. 7). Z uvedeného srovnání vychází poměrně dobrá shoda. Zároveň je možné výsledky zjištěné měřením porovnat s hodnotami uvedenými v jiných pramenech. Například Foged a Baumann [10] se věnovali vlivu přírodní bariéry (plastického jílu) na migraci kontaminantu v dánském Rollandu. Při advektivním procesu je nejvýznamnějším parametrem transportní rovnice filtrační součinitel. Pro jeho stanovení si vybrali nepřímou metodu, která používá pro stanovení filtračního součinitele časový průběh konsolidace. Pro napětí 4,8 MPa určili jeho hodnotu v rozmezí 1,5 až  $5 \cdot 10^{-12}$  m/s. Objemová hmotnost vysušeného jílu byla od 1 650 do 1 860 kg/m<sup>3</sup>. K dalším, kteří se stejným problémem zabývali, patří autoři [11]. Ti pro vysoce plasticitní jíl s vysušenou objemovou hmotností



Obr. 5. Schéma druhé komory pro vysokotlaký lis  
a – celkový pohled spolu s odvodněním, b – jednotlivé díly

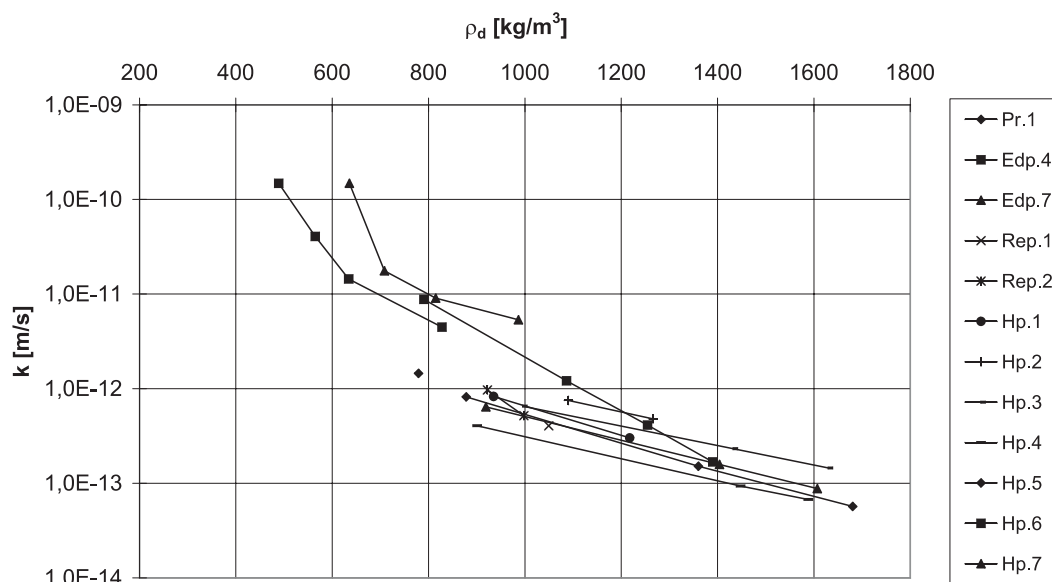
1 680 kg/m<sup>3</sup> použili maximální napětí 1 MPa a stanovili hodnotu  $k = 7 \cdot 10^{-12}$  m/s. Závislost mezi objemovou hmotností vysušené zeminy a filtračním koeficientem vykazuje stejný průběh jako závislost v práci [12].

### Závěr

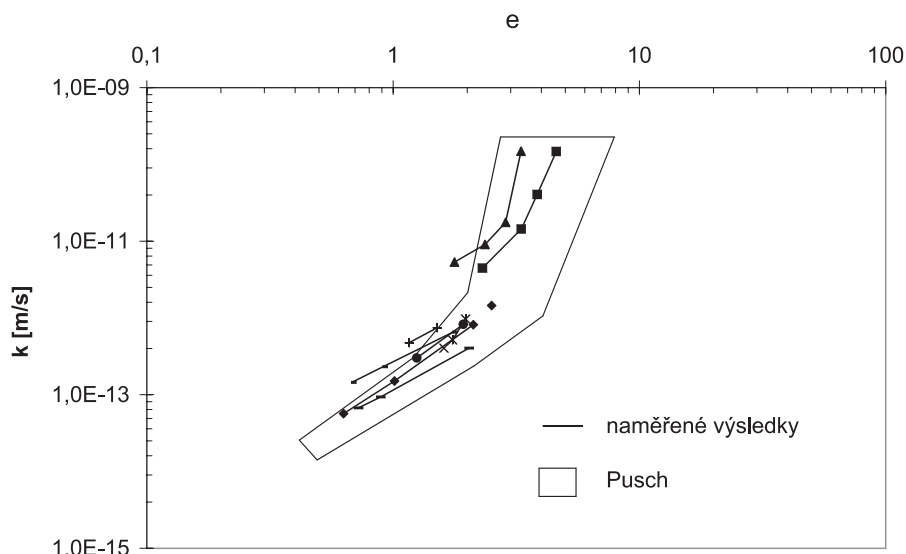
Z výsledků měření je zřejmé, že propustnost pro zeminy s vysokou hodnotou vysušené velké objemové hmotnosti klesá lineárně v logaritmickém měřítku s relativní deformací. Tento trend je zřejmě vratný i po odlehčení. Největším problémem při zjišťování filtračního součinitele bentonitů se jeví možnost odvodnění vzorku a udržení minimální oscilace použitého napětí. Dalším zdrojem nepřesností je vyhodnocení stupně konsolidace grafickými metodami. Proto je dobré používat obě metody a vzájemně je porovnávat.

### Literatura

- [1] Schaap, M.G. – Leij, F. J.: Improved Prediction of Unsaturated Hydraulic Conductivity with the Mualem-van Genuchten Model. Soil Science Society of America Journal, 64, 2000, pp. 843 – 851.
- [2] Brutsaert, W.: A Concise Parameterization of the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. Advances in Water Resources, 23(8), 2000, pp. 811 – 815.
- [3] Shao, M. – Horton, R.: Integral Method for Estimating Soil Hydraulic Properties. Soil Science Society of America Journal, 62(3), 1998, pp. 585 – 592.
- [4] Daniel, D.E. – Trautwein, J.: Laboratory Hydraulic Conductivity Tests for Saturated Soils. Hydraulic Conductivity and Waste Contaminant Transport in Soil. Philadelphia, American Society for Testing and Materials, 1994, pp. 31 – 71.
- [5] Gleason, M.H. – Daniel, D.E. – Eykholt, G.R.: Calcium and Sodium Bentonite for Hydraulic Containment Applications.



Obr. 6. Výsledky laboratorních zkoušek pro stanovení součinitele konsolidace podle Casagrandea



Obr. 7. Porovnání výsledků

Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 132(5), 1997, pp. 438 – 445.

[6] Rowe, R.K. – Quigley, R.M. – Booker, J.R.: Methods of Assessing Hydraulic Conductivity. Clayey Barrier System for Waste Disposal Facilities. London, 1995, pp. 84 – 108.

[7] Vaníček, I.: Mechanika zemin. ČVUT Praha, 1996, 229 s.

[8] Ortigao, J.A.R.: Soil Mechanics in the Light of Critical State Theories – An Introduction. Rotterdam, A. A. Balkema 1995, 299 pp.

[9] Pusch, R.: Waste Disposal in Rock. Amsterdam, Elsevier 1994, 490 p.

[10] Foged, N. – Baumann, J.: Clay Membrane Made of Natural High Plasticity Clay: Leachate Migration Due to Advection and Diffusion. Engineering Geology, 1999, 54(1 – 2), pp. 129 – 137.

[11] Graham, J. – Yuen, K. – Goh, T.B. – Janzen, P. – Sivakumar, V.: Hydraulic Conductivity and Pore Fluid Chemistry in Artificially Weathered Plastic Clay. Engineering Geology, 2001, 60(1 – 4), pp. 69 – 81.

[12] García-Gutiérrez, M. – Missana, T. – Mingarro, M. – Samper, J. – Dai, Z. – Molinero, J.: Solute Transport Properties of Compacted Ca-Bentonite used in FEBEX Project. Journal of Contaminant Hydrology, 2001, 47(2 – 4), pp. 127 – 137.

### Košál, J.: Laboratory Determination of Hydraulic Conductivity of Na-Bentonite

The contribution describes a simple laboratory method for determination of hydraulic conductivity of Na-bentonite. It is based on the principle of determination of the coefficient of hydraulic conductivity via consolidation of the sample for one-dimensional deformation. Four devices based on the same principles but with different possibilities of maximum loading were used. Then, it was possible to evaluate the dependence of hydraulic conductivity as a function of dry density.

### Košál, J.: Laboratormäßige Bestimmung des Filtrationskoeffizienten von Na-Bentonit

Der Artikel beschreibt ein einfaches Laborverfahren zur Bestimmung des Filtrationskoeffizienten von Na-Bentoniten. Dieses Verfahren basiert auf dem Prinzip des zeitlichen Verlaufs der Konsolidierung bei Anwendung einer Deformation in einer Richtung. Der Verlauf der Konsolidierung wurde unabhängig mit vier auf den gleichen Prinzipien basierenden Instrumenten mit unterschiedlichen möglichen Höchstbelastungen bestimmt. Danach wurde die Abhängigkeit des Filtrationskoeffizienten als Funktion der Trockendichte bestimmt.

## Využití digitální kamery k ověření modelů vlivu atmosféry

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

V článku je popsán způsob snímání polohy svazku laserového záření digitální kamerou k ověření funkčnosti refrakčních modelů. Experimentální měření v laboratoři probíhalo za umělých změn atmosférických podmínek pro vyvolání změn trajektorie laserového svazku.

### Úvod

Ke sledování vlivu změn atmosférických prvků (teploty, tlaku a vlhkosti prostředí) na měření v geodézii se používá mnoho metod a přístrojů. Jednou z možností je snímání polohy svazku laserového záření digitální kamerou. Takto určená poloha umožní ověřit modely vlivu změn atmosféry. Vliv umělých změn vlastností prostředí (teploty) v omezeném úseku dráhy svazku v reálném čase zaznamenaná digitální kamera (detektor) současně se změnám a zaznamenaním hodnot atmosférických prvků. Výchylky laserové stopy zjištěné měřením se porovnají s výchylkami určenými podle aproximačních vztahů pro potlačení vlivu atmosféry na měření.

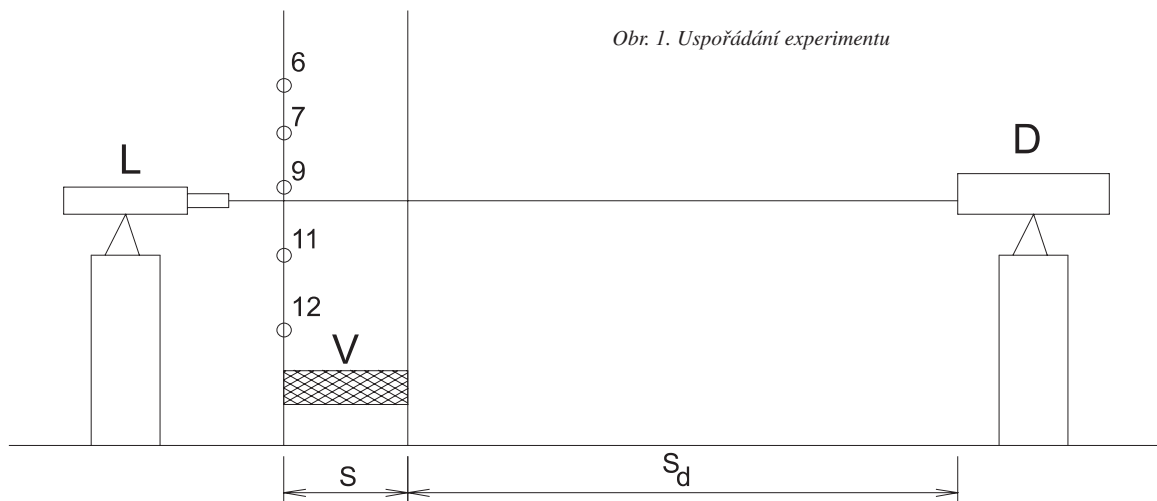
### Experiment

V laboratoři Katedry vyšší geodézie Fakulty stavební ČVUT, v níž bylo možné umístit přístroje na betonové pilíře, bylo nutné uměle zajistit změnu atmosférických veličin. Vzhledem k tomu, že na refrakci se nejvíce podílí velikost teplotního gradientu, byl experiment zaměřen právě na vytvoření jeho změn. Technická realizace umělé změny teplotního gradientu byla možná pouze na malé části záměrné přímky (0,60 m), a proto byly upraveny i výpočetní modely refrakce. Zdrojem tepelné energie byla varná jednotka, zdrojem záření helium-neonový laser Tesla TKG 205 v. č. 49340 ve spojení se speciálním podstavcem v. č. 10157.

Poloha svazku se určovala s aparaturou jednoduché kamery Video Blaster Web Cam Go [1], [2].

Teplota jednotlivých čidel se měřila přístrojem firmy Ahlborn Meß und Regelungstechnik Therm 3280-8M v. č. T16310496. Tento digitální přístroj umožňuje připojení až deseti čidel, která mohou snímat různé veličiny (teplotu, vlhkost, tlak, proudění vody, rychlost větru atd.). Zde byla připojena termistorová teplotní čidla NTC. Samotný přístroj lze programovat přímo na přístroji nebo po propojení s počítačem. Má zabudovanou řadu funkcí, zejména zobrazení zjištěné hodnoty, maximální dosažené hodnoty, minimální dosažené hodnoty, střední hodnoty, paměť, diferenční měření, programování měřicího cyklu, programování tisknouceho cyklu, volbu výstupního rozměru, mezní hodnoty, korekční hodnoty, automatické spuštění a vypnutí ve zvoleném čase a datu. Přístroj může být programován pro měřicí cyklus v intervalu od 1 s do 59 h 59 min 59 s rychlostí deset měření za sekundu. Z toho vyplývá, že čtení všech připojených čidel se děje do jedné sekundy. Při přímém výstupu naměřených dat na termopapír se ovšem čas potřebný pro začátek dalšího cyklu prodlužuje. Přesnost měřicí aparatury výrobce udává jako 0,03 % z naměřené hodnoty. Ve spojení s použitými čidly, jejichž přesnost je udávána 0,01 °C, je teoretická přesnost v měření teplot dostatečující.

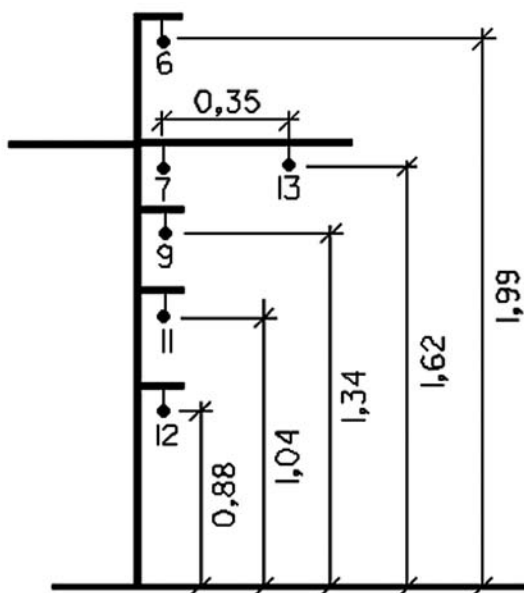
K určování vlhké a suché teploty byl použit digitální psychrometr THERM 2246. Pro další výpočty byla určována relativní vlhkost. Teplotní rozsah je od -5 °C do +100 °C, přesnost výrobce udává 0,1 °C při teplotě do 45 °C. Přístroj lze s adaptérem napájet ze sítě, popř. z vestavěné baterie 3 x 1,5 V. Výrobní číslo přístroje je 22424. Atmosférický tlak vzduchu se měřil aneroidem Metra, v. č. 112533, přístroj udává tlak v torrech. Uspořádání experimentu je schematicky znázorněno na obr. 1. Kamerový box *D* (detektor) a laser *L* byly umístěny na pilířích ve vzdálenosti zhruba 30 m. Teplotní profil byl vzdálen přibližně 2 m od laseru. Tento profil byl umístěn v místě vytvoření umělých změn teploty varnou jednotkou *V*. Zóna vlivu uměle vytvářeného teplotního pole byla charakterizována délkou  $S = 0,6$  m, vzdá-



Obr. 1. Uspořádání experimentu

lenost od konce tohoto prostoru k místu detekce  $S_d = 27$  m. Osazení profilu čidly je patrné z obr. 2.

Laserový svazek procházel mezi čidly 11 a 9, ve vzdálenosti 0,17 m od čidla 11. Tepelný zdroj byl umístěn 0,65 m pod laserovým svazkem. Tlak byl určen na 737,5 torrů, vlhká teplota 11 °C, suchá teplota 21,6 °C. Tyto veličiny zůstaly během experimentu konstantní. Po temperování přístrojů bylo zahájeno měření sestávající z 31 cyklů, přičemž jeden cyklus trval 15 s. V každém z nich byly zaznamenávány teploty zjištěné čidly umístěnými v profilu. Kamera pořizovala obrazovou informaci každou sekundu. Během experimentu se v okolí zdroje vytvářelo proměnlivé teplotní pole, jehož změny byly vyvolány automatickým zapínáním a vypínáním topného tělesa.



Obr. 2. Uspořádání teplotního profilu

### Modely působení atmosféry

• **Model A** je popsán v [3]. Jde o nahrazení trajektorie svazku paprsků parabolou. Pro posun cíle platí vztah

$$\Delta Y = -3,93 \cdot 10^{-7} \cdot p \cdot \left( \frac{dt}{dh} \right) \cdot S^2, \quad (1)$$

kde  $\Delta Y$  je posun cíle [m],

$p$  – tlak [Pa],

$dt/dh$  – teplotní gradient [K/m],

$T$  – absolutní teplota v místě průchodu paprsku [K],

$S$  – vzdálenost cíle od zdroje [m].

• **Model B** je uveden v [4]. Pro posun cíle platí vztah

$$\Delta Y = -\frac{1}{2} \cdot \frac{S^2}{h + \left( \frac{n_0 - 1}{n_H} \right) H}, \quad (2)$$

kde  $S$  je vzdálenost zdroje od cíle [m],

$h$  – výška svazku paprsků nad vztažnou úrovní [m],

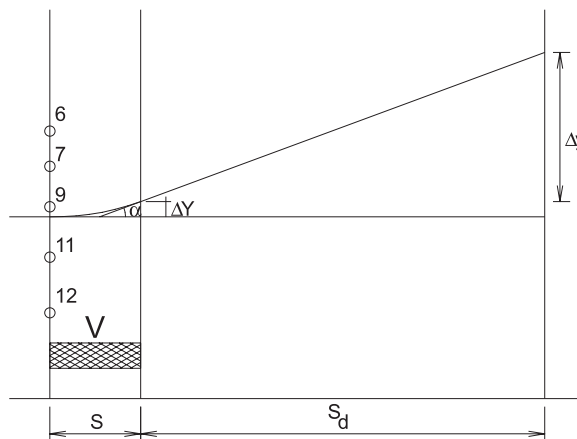
$n_0$  – index lomu vzduchu ve vztažné výšce  $h_0$ ,

$T$  – absolutní teplota v místě průchodu paprsku [K],

$n_H$  – index lomu vzduchu ve výšce  $H$ , platí  $h_0 < h < H$ .

### Aplikace modelů

Experiment byl realizován tak, aby bylo možné považovat teplotní pole v prostoru mezi tepelným zdrojem a kamerovým boxem za homogenní. V tomto případě docházelo k výchylce laserového svazku v úseku dráhy nad zdrojem a dále se svazek šířil po přímkové dráze, která je tečnou k předchozí trajektorii (obr. 3).



Obr. 3. Trajektorie svazku

Posun svazku na konci záměry

$$\Delta y = S_d \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (3)$$

kde  $\Delta y$  je posun svazku na konci záměry (v místě detekce) [m],

$S_d$  – vzdálenost od konce prostoru, kde dochází k teplotním změnám k místu detekce [m],

$\operatorname{tg} \alpha$  – směrnice tečny v koncovém místě oblasti proměnného teplotního pole (získá se derivací vzorců modelů podle S).

Teplotní gradient byl určen na základě aproximace teplotního pole. Pro jeho průběh byl zvolen aproximační vztah (4) z [5], kde jednotlivé koeficienty byly určeny vyrovnáním podle metody nejmenších čtverců,

$$t = a + b \cdot h + c \cdot h^2, \quad (4)$$

kde  $a, b, c$  jsou koeficienty,

$h$  – výška [m].

Index lomu je určen na základě nově odvozeného vztahu z [6]

$$n = k_0 \cdot \frac{p}{t + 273,15} + k_1 \cdot \varphi \cdot t + 1, \quad (5)$$

kde  $k_0$  je konstanta  $7,864 \cdot 10^{-7}$ ,

$k_1$  – konstanta  $-4,7526 \cdot 10^{-10}$ ,

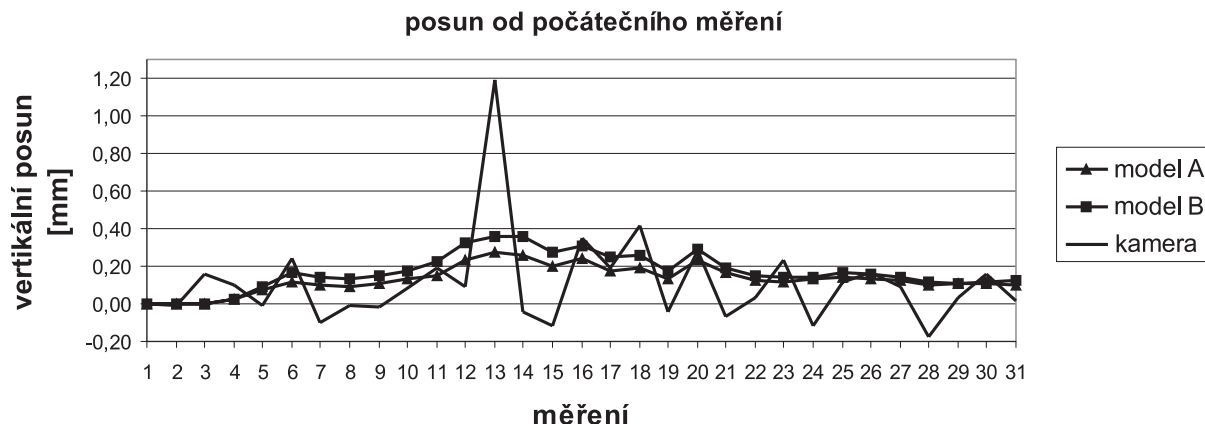
$p$  – tlak [Pa],

$t$  – teplota [°C],

$\varphi$  – relativní vlhkost vzduchu [%].

### Závěr

Při porovnávání refrakčních modelů A a B lze pozorovat mírný rozdíl, který dosahuje maximálně 0,1 mm. Vzhledem k přesnosti kamery jej lze zanedbat. Graf na obr. 4 znázorňuje posun laserové stopy od počáteční polohy určené podle modelu A, modelu B a kamery. Rozdíl mezi posuny vypočítanými podle modelů a posuny určenými kamerou je patrný. U třináctého měření nabývá extrémní hodnoty 0,9 mm, způsobené zřejmě teplotním šokem při stimulaci teplotního pole. Laserový svazek na změnu teplotního pole zareagoval okamžitě, čidla ji patrně nezaregistrovala.



Obr. 4. Posun laserové stopy

Teplotní šok mohl mít podobu tepelného víru, který se čidlům vyhnul. Průměrná odchylka zjištěná kamerou je při vyloučení třináctého měření 0,1 mm. Lze konstatovat soulad obou metod, a tím ověření funkčnosti měřicí aparatury.

**Příspěvek byl zpracován v rámci výzkumného záměru ČVUT CEZ J04/98:21000022.**

#### Literatura

- [1] Štroner, M. – Pospíšil, J.: Neměřická digitální kamera při dynamickém měření přetvoření. *Stavební obzor*, **10**, 2001, č. 3, s. 84–88.
- [2] Štroner, M. – Pospíšil, J.: Aparatura pro detekci polohy laserového svazku. *Stavební obzor*, **11**, 2002, č. 3, s. 93–96.
- [3] Pospíšil, J. – Štastný, K.: Die automatische berechnung des Einflusses der terrestrischen Refraktion auf den Laserstrahl. *Vermessungstechnik*, **31**, Jg. Heft 5, 1983, pp. 154–156.
- [4] Švec, M. – Vítula, A.: Příspěvek k měření s lasery při podpovrchových pracích. [Sborník], symposium „Hornická Příbram ve vědě a technice“, 1986, s. 175–182.
- [5] Veselý, M. – Vításek, J.: Studie vhodnosti náhradních teplotních rovnic v nehomogenním prostředí. *Geodetický a kartografický obzor*, 1981, č. 7, s. 177–179.
- [6] Štroner, M.: Jednoduchá aproximace indexu lomu vzduchu. *Jemná mechanika a optika*, 2000, č. 9, s. 242–244.

#### Pospíšil, J. – Štroner, M.: The Use of the Digital Camera for the Verification of Models of Atmospheric Effects

This paper describes the use of the digital camera for the scanning of the laser beam position in verifying functionality of selected refraction models. Experimental measurement was performed in the laboratory under artificially set changes in atmospheric conditions for inducement of changes of the laser beam trajectory.

#### Pospíšil, J. – Štroner, M.: Einsatz einer Digitalkamera zur Überprüfung von Modellen des Einflusses der Atmosphäre

Im Artikel wird der Einsatz einer Digitalkamera zum Aufnehmen der Lage des Laserstrahlenbündels bei der Überprüfung der Funktionsfähigkeit von Refraktionsmodellen behandelt. Die experimentelle Messung verlief im Labor während künstlich durchgeführter Veränderungen der atmosphärischen Bedingungen zur Hervorbringung von Veränderungen der Trajektorie des Laserbündels.

### **Dějiny zeměměřictví na webu**

V rámci pedagogického grantu ČVUT v Praze č. CTU 02 15511 byly zpracovány webové stránky dílčí skupiny předmětů inženýrské geodezie, zajišťované Katedrou speciální geodezie Fakulty stavební ČVUT. Jejich součástí je volitelný předmět

#### **Dějiny zeměměřictví**

<http://gama.fsv.cvut.cz/~hanek/DEJZ/CZ/>

Zájemci zde naleznou dříve publikované články a referáty o výrobě zeměměřických přístrojů v českých zemích od 16. po polovinu 20. století, po jednom v angličtině, češtině a němčině. Pouze v češtině je zatím přehled našich významných geodetů 19. století. Těžištěm je zařazení zhruba stovky fotografií exponátů z dokumentačního katalogu úspěšné výstavy „Geodetické přístroje v českých zemích (Surveying Instruments in Czech Lands)“, uspořádané Národním technickým muzeem v Praze za podpory Českého svazu geodetů a kartografů v první polovině roku 2000 při příležitosti FIG Working Week Prague 2000 v rámci akce „Praha – evropské město kultury“. Anglická verze bude zprovozněna do konce roku 2002.

## • literatura

### Möser, M. – Müller, G. – Schlemmer, H. – Werner, H. **Handbuch Ingenieurgeodäsie (Příručka inženýrské geodezie)**

Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, 2000–2003

Roku 1982 bylo v Berlíně nakladatelstvím VEB Verlag für Bauwesen zahájeno vydávání rozsáhlé šestidílné publikace Ingenieurgeodäsie (Inženýrská geodezie), jejímiž autory byli v různé míře zastoupení profesori F. Hennecke z Výmaru a H. Werner a G. Müller z Drážďan. Protože se dílo setkalo se zájmem odborné zeměměřické veřejnosti nejen obou tehdejších německých států, došlo u některých dílů k opakovanému vydání. Rychlý technický rozvoj, širší oblast řešení problematiky a změněná společenská situace po sjednocení Německa vedly v roce 1994 H. Wernera (†) a G. Müllera spolu s prof. H. Schlemmerem (TH Darmstadt) k zahájení prací na přípravě zcela přepracovaného vydání s novou koncepcí a dělením obsahu. Později se členem základního autorského a organizačního kolektivu a jeho vedoucím stal prof. M. Möser (TU Drážďany). Na tvorbě jednotlivých dílů, jejich kapitol nebo podkapitol se podíleli další významní odborníci z vysokých škol nebo praxe německé jazykové oblasti.

Celá příručka, která se stává jedním z nejvýznamnějších nakladatelských počínů současnosti, bude mít po dokončení osm tematicky odlišných, relativně samostatných dílů: Základy – Grafické zpracování dat a prostorové informační systémy – Kontrolní měření a měření posunů – Pozemní stavitelství a zakládání staveb – Železniční stavby – Silniční stavby – Řízení jakosti a management – Výroba strojů a zařízení. Vydávání, plánované na pouhé tři roky, zajišťuje renomované nakladatelství odborné literatury Herbert Wichmann v Heidelbergu, součást společnosti Hüthig GmbH & Co. ([www.huethig.de](http://www.huethig.de)).

Specializované díly příručky přinášejí nejen podstatné prohloubení a rozšíření dosavadní problematiky (např. dopravního stavitelství), ale především zapojení nových disciplín a poznatků (např. management, digitální modely, otázky jakosti) do systému inženýrské geodezie, jejichž potřebnost a nutnost se prokázaly při pokračující internacionalizaci techniky a mezioborové spolupráci v praxi posledních let. Čtyři z pěti dosud vydaných dílů jsou podrobně recenzovány na stránkách česko-slovenského odborného časopisu Geodetický a kartografický obzor (GaKO, č. 2000/7, 2001/1, 2002/11 a v tisku). Vzhledem k zaměření tohoto hraničního díla, potřebného nejen pro geodety, ale ve stejné míře i pro specialisty jiných stavebních, či dokonce strojírenských oborů, považují za vhodné a užitečné krátce informovat především o jeho obsahu též čtenáře tohoto časopisu.

První díl **Grundlagen (Základy)** – vedoucí M. Möser, 2000, 642 s., 320 obr., 71 tab., ISBN 3-87907-293-0, cena 148 DM) zpracovává tematiku prakticky v celém rozsahu v míře obvyklé v jiných učebnicích inženýrské geodezie. Svazek specifikuje problematiku prací při pořizování geodetických podkladů pro projekt, při vytyčování, při kontrolním a průmyslovém měření, při zaměření skutečného provedení stavby, při sledování posunů a přetvoření. Jeden z odstavců je věnován prostorové geometrii a vytyčování oblouků pro účely dopravního a vodohospodářského stavi-

telství a pro dálkové produktovody. Zmiňuje oblasti rozborů přesnosti, jakosti a kalibrace geodetických přístrojů, náhradní plochy zemského tělesa (elipsoidy, systémy GRS 80 a WGS 84), kartesiánské a elipsoidické souřadnice, polohové, výškové a tíhové systémy a prostorové vztažné systémy, instrumentarium a metody inženýrských měření včetně fotogrammetrických a GPS.

Další svazek pod názvem **Eisenbahnbau (Železniční stavby)** – vedoucí G. Müller, 2002, 455 s., 240 obr., 22 tab., ISBN 3-87907-297-3, 140 DM) byl pravděpodobně nejvíce ovlivněn změnami uplynulého desetiletí německých dějin a sjednocením správy, předpisů a technologií v rámci Německých drah DB a jejich vývojem v reakci na nové možnosti pořizování a vyhodnocování dat a výstavbu vysokorychlostních tratí. Obsahem jsou jednak obecně platné teoretické i praktické části o projektování, konstrukci, vytyčování, údržbě a rekonstrukcích dopravních cest a drážních zařízení, jednak poměrně obsáhlé části, vycházející z realití DB, v některých případech též Švýcarských spolkových drah SBB, popř. rakouských ÖBB. Kniha má podle záměru autorů i vydavatele sloužit též jako pomůcka úřadů a institucí železničních správ.

Počátkem roku 2001 byl vydán svazek **Straßenbau (Silniční stavby)** – vedoucí G. Müller, 292 s., 104 obr., 21 tab., ISBN 3-87907-298-1, 82 EUR). Text mnohdy navazuje a odkazuje na základní 1. díl (Grundlagen). Volba a výběr přístrojového vybavení, alternativních měřických technologií a postupů, rozborů přesnosti a testování souborů měření nejsou proto do textu tohoto dílu zařazeny. Pozornost je průběžně věnována počítačovým způsobům zpracování a projektování s využitím systémů CAD. Vedle nich jsou uváděny též klasické metody, které stále mohou při projektech menšího rozsahu najít uplatnění. V práci však není řešena geodetická ani stavební problematika silničních mostů a tunelů. Z obsahu: přehled právních norem, kategorizace silnic, návrhová rychlost, návrh komunikace ve fázích analýzy a rozhodování s detailním výčtem kritérií, požadavky na silniční stavby pro veřejný provoz v zastavěném území nebo trasování ve volném terénu, digitální modely terénu, kubatury, graficko-interaktivní softwarové systémy zpracovávající vektorová i rastrová data, prostorová vizualizace, finanční náklady.

Nejnovější svazek řady příruček inženýrské geodezie **Maschinen- und Anlagenbau (Výroba strojů a zařízení)** – vedoucí L. Löffler, 2002, 419 s., 209 obr., 10 tab., ISBN 3-87907-299-X, 86 EUR) je v odborné literatuře tohoto zaměření mimořádný svým rozsahem a úplností. V české, a pokud vím, ani ve slovenské odborné původní nebo překladové literatuře nemá (pokud nepočítám již zastarávající knihy z konce osmdesátých let minulého století) protějšek. Měření ve strojírenství a v průmyslu jsou tradiční záležitostí inženýrské geodezie, k prudkému rozvoji a k proniknutí do nových oblastí však došlo v průběhu minulých dvou desetiletí. Stalo se tak v důsledku zvýšeného zájmu o tuto skupinu prací v souvislosti s automatizací, unifikací, kooperací a



z přesnění výroby, a současně se vznikem a rychlým vývojem prostředků pro sběr a zpracování dat elektronickou cestou. Fundované výklady širokého spektra strojírenských a průmyslových měření nejvyšší teoretické úrovně a náročnosti jsou v celém textu knihy doloženy četnými příklady unikátních přístrojových a technologických světových řešení v prestižních strojírenských provozech (leteckém, automobilovém, chemicko-farmaceutickém průmyslu a v loděnicích). Autoři konstatují ekonomickou, organizační a technickou vhodnost popisovaných postupů pro efektivní, a někdy jediné možné řešení prostorových vztahů ve složitých podmínkách. Protože jde o práci poněkud odlehlou zájmu většiny čtenářů tohoto časopisu, uvedu pro přiblížení skutečnost, že na kruhovém urychlovači částic HERA v objektech jedné ze sedmi na světě existujících laboratoří fyzikálního výzkumu Deutsche Elektronen- Synchrotron (DESY) v Hamburku, v tunelu s vnitřním průměrem 5,2 m a obvodem 6,4 km, musí být délka osy vestavěného zařízení určena s absolutní přesností 12 až 19 mm, absolutní radiální a vertikální přesnost umístění rozhodujících dílců je 3 mm, relativní k sousedním prvkům 0,2 mm, podélné stočení 0,1 mm/1 m.

Dosud vydané díly příručky rozsahem a formou zpracování vhodně pokrývají problematiku, stanovenou v názvu. Vyznačují se logickým členěním a vysoce profesionálním zpracováním textu, doprovázeného množstvím názorných obrázků a fotografií. Svazky mají (téměř) jednotnou grafickou úpravu v praktických laminovaných tuhých deskách. Samozřejmostí je velmi dobrý černobílý tisk, v některých dílech jsou definice nově zaváděných pojmů zvýrazněny šedým podtiskem a obrázky (pérovky) jsou dvoubarevné. Za jednotlivými kapitolami, popř. obsáhlejšími podkapitolami, jsou řazeny literární prameny převážně z německé a anglické jazykové oblasti a rejstříky.

*doc. Ing. Pavel Hánek, CSc.  
Fakulta stavební ČVUT*

## • dizertace



### Metody vyhodnocení interferenčních polí pro měření tvaru a deformací ploch

*Ing. Jiří Novák*

Přínos spočívá v podrobné analýze a porovnání vybraných automatických metod vyhodnocování interferometrických měření včetně experimentálního ověření s důrazem na metodu elektrooptické holografie.

### Management and Evaluation of Highway Drainage System Stormwater

*Ing. Ashraf El-Shahat Mohammed Elsayed*

Při řešení problematiky odvodňování dálnic práce vhodně skloubila kvantitativní a kvalitativní hledisko. Řeší problematiku přívalových dešťů a jejich následků a podrobněji se zabývá jakostí povrchové vody odtékající z dálničního tělesa s možností jejího zachycení a čištění.

## • symposium

### Ocelové mosty

5. – 7. března 2003  
Barcelona

Po úspěšných symposiích v Londýně (1988), Paříži (1992), Rotterdamu (1996) a Lipsku (1999) se plánuje páté symposium Ocelové mosty do Barcelony na jaro příštího roku, kde se očekává více než 300 účastníků z celého světa. Symposium má dát příležitost k setkáním, rozhovorům, třibení nápadů a uzavírání dohod mezi všemi účastníky této oblasti hospodářství, jež pracuje s materiálem poskytujícím největší možnosti inovací a konstrukčních výhod. V novém tisíciletí si architekti a inženýři stále častěji uvědomují možnosti nabízené oceli při stavbě mostů.

#### Hlavní témata:

- konkurenceschopnost
- návrh a výzkum
- budoucí monumenty
- výroba a montáž
- chování v čase
- přehled dosažených výsledků

Třídenní symposium má dát architektům, inženýrům a mezinárodním odborníkům možnost nahlédnout na výhody ocelových konstrukcí a diskutovat problémy, potřeby a řešení ocelářského průmyslu včetně konstrukčních technologií, výroby, mechanizace, ochrany proti korozi a údržby. Přednášky budou doplněny informacemi o největších mostních projektech včetně mostů pro TGV, přemostění zálivu v San Franciscu, Sutonského mostu v Číně, přemostění Stonecutters v Hongkongu atd. Přednášky budou doplněny výstavou, v jejímž rámci společnosti nabídnou své služby a výrobky včetně nejnovějších inovací.

Pořadatelem symposia je ASCEM, španělská Asociace výrobců ocelových konstrukcí sdružující více než sto společností zabývajících se ocelovými konstrukcemi. Spolupořadatelem je ECCS/AC3, podporu poskytují významné evropské organizace, zejména EUROFER a ICT.

Jednání budou probíhat v Torre Mapfre, vysokém hotelu s ocelovou kosterou postaveném přímo na mořském břehu v nejkrásnější oblasti Barcelony, katalánském hlavním městě s významnými díly Gaudího, ale i stavbami moderní doby (televizní věž, zvedací most v přístavu atd.).

Jednacími jazyky symposia bude angličtina a španělština se simultánním překladem. Vložné zahrnující i slavnostní večeři činí 600 €, snížené vložné 100 €.

*J. Studnička*

Podrobnosti a formulář přihlášky lze nalézt na adrese:  
[www.ascem.org/5symposium-steel-bridges](http://www.ascem.org/5symposium-steel-bridges)



## • Fakulta stavební



### Nová posluchárna pro studenty

Podle vysokoškolského zákona č. 111 z roku 1998 v novelizovaném znění může veřejná vysoká škola univerzitního typu uskutečňovat vzdělávání ve všech typech studijních programů, tj. v bakalářských, magisterských a doktorských studijních programech, a to formou prezenčního studia, distančního studia nebo jejich kombinací. Převažující formou je prezenční studium. ČVUT a Fakulta stavební přijaly ve svých Dlouhodobých záměrech v souladu se státní politikou vzdělanosti cíl vzdělávat do roku 2005 na 23 tis. studentů, z toho na stavební fakultě v bakalářském a magisterském studiu až 5 900 studentů. Výhledově v roce 2010 se uvažuje až o 6 600 studentech. V tomto akademickém roce je zde v bakalářských a magisterských oborech téměř 5 300 studentů, což je maximální počet zvládnutelný při současné organizaci výuky. Zvyšování počtu studentů, a tedy umožnění dalším zájemcům studovat na vysoké škole bez extrémně vysokého navýšení počtu akademických pracovníků, je možné zavedením bakalářských studijních programů. Tyto programy musí být zaměřeny jednak na přípravu k výkonu povolání, jednak na přípravu k následnému studiu v magisterském studijním programu. Poměr počtu studentů k počtu pedagogů již dosahuje solidního evropského průměru, na špičkové univerzity je ještě rezerva.

Sama přestavba koncepce studia, zejména v současných prostorových možnostech však nestačí. Proto kolegium děkana FSv ČVUT navrholo vybudovat posluchárnu s kapacitou až 300 míst v dosud nepřiliš efektivně využívaných prostorách budovy D. Akademický senát tuto myšlenku podpořil a nastala doba intenzivní přípravy realizace. Výběrová komise z došlých nabídek doporučila jako generálního dodavatele stavby a. s. Metrostav, která ve velmi

krátkém čase podle projektu Ing. arch. Jitky Paroubkové dílo ve vysoké kvalitě realizovala. Je dobrou tradicí pojmenovávat posluchárny fakulty po významných profesorech, kteří zde působili. Christian Josef Willenberg, zakladatel českého technického školství, by jistě tuto poctu přijal.

Stavební část posluchárny byla financována z vlastních zdrojů fakulty, nákup audiovizuální techniky byl částečně podpořen Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy ČR. Pro moderní výuku tak nyní slouží mixážní a záznamové zařízení zvuku, přenosné mikrofony a prostorové reproduktory. Počítač připojený k síti umožňuje přehrávat

prezentace z CD i DVD, spouštět data a aplikace z počítačů v pracovních vyučujících, využívat internet, dotykovou obrazovku jako tabuli a zaznamenávat přednášku pro budoucí použití. Čtecí jednotka mimio umí přenášet data psaná speciálními popisovači na bílou tabuli na projekční plochu. Samozřejmě je možnost použití přenosného počítače včetně zapojení do sítě

a do audiosystému posluchárny. Kromě tří datových projektorů lze využít vizualizér pro trojrozměrnou prezentaci z papírových předloh, ať již volných listů, či publikací, průhledných fólií nebo prostorových předmětů. Vybavení doplňuje videopřehrávač.

V průběhu dvou volebních období se vedení fakulty podařilo přivést do budovy D, určené zejména pro experimentální činnost, studentský živel, a využít efektivně jejich prostor. Výstavbě posluchárny předcházelo zřízení počítačového sálu s téměř nepřetržitým provozem, vybudování modelovny, přestavba Experimentálního centra, Centra experimentální geotechniky a Výpočetního a informačního centra.

Marcela Klímová



### Katedra geotechniky Fakulty stavební ČVUT v Praze

si dovoluje oznámit,  
že otevírá již IV. běh speciálního kurzu

## GEOTECHNICKÉ INŽENÝRSTVÍ

Podrobnější informace: Katedra geotechniky Fakulty stavební ČVUT, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel. 224 354 557 sekretariát pí. Picková, fax: 233 334 206, tel.: 224 354 542 doc. Jettmar, 224 354 353 ing. Reiser, e-mail: jettmar@fsv.cvut.cz, pickova@fsv.cvut.cz

# STAVEBNÍ OBZOR

ROČNÍK 11 ČÍSLO 10/2002

Navigace v dokumentu

## OBSAH

Jiránek, M. <b>Snižování vlhkosti zdiva aktivním odvětráním podloží</b>	<b>289</b>
Lízal, P. – Schmid, P. <b>Kontaktní zateplovací plášť budov – ověřování vlastností výztužné vrstvy</b>	<b>293</b>
Benešovský, P. <b>Elektrostatika podlah</b>	<b>296</b>
Holický, M. – Marek, P. <b>Kombinace zatížení podle eurokódů v příkladech</b>	<b>299</b>
Straková, J. – Trčková, J. – Živor, R. <b>Měření propustnosti přírodních stavebních materiálů</b>	<b>307</b>
<b>REJSTŘÍK</b>	<b>I – VI</b>

**10 • 2002**

**ročník 11**

# 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**

Jiránek, M.

**Snižování  
vlhkosti zdiva  
aktivním odvětráním  
podloží . . . . . 289**

Jiránek, M.

**Reduction of Moisture in  
Walls by Active  
Ventilation  
of Sub-Floor Layers . . . . 289**

Jiránek, M.

**Verringerung der  
Mauerwerksfeuchtigkeit  
durch aktive Ablüftung  
des Untergrundes . . . . . 289**

Lízal, P. – Schmid, P.

**Kontaktní zateplovací  
plášť budov – ověřování  
vlastností výztužné  
vrstvy . . . . . 293**

Lízal, P. – Schmid, P.

**Heat-Insulating Contact Skins  
of Buildings – Testing  
Properties of the Bracing  
Layers . . . . . 293**

Lízal, P. – Schmid, P.

**Kontaktdämmungen von  
Außenwänden – Prüfung der  
Eigenschaften der  
Deckschicht . . . . . 293**

Benešovský, P.

**Elektrostatika podlah . . . 296**

Benešovský, P.

**Electrostatics of Floors . . 296**

Benešovský, P.

**Elektrostatik von Fußböden . . 296**

Holický, M. – Marek, P.

**Kombinace zatížení  
podle eurokódů  
v příkladech . . . . . 299**

Holický, M. – Marek, P.

**Combinations of Actions  
According to Eurocodes in  
Examples . . . . . 299**

Holický, M. – Marek, P.

**Belastungskombinationen  
nach Eurocodes in  
Beispielen . . . . . 299**

Straková, J. – Trčková, J. – Živor, R.

**Měření propustnosti  
přírodních stavebních  
materiálů . . . . . 307**

Straková, J. – Trčková, J. – Živor, R.

**Measurement of Permeability  
of Natural Construction  
Materials . . . . . 307**

Straková, J. – Trčková, J. – Živor, R.

**Messung der  
Durchlässigkeit natürlicher  
Baumaterialien . . . . . 307**

**REJSTŘÍK . . . . . I – VI****REGISTER . . . . . I – VI****REGISTER . . . . . I – VI**

Toto číslo bylo vydáno za podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR (projekt LP 0002).

**REDAKČNÍ RADA****Předseda:**

prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.

Ing. Jana KORYTÁROVÁ, PhD.

Ing. Karel KUBEČKA

**Místopředseda:**

doc. Ing. Alois MATERNA, CSc.

Ing. Petr KUNEŠ, CSc.

doc. Ing. Ladislav LAMBOJ, CSc.

**Tajemníci:**

doc. Ing. Milan KAŠPAR, CSc.

doc. Ing. Jindřich ŠMEJČKÝ, CSc.

doc. Ing. Ivan MOUDRÝ, CSc.

doc. Ing. Jaroslav NOVÁK, CSc.

doc. Ing. Luděk NOVÁK, CSc.

prof. Ing. Adolf PATERA, DrSc.

doc. Ing. Miloš PAVLÍK, CSc.

**Členové:**

Ing. Miroslav BAJER, CSc.

doc. Ing. Pavel HÁNEK, CSc.

Ing. Jiří HIRŠ

Ing. Ivan HRDINA

doc. Ing. Vladimír JELÍNEK, CSc.

doc. Ing. Miroslav KAUN, 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. Podávání novinových zásilek povoleno Ředitelstvím pošt Praha, č. j. NP 144/1994, ze dne 21. 10. 1994. Do tisku 6. 11. 2002. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

## Snižování vlhkosti zdiva aktivním odvětráním podloží

Ing. Martin JIRÁNEK, CSc.  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

Príspevek rozebírá jednotlivé varianty odvětrání podloží a jejich vliv na snížení vlhkosti zděných konstrukcí. Vyhodnoceny jsou zkušenosti z 22 rodinných domů. Princip fungování systémů je objasněn pomocí kontinuálních záznamů teplot a relativní vlhkosti vzduchu pod domy, pořízených v závislosti na intenzitě odvětrání. Ukazuje se, že při nepřetržitém provozu mohou tyto systémy odvádět z podloží až 10 kg vody za den.

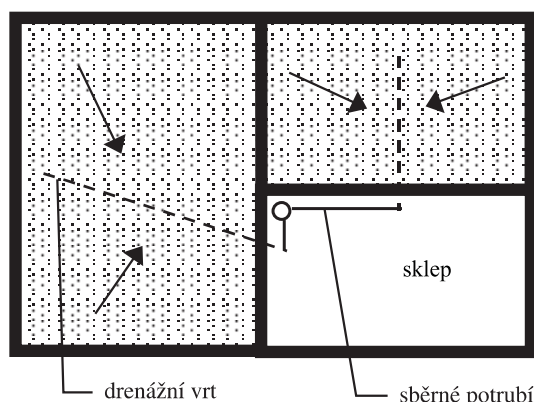
Větrací systémy podloží jsou celosvětově považovány za jedno z neúčinnějších opatření proti radonu a o jejich využití bylo i u nás napsáno mnoho článků [1], [2], [3]. Při ověřování jejich postranních účinků se zjistilo, že jsou také schopné výrazně snížit vlhkost stěn.

Snižování vlhkosti zdiva metodami založenými na pasivním proudění vzduchu patří k nejstarším sanačním opatřením. Vzduchové dutiny sloužily k oddělení podzemních stěn objektu od okolní zeminy, v podobě kanálků bývaly zakomponovány přímo do konstrukce stěny a v současné době se nejčastěji vytvářejí na vnitřní straně obvodových stěn. Nežádka oddělují i podloží od vlastní konstrukce podlah. Společnou nevýhodou těchto pasivních vzduchových metod je pouze velmi pomalý a nespolehlivý pohyb vzduchu. Množství odvedené vodní páry je proto malé, a v důsledku toho je nízká i účinnost. V řadě případů by proto jistě bylo možné nahradit tyto systémy aktivním odvětráním podloží.

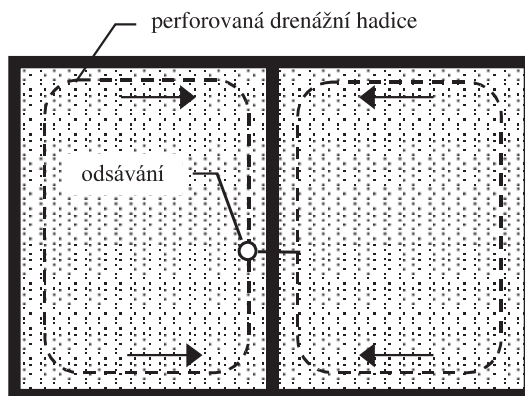
### Varianty aktivního odvětrání podloží

Ve stávajících stavbách lze vzduch z podloží pod domem odvádět perforovanými trubkami zavrtanými pod podlahy z prostoru sklepa (obr. 1) nebo z exteriéru. Jinou možností, která však již vyžaduje částečnou destrukci podlah, je odvádění vzduchu perforovanými hadicemi (nejčastěji průměru 50 až 60 mm) vloženými do drážek ve stávajících podlahách po obvodu místností (obr. 2). Drážka, v níž se hadice obsype šterkem, musí mít hloubku alespoň 150 mm pod spodní úroveň podlahy. Po překrytí geotextilií se drážka zabetonuje, případné izolační vrstvy se obnoví. Drenážní hadice na styku podlah a stěn brání nejen přenosu vlhkosti z podloží do stěn, ale přispívají i k vysušování stěn.

Geometrický tvar podle obr. 2 je vhodný i tehdy, musí-li být podlahy pro nefunkčnost (např. shnilá prkna) odstraněny. Potom drenážní hadice klademe do souvislé šterkové



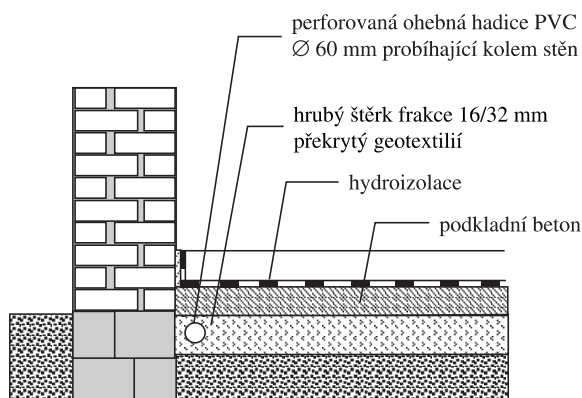
Obr. 1. Odsávání půdního vzduchu pomocí drenážních trub zavrtaných z prostoru sklepa



Obr. 2. Odsávání z drenážních hadic vložených do drážky v podlaze kolem stěny

vrstvy (frakce 16/32 mm minimální tloušťky 150 mm) pod podkladní beton (obr. 3). Toto řešení se vyplatí i tehdy, bude-li izolace v podlaze protažena i pod stěny, neboť zamezuje vzrůstu vlhkosti ve stěně nebo základu pod izolací.

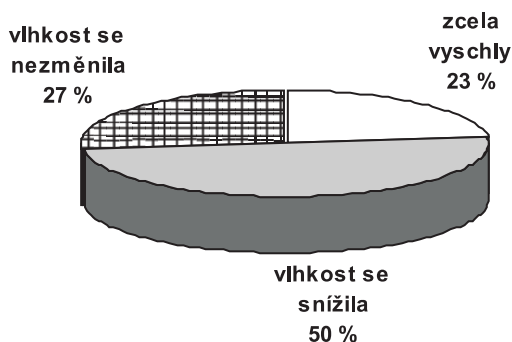
Jednotlivé odsávací trubky či hadice se prostřednictvím sběrného potrubí průměru 100 až 125 mm připojí k ventilátoru, který se osazuje v prostoru půdy nebo nad střechou. Pro odsávání půdního vzduchu jsou vhodné střešní nebo potrubní radiální ventilátory s objemovým průtokem vzduchu od 100 do 200 m<sup>3</sup>/h při podtlaku 250 až 150 Pa a s výkonem od 40 do 70 W. Ventilátor i elektrická instalace musí být zapojena s vědomím, že v potrubí může docházet ke kondenzaci vodní páry.



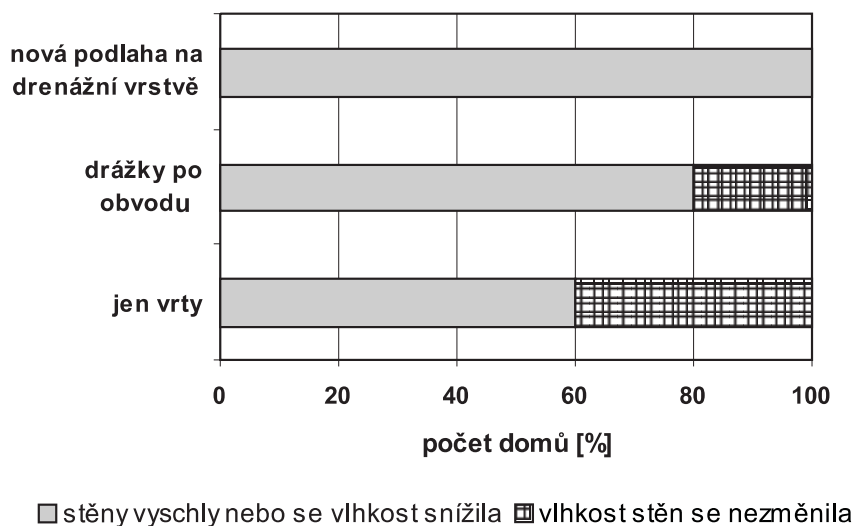
Obr. 3. Úprava zabraňující v transportu vlhkosti z podlaží do stěn

### Účinnost aktivního odvětrání podlaží

Větrací systém podlaží byl instalován do 22 domů s vlhkými stěnami. Vlhkost stěn se neměřila, pouze se zaznamenala výška vlhké zóny. Po roce od uvedení odvětrávání do provozu byli majitelé vyzváni, aby stav zkontrolovali. V 5 domech vlhkost zcela zmizela, v 11 klesla a pouze u 6 domů se stav nezměnil (obr. 4). Při tomto hodnocení nebyly opomenuty pravidelné sezónní výkyvy vlhkosti způsobené klimatickými změnami.



Obr. 4. Změna vlhkosti stěn po odvětrání podlaží ve 22 domech



Obr. 5. Účinnost podle způsobu odvětrání podlaží

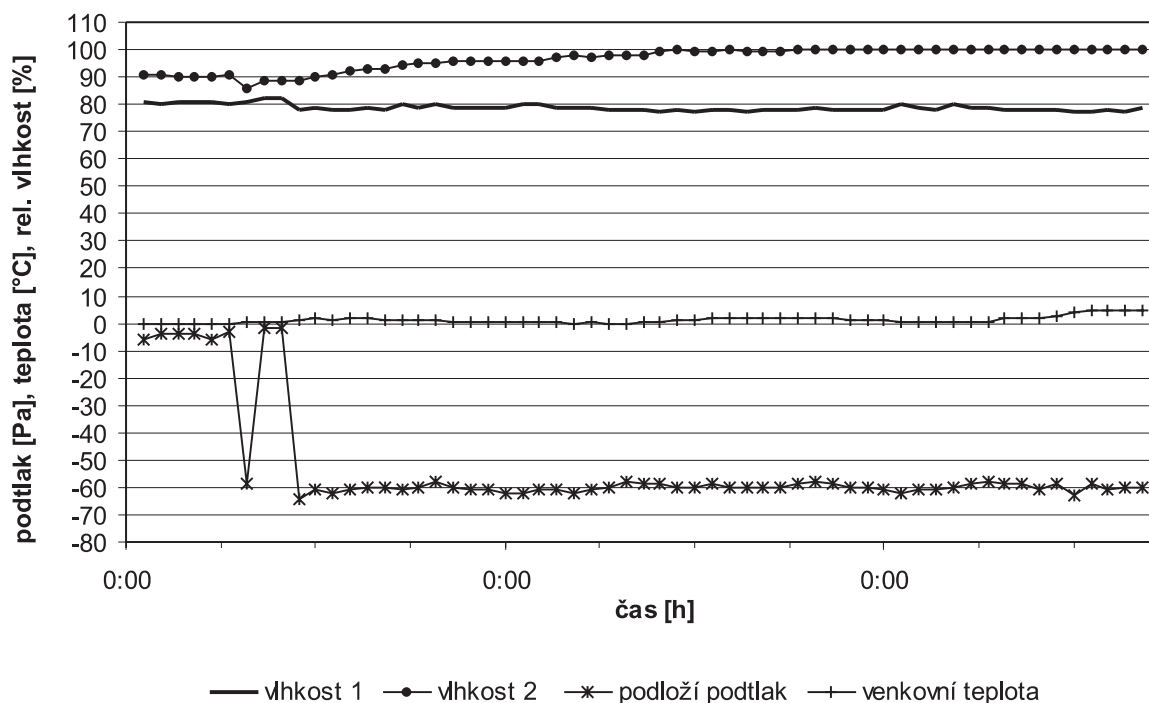
Zároveň se zkoumala závislost účinnosti na propustnosti vrstvy ležící pod podlahou, na poměru propustnosti podlahové vrstvy a podlaží, na době trvání opatření a na způsobu odsávání (vrtvy do neporušeného podlaží nebo z nově vytvořené drenážní vrstvy pod novou podlahou). Pravděpodobně vzhledem k malému počtu objektů se potvrdila zatím jen závislost na způsobu odvětrání. U 12 vlhkých objektů bylo odvětrání provedeno vrtvy do neporušeného podlaží domu, u 5 domů se odsával vzduch z drenážních hadic vložených do nově vytvořené štěrkové vrstvy pod novými podlahami a ve zbývajících 5 domech byly hadice vloženy do drážek po obvodu podlah. Vlhkost stěn klesla ve všech objektech s novou dokonale podvětranou podlahou zhruba v 80 % domů, v nichž byly provedeny drážky, a jen v cca 60 % domů, v nichž se půdní vzduch odsával z vrtvů (obr. 5). Tento výsledek je vcelku logický, neboť vrtvy byly vedeny středem místností do původní zeminy, takže v blízkosti stěn musí být jejich účinek již omezen. Naopak nejdokonalejší odvětrání lze očekávat v souvislé štěrkové vrstvě.

Představu o tom, jakým způsobem ovlivňuje odvětrání podlaží relativní vlhkost vzduchu v podlaží a v drenážní vrstvě pod domem, je možné si vytvořit z grafů získaných z automatických monitorovacích systémů instalovaných do některých domů. Na obrázku 6 je záznam relativní vlhkosti vzduchu v podlaží pod domem v blízkosti obvodové stěny (vlhkost 1) a v odsávací zavrtnané trubce (vlhkost 2) v závislosti na venkovní teplotě a pracovním režimu ventilátoru. Je zřejmé, že vlhkost v podlaží u obvodové stěny je ovlivňována venkovní teplotou. S rostoucí teplotou klesá vlhkost. Při teplotě 0 °C je vlhkost vzduchu kolem 80 % a tomu také odpovídají zjištěné hodnoty. To svědčí o komunikaci vnějšího vzduchu s podlažím pod domem alespoň na okrajích domu. Vlhkost vzduchu uvnitř odvětrávací trubky je naopak závislá na činnosti ventilátoru. Necháme-li ho nepřetržitě zapnutý delší dobu, vlhkost postupně roste a po cca 1 dni dosahuje 100 %, což je důsledek odvodu vlhkosti z přilehlé zeminy. Zvýšené proudění vzduchu totiž vede k většímu odpařování vlhkosti.

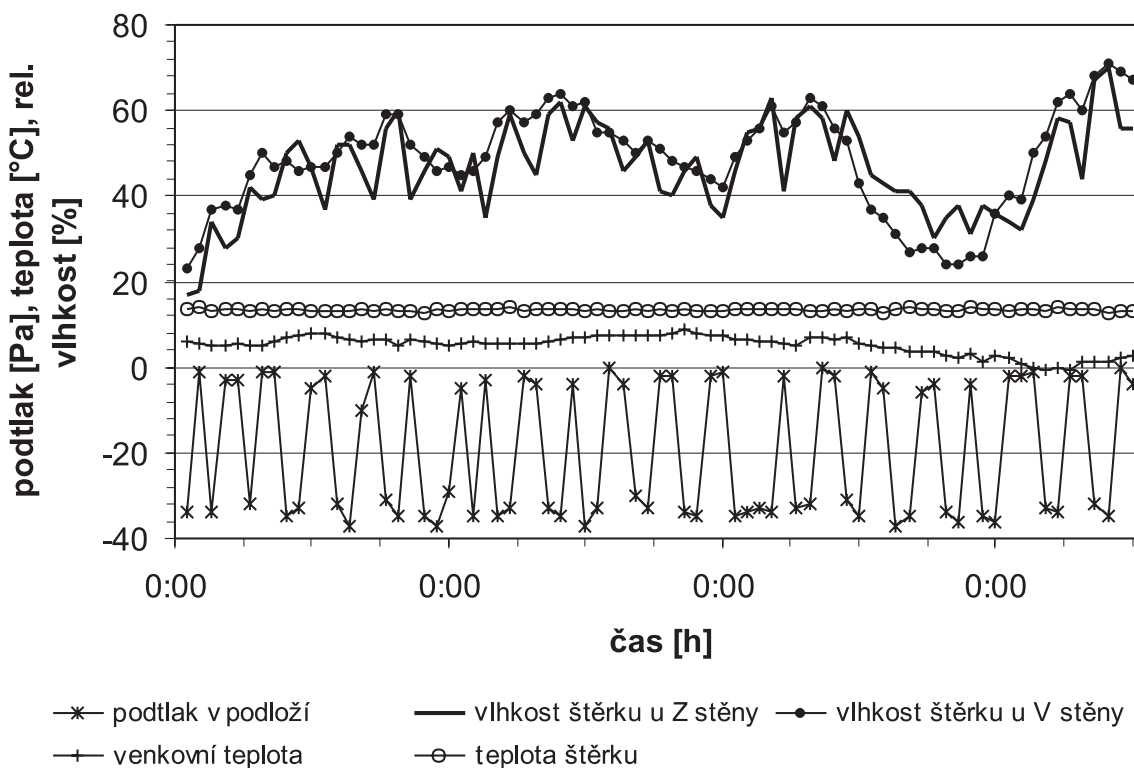
Na obrázku 7 je zaznamenána změna vlhkosti vzduchu ve štěrkové vrstvě pod jiným domem v závislosti na podtlaku vytvořeném v odsávacích hadicích vložených do štěrkové vrstvy. Rozsah vlhkosti, nejčastěji v intervalu od 40 do 60 % s dílčími výkyvy od 30 do 70 %, tentokrát neodpovídá ani teplotě vnějšího vzduchu, ani teplotě vzduchu ve štěrku.

Vlhkost se tedy s největší pravděpodobností mění podle interiérové teploty. Pro ovlivnění vnitřní teplotou hovoří i skutečnost, že vlhkost pravidelně klesá vždy ve večerních hodinách, kdy je v interiéru nejtepleji. Takové periody nebyly zaznamenány u předchozího objektu.

Vliv činnosti ventilátoru je výrazný při západní stěně, kde je čidlo blízko odsávacího potrubí. Jeho sepnutí se projevuje růstem vlhkosti. Ta je u východní stěny ventilátorem také ovlivněna, ale nejde o tak významný jev, neboť čidlo je od odsávacího potrubí více vzdáleno.



Obr. 6. Závislost relativní vlhkosti vzduchu v podloží a v odsávací trubce na činnosti ventilátoru



Obr. 7. Závislost relativní vlhkosti vzduchu ve šterkové vrstvě pod podlahou na činnosti ventilátoru

Porovnáním obou případů dojdeme k závěru, že dobře odvětraná šterková vrstva výrazně přispívá k poklesu vlhkosti vzduchu pod domy. Její vzrůst v odvětrávacím potrubí nebo v jeho blízkosti při sepnutí ventilátoru dokumentuje skutečnost, že je účinně odváděna z prostoru pod domem. O množství odváděné vlhkosti si lze učinit před-

stavu, uvědomíme-li si, že v prvním případě je při podtlaku  $-60$  Pa odváděno zhruba  $180$  m<sup>3</sup>/h a ve druhém případě při podtlaku  $-40$  Pa cca  $220$  m<sup>3</sup>/h. Při odvětrávání vlhkost vzduchu v potrubí stoupne o 10 až 20 %, což při jeho teplotě pod domem kolem  $14$  °C znamená, že každý 1 kg odváděného vzduchu s sebou odnáší 1 až 2 g vody. Budeme-li



zjednodušeně uvažovat, že hmotnost 1 kg má vzduch o objemu cca 1 m<sup>3</sup>, je z podloží pod prvním domem odváděno každou hodinu 180 až 360 g vody a z podloží pod druhým domem 220 až 440 g vody. Při nepřetržitém 24hodinovém provozu ventilátoru je pak odvedeno 4,3 až 10,5 kg vody.

Je však si nutné uvědomit, že z celkového množství vody odváděné v podobě páry se v chladnějším období část vody vrací zpět do podloží jako kondenzát vzniklý v potrubí. Při 80% vlhkosti a obvyklé teplotě vzduchu pod domem mezi 10 a 14 °C se teplota rosného bodu pohybuje mezi 6,7 a 10,6 °C. Klesne-li teplota povrchu potrubí pod tyto hodnoty, dochází ke kondenzaci uvnitř potrubí. Tato situace nastává většinou od října do dubna v potrubí procházejícím studenou půdou a v nadstřešní části stavby. Kondenzovaná voda pak potrubím stéká zpět do podloží.

Rychlost vysušování lze ovlivnit výkonem ventilátoru, který se nastavuje regulováním počtu otáček. Pro omezení dalších negativních jevů, jako je ochlazování podlah a zvýšení tepelných ztrát v zimním období, je vhodné provozovat ventilátor v cyklickém režimu. Četnost spínání a délka pracovních period se nastaví v závislosti na venkovní teplotě. Vzdálenost drenážních trub od obvodových stěn je dána možností promrzání základové půdy. Tuto skutečnost je třeba vždy posoudit, což lze provést podle ČSN EN ISO 10211-1, zpravidla s využitím vícerozměrných výpočetních modelů.

## Závěr

Výsledky získané z 22 objektů ukazují, že aktivní odvětrání podloží může sloužit nejen k ochraně proti radonu, ale bude jistě účinné i při snižování vlhkosti stavebních konstrukcí. To je jeho nesporná výhoda v porovnání s řadou pasivních vzduchových odvlhčovacích metod, které vstup radonu do domu spíše podporují. Stačí vzpomenout na oblíbené odvětrávací otvory otevřené přímo do interiéru.

Předpokladem širšího využití je mnoho doplňkových sledování a měření, aby bylo možné odpovědně stanovit pokyny pro navrhování a provádění, které by zmíněné negativní jevy omezovaly, popř. vylučovaly. Obezřetnost je nutná zejména u domů stojících na jílovém podloží, jehož vyschnutí se může projevit objemovými změnami základové zeminy, a v důsledku toho i poruchami konstrukce objektu.

Obdobně jako při odvětrání podloží s cílem omezit koncentraci radonu je třeba posoudit možnost výskytu dalších negativních jevů, jako např. zvýšení podtlaku v kontaktních podlažích, což může vést k nedostatečnému odvodu spalin od kamen a kotlů a nebezpečí výbuchu v případech, kdy je do potrubí současně s půdním vzduchem nasáván metan.

**Článek byl zpracován za částečné podpory výzkumného záměru MSM 210 000 001 „Funkční způsobilost a optimalizace stavebních konstrukcí“.**

## Literatura

- [1] Jiránek, M.: Odvětrání radonu z podloží pod stávajícími stavbami. *Stavební obzor*, 8, 1999, č. 10, s. 289–291.
- [2] Jiránek, M.: Větrací systémy podloží – efektivní ochrana proti radonu. *Materiály pro stavbu*, 2001, č. 5, s. 34–36.
- [3] Jiránek, M.: Vyhodnocení účinnosti systémů odvádějících radon z podloží stávajících staveb. *Stavební obzor*, 11, 2002, č. 2, s. 45–48.

## Jiránek, M.: Reduction of Moisture in Walls by Active Ventilation of Sub-Floor Layers

Based on the experience from 22 single-family houses, the influence of soil ventilation systems on the reduction of the moisture content in damp walls is discussed. The principle of drying is shown on the graphs of temperature and relative humidity of the air in the sub-floor layers recorded in dependence on the intensity of ventilation. We have found out that the soil ventilation can remove up to 10 kg of water per day from the soil.

## Jiránek, M.: Verringerung der Mauerwerksfeuchtigkeit durch aktive Ablüftung des Untergrundes

Der Beitrag analysiert einzelne Varianten der Ablüftung des Untergrundes und ihren Einfluss auf die Herabsetzung der Feuchtigkeit von gemauerten Bauteilen. Es werden die Erfahrungen von 22 Einfamilienhäusern ausgewertet. Das Funktionsprinzip der Systeme wird mit Hilfe kontinuierlicher Aufzeichnungen der Temperaturen und der relativen Luftfeuchtigkeit unter den Häusern, die in Abhängigkeit von der Intensität der Ablüftung ermittelt wurden, erläutert. Es stellt sich heraus, dass bei ununterbrochenem Betrieb diese Systeme pro Tag 10 kg Wasser aus dem Untergrund abführen können.

## BAU 2003

13. – 18. ledna 2003

Mnichov



Již téměř čtyři desetiletí patří veletrh BAU k nejúspěšnějším akcím v programu Messe München. V lednu příštího roku se na mnichovském výstavišti setkají odborníci z mnoha stavebních oborů ji po patnácté. Sloganem tohoto ročníku bude „Inovace pro Evropu“. Speciálně pro architekty, plánovače a inženýry je připraven rozsáhlý poradenský a informační program. Mnoho vystavovatelů nabízí ve speciálně označených Architect's Corners vlastní servis a poradenství. Z mnoha akcí doprovodného programu lze navštívit:

- fórum „Stavět do budoucna: Architektura pro stavebníky“, věnované tématům z oblasti energie, ekologie a ekonomie;
- konferenci „Inovační pláště budov“, která se bude zabývat vizemi trvale udržitelné architektury. V první části odeznějí přednášky na témata „Příroda-budova-technika, člověk“ a „Dvouplášťové fasádní systémy – rozhraní mezi člověkem a životním prostředím, ve druhé části „Energetické a prostorově klimatické aspekty plášťů budov“, „Denní světlo a ochrana proti slunci“, „Vitr jako faktor plánování budov“ a „Možnosti využití solární energie v dvouplášťových fasádách“;
- výstavu designu průmyslově vyráběných komponentů doplněnou přednáškami na téma „Architektura a design“.

Aktuální informace zájemci naleznou v BAU-Newsletter na internetové adrese [www.bau2003.info](http://www.bau2003.info).

*Tisková informace*

# Kontaktní zateplovací plášť budov – ověřování vlastností výztužné vrstvy

Mgr. Petr LÍZAL, CSc.  
Ing. Pavel SCHMID, PhD.  
VUT – Fakulta stavební  
Brno

Jednou z nejdůležitějších součástí kontaktních zateplovacích plášťů budov je výztužná vrstva. Na její kvalitě závisí funkčnost a životnost tenkovrstvé omítky. Článek se zabývá hodnocením kvality této vrstvy metodou měření napětí vznikajícího zejména tepelnou dilatací následkem povětrnostních vlivů. Popisuje měřicí systém, princip měření, průběh zkoušky a dosažené výsledky.

## Úvod

Současné způsoby dodatečného zateplování fasádních plášťů budov naznačily nejen výhody používaných systémů z hlediska energetických úspor na vytápění domů, ale i některé nedostatky v předpokládané kvalitě a životnosti. Ty vyplývají zejména z technologické nekázně, ale i z dosud nedostatečných technických znalostí a vlastností používaných materiálů.

V rámci projektu Ministerstva průmyslu a obchodu ČR „Regenerace panelových domů“ byla posuzována realizace kontaktního zateplení prováděcích firem a výrobců různých zateplovacích systémů. Při kontrolách bylo zjištěno, že armovací sítě v některých případech není dostatečně přilnutá k podkladnímu izolantu. Tato vada výrazně ovlivňuje kvalitu a zkracuje životnost provedeného zateplení, přičemž kvalita výztužné vrstvy je jedním z nejdůležitějších požadavků. Zkouška tahem pro stanovení šířky trhlin při protažení, prováděná na pracovišti autorů za použití videoextenzometru, patří k rozhodujícímu kvalitativnímu parametru celého systému, a proto pokládáme za potřebné uvést princip zkoušky a metodiku stanovení šířky trhlin při protažení 1,5 %.

Rakouská společnost Messphysik GmbH překonala nedostatky kontaktních extenzometrů vyvinutím bezkontaktního obrazového videoextenzometru ME-46 [1]. Filozofie práce s tímto systémem se řídí heslem: „Je-li něco vidět, může to být i měřeno“ [2]. Jednou z možností jeho využití ve stavební laboratoři je měření poměrných deformací na povrchu armované sítě při tahových zkouškách včetně monitorování vzniku a rozvoje trhlin.

## Komponenty měřicího systému ME 46

Standardně se dodává monochromatická videokamera dovolující nastavení správného obrazu s korekcí gama a filtrů. Kamera je vybavena čipem CCD (Charge Coupled Device) s vysokou přesností mřížky fotocitlivých buněk. Upevňuje se do konvenčního stativu nebo držáku na zkušebním stroji. Výměnné objektivy s vysokou přesností definice obrazu se dodávají podle individuálního přání zákazníka. Mohou být buď s pevnou, nebo proměnnou ohniskovou vzdáleností (zoom), splňující požadavky při měření malých i velkých vzorků a průhybů. Frame Grabber Interface je součástí řídicího počítače videoextenzometru a je spojen

s kamerou pohyblivým kabelem. Převádí videosignál v normě PAL na osmibitový číslcový formát, a současně generuje obraz velikosti 640 x 480 pixelů na barevný monitor pracující v software pod operačním systémem Windows 95/98/NT ©. Je schopen rozeznat u každého pixelu (obrázkového bodu) až 256 odstínů šedé barvy. Výsledkem je teoretická rozlišovací schopnost lepší než 17 bitů z velikosti obrazového pole. Standardní software pro měření se dodává s hardwarovým klíčem, který se připojuje na paralelní port. Analogově digitální připojení extenzometru na stávající zkušební stroje umožňuje ukládat signál pro sílu a posuv společně s naměřenými souřadnicemi bodů.

## Princip měření v optických bodech

Na povrchu zkoušeného tělesa se v místě měření deformace vyznačí série až sto kontrastních (černá na bílém pozadí, nebo naopak) kruhových bodů přibližně stejné velikosti. Na vynesené bodové pole se zaměří kamera upevněná na stojanu zkušebního stroje nebo na samostatném stativu. Je důležité zajistit, aby vzdálenost mezi kamerou a vzorkem (měřenými body) zůstávala v průběhu měření stálá. Obraz kamery je digitalizován a hodnoty jsou ukládány do paměti (bufferu).

Může být zvoleno několik radiálních skenovacích přímků pro každý měřený bod a pro každou přímkou se vypočítává průsečík. Střední hodnota má potom mnohem větší přesnost, rozlišení a stabilitu. Při použití této metody se dosahuje mnohem lepšího rozlišení, než je teoretická minimální hodnota z velikosti obrazového pole. Data v obrazové paměti jsou dále skenována ve vertikálním směru. Výsledná data (souřadnice bodů  $X, Y$ ) mohou být odeslána do externího počítače a uložena v tabulkovém formátu na disku společně s hodnotami síly a času. Tyto soubory je pak možné snadno analyzovat konvenčními tabulkovými programy (Excel, Lotus aj.). Naměřená data se vyhodnotí, naskenuje se další obraz, obrazová paměť je aktualizována a měřicí cyklus se opakuje. Čas mezi aktualizacemi nezávisí pouze na rychlosti počítače a frame grabberu, ale také na množství dat, které má být zpracováno, a dále na obrazovém standardu (PAL). Může být dosaženo skenovací rychlosti větší než 100 Hz, nicméně při rychlosti větší, než je rychlost systému PAL (25 Hz), se načítají a analyzují stejná data a střední hodnoty se ukládají.

## Dosažitelná přesnost měření

Minimální teoretické rozlišení, které je možné dostat na základě počtu bodů a stupňů šedi, závisí na velikosti zorného pole kamery (tab. 1). Tyto hodnoty jsou ve skutečnosti mnohokrát zlepšeny, protože je vždy použita střední hodnota z několika zpracovávaných skenovacích řádků a metoda interpolace. Linearita a opakovatelnost se mohou kontrolovat kalibračním zařízením. Kamera se nastavuje na standardní velikost obrazového pole, které obvykle tvoří 150 % počáteční největší vzdálenosti bodů plus očekávaná deformace vzorku.

Tab. 1. Příklad závislosti teoretického rozlišení na velikosti zorného pole kamery

Axiální obrazové pole [mm]	Minimální rozlišení [ $\mu\text{m}$ ]
50	< 0,4
250	< 2,0

### Kalibrace zápisu souřadnic optických bodů

Nejjednodušším způsobem kalibrace je použití velmi tenkého kalibračního přípravku, vyrobeného z papíru nebo tenkého plechu, na kterém jsou dva terče nebo dva otvory se známou vzdáleností středů. Vzdálenost mezi nimi má být větší než 10 % obrazového pole. Čip kamery CCD má prvky citlivé na světlo umístěny v přesné pravoúhlé mřížce. Kontrola vertikálního umístění těchto prvků je identická kontrole v horizontálním směru. Do zorného pole se umístí kalibrační vzorek tvořený čtyřmi body rozmístěnými do čtverce. Po této kalibrační proceduře jsou analyzovány výsledky ve směru  $X$  a  $Y$ . Souřadnice v obou směrech mají být identické.

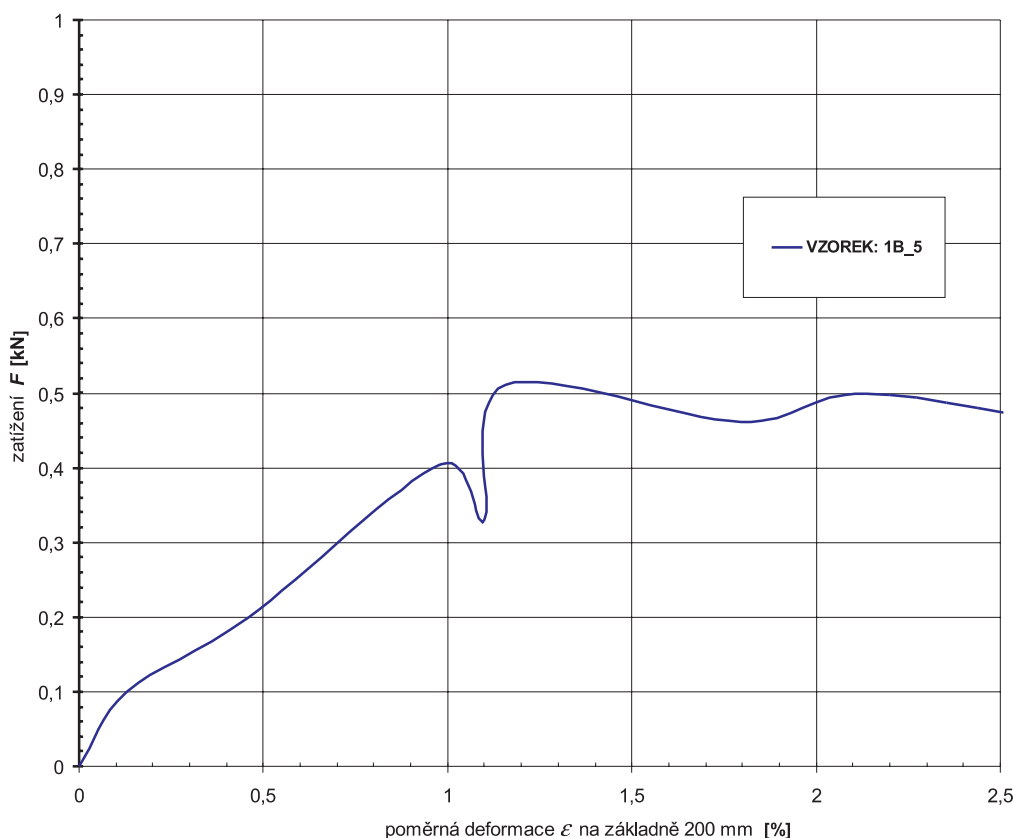
### Tahová zkouška armované stěrky

Při tahových zkouškách armovaných stěrkových vrstev v kontaktním zateplovacím systému se pro danou hladinu zatížení měří poměrné deformace materiálu ve směru namáhání. Výše popsaným měřicím systémem je možné zároveň monitorovat vznik a rozvoj trhlin pro danou hodnotu zatížení, resp. poměrné deformace. Vyhodnoceným výstupem je pracovní diagram s definicí vzniku a rozvoje trhlin vzhledem k dosaženým hladinám poměrných defor-

mací. Je možné také vyhodnocovat hodnotu modulu pružnosti v měřené oblasti materiálu pro danou hladinu zatížení. Vzhledem ke sledovaným charakteristikám byl zvolen rozměr zkušební tělesa v šířce 100 mm, délce 600 mm a tloušťce 3,5 mm. Výztužná síťovina má délku 800 mm a v materiálu stěrky je umístěna v polovině tloušťky. Přechýlující konce síťoviny (cca 100 mm na každé straně) se před aplikací upínacích přípravků přehnou přes zkušební těleso v kotevní (upínací) oblasti. Zkušební tělesa se zatíží v mechanickém lisu při zatěžovací rychlosti 0,5 mm/min v podélném směru desetkrát na 50 % očekávané tahové pevnosti při popraskání. Po těchto předběžných zatěžovacích cyklech je odlehčení na 5 % tahové pevnosti. V odlehčeném stavu se udržuje těleso po dobu 1 až 2 minut. Při následném jedenáctém cyklu se zkušební těleso zatěžuje až do vzniku trhlin a dále až do porušení. Zatěžování je tedy realizováno konstantním přírůstkem deformace. Při jedenáctém cyklu se v podélném směru na základně 200 mm snímá hodnota poměrné deformace materiálu. Jak již bylo zmíněno, kromě zatěžovacího diagramu (obr. 1) měřicí systém umožňuje archivovat digitální obraz porušení měřeného povrchu (obr. 2) při zvolené hodnotě zatížení (poměrné deformace).

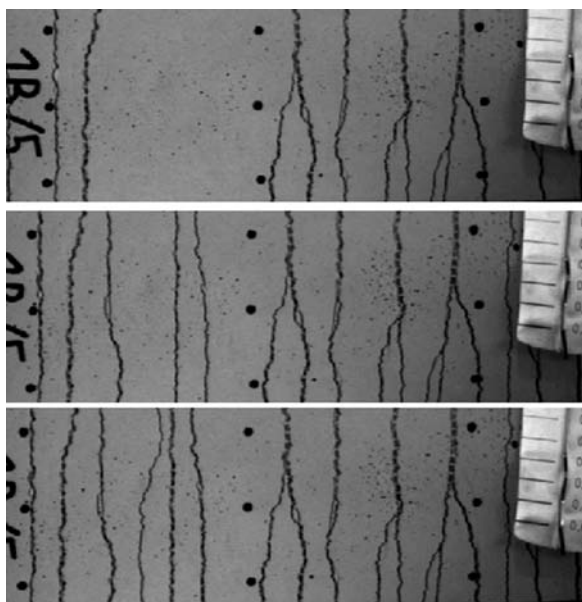
### Závěr

V současnosti probíhají tahové zkoušky pro objektivní posouzení a vzájemné porovnání odolnosti armovacích stěrek zateplovacích systémů různých výrobců na vznik a rozvoj trhlin při náhlých délkových změnách posuzované vrstvy ve směru vyztužení, vyvolaných např. náhlou změnou teploty. V roce 2001 vydal Čech pro zateplování budov ČR pravidla pro navrhování, ověřování a provádění vnějších



Obr. 1. Průběh zatěžovací křivky

kontaktních zateplovacích systémů [3]. Ve zkušební předpisu 5 (Stanovení velikosti trhlin výztužné vrstvy tahovou zkouškou) je o použití kamery pouze zmínka, a proto jsme pokládali za nezbytné objasnit alespoň zkráceně postup zkoušky. V rámci řešení níže zmíněných výzkumných projektů autoři kontrolují funkci kontaktního zateplení především na objektech panelových budov. Po zkušenostech z těchto expertiz i realizovaných experimentů [4]–[8] lze konstatovat, že většina poruch povrchových vrstev se vyskytuje u systémů, u nichž při tahové zkoušce armované stěrky vzniknou trhliny širší než 0,2 mm při poměrné deformaci 1,5 %. Při tahových zkouškách byla doložena i nezbytnost správného uložení výztužné síťoviny. Síťovina musí být řádně vypnutá, protože již při malých změnách napětí vznikají v oblastech se špatně uloženou výztužnou vrstvou výrazné trhliny a dochází k porušení zkušební tělesa. Problematiku povrchových vrstev kontaktního zateplovacího systému je nutné řešit komplexně z hlediska ověření materiálových vlastností, jako je smršťování, difúze, teplotní roztažnost, modul pružnosti a přetvárnosti, odolnost proti vzniku a rozvoji trhlin, odolnost proti napadení hmyzem. Rozhodující vlastnosti a požadovaná kritéria jsou uvedena ve stavebně technických osvědčeních jednotlivých systémů. Metodika experimentu zpracovaná autory příspěvku je součástí požadavků Cechu pro zateplování budov ČR zařazených v [9] a [10].



Obr. 2. Vznik a rozvoj trhlin v materiálu nevyhovující stěrky při tahové zkoušce

Odolnost výztužné vrstvy se stěrkovou hmotou a síťovinou R 131 dokumentují obr. 1 a obr. 2 (při poměrné deformaci 0,25 % došlo k otevření první trhliny šířky 0,2 mm). Na snímcích je zachycen rozvoj trhlin při poměrných deformacích 0,5–2,0 % šířek větších než 0,6 mm. Pracovní diagram této zkoušky je uveden na obr. 1 (při tahové zkoušce podle požadavků na vlastnosti výztužné vrstvy jako složky VKZS proti vzniku a rozvoji trhlin nevyhovuje – tab. 7, TPZ 2001-2, šířka trhlin při protažení 1,5 % – max. 0,15 mm [9]). Při protažení 1,5 % je ve směru útku šířka trhlin 0,25 až 0,30 mm a ve směru osnovy 0,20–0,30 mm.

#### Související předpisy

TPZ 2001-02 – Vnější kontaktní zateplovací systémy. Kvalitativní třídy. Kritéria CZB 2001.

TPZ 2001-03 – Vnější kontaktní zateplovací systémy. Směrnice pro zkoušení. Směrnice CZB 2001.

Postup při přípravě stěrkové směsi podle návodu výrobce.

**Příspěvek vznikl v rámci řešení projektu MPO „Regenerace panelových domů“ a výzkumného záměru CEZ J22/98:261100007 MŠMT „Teorie, spolehlivost a mechanismus porušování staticky a dynamicky namáhaných stavebních konstrukcí“.**

#### Literatura

- [1] Videoextensometr für Windows – Bedienungsanleitung, Messphysik handbuch Nr. 1998.
- [2] Harmuth, H. – Illiewich, S.: Bestimmung des Last-Verformungsverhaltens geformter Baustoffe mit einer neuartigen videooptischen Messeinrichtung. Forschungsinformationen aus der Montanuniversität, Juli-September 1998.
- [3] Technické pravidla, kritéria a směrnice CZB 2001 (VKZS) – TZP 2001. Cech pro zateplování budov ČR, 2001.
- [4] Lízal, P. – Schmid, P.: Provádění kontaktních tepelně izolačních systémů za limitních teplotních podmínek. [Sborník], konference „Technológia v stavebníctve“, Tatranské Maltiare, 1998, s. 122–128.
- [5] Lízal, P. – Schmid, P.: Diagnostika dodatečného zateplení obvodových plášťů panelových budov. Ateliér izolačních materiálů a povrchových úprav, 1998, č. 5/6, s. 8–10.
- [6] Lízal, P. – Schmid, P.: Měření teplot na konstrukci obvodových plášťů dodatečně zateplených budov. Tepelná ochrana budov, 1999, č. 3, s. 26–30.
- [7] Lízal, P. – Schmid, P. – Hradil, P.: Limit Temperature by Application Thermal Isolation Peripheral Chassis of Prefabs. [Sborník], vědecká konference FAST VUT v Brně, 1999, s. 43–46.
- [8] Lízal, P. – Schmid, P.: Tahová zkouška armované stěrky KZS. [Sborník], IV. konference „Technológia v stavebníctve“, Stará Lesná, 2000, s. 241–246.

#### Lízal, P. – Schmid, P.: Heat-Insulating Contact Skins of Buildings – Testing Properties of the Bracing Layers

Bracing layers are key components of heat-insulating contact skins of buildings. Their quality determines the functionality and durability of thin-coat plaster. This paper deals with the quality control of these layers by the method of measuring stress arising most of all from thermal dilatation due to weather effects. Further, the paper describes the measuring system, measurement principles, testing process and the results achieved.

#### Lízal, P. – Schmid, P.: Kontaktdämmungen von Außenwänden – Prüfung der Eigenschaften der Deckschicht

In Kontaktdämmbeschichtungen von Außenwänden ist einer der wichtigsten Bestandteile die Deckschicht der Dämmung. Von ihrer Qualität hängt die Funktionsfähigkeit und Lebensdauer des Dünnenschichtputzes ab. Der Artikel behandelt die Kontrolle der Qualität dieser Schicht mit der Methode der Messung der insbesondere durch die Wärmedehnung in Folge von Witterungseinflüssen entstehenden Spannung. Er beschreibt das Messsystem, das Messprinzip, den Prüfungsverlauf und die erzielten Ergebnisse.

## Elektrostatika podlah

Mgr. Petr BENEŠOVSKÝ  
VUT – Fakulta stavební  
Brno

**Elektrostatické mikrovýboje s destruktivními účinky ve vnitřních prostorách budov jsou akutním problémem současnosti. Ačkoli jde o dlouho známý a přirozený fyzikální jev, jeho potlačování není jednoduchou záležitostí. V článku jsou rozebrány některé zákonitosti vzniku elektrostatických mikrovýbojů generovaných při chůzi osob na vysoce rezistivních nášlapných vrstvách podlah a diskutovány metody jejich potlačování.**

Tento příspěvek navazuje na článek [1], ve kterém byla vyložena podstata elektrizačního jevu, tj. tvorby elektrických nábojů na površích různých materiálů, zejména umělohmotných podlahovin, dále byla diskutována možná provozní rizika budov z hlediska výskytu elektrostatických nábojů a obecné principy eliminace statické elektřiny. V návaznosti bude rozebrána problematika elektrostatiky podlah, zejména způsob hodnocení a oceňování podlahovin (nášlapných vrstev) z hlediska náchylnosti k elektrickému nabíjení při chůzi a k elektrostatickým mikrovýbojům a některým způsobům jejich odstraňování.

### Mikrovýboje na nášlapných vrstvách podlah

Náchylnosti nášlapných vrstev k elektrostatickým mikrovýbojům při chůzi osob je věnována pozornost zejména v posledních několika desetiletích, kdy se značně rozšířila slaboproudá elektronika, jako jsou počítače, měřidla, monitorovací zařízení apod., vážně těmito jevy ohrožovaná. Mikrovýboje znehodnocují často celé elektronické sestavy a v úhrnu způsobují ekonomické ztráty nejen výrobcům a prodejcům, ale i uživatelům v domácnostech, v provozních prostorách, v laboratořích, učebnách, operačních a resuscitačních sálech apod. Přestože byla napsána řada pojednání v mezinárodních časopisech o problematice ESD (Electrostatic Discharges), zůstává stále kolem této záležitosti mnoho nevyjasněných problémů a nedořešených otázek.

Jednou z metod, které zabraňují vzniku mikrovýbojů, je metoda aditiv. Je založena na zavedení malého množství přídatných látek (většinou organického původu) do základního materiálu s cílem zvýšit jeho elektrickou vodivost, a zabránit tak nahromadění kritického náboje. Metoda byla zavedena na základě empirických zkušeností, a teprve dodatečně byly vypracovány některé fenomenologické modely [2], [3] popisující funkci aditiv.

V článku [1] byly publikovány zviditelněné stopy po elektrostatických mikrovýbojích na površích polyetylen-tereftalátových fólií. Stopy mají větvenou, tzv. Lichtenbergovu strukturu [4], [5]. K jejich topologické klasifikaci lze s výhodou využít formalismu fraktální geometrie [6], [7]. Rozpracovaná fraktální a multifraktální geometrie umožňuje rozlišit různé skupiny mikrovýbojových stop a jejich statistik podle hodnot fraktálních dimenzí. Jde vlastně o jednu z dalších možností, jak kriticky hodnotit náchylnost materiálů k povrchovým mikrovýbojům.

Klasickým nástrojem ke kritickému zhodnocení elektrostatických vlastností elektricky rezistivních materiálů je měření jejich objemového a povrchového elektrického odporu a dále měření elektrického potenciálu těla generovaného při chůzi člověka po povrchu zkoumaného materiálu, resp. po nášlapné vrstvě podlah. Vzhledem k tomu, že generování elektrických nábojů je vždy záležitostí dvou povrchů – ať již ze stejného, nebo různého materiálu (tření, kontakt a separace, tečení podél stěn trubice, elektrická indukce dvou těles apod.) – je třeba při zkoumání elektrických vlastností nášlapných vrstev podlah měřit nejen materiál vrstvy samostatně, ale zejména po uložení podlahy proměřit objemový i povrchový odpor nášlapné vrstvy, dále odpor obuvi, kterou budou používat pracovníci v místnosti, a potom i potenciál těla pracovníka s touto obuví při chůzi po nášlapné vrstvě podlahy. Tímto způsobem měření se zabývá i ČSN EN 61340 [8].

### Elektrostatické nabíjení při chůzi po podlaze

Zatímco měření povrchového nebo objemového odporu nášlapné vrstvy je rutinní záležitostí spočívající na použití normou stanovených elektrod a ohmmetru, měření elektrického potenciálu těla generovaného při chůzi člověka je z fyzikálního hlediska zajímavějším problémem. Již tvorba elektrického náboje při chůzi a jeho kvantitativní stanovení jsou problematické záležitosti. Existují sice publikovaná měření hodnot potenciálů pro různé kombinace nášlapných vrstev a obuvi, ale tyto studie se většinou vyhýbají podstatě problému, tj. jakým mechanismem se přenáší náboj z hlediska elektronické struktury materiálů podlahy a obuvi a jaké množství náboje se přeneslo za daných fyzikálních podmínek. Jde vlastně o základní otázky elektrostatiky, které prolínají celou její historií až do současnosti, avšak zůstávají bez uspokojivé odpovědi. Ze dvou Coehnových teorií sice první řeší otázku polarity generovaného náboje (kladně se nabíjí materiál s větší elektrickou permitivitou), zatímco druhý se snaží o kvantifikaci náboje (velikost náboje má být úměrná rozdílu permitivit obou interagujících povrchů), avšak zejména druhý teorem neplatí zcela obecně. Důsledkem toho je i skutečnost, že vlastně není k dispozici žádná obecná formule pro výpočet nábojového množství  $\Delta q$  generovaného při chůzi, která by odpovídala jednomu lidskému kroku a materiálovým vlastnostem nášlapné vrstvy podlahy a podrážky obuvi. Různé modely se tuto potíž snaží řešit různým způsobem, např. kročejový náboj  $\Delta q$  ohraničují shora kritickým množstvím náboje nutným pro vznik mikrovýboje, tedy Paschenovou průraznou hodnotou pro jiskrový výboj ve vzduchu, což však v mnoha případech dává nadhodnocené nábojové množství. Rozeberme nyní jeden takový model. Půjde o ilustraci modelu publikovaného nedávno Jonassenem [9], [10].

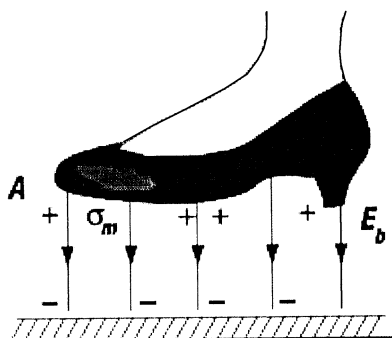
Jonassenův model předpokládá, že kráčející člověk má určitou elektrickou kapacitu  $C$  a určitý elektrický odpor  $R$  (objemový odpor včetně obuvi a nášlapné vrstvy – měřeno vzhledem k zemi). Generování náboje se v tomto modelu přisuzuje pouze procesu oddělování podrážek obuvi od nášlapné vrstvy při chůzi po podlaze<sup>1)</sup> (obr. 1 – elektrizace

<sup>1)</sup> Zdrojem nabíjení při chůzi člověka mohou být také třecí procesy mezi pokožkou a umělými tkaninami spodního oděvu nebo různými vrstvami oděvů navzájem, avšak tyto zdroje model zanedbává.

separací povrchů podrážky a nášlapné vrstvy). Tím je při každém kroku generován náboj  $\Delta q$ , který nemůže překročit Paschenovu hodnotu

$$\Delta q = \sigma_m A = \epsilon_o \cdot E_b \cdot A, \quad (1)$$

kde  $\sigma_m$  je hustota povrchového náboje na podrážce,  $A$  ( $\approx \text{cm}^2$ ) je plocha podrážky,  $E_b$  je Paschenova průrazná intenzita elektrického pole pro vzduch ( $\approx 3 \cdot 10^6 \text{Vm}^{-1}$ ) a  $\epsilon_o$  je elektrická permitivita vakua ( $\epsilon_o = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{Fm}^{-1}$ ). Vztah (1) dává přibližně kročejový náboj velikosti  $4 \cdot 10^{-7} \text{C}$ .



Obr. 1. Elektrostatické pole [9]

Měření však ukazují na podstatně menší hodnotu  $\Delta q$ , což je pochopitelné, protože Paschenova intenzita  $E_b$  byla vzata jako horní mezní hodnota. Kráčí-li člověk po elektricky silně rezistivní nášlapné vrstvě s kročejovou frekvencí  $f$  [kroky/s], pak se podle tohoto modelu generuje proud na těle

$$I_n = f \cdot \Delta q, \quad (2)$$

který nabíjí člověka na napětí  $U$  (potenciál vůči zemi), jež s časem narůstá určitou rychlostí  $\Delta U / \Delta t > 0$  danou podle vztahu

$$\frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{f \cdot \Delta q}{C}, \quad (3)$$

ovšem nikoli neomezeně, ale právě jen do okamžiku, kdy se nabíjecí proud (2) vyrovná s prosakujícím (uzemňovacím) proudem

$$I_g = \frac{U}{R}, \quad (4)$$

takže se při chůzi ustaví po jisté sérii počátečních kroků stacionární stav

$$I_n = I_g \Rightarrow U_s = f R \Delta q, \quad (5)$$

kde  $U_s$  je stacionární „pochůzná“ hodnota napětí těla. Vidíme, že stacionární pochůzná napětí (potenciál kráčející osoby vůči zemi)  $U_s$  je přímo úměrné odporu  $R$ , jehož hlavní část tvoří odpor nášlapné vrstvy. Je-li podlaha vysoce rezistivní ( $R \geq 10^{11} \Omega$ ), lze očekávat i značnou hodnotu potenciálu  $U_s$  (např. pro  $f \approx 2 \text{ s}^{-1}$ ,  $\Delta q \approx 10^{-8} \text{ C}$ ,  $R \approx 10^{11} \Omega$  vztah (5) dává  $U_s \approx 2 \text{ kV}$ ).

Aby nedocházelo na nášlapných vrstvách podlah k mikrovýbojům, hodnoty stacionárního pochůzného napětí (5) ani kročejového napětí

$$U_k = \frac{\Delta q}{C} \quad (6)$$

by neměly z fyzikálního hlediska přesáhnout Paschenovo napětí  $\approx 300 \text{ V}$  (limit specifikovaný normami je ještě přísnější a udává hodnotu  $100 \text{ V}$ ). Jak ukazují vztahy (5) a (6),

lze toho dosáhnout snížením rezistance nášlapné vrstvy (částečné zvodivění – viz metoda aditiv) nebo zmenšením hodnoty kročejového náboje  $\Delta q$  (vhodná kombinace materiálů nášlapné vrstvy a podrážky obuvi). Jinou metodou, jak předejít mikrovýbojům, je uzemnění osob v provozních průmyslových prostorách. Toto opatření je realizováno zápěstními kovovými páskami, které jsou vodiči propojeny s uzemněním. Sedící osoba u výrobního pásu, která manipuluje s komponenty jemné elektroniky, je tak zabezpečena proti hromadění kritického náboje<sup>2)</sup>. Nevýhodou je omezení pohyblivosti pracovníků jen v dosahu uzemňovacích vodičů, což nebývá na překážku při sedavém způsobu práce. Tato metoda v principu odpovídá snížení rezistance nášlapné vrstvy na malou hodnotu (na hodnotu uzemňovacího odporu  $R_g$ )  $R \rightarrow R_g$ .

Jak již bylo řečeno, do kročejového náboje  $\Delta q$  může přispívat nejen elektrizační proces oddělování povrchu podrážky od nášlapné vrstvy podlahy, ale i třecí procesy pokožky a spodního oděvu, různých vrstev svrchního oděvu, ale také jiné elektrizační zdroje. Častým případem je nabíjení pracovníka při vlečení kolečkového kontejneru – ať již kancelářského, nebo průmyslového – po podlaze místnosti. Při pohybu koleček kontejneru neustále dochází ke styku a oddělování plastových nebo pryžových povrchů koleček od nášlapné vrstvy podlahy, což je v principu stejný elektrizační proces jako oddělování podrážky od podlahy při chůzi osoby. Tlačí-li tedy pracovník kontejner, může být jeho kročejový náboj posilován nebo zeslabován nábojem generovaným valivým pohybem koleček po podlaze, a to podle vzájemné polaritě obou nábojů. Elektrizační procesy při pracovní činnosti člověka mohou být tedy vzájemně svázány a celý problém většinou není možné předem početně analyzovat, takže nezbyvá, než provádět modelová měření.

Ať jsou však elektrizační procesy při pracovní činnosti člověka jakkoli složité, účinnou prevencí bývá jak snížení rezistance podlahy a obuvi, tak jejich vhodná materiálová kombinace. Toho si jsou dobře vědomi špičkoví výrobci slaboproudé elektroniky, a proto bývají často při vstupu do výrobních hal instalovány automatické došlapové měřiče tělní a podrážkové rezistance. Pokud má vstupující pracovník zvýšenou rezistanci způsobenou nečistotami na podrážce bot, automatické otevírání dveří se zablokuje. Současně je zviditelněn kontrolním systémem a je nucen provést nápravu (očistění nebo výměnu obuvi). Tímto způsobem probíhá neustálá kontrola rezistance pohyblivých pracovníků. Přirozeným požadavkem je i elektrostaticky vodivá a uzemněná nášlapná vrstva podlah [1].

## Závěr

Elektrostatika podlah je aktuální problém zejména ve výrobních provozech, kde hrozí poškození výrobků mikrovýboji (slaboproudé komponenty počítačové a měřicí techniky, fotografické materiály apod.), dále tam, kde nastává nebezpečí výbuchu či požáru (výroba a přeprava vznětlivin a hořlavín) nebo v případech použití citlivých přístrojů (resuscitační zdravotnická zařízení, jednotky intenzivní péče, operační sály, laboratoře apod.). V takových prostorách je nutné sledovat i objemovou a povrchovou rezistanci podlahy ve vztahu k použité obuvi. Tyto faktory do značné míry rozhodují o kročejovém a pochůzném napětí, jehož hodnoty by neměly překročit kritickou hranici, aby nedocházelo ke vzniku nežádoucích povrchových mikrovýbojů.

Problematika působení elektrostatických mikrovýbojů na lidské zdraví je důležitou, často i rozporuplnou stránkou elektrostatického jevu, a zasloužila by si samostatné pojednání.

<sup>2)</sup> Lidské tělo je z hlediska elektrostatiky pokládáno za vodič.

**Literatura**

- [1] Ficker, T. – Benešovský, P.: Negativní vlivy statické elektriny v budovách. *Stavební obzor* 11 (2002) 167–169.
- [2] Ficker, T. – Šíkula, J.: Spark and Glow DC-Partial-Discharges in Dielectrics. *Japanesse Journal of Physics* 23 (1984) 1263–1264.
- [3] Ficker, T.: Elektrické degradační procesy v tuhých izolantech a způsoby jejich potlačování. *Elektrotechnický obzor* 75 (1986) 274–278.
- [4] Ficker, T.: Electrostatic Discharges and Multifractal Analysis of their Lichtenberg Figures. *Journal of Physics D: Appl. Phys.* 32 (1999) 219–226.
- [5] Ficker, T.: Electrostatic Surface Microdischarges and Viscous Fingering in Liquid Dielectrics. 13<sup>th</sup> International Conference on Dielectric Liquids (IEEE – Dielectrics and Electrical Insulation Society), Nara, 1999, 586–589.
- [6] Ficker, T.: Expansion of the Hausdorff Dimension of the Two-Scale Cantor Set. *Physical Review A* 40 (1989) 3445.
- [7] Ficker, T.: Fractal Statistics of Partial Discharges with Polymeric Samples. *Journal of Applied Physics*. 78 (1995) 5289–5295.
- [8] ČSN EN 61340 (5 částí) Elektrostatika. ČSNI, 2002.
- [9] Jonassen, J.: Charging by Walking. *Compliance Engineering* 17 (2000) 35–41, [http://www.ce-mag.com/ce-mag.com/archive/01/03/0103CE\\_022.html](http://www.ce-mag.com/ce-mag.com/archive/01/03/0103CE_022.html)
- [10] Jonassen, J.: Is Static Electricity Static? *Compliance Engineering* 17 (2000) 30–36, <http://www.ce-mag.com/archive/2000/janfeb/mrstatic.html>

**Benešovský, P.: Electrostatics of Floors**

**Electrostatic microcharges with destructive effects in interior spaces of buildings have become an acute problem nowadays. Although they represent a long-known and natural physical phenomenon, their reduction is not a simple matter. This article analyzes some laws of production of microcharges generated by persons walking on highly resistant wear layers of floors. The article also discusses methods of their reduction.**

**Benešovský, P.: Elektrostatik von Fußböden**

**Elektrostatische Mikroentladungen mit zerstörerischen Wirkungen in den Innenräumen von Gebäuden sind ein akutes Problem der Gegenwart. Obwohl es sich um eine seit langem bekannte und natürliche physikalische Erscheinung handelt, ist ihre Unterdrückung keine einfache Angelegenheit. Im Artikel werden einige Gesetzmäßigkeiten der Entstehung von elektrostatischen Mikroentladungen beim Gehen von Personen auf hochbeständigen Trittschichten von Fußböden analysiert und Methoden zu ihrer Unterdrückung diskutiert.**

**• recenze****Laermann, K. H. (ed.)*****Optical Methods in Experimental Solid Mechanics (Optické metody v experimentální mechanice)***

*Springer Verlag, Berlin 2000, 422 s., ISBN: 3-211-83325-0, cena 103 USD*

V současnosti dochází ke stále širšímu uplatňování optických bezkontaktních měřicích metod v oblasti experimentální mechaniky a materiálového inženýrství. Tyto metody se používají zejména pro analýzu deformací a nedestruktivní testování objektů v různých oblastech průmyslu a stavebnictví. V poslední době se rozvíjejí především hybridní měřicí techniky, které jsou spojením experimentálního a teoretického (numerického) přístupu k analýze konstrukcí. Na základě těchto metod lze např. ověřovat numerické výsledky pomocí experimentálních dat a na základě zpětné vazby upravovat numerický model zkoumané konstrukce. Kombinace numerických metod mechaniky, zejména pak metody konečných prvků, a kvantitativních experimentálních výsledků, se jeví jako velmi efektivní nástroj pro analýzu problémů v oblasti materiálového inženýrství a experimentální mechaniky, pomocí něhož lze velmi dobře modelovat reálné chování materiálu a konstrukcí vyrobených z daného materiálu. Současné moderní digitální optické měřicí metody umožňují již plně automatické vyhodnocení a analýzu měření v reálném čase. Tato publikace se zaměřuje na teorii a aplikace těchto metod k řešení problémů v experimentální mechanice.

Kniha je rozdělena na pět částí, z nichž každá se zabývá tematicky odlišnou problematikou optické metrologie. Jednotlivé části sestávají z několika podkapitol, zabývajících se jednotlivými aspekty objasňované problematiky.

Kapitoly jsou doplněny obsáhlým seznamem odborné literatury a příklady měření.

První část pojednává o hybridních optických měřicích metodách v experimentální mechanice, zejména pak využitím digitální fotoelasticimetrie a speklinterferometrie k analýze deformací a napětí elastických a viskoelastických materiálů. Ve druhé části jsou uvedeny nejnovější poznatky v oblasti trojrozměrné fotoelasticimetrie. Třetí část se zabývá principy a aplikací technik moiré k měření přetvoření. Ve čtvrté části jsou popsány klasické i moderní elektronické interferometrické metody pro měření statických a dynamických deformací. Poslední část knihy je věnována automatickým vyhodnocovacím metodám používaným v optické metrologii, jež jsou stejně důležité jako samotné digitální měřicí techniky, neboť pouze na základě spolehlivého kvantitativního vyhodnocení měření lze pokračovat v analýze.

Recenzovanou publikaci lze považovat za velmi dobrý přehled současné problematiky optických bezkontaktních metod používaných v oblasti experimentální mechaniky ke zkoumání reálného chování různých konstrukcí. Je možné ji proto doporučit jak vědeckým odborníkům, kteří se danou problematikou hlouběji zabývají, tak dalším zájemcům o tuto zajímavou oblast.

*J. Novák*

# Kombinace zatížení podle eurokódů v příkladech

prof. Ing. Milan HOLICKÝ, DrSc., Ph.D.  
Pavel MAREK  
ČVUT – Kloknerův ústav  
Praha

Nová evropská norma [1] uvádí tři alternativní pravidla pro kombinaci zatížení, která jsou vysvětlena a použita při výpočtu účinku zatížení u vybraných stavebních konstrukcí. Dílčí součinitele zatížení a kombinační součinitele, stanovené podle doporučených pravidel pro ověření mezních stavů rovnováhy, únosnosti a použitelnosti, jsou uvedeny v přehledných tabulkách. U každého příkladu jsou pro alternativní kombinace zatížení vykresleny obalové křivky ohybových momentů, v případě mezního stavu rovnováhy EQU obalové křivky posouvajících sil. Vzájemné porovnání stanovených extrémních účinků zatížení ukazuje, že alternativní kombinační pravidla uvedená v [1] mohou vést k výsledným hodnotám odlišným až o 18 %. Ukazuje se, že rozhodnutí o doporučené alternativě by mělo přihlížet k ekonomickým, obchodním a dalším aspektům včetně pracnosti statických výpočtů.

## 1. Úvod

Norma EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí [1] je základním dokumentem pro celou soustavu eurokódů, je národně dostupná od dubna 2002 a její české vydání se očekává na podzim roku 2003. Poskytuje zásady navrhování a ověřování konstrukcí s ohledem na jejich bezpečnost, použitelnost a trvanlivost. Záměrem článku je přiblížit uživateli postup při sestavování vhodných kombinací zatížení. Alternativní postupy navrhování podle [1] jsou ukázány a porovnány na třech příkladech stavebních konstrukcí.

## 2. Mezní stavy únosnosti a použitelnosti

V normě [1] se rozlišují čtyři druhy mezních stavů únosnosti, které jsou v dalším textu označeny zkratkami:

- EQU** – zahrnuje ztrátu statické rovnováhy konstrukce uvažované jako tuhé těleso, při které menší kolísání hodnot prostorového rozdělení zatížení je významné, pevnosti materiálů konstrukce nebo základové půdy většinou nejsou významné;
- STR** – představuje případ porušení nebo nadměrného přetvoření konstrukce, popř. konstrukčních prvků závisící na pevnosti materiálů konstrukce;
- GEO** – případ poruchy či nadměrného přetvoření základové půdy, při kterém je pevnost zeminy a hornin podstatná pro zajištění odolnosti;
- FAT** – představuje případ únavového porušení konstrukce nebo konstrukčních prvků, při kterém jsou významné opakované změny napětí nebo poměrného přetvoření.

V příkladech uvedených v tomto článku se mezní stavy GEO a FAT neuvažují.

Obecná podmínka spolehlivosti konstrukce může být vyjádřena nerovností

$$E_d \leq R_d, \quad (1)$$

kde  $E_d$  značí návrhovou hodnotu účinku zatížení  $E$  a  $R_d$  návrhovou hodnotu odolnosti  $R$ .

Pro vybrané návrhové situace a určené mezní stavy se mají stanovit kritické zatěžovací stavy. Podle [1] je zatěžovacím stavem slučitelná kombinace různých uspořádání zatížení, deformací a imperfekcí, které se uvažují současně s pevnými proměnnými zatíženími a se stálými zatíženími.

V případě mezního stavu únosnosti typu EQU (statická rovnováha) lze návrhové hodnoty účinků zatížení  $E_d$  a odolnosti konstrukce  $R_d$  symbolicky zapsat

$$E_d = E_{d,dst}, \quad R_d = E_{d,stb}, \quad (2)$$

kde  $E_{d,dst}$  značí návrhovou hodnotu destabilizujících zatížení a  $E_{d,stb}$  označuje návrhovou hodnotu stabilizujících zatížení. Ověření mezního stavu únosnosti typu EQU lze tedy vyjádřit nerovností

$$E_{d,dst} \leq E_{d,stb}. \quad (3)$$

Dílčí součinitele pro stálá a proměnná zatížení jsou uvedena v [1], příloha A.1, tabulka A.1.2(A).

V případě mezních stavů typu STR (vnitřní porušení) lze návrhové hodnoty  $E_d$  a  $R_d$  zapsat

$$E_d = \gamma_{Ed} E(F_d, X_d, a_d), \quad R_d = R(F_d, X_d, a_d) / \gamma_{Rd}, \quad (4)$$

kde  $\gamma_{Ed}$  značí dílčí součinitel zohledňující nejistoty modelu účinku zatížení  $E$ ,  $\gamma_{Rd}$  značí dílčí součinitel pro nejistoty modelu odolnosti  $R$ ,  $F_d$  označuje návrhové hodnoty zatížení  $F$ ,  $X_d$  návrhové hodnoty materiálových vlastností  $X$ , a konečně  $a_d$  označuje návrhové hodnoty geometrických údajů  $a$  (často shodné se jmenovitými hodnotami). Povšimněme si, že účinek zatížení  $E$  obecně závisí na materiálových vlastnostech  $X_d$  s ohledem na pevnost a tuhost (např. u staticky neurčitých konstrukcí i v případech nepřímého zatížení od vynucených přetvoření).

Ověřování mezních stavů použitelnosti, které v současné době nabývají na důležitosti, vychází v běžných případech (např. při posouzení průhybu nebo šířky trhlin) z nerovnosti

$$E_d \leq C_d, \quad (5)$$

kde  $C_d$  je mezní hodnota příslušného ukazatele použitelnosti, např. přípustný průhyb.

Ve shodě s pojetím mezních stavů se mají uvažovat dvě základní skupiny podmínek spolehlivosti. Zvláště by mělo být ověřeno, zda účinek návrhových zatížení nepřekračuje:

- navrhovou odolnost konstrukce v mezních stavech únosnosti;
- kritéria mezních stavů použitelnosti.

## 3. Obecná pravidla pro kombinace zatížení

Při ověřování spolehlivosti konstrukce podle [1] se nejprve specifikují návrhové situace a příslušné mezní stavy. Poté se určí uspořádání volných zatížení (umístění, velikost a směr působení), a dále kritické zatěžovací stavy (kombinace slučitelných uspořádání zatížení). Kritické zatěžovací stavy zjevně závisí na druhu a umístění nosného prvku (sloup, nosník, deska) a na celkovém konstrukčním uspořádání.

Za předpokladu, že je k dispozici předběžný návrh konstrukce (tj. základní topologie a konstrukční materiály),



může ověření spolehlivosti konstrukce (pevnosti a použitelnosti) postupovat těmito kroky:

- výběr odpovídajících návrhových situací a mezních stavů;
- určení slučitelných uspořádání zatížení a kritických zatěžovacích stavů;
- výpočet návrhových hodnot účinků zatížení pro příslušné mezní stavy únosnosti a použitelnosti;
- ověření odolnosti konstrukce (splnění stanovených podmínek spolehlivosti).

Podrobný postup v prvních třech krocích je patrný z příkladů uvedených v tomto příspěvku. Poslední krok (ověření odolnosti konstrukce) týkající se materiálově zaměřených eurokódů EN 1992 až EN 1999 se zde neuvádí.

### 3.1. Kombinace zatížení pro mezní stavy únosnosti

Kombinace účinků zatížení jsou v trvalé a dočasné návrhové situaci založené na návrhové:

- hodnotě hlavního proměnného zatížení,
- kombinaci vedlejších proměnných zatížení.

Základní kombinaci zatížení A pro mezní stav únosnosti uvádí norma [1] rovnicí (6.10)

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6)$$

Alternativní kombinace B se skládá podle [1] z rovnic (6.10a, 6.10b)

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (7)$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (8)$$

Kombinace C se opět skládá ze dvou rovnic [1] (6.10a<sub>mod</sub>, 6.10b), tedy z rovnice (8) a z modifikovaného vztahu (7), ve kterém se uvažuje působení pouze stálých zatížení

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} \quad (9)$$

kde  $\xi$  je redukční součinitel pro nepříznivá stálá zatížení  $G$ . Alternativní kombinace zatížení má být v členských zemích CEN stanovená v národní příloze (NP). Norma [1] nedává přednost žádné z těchto tří alternativ. Následující příklady však zřetelně ukazují, že výsledné účinky zatížení stanovené podle jednotlivých postupů se mohou významně lišit. Porovnáním výsledků se budeme zabývat v jednotlivých příkladech.

Doporučené hodnoty dílčích součinitelů zatížení  $\gamma$  a redukčních součinitelů  $\psi$  jsou uvedeny v [1].

Pokud se pro stanovení účinků zatížení použije alternativní postup B, popř. C, pak lze podle vztahu odvozeného

v [2] posoudit, která z dvojice rovnic (6.10a, 6.10b), popř. (6.10a<sub>mod</sub>, 6.10b), je rozhodující. Například pokud se uvažují dvě proměnná zatížení (užitné  $Q$  a vítr  $W$ ), pak lze nalézt meze

$$\chi_{\text{lim},B} = \frac{\gamma_G (1-\xi)(1+k)}{\gamma_G (1-\xi)(1+k) + \gamma_Q (a-\psi_Q) + \gamma_W k (b-\psi_W)} \quad (10)$$

pro kombinaci B,

$$\chi_{\text{lim},C} = \frac{\gamma_G (1-\xi)(1+k)}{\gamma_G (1-\xi)(1+k) + \gamma_Q a + \gamma_W k b} \quad (11)$$

pro kombinaci C,

kde redukční součinitel se uvažuje hodnotou  $\xi = 0,85$  a  $k = = W_k/Q_k$ , vyjadřuje poměr obou proměnných zatížení. Pro poměr  $k \leq (1-\psi_Q)/(1-\psi_W)$  platí pomocné veličiny  $a = 1$  a  $b = \psi_W$  (zatížení  $Q$  hlavní) a pro  $k > (1-\psi_Q)/(1-\psi_W)$  veličiny  $a = \psi_Q$  a  $b = 1$  ( $W$  hlavní). Použití vztahů (10), popř. (11), může ulehčit uživateli práci při výběru jedné z dvojice rovnic, jak ukazuje příklad popsaný v oddílu 4.2.

### 3.2. Kombinace zatížení pro mezní stavy použitelnosti

Kombinace zatížení, které se uplatňují u mezních stavů použitelnosti, závisí na povaze sledovaného účinku zatížení; rozlišuje se např. účinek nevratný, vratný nebo dlouhodobý. V normě [1] jsou uvedeny tři kombinace pojmenované podle reprezentativní hodnoty hlavního proměnného zatížení. Symbolicky lze tyto kombinace zatížení pro mezní stavy použitelnosti zapsat následujícími rovnicemi:

- a) charakteristická kombinace zatížení  
(EN 1990, rovnice (3.14))

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (12)$$

obvykle užívaná k ověřování nevratných mezních stavů;

- b) častá kombinace (EN 1990 (rce 3.15))

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (13)$$

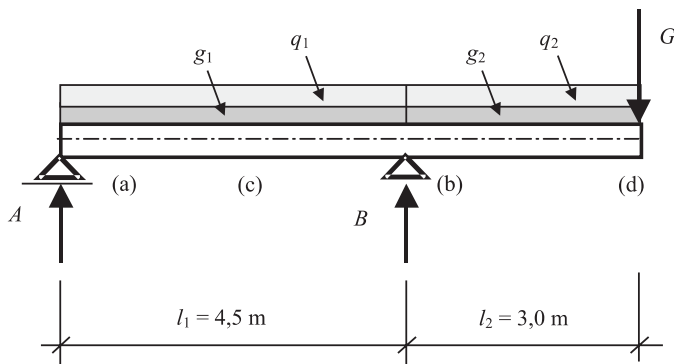
obvykle užívaná k ověřování vratných mezních stavů;

- c) kvazistálá kombinace (EN 1990 (rce 3.16))

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (14)$$

obvykle užívaná k ověření dlouhodobých účinků a vzhledu konstrukce, např. pokud se počítá s dotvarováním betonu.

V souladu s přílohou A.1 k [1] jsou všechny dílčí součinitele zatížení pro mezní stavy použitelnosti rovny jedné. Výše zmíněné kombinace zatížení (12) až (14) se liší podle



Obr. 1. Schéma nosníku s převislým koncem

$$\begin{aligned} g_1 &= 15 \text{ kN/m} \\ g_2 &= 15 \text{ kN/m} \\ q_1 &= 9 \text{ kN/m} \\ q_2 &= 9 \text{ kN/m} \\ G &= 6 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

různého použití součinitelů  $\psi_0$ ,  $\psi_1$  a  $\psi_2$ . Například  $\psi_0$  se používá ke zmenšení vedlejšího proměnného zatížení v charakteristických kombinacích,  $\psi_2$  v častých kombinacích a kvazistálých kombinacích zatížení. Všimněme si, že v závislosti na místě, kde je konstrukce ověřovaná (průhyb, šířka trhliny), a na počtu nezávislých zatížení, vede každá kombinace zatížení k několika zatěžovacím stavům. Následující příklady ukazují možnosti použití uvedených kombináčních pravidel.

**4. Příklady**

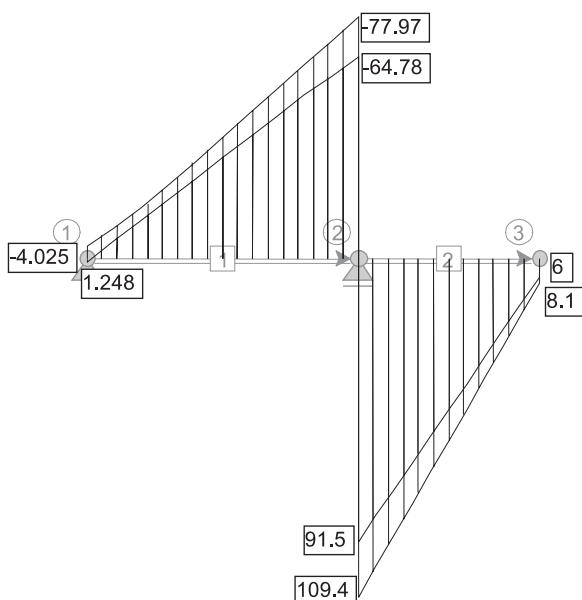
**4.1. Nosník s převislým koncem**

Na nosník působí rovnoměrná stálá zatížení  $g_1$  a  $g_2$  (zatížení nosníku a převislého konce se uvažují jako

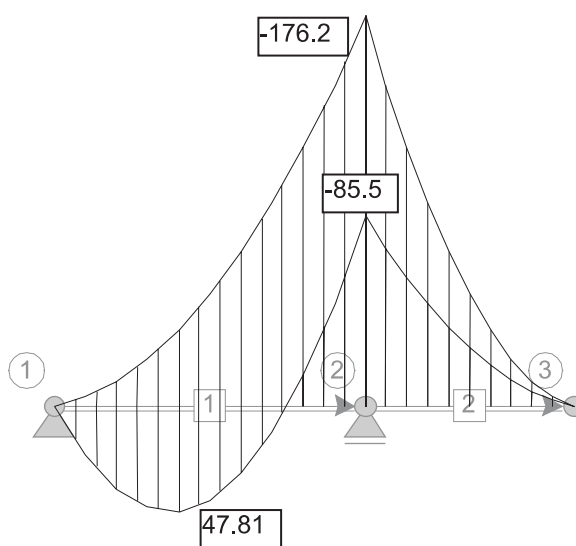
nezávislá), soustředěné zatížení  $G$  a užitná zatížení  $q_1$  a  $q_2$  (kategorie B – kancelářské plochy). Mezní stavy únosnosti (statické rovnováhy EQU a únosnosti STR) a mezní stavy použitelnosti (charakteristická a kvazistálá kombinace) jsou ověřeny pro příslušné zatěžovací stavy a odpovídající součinitele ( $\gamma \times \psi$ ) uvedené v tab. 1.

K ověření rovnováhy nosníku lze kromě zatěžovacího stavu (1) použít alternativní zatěžovací stav (3) při současném ověření stavu (4). Tato alternativa (stavy (3) a (4)) se uplatní v případě, že se zároveň ověřuje odolnost nosných prvků [1]. Průběh výsledných momentů ukazují obr. 3 až obr. 5.

Z výsledků mezního stavu únosnosti EQU (obr. 2) vyplývá, že konzolový nosník musí být v bodě (a) zajištěn proti tahové síle -4,025 kN. Porovnáme-li výsledky momentů pro mezní stav únosnosti STR, je patrné, že číselné hodnoty kladných momentů kombinace A (obr. 3) jsou asi o 18 % větší než u kombinace B, popř. C (obr. 4). Rozdíl



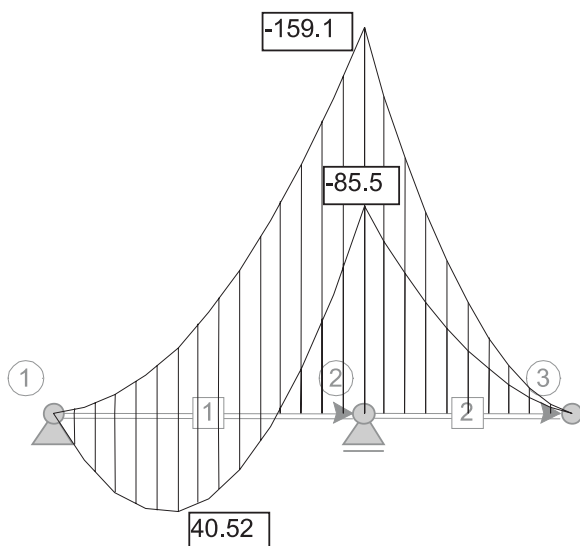
Obr. 2. Obálka posouvajících sil [kN] podle rovnice (6.7)



Obr. 3. Obálka momentů [kNm] podle rovnice (6.10)

Tab. 1. Zatěžovací stavy a odpovídající součinitele ( $\gamma \times \psi$ ) pro příslušné rovnice

Stav	Extrém M v bodě	Mezní stav	Součinitele pro zatížení				
			$g_1$	$g_2$	$q_1$	$q_2$	$G$
1.	–	rovnováhy (6.7)	0,9×1,00	1,1×1,00	–	1,50	1,1×1,00
2.	–	rovnováhy (6.7)	0,85×1,35	1,35	–	1,50	1,35
3.	–	rovnováhy (6.7)	1,00	1,00	–	1,50	1,00
4.	(c)	únosnosti (6.10)	1,35	1,00	1,5	–	1,00
5.	(b)	únosnosti (6.10)	1,00	1,35	–	1,50	1,35
6.	(c)	únosnosti (6.10a)	1,35	1,00	0,7×1,50	–	1,00
7.	(c)	únosnosti (6.10b)	0,85×1,35	1,00	1,5	–	1,00
8.	(b)	únosnosti (6.10a)	1,00	1,35	–	0,7×1,50	1,35
9.	(b)	únosnosti (6.10b)	1,00	0,85×1,35	–	1,50	0,85×1,35
10.	–	únosnosti (6.10a <sub>mod</sub> )	1,35	1,00	–	–	1,00
11.	–	únosnosti (6.10a <sub>mod</sub> )	1,00	1,35	–	–	1,35
12.	–	použitelnosti (6.14)	1,00	1,00	1,00	–	1,00
13.	–	použitelnosti (6.14)	1,00	1,00	–	1,00	1,00
14.	–	použitelnosti (6.16)	1,00	1,00	0,3×1,00	–	1,00
15.	–	použitelnosti (6.16)	1,00	1,00	–	0,3×1,00	1,00

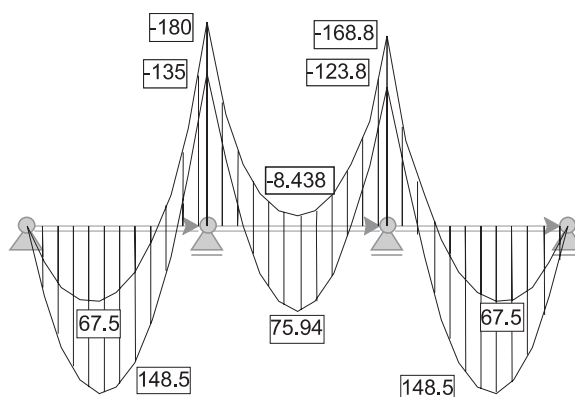


Obr. 4. Obálka momentů [kNm] podle rovnic (6.10a), (6.10b) a (6.10a<sub>mod</sub>), (6.10b)

záporných momentů mezi kombinacemi A a B v bodě (b) je 11 %. Kombinace B a C jsou v tomto případě totožné, rovnice (6.10a) a (6.10a<sub>mod</sub>) se v obalové křivce neprojeví.

#### 4.2. Spojitý nosník o třech polích

Spojitý nosník o třech polích stejné délky  $L = 5$  m je zatížen stálým a užitným zatížením. Rovnoměrné stálé zatížení  $g$  (považované za zatížení z jednoho zdroje pro celý



Obr. 6. Obálka momentů [kNm] podle rovnice (6.10)

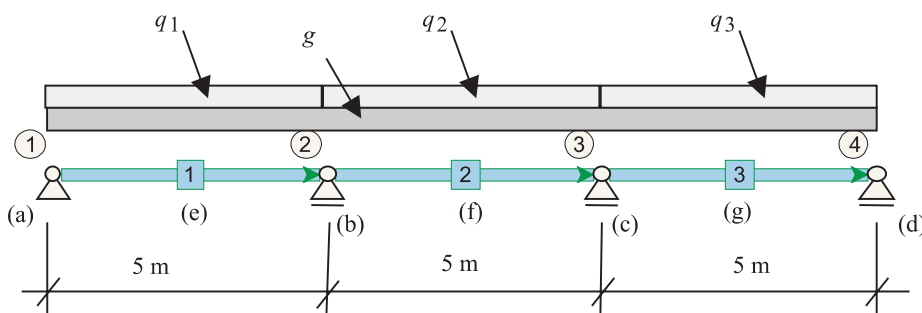
a kde

$$\chi = Q_k / (G_k + Q_k), \quad (17)$$

kde  $Q_k$  a  $G_k$  představují symbolický zápis účinků od proměnných a stálých zatížení na konstrukci.

#### Kritérium pro posouzení

Jestliže  $\chi > \chi_{lim,B}$ , popř.  $\chi > \chi_{lim,C}$ , pak rozhoduje (6.10b). V ostatních případech rozhoduje (6.10a), resp. (6.10a<sub>mod</sub>). Číselné řešení pro tento příklad uvádíme v tab. 3. Z tabulky je patrné, že v obou alternativních kombinacích B, C je rozhodující rovnice (6.10b). Průběh výsledných momentů ukazují obr. 6 až obr. 8.



Obr. 5. Spojitý nosník

$$\begin{aligned} g &= 30 \text{ kN/m} \\ q_1 &= 18 \text{ kN/m} \\ q_2 &= 18 \text{ kN/m} \\ q_3 &= 18 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

nosník) a nezávislá užitná zatížení  $q_1$ ,  $q_2$  a  $q_3$  se uvažují při ověření mezních stavů únosnosti a použitelnosti (charakteristické a kvazistálé kombinace). Mezní stav únosnosti (typ STR podle obecné rovnice (6.8) a rovnice pro kombinaci zatížení (6.10) podle [1]) je ověřeno, uvážilo se celkem sedmáct zatěžovacích stavů, k nimž tab. 2 uvádí příslušné hodnoty součinitelů  $\gamma$ .

Pro stanovení účinků zatížení lze alternativně použít rovnice (10) a (11), uvedené v odst. 3.1. Pro případ jediného proměnného zatížení (jen užitné  $Q$ ) lze vztahy zjednodušit na tvar

$$\chi_{lim,B} = \frac{\gamma_G(1-\xi)}{\gamma_G(1-\xi) + \gamma_Q(a-\psi_Q)}, \quad (15)$$

$$\chi_{lim,C} = \frac{\gamma_G(1-\xi)}{\gamma_G(1-\xi) + \gamma_Q a}, \quad (16)$$

kde  $a = 1$ ;  $\xi = 0,85$ ;  $\gamma_G = 1,35$ ;  $\gamma_Q = 1,5$ ;  $\psi_Q = 0,7$

Z výsledků mezního stavu únosnosti STR je patrné, že vnitřní moment podle kombinace A (obr. 6) je v bodech (e) a (b) (obr. 5) větší asi o 9 % než podle kombinace B (obr. 7), popř. C (obr. 8). V bodě (f) jsou číselné hodnoty kombinace A větší asi o 5 % než u kombinace B a C. Kombinace B a C jsou v tomto případě rovněž totožné, rovnice 6.10a a 6.10a<sub>mod</sub> se v obalové křivce neprojeví.

#### 4.3. Rovinný konzolový rám

Konzolový rám podle obr. 9 je zatížen pěti nezávislými zatíženími – stálé zatížení  $g$ , užitné zatížení  $q_1$ , užitné zatížení  $q_2$ , zatížení větrem  $W$  a zatížení sněhem  $s$ .

V následujícím rozboru jsou ověřeny mezní stavy únosnosti (STR) a použitelnosti (charakteristická a kvazistálá kombinace). Poznamenejme, že je třeba uvážit další zatěžovací stavy pro ověření mezního stavu statické rovnováhy (EQU) (užitné zatížení působí pouze v konzolové části rámu). Mezní stav statické rovnováhy EQU je splněn pro rám znázorněný na obr. 9.

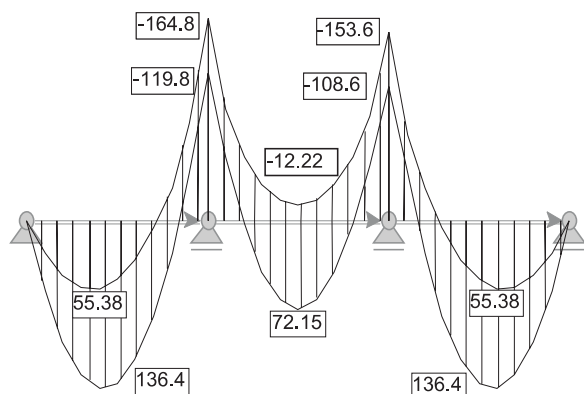
Průběh výsledných momentů je znázorněn na obr. 10 až obr. 12. Pro přehlednost se uvedené číselné hodnoty momentů vztahují pouze k vodorovným příčlím a sloupům v nejnižším podlaží.

Z výsledků mezního stavu únosnosti STR je patrné, že momenty stanovené podle kombinace A (obr. 10) jsou větší v některých průřezech až o 15 % než u kombinace B (obr. 11). Nejnižší číselné hodnoty momentů vycházejí podle kombinace C (obr. 12). Zajímavostí je, že se kombinace B od C v tomto příkladu liší pouze průběhem momentů na horní příčli, kde se uplatňuje u kombinace B rovnice

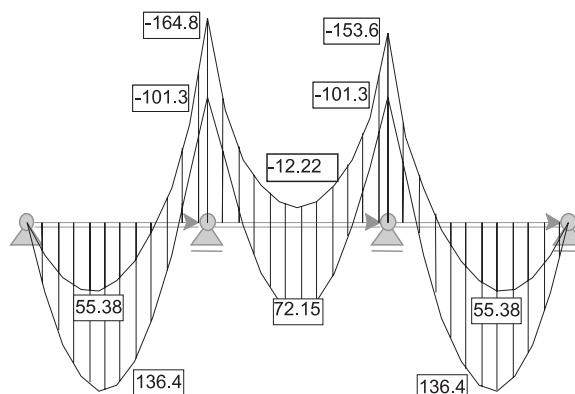
(6.10a) – zatěžovací stav 9 a u kombinace C rovnice (6.10b) – zatěžovací stav 11, ostatní části konstrukce se řídí rovnicí (6.10b) – zatěžovací stav 6, 8, 10, 11.

## 5. Závěrečné poznámky

Příklady výpočtu účinků zatížení na vybraných konstrukcích potvrzují očekávání, že kombinace zatížení A (EN 1990, rovnice (6.10)) je z hlediska pracnosti statického výpočtu podstatně jednodušší než kombinace B a C (EN



Obr. 7. Obálka momentů [kNm] podle rovnice (6.10a), (6.10b)



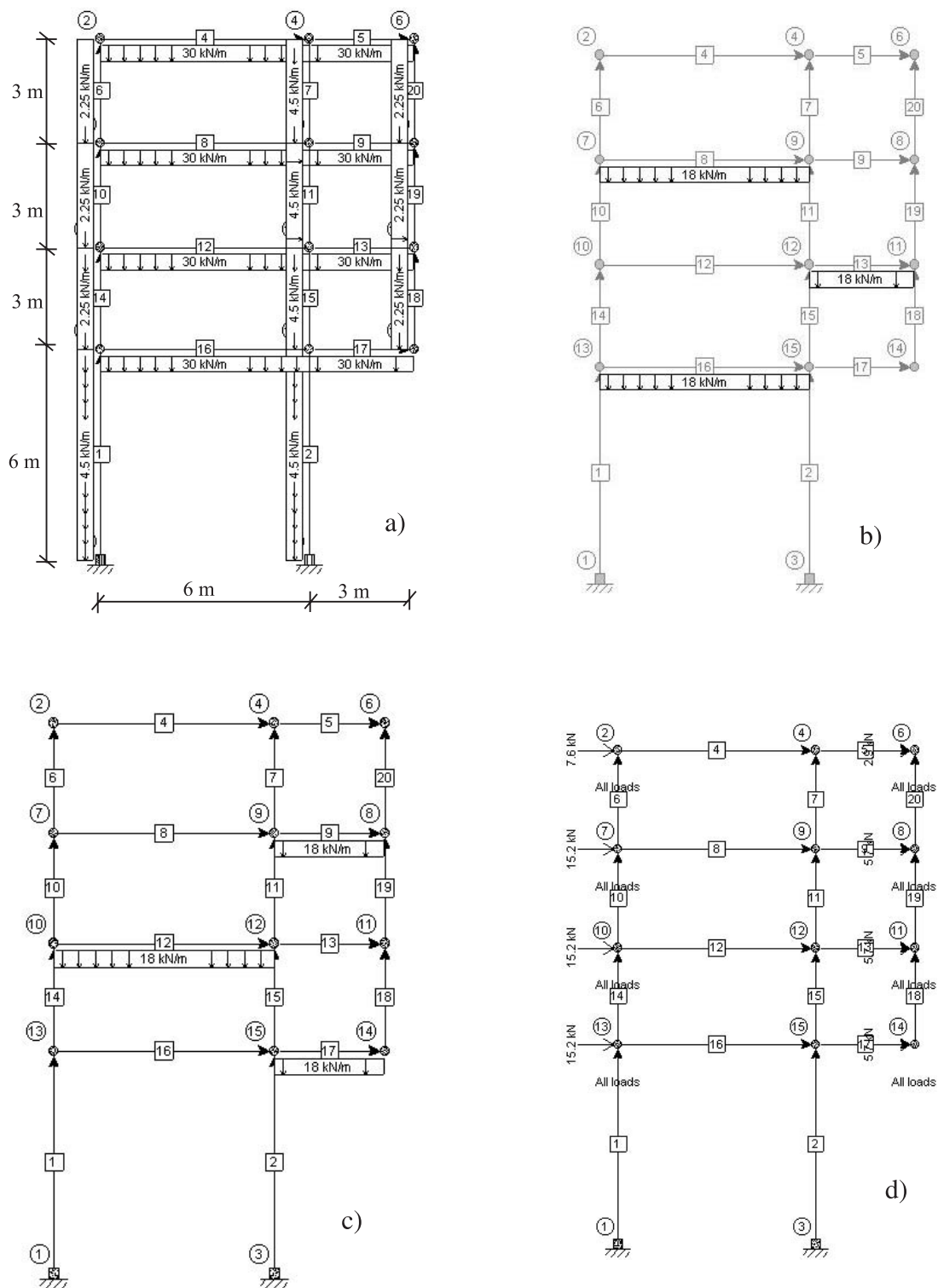
Obr. 8. Obálka momentů [kNm] podle rovnice (6.10<sub>a,mod</sub>), (6.10b)

Tab. 2. Zatěžovací stavy pro spojitý nosník o třech polích

Stav	Extrém $M$ v bodě	Mezní stav	Dílčí součinitele $\gamma$ pro zatížení			
			$g$	$q_1$	$q_2$	$q_3$
1.	(e)	únosnosti (6.10)	1,35	1,50	–	1,5
2.	(f)	únosnosti (6.10)	1,35	–	1,50	–
3.	(b)	únosnosti (6.10)	1,35	1,50	1,50	–
4.	–	únosnosti (6.10)	1,35	1,50	1,50	1,5
5.	(b)	únosnosti (6.10a)	1,35	0,7×1,50	0,7×1,50	–
6.	(b)	únosnosti (6.10b)	0,85×1,35	1,50	1,50	–
7.	(e)	únosnosti (6.10a)	1,35	0,7×1,50	–	0,7×1,50
8.	(e)	únosnosti (6.10b)	0,85×1,35	1,50	–	1,5
9.	–	únosnosti (6.10a)	1,35	0,7×1,50	0,7×1,50	0,7×1,50
10.	–	únosnosti (6.10b)	0,85×1,35	1,50	1,50	1,5
11.	(f)	únosnosti (6.10a)	1,35	–	0,7×1,50	–
12.	(f)	únosnosti (6.10b)	0,85×1,35	–	1,50	–
13.	–	únosnosti (6.10 <sub>a,mod</sub> )	1,35	–	–	–
14.	–	použitelnosti (6.14)	1,00	1,00	–	1,00
15.	–	použitelnosti (6.14)	1,00	–	1,00	–
16.	–	použitelnosti (6.16)	1,00	0,3×1,00	–	0,3×1,00
17.	–	použitelnosti (6.16)	1,00	–	0,3×1,00	–

Tab. 3. Výběr rovnice v alternativních kombinacích zatížení B, C ve zvolených průřezech

$M$ v bodě (viz obr. 6)	Moment od		$\chi$	$\chi_{lim,B}$	$\chi_{lim,C}$	Rozhoduje rovnice
	$G_k$ [kNm]	$Q_k$ (kNm)				
b	75,00	52,50	0,412 >	0,31	0,119	(6.10b)
e	60,00	42,00	0,412 >	0,31	0,119	(6.10b)
f	18,75	33,75	0,643 >	0,31	0,119	(6.10b)

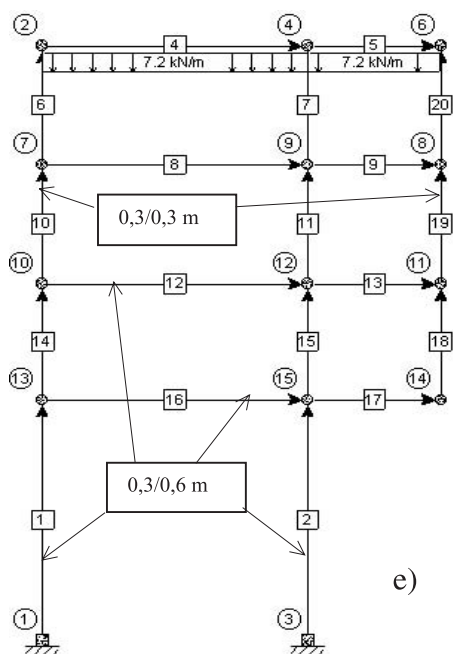


Obr. 9. Nezávislá charakteristická zatížení  
 a – stálá zatížení g; b – užitná zatížení  $q_1$ ; c – užitná zatížení  $q_2$ ; d – zatížení větrem W

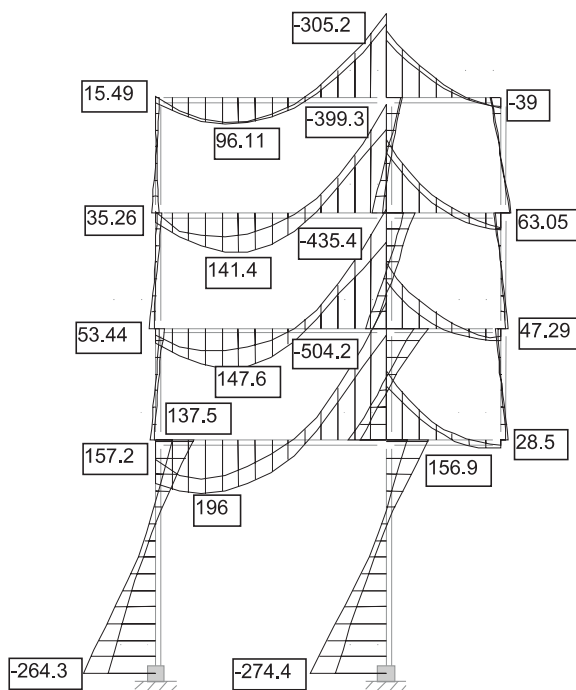
1990, které vycházejí z rovnic (6.10a) a (6.10b) a jejich modifikace). Výsledky numerických výpočtů však také ukazují, že postup A povede k vyšším účinkům zatížení (až o 18 %) než postupy B a C. Postup A tedy zaručí vyšší spolehlivost konstrukcí než postupy B a C, avšak za cenu vyšší spotřeby stavebních materiálů. Přiměřené ekonomické důsledky je však možné ovlivnit volbou vhodných dílčích

součinitelů zatížení, podobně jako se postupovalo u přednormy ČSN ENV 1991-1.

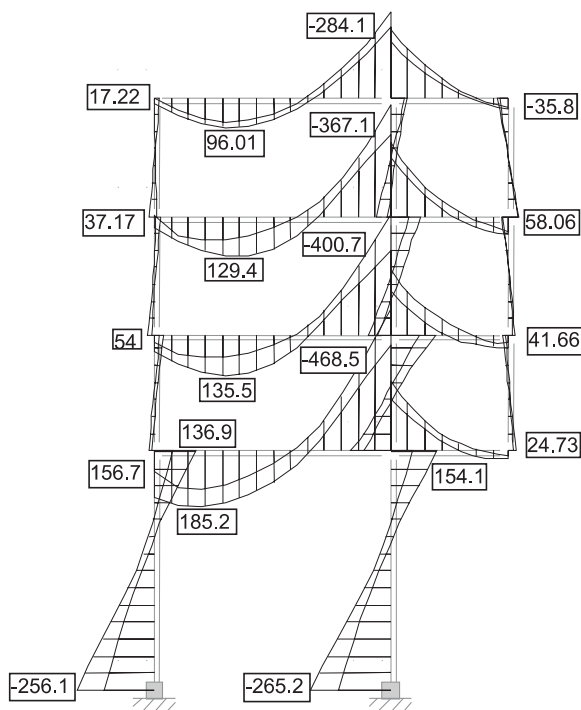
Rozhodnutí o doporučené variantě kombinace zatížení, které se očekává v národní příloze k EN 1990, nebude tedy jednoduché. Je však zřejmé, že by se mělo přihlížet nejen k ekonomickým, obchodním a dalším důsledkům, ale také k pracovnímu a průhlednosti statických výpočtů.



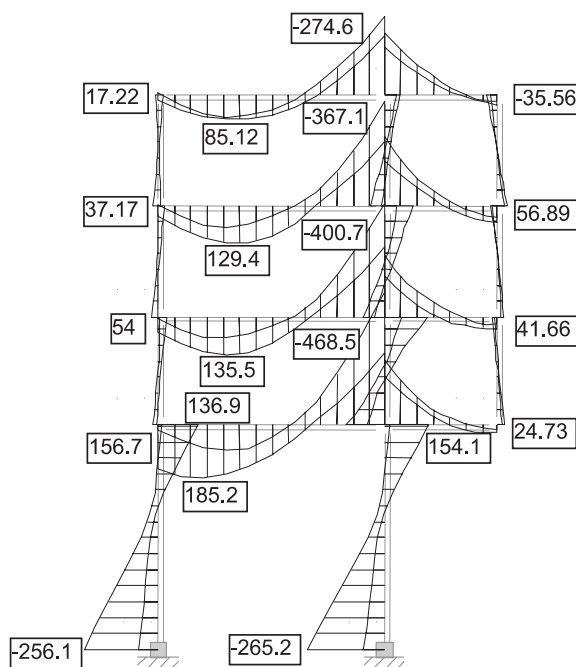
Obr. 9e. Nezávislé charakteristické zatížení sněhem



Obr. 10. Obálka momentů [kNm] podle rovnice (6.10)



Obr. 11. Obálka momentů [kNm] podle rovnice (6.10a), (6.10b)



Obr. 12. Obálka momentů [kNm] podle rovnice (6.10<sub>a,mod</sub>), (6.10b)

**Literatura**

[1] EN 1990 Basis of Structural Design. European Committee for Standardisation, 04/2002.  
 [2] Holický, M. – Marková, J.: Zásady navrhování podle nových evropských předpisů – alternativní postupy v EN 1990, Sekce

Spolehlivost a simulace – 2. část. Betonářské dny 2001, Praha, 2001.  
 [3] Amses Frame2D, Version 1.61, Celja, Slovenia, 2002 (<http://www.ainet-sp.si>)

Tab. 4. Zatěžovací stavy a odpovídající součinitele  $\gamma \times \psi^*$ 

Zatěžovací stav	Mezní stav	Součinitele pro zatížení				
		$g$	$q_1$	$q_2$	$W$	$s$
1.	únosnosti (6.10)	1,35	1,50	–	0,6×1,5	0,5×1,50
2.	únosnosti (6.10)	1,35	–	1,50	0,6×1,5	0,5×1,50
3.	únosnosti (6.10)	1,35	1,50	1,50	0,6×1,5	0,5×1,50
4.	únosnosti (6.10)	1,35	0,7×1,50	0,7×1,50	1,50	0,5×1,50
5.	únosnosti (6.10a)	1,35	0,7×1,50	–	0,6×1,5	0,5×1,50
6.	únosnosti (6.10b)	0,85×1,35	1,50	–	0,6×1,5	0,5×1,50
7.	únosnosti (6.10a)	1,35	–	0,7×1,50	0,6×1,5	0,5×1,50
8.	únosnosti (6.10b)	0,85×1,35	–	1,50	0,6×1,5	0,5×1,50
9.	únosnosti (6.10a)	1,35	0,7×1,50	0,7×1,50	0,6×1,5	0,5×1,50
10.	únosnosti (6.10b)	0,85×1,35	1,50	1,50	0,6×1,5	0,5×1,50
11.	únosnosti (6.10b)	0,85×1,35	0,7×1,50	0,7×1,50	1,50	0,5×1,50
12.	únosnosti (6.10a <sub>mod</sub> )	1,35	–	–	–	–
13.	použitelnosti (6.14)	1,00	1,00	–	0,6×1,5	0,5×1,50
14.	použitelnosti (6.14)	1,00	–	1,00	0,6×1,5	0,5×1,50
15.	použitelnosti (6.16)	1,00	0,3×1,00	–	–	–
16.	použitelnosti (6.16)	1,00	–	0,3×1,00	–	–

\* v závorkách jsou uvedeny příslušné rovnice

**Holický, M. – Marek, P.: Combinations of Actions According to Eurocodes in Examples**

Newly available European standard EN 1990 Basis of Structural Design provides three alternative procedures for combination of actions that are illustrated analyzing selected simple structures. Partial factors and combination factors of actions used for the verification of the limit states of static equilibrium, ultimate limit states and the serviceability limit states are considered in accordance with the recommendations provided in EN 1990. The resulting load effects due to alternative combination rules are presented as envelope curves for bending moments, in case of the equilibrium limit state also for shear forces. Comparison of the obtained action effects shows that the alternative combination rules provided in EN 1990 may lead to the resulting values differing by about 18 %. It appears that further investigation concerning decision about the preferable alternative, to be made in the National Annex to EN 1990, should take into account economic, commercial and other aspects including labor consumption required for design calculation.

**Holický, M. – Marek, P.: Belastungskombinationen nach Eurocodes in Beispielen**

Die neue europäische Norme EN 1990 „Grundlagen der Tragwerksplanung“ führt drei alternative Regeln für Belastungskombinationen an, die in der Norme erklärt und bei der Berechnung der Belastungswirkung bei ausgewählten Baukonstruktionen angewendet werden. Die partiellen Belastungsfaktoren und Kombinationsfaktoren, die nach den empfohlenen Regeln für die Überprüfung der Grenzzustände des Gleichgewichts, der Tragfähigkeit und der Verwendbarkeit festgelegt sind, sind in überschaubaren Tabellen aufgeführt. Bei jedem Beispiel sind für alternative Belastungskombinationen Umhüllungskurven der Biegemomente gezeichnet, im Fall des Grenzzustands des Gleichgewichts EQU auch die Umhüllungskurven der Querkkräfte. Ein gegenseitiger Vergleich der festgelegten extremen Belastungswirkungen zeigt, dass die in der EN 1990 angeführten alternativen Kombinationsregeln zu unterschiedlichen Ergebnissen mit Abweichungen bis zu 18 % führen können. Es zeigt sich, dass die Entscheidung für eine empfohlene Alternative die ökonomischen, geschäftlichen und weiteren Aspekte einschließlich der Aufwendigkeit der statischen Berechnungen berücksichtigen sollte.



## Měření propustnosti přírodních stavebních materiálů

Jarmila STRAKOVÁ  
Ing. Jiřina TRČKOVÁ, CSc.  
RNDr. Roman ŽIVOR

AV ČR – Ústav struktury a mechaniky hornin  
Praha

V článku je uvedeno třídění pískovců, vápenců, slínovců a opuky odebraných v různých lokalitách v České republice na základě určeného filtračního součinitele. Je popsán přístroj k měření propustnosti i metodika zkoušky. Výsledky mohou sloužit k orientaci při využití uvedených hornin pro stavební účely, ale také v kamenictví, sochařství apod.

### Úvod

Propustnost, tj. schopnost propouštět vodu póry a dutinami účinkem hydraulického sklonu, je jednou z typických vlastností hornin. Na základě známé propustnosti se posuzují účinky vody na stavební konstrukce, její znalost je nutná při výpočtu průsaků, při zakládání staveb pro ocenění přítoku do stavební jámy, z hlediska návrhu izolací základů staveb, ale je také neméně důležitým ukazatelem pro využití různých druhů hornin nejen ve stavebnictví, ale též v kamenictví, sochařství apod. Propustnost horniny má vliv např. na zvětrávání horniny, které ovlivňuje její použití. Je také jednou z vlastností hornin, kterou je nutné uvažovat při řešení hydrologických a hydrogeologických problémů metodami numerického a fyzikálního modelování.

Filtrační součinitel  $k$  [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ] charakterizuje schopnost horniny propouštět vodu. Je to rychlost, kterou má voda prosakující horninou při hydraulickém sklonu rovném 1. Při jeho určení se vychází z Darcyova zákona pro laminární proudění, který je vyjádřen vzorcem

$$q = k \frac{h}{l} A, \quad (1)$$

kde  $q$  je průsak;

$A$  – průsaková plocha vzorku;

$h/l$  – poměr rozdílu hydraulických výšek a dráhy (označovaný jako hydraulický sklon), kterou musí voda horninou projít.

Zjišťuje se v laboratoři na vzorcích hornin, terénními zkouškami nebo výpočtem. Stanovení propustnosti je tím složitější, čím je horninový materiál méně propustný. Laboratorní stanovení filtračního součinitele několika druhů přírodních stavebních materiálů odebraných na různých lokalitách v České republice a jejich zařazení do tříd z hlediska propustnosti může poskytnout základní informace o vhodnosti využití těchto materiálů pro různé účely.

### Použité horniny

Zkoušky propustnosti probíhaly na vzorcích pískovců doplněných méně propustnými sedimentárními horninami (vápence, opuky a slínovce). Ve stavebnictví, při restaurování památkových objektů, v kamenictví, v sochařství apod. nacházejí využití především pískovce. Vápence se často používají jako obkladový materiál, stejně tak opuky, které

slouží i k rekonstrukci stavebních památek. Se slínovci se často setkáváme při zakládání budov a výstavbě podpovrchových objektů.

Celkem bylo sledováno deset vzorků pískovce, tři vápence, dva slínovce a jeden vzorek opuky. Devět vzorků pískovce pochází z různých lokalit České křídové tabule, v případě vzorku z Kamenných Žehrovců jde o arkózový pískovec karbonského stáří. Z křídové tabule je rovněž vzorek opuky a oba vzorky slínovce odebrané ve dvou různých lokalitách. Vzorky vápenců jsou reprezentovány terciérním organodetritickým vápencem (Úvaly u Valtic), křídovým jílovým vápencem (Litoměřice) a kompaktním devonským vápencem (Koněprusy). Propustnost se určovala pouze ve směru kolmém k vrstevnatosti vzorků. Zkoušky byly doplněny určením fyzikálních vlastností charakterizujících zkoušené horniny – měrnou a objemovou hmotností, vlhkostí, nasákavostí a pórovitostí.

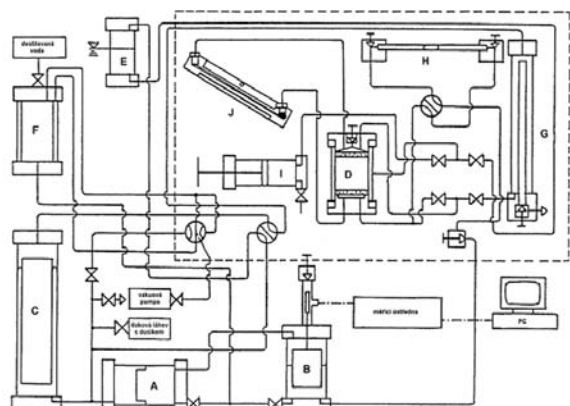
### Přístrojové vybavení

Měření propustnosti v laboratoři vyžaduje poměrně složité zařízení. Ve spolupráci s firmou MONITORING servis byl v Oddělení geotechniky Ústavu struktury a mechaniky hornin AV ČR vyvinut a vyzkoušen přístroj (obr. 1) vhodný pro zkoušky všech typů soudržných materiálů, od málo propustných až po velmi nepropustné [1]. Zkouška probíhala podle ČSN 72 1020 – metoda G (resp. DIN 18 130) v tlakové komoře se syčením zpětným tlakem.



Obr. 1. Přístroj pro měření propustnosti v ÚSMH AV ČR

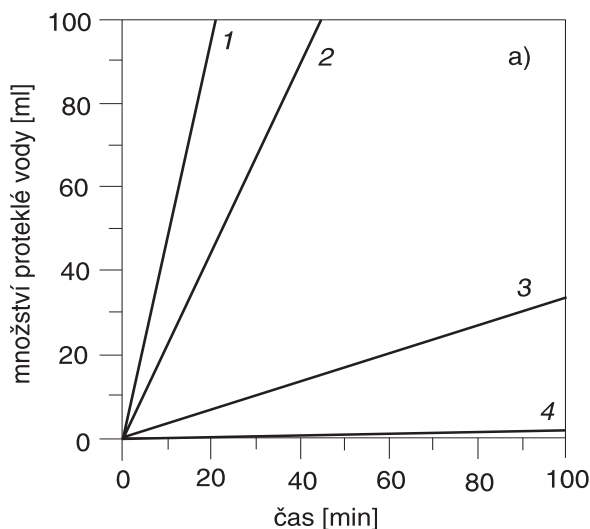




Obr. 2. Schéma přístroje pro měření propustnosti  
A, B, C – tlakové nádoby pro získání sytícího a diferenciálního tlaku, D – propustoměrná komora, E – tlaková nádoba pro získání hydrostatického komorového tlaku, F – tlakový zásobník odplyněné vody, G, H – svislá a vodorovná byreta, I – pístová ruční pumpa, J – diferenciální mikromanometr

Přístroj se skládá z panelu s měřicími a regulačními prvky, ze zdrojů sytícího a diferenciálního tlaku, zdroje hydrostatického komorového tlaku, z tlakového zásobníku odplyněné vody a měřicí ústředny (obr. 2). Panel s měřicími a regulačními prvky obsahuje vodorovnou byretu pro přesné měření množství vody protékající při syčení horninového vzorku a při vlastní zkoušce, svislou přepadovou byretu využívanou především při zkouškách propustnějších hornin, diferenciální mikromanometr k měření rozdílu hladin, pístovou ruční pumpu pro přitahování ochranné membrány k měřenému vzorku a jejímu odtahování, jehlový ventil pro přívod vody od tlakových nádob a regulační kohouty. Na panelu je umístěna také propustoměrná komora membránového typu, do které se umísťují vzorky o průměru 50 mm a výšce 25 až 50 mm. Horní i spodní podstava komory je opatřena vývodem ke snímání tlakové difference.

Zdroje sytícího a diferenciálního tlaku jsou propojené tlakové nádoby s písty, jejichž hmotnost je odstupňována tak, aby kombinací pístů bylo možné nastavit požadovaný tlak. Zdrojem hydrostatického komorového tlaku je tlaková nádoba umístěná několik metrů nad ostatními částmi přístroje. Toto umístění zaručuje, že komorový tlak je vždy větší než tlak na spodní podstavě propustoměrné komory.



Hydrostatický komorový tlak je konstantní, neměří se; slouží pouze k přitlačování ochranné membrány na plášť vzorku, aby nedocházelo k obtékání vzorku vodou během zkoušky. U propustoměru jsou čidla ke snímání teploty vody, která lze podle potřeby přemísťovat. Součástí propustoměru je tlakový zásobník odplyněné vody, připravené z převařené demineralizované vody dostatečně odplyněné vakuováním. Měřené hodnoty – čas, množství a teplota vody protékající vzorkem – registruje programovatelná měřicí ústředna připojená na počítač a zaznamenává je ve zvolené frekvenci od 1 s do 24 h.

### Metodika zkoušky

Propustnost materiálu se zjišťuje při plném nasycení vzorku, za konstantního hydraulického sklonu, který byl u všech vzorků udržován na hodnotě 24 při rozdílu hladin 1,2 m a výšce vzorku 50 mm. Zkouška se proto skládá ze dvou částí. Nejprve probíhá syčení vzorku vodou při dané úrovni sytícího tlaku, který byl u všech vzorků konstantní, udržovaný na 150 kPa. Syčení je ukončeno, je-li množství vody vstupující do vzorku shodné s množstvím vody, která ze vzorku vystupuje. Při fázi syčení se volí tlaková difference odpovídající hodnotě hydraulického sklonu odpovídajícího skutečným podmínkám. Po nasycení vzorku se měří propustnost. Po celou dobu je aplikován jednak sytící tlak, jednak hydrostatický komorový tlak, který přitlačuje ochrannou membránu k povrchu vzorku, a tím brání jeho obtékání vodou. Průběh syčení vzorku i průběh měření propustnosti lze průběžně sledovat na monitoru počítače a rozhodnout o ukončení syčení vzorku nebo vlastní zkoušky.

Filtrační součinitel  $k$  [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ] se vypočte podle vzorce

$$k = \frac{V \cdot l}{A \cdot h \cdot t}, \quad (2)$$

kde  $V$  je objem protékající vody za interval  $t$ ;

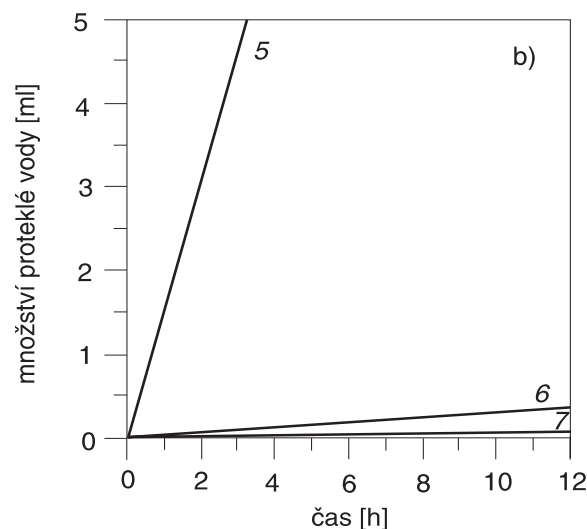
$l$  – výška vzorku (dráha, kterou musí voda projít horninou);

$A$  – průřezová plocha vzorku;

$h$  – rozdíl tlakových výšek hladin;

$t$  – interval měření.

Výsledná hodnota filtračního součinitele  $k_{10}$  je hodnota určená podle vzorce (2), přepočtená na porovnávací teplotu vody rovnou 10 °C.



Obr. 3. Množství proteklé vody v závislosti na čase  
a – málo propustné až nepropustné pískovce: 1 – Záměl, 2 – Kocbeře, 3 – Jitrava, 4 – Zdislava;  
b – nepropustné až velmi nepropustné vápence: 5 – Úvaly u Valtic, 6 – Litoměřice, 7 – Koněprusy

Tab. 1. Výsledky propustnosti a fyzikálních vlastností zkoušených hornin

Hornina	Lokalita	Propustnost		Měrná hmotnost	Objemová hmotnost		Vlhkost	Nasákavost	Pórovitost
		filtrační součinitel $k_{10}$ [m/s]	zařídění dle ČSN 721020		přirozená	vysušená			
				[g/cm <sup>3</sup> ]		[%]			
pískovec	Podhradí	$7,33 \times 10^{-6}$	C	2,61	2,21	2,20	0,25	9,79	15,45
	Hamr na Jezeře	$2,82 \times 10^{-6}$	C	2,63	2,01	2,01	0,04	9,95	23,51
	Hořice	$2,30 \times 10^{-6}$	C	2,65	2,12	2,11	–	6,78	20,38
	Záměl	$1,72 \times 10^{-6}$	C	2,63	2,19	2,18	0,46	8,42	16,98
	Podhorní Újezd	$9,72 \times 10^{-7}$	C	2,64	1,98	1,95	0,33	8,30	26,14
	Kocbeře	$9,25 \times 10^{-7}$	C	2,62	2,27	2,25	0,09	3,79	14,22
	Zámostí	$5,69 \times 10^{-7}$	C	2,63	2,16	2,16	0,14	5,93	17,76
	Kamenné Žehrovice	$4,42 \times 10^{-7}$	C	2,61	2,11	2,11	0,29	8,43	19,21
	Jitřava	$7,07 \times 10^{-8}$	B	2,62	2,18	2,17	0,02	3,98	16,99
opuka	Zeměchy	$2,05 \times 10^{-10}$	A	2,48	1,85	1,83	1,75	13,27	26,02
	slínovec	Vraňany	$2,50 \times 10^{-9}$	B	2,60	2,36	2,22	6,20	9,94
Litoměřice		$3,95 \times 10^{-10}$	A	2,69	2,28	2,25	4,49	–	16,24
vápenec	Úvaly u Valtic	$5,84 \times 10^{-9}$	B	2,65	2,34	2,33	0,07	2,95	12,09
	Litoměřice	$2,82 \times 10^{-10}$	A	2,52	2,42	2,41	1,45	5,24	4,44
	Koněprusy	$2,44 \times 10^{-11}$	A	2,74	2,69	2,68	0,02	0,19	1,97

Tab. 2. Třídění hornin podle ČSN 72 1020

**Vzorky**

Propustnost se sledovala na vzorcích hornin opracovaných do tvaru rotačního válce o průměru i výšce rovné 50 mm s čely kolmými na podélnou osu válce, získaných odvrtním z kusového horninového materiálu. Filtrační koeficient byl určen jako aritmetický průměr výsledků měření na dvou až třech zkušebních tělískách zhotovených pro každý vzorek horniny. K určení ostatních fyzikálních vlastností byly využity úlomky horninového materiálu. Výsledné hodnoty jsou aritmetickým průměrem tří stanovení.

Podle relativní propustnosti	Rozmezí filtračního součinitele [m.s <sup>-1</sup> ]
A – velmi nepropustná	$< 10^{-10}$
B – nepropustná	$10^{-8}$ až $10^{-10}$
C – málo propustná	$10^{-6}$ až $10^{-8}$
D – propustná	$10^{-4}$ až $10^{-6}$
E – velmi propustná	$> 10^{-4}$

### Vyhodnocení zkoušek

Zjištěné hodnoty filtračního součinitele zkoušených hornin a parametry dalších určovaných fyzikálních vlastností jsou uvedeny v tab. 1. Při zařazení hornin do kategorií na základě zjištěného filtračního součinitele  $k_{10}$  se vycházelo z tab. 2, která je součástí normy pro stanovení propustnosti zemin [2], neboť pro horniny obdobná norma není zpracována.

Množství protékající vody v závislosti na čase, které je základní veličinou při zkoušce propustnosti, je pro některé vzorky uvedeno v grafech na obr. 3. Levá část obrázku (a) znázorňuje průběh zkoušky u čtyř vzorků málo propustných až nepropustných křídových pískovců, pravá část obrázku (b) pak u všech tří nepropustných až velmi nepropustných vápenců.

Ze zjištěných výsledků je zřejmé, že většina pískovců spadá do kategorie málo propustných hornin a pouze vzorky z lokalit Jitřava a Zdislava se řadí do kategorie hornin nepropustných. Ostatní horniny – opuka, slínovce a vápence – patří mezi materiály nepropustné a velmi nepropustné. V případě vápenců lze sledovat pokles propustnosti s jejich vzrůstajícím stářím, tj. od terciárního organodetrického vápence z Úval po devonský vápenc z Koněprus. Hodnoty filtračních koeficientů zkoušených hornin se pohybují v mezích uváděných v literatuře, např. [3].

Výsledky byly částečně získány v rámci řešení grantového projektu č. IAA 2119001 GA AV.

### Literatura

- [1] Brůha, P. – Březina, M. – Straková, J. – Trčková, J. – Živor, R.: Laboratory Apparatus to Measure Porous Material Permeability. Acta Montana IRSM AS CR, série A 18 (121), 2001, pp. 75–79.  
 [2] ČSN 72 1020 Laboratorní stanovení propustnosti zemin. ČSN, 1990.  
 [3] Lama, R. D. – Vutukuri, V. S.: Handbook on Mechanical Properties of Rocks. Volume IV, Clausthal, Trans Tech Publications 1978.

### Straková, J. – Trčková, J. – Živor, R.: Measurement of Permeability of Natural Construction Materials

This article presents the classification of sandstones, limestones and cretaceous marly limestones collected from various localities of the Czech Republic. The classification was performed on the basis of the determined filter coefficient. The apparatus for permeability measuring and test methodology is described. The results of the measurements give a picture of utilization of these rocks not only in construction, but also in stonework, sculpture, etc.

### Straková, J. – Trčková, J. – Živor, R.: Messung der Durchlässigkeit natürlicher Baumaterialien

Der Artikel behandelt die Klassierung von an verschiedenen Standorten in Tschechien entnommenen Sandsteinen, Kalksteinen, Mergeln und Tonschiefer auf der Basis des festgesetzten Filterkoeffizienten. Es werden das Gerät für die Messung der Durchlässigkeit sowie auch die Prüfmethode beschrieben. Die Resultate können zur Orientierung bei der Verwendung der erwähnten Gesteine für Bauzwecke, sowie auch für Steinmetzbetriebe, die Bildhauerei, u.ä., dienen.

## • dizertace



### Long-Term Mechanical Behaviour of Anhydritic Rock

Ing. Michal Mühlbauer

Práce se zabývá dlouhodobým sledováním horniny anhydrit. Informace o chování jsou experimentálního původu a popisují chování při jednoosém i trojosém tlaku, a především při dotvarování. Výsledky posloužily pro nalezení parametrů do Lemaitreova konstitutivního modelu pro viskoplastický materiál, jenž se dále rozpracovává.

### Nelineární statická analýza komorových mostů

Ing. Jiří Niewald

Dizertace je zaměřena na matematické modelování skutečného působení komorových mostů z předpjatého betonu při vysokých hladinách namáhání a na stanovení mezní únosnosti těchto konstrukcí. Teorie je dokumentována analýzou významného mostu a ověřena porovnáním s výsledky modelového měření.

### Analýza vertikálních posunů zemského povrchu z hlediska geodetické teorie a praxe

Ing. Jan Řezníček

V dizertaci je zpracováno téma sledování časových změn v prostorové poloze geodetických bodů se zdůrazněním výškové složky. Sledují se změny dlouhodobé, sezónní i změny způsobené přemístěním zemin v blízkosti pozorovaných bodů.

### Magnetic Resonance Imaging Potential Preferential Flow in Structural Soil

Ing. Jana Votrubová

Práce je věnována problematice neinvazivního měření rozložení a pohybu vody v pórovitém prostředí pomocí metod magnetické rezonance a počítačové tomografie. Snímkování a analýza snímků přírodních půdních, popř. horninových vzorků těmito metodami představuje novou experimentální disciplínu. Práce navrhuje metodiku tohoto měření a přístup k podrobné analýze snímků v různých fázích hydraulického experimentu.

1. ročník veřejné  
neanonymní soutěže

**Liapor Beton 2002**

www.liapor.cz

## • diskuse

### K článku

## „Vliv mapových podkladů na kvalitu územních plánů“

Přečetl jsem v čísle 5/2002 Stavebního obzoru zajímavý článek autorky Ing. Jany Pavlíkové „Vliv mapových podkladů na kvalitu územních plánů“ a dovoluji si touto cestou upozornit na některé chyby textu a k obsahu článku přičinít poznámky.

### Za prvé:

Autorka mylně tvrdí, že – cituji „Po právní stránce upravuje tuto problematiku § 21 odst. 6 vyhlášky č. 84/1976 Sb., o územně plánovací dokumentaci, ve znění vyhlášky č. 377/1992 Sb.: ....“ . Uvedená prováděcí vyhláška stavebního zákona č. 84/1976 Sb. ve znění vyhlášky č. 372/1992 Sb. byla zrušena vyhláškou č. 131/1998 Sb. a tato byla dále zrušena dodnes platnou vyhláškou č. 135/2001 Sb.

Text by proto správně měl být asi tento:

„Po právní stránce upravuje tuto problematiku ustanovení § 3 vyhlášky č. 135/2001 Sb., o územně plánovacích podkladech a územně plánovací dokumentaci: „Při pořizování územně plánovací dokumentace a územně plánovacích podkladů se používají státní mapová díla 1) nebo jejich digitální odvozeniny, popřípadě účelově vytvořené mapové podklady poskytované pořizovatelem, kde poznámka pod čarou 1) zní: například nařízení vlády č. 116/1995 Sb., kterým se stanoví geodetické referenční systémy, státní mapová díla závazná na celém území státu a zásady jejich používání.“ „Toto ustanovení dále rozvádí příloha č. 2 citované vyhlášky v částech I. odst. 2 A, resp. II. odst. 2 A, kde jsou jako pro grafickou část územně plánovací dokumentace specifikovány náležitosti hlavního výkresu územního plánu velkého územního celku, resp. hlavního výkresu územního plánu obce.“

### Za druhé:

Autorka mylně tvrdí, že – cituji „Od roku 2001 provádí Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický obnovu katastrálního operátu. Probíhá digitalizace souboru popisných informací, digitalizace souboru geodetických informací (mapových podkladů – polohopisných i výškopisných).“

- 1) Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický jako příspěvková organizace resortu zeměměřičství a katastru nemůže provádět (a neprovádí) to, co autorka v článku píše, protože není orgánem státní správy spravujícím katastr nemovitostí. Katastr nemovitostí spravují územně příslušné katastrální úřady – viz ustanovení § 5 písm. a) zákona č. 359/1992 Sb. v platném znění (poslední úprava č. 186/2001) a návazně katastrální zákon č. 344/1992 Sb. v platném znění a prováděcí vyhláška č. 190/1996 Sb. v platném znění – a provádějí tedy i obnovu katastrálního operátu buď novým měřením katastrálních map, nebo jejich přepracováním digitalizací. Domnívám se, že autorka si mylně vyložila informace poskytnuté někým z vedení výše uvedeného výzkumného ústavu.
- 2) Digitalizaci souboru popisných informací již před několika lety katastrální úřady dokončily, zatímco digitalizace souboru geodetických informací – katastrálních map (pouze polohopisných, nikoli jak autorka tvrdí „mapových podkladů – polohopisných i výškopisných“) byla započata, měla být dokončena podle koncepce Českého

úřadu zeměměřického a katastrálního v roce 2006, ale průběh obnovy katastrálních map digitalizací se opožďuje. A to zejména z důvodu momentálně vrcholící diskuse:

- o závazném referenčním systému stávajících sáhových map měřítka 1 : 2880 vedených v Čechách v gusterberské souřadnicové soustavě a na Moravě a ve Slezsku ve svatoštěpánské souřadnicové soustavě – tedy v referenčních systémech, které nejsou uvedeny jako závazné ve vládním nařízení č. 116/1995 Sb. (o tom se autorka ve své textu také zmiňuje);
- o technologii digitalizace těchto sáhových map.

Dosud používaná technologie digitalizace katastrálních map je po postupném zavedení nové formy Informačního systému katastru nemovitostí (ISKN) v polovině minulého roku nepoužitelná. Konečně a mezi zeměměřiči a i uživateli z řad tvůrců ÚPD a obcí velmi očekávané rozhodnutí o referenčním systému a technologii digitálních katastrálních map je v působnosti Českého úřadu zeměměřického a katastrálního.

### Za třetí:

Autorka uvádí na s. 157 v sedmi odstavcích výhody pořízení informačního systému. Jde sice o zdánlivou drobnost, ale nevědělo by, kdyby také uvedla v literatuře na konci článku zdroj tohoto doslova převzatého textu (propagační materiál jedné nejmenované soukromé zeměměřické společnosti, jejíž jsem byl zaměstnancem a textu autorem).

### Závěrečná poznámka

Podstatný vliv na kvalitu územního plánu má nejen moderní digitální a standardizovaná forma mapových podkladů, ale také jejich obsah z hlediska dostatečně přesného a určitého zobrazení vlastnických hranic pozemků v návaznosti na katastr nemovitostí. Zde se zatím z mnoha objektivních i subjektivních důvodů nepodařilo zeměměřičům a příslušným resortním státním orgánům odstranit nedostatky z období let 1939 až 1992. Více než na dvou třetinách území státu se zobrazují vlastnické hranice na zastaralých katastrálních mapách měřítka 1 : 2880. Tyto mapy mají historický základ v mapách z let 1817 až 1869, které byly několikrát obnovovány a doplňovány mnoha změnami. Přesnost zobrazení vlastnických hranic je v řádech metrů a mnohé hranice pozemků sloučených násilnou socializací do velkých půdních celků v katastrálních mapách převážně zobrazeny ani nejsou. To ovšem neopravňuje tvorbu územně plánovací dokumentace hrubě nerespektující vlastnické vztahy v daném území. Územní plán obce, který bez pádných důvodů a v nepřiměřeném rozsahu ignoruje základní ústavní práva vlastníků nemovitostí, nebude nikdy dobrým nástrojem správy a rozvoje území a bude jen vizitkou špatně odvedené práce tvůrce územního plánu. Setkal jsem se s pří-

pady, kdy takový územní plán (v rukou neosvícených úředníků) zcela znemožňuje vlastníkům nemovitostí s nimi nakládat, přestože vyvlastnění nebyli a ani být nemohou. Není divné, že pro mnoho obyvatel obce se stává jakékoliv řízení se stavebním úřadem a tzv. dotčenými orgány (a také katastrálním úřadem) černou můrou a zbytečnou daní za to, že vlastní nějaké území obce a stavby na něm stojí.

Do diskuse na téma, zda v budoucí právní úpravě zachovat územní plán v podobě dodnes poplatné vzniku stavebního zákona v roce 1976, se zde pouštět nechci, i když si myslím, že stránky časopisu by pro takovou diskusi byly docela dobrou platformou.

*Ing. Petr Polák*

*Autorka děkuje Ing. Polákovi za jeho poznámky k článku „Vliv mapových podkladů na kvalitu územních plánů“ a k jednotlivým bodům uvádí:*

- 1) Souhlasí s opravením mylných citací vyhlášek v článku a uvedení této problematiky na pravou míru.
- 2) Informace o obnově katastrálního operátu a digitalizaci byly čerpány z osobního rozhovoru na VUGTK. Je možné, že došlo k mylnému pochopení poskytnutých informací.
- 3) Výhody pořízení informačního systému byly převzaty z propagačního materiálu soukromé zeměměřičské společnosti, ale autorka si nemyslí, že bylo nutné tento podklad uvést v citacích literatury. Podobných zdrojů bylo použito v článku několik.

*Ing. Jana Pavlíková*

*Slavnostní setkání členů redakční rady  
při příležitosti*

*10. výročí trvání  
časopisu  
STAVEBNÍ OBZOR*

Pamětníky, nové členy rady, zástupce spoluvydavatelů i pozvané hosty přivítal její dlouholetý předseda prof. Ing. Jiří Studnička, DrSc., který společně s děkanem Fakulty stavební ČVUT doc. Ing. Ladislavem Lambojem, CSc., rektorem ČVUT prof. Ing. Jiřím Witzanym, DrSc., za jehož podpory jako tehdejšího děkana časopis vznikl, zhodnotil desetileté úsilí všech zúčastněných o zachování vysoké odborné úrovně a tradice časopisu.

Ve volné debatě pak zúčastnění konstatovali, že se stále ještě nedaří získávat příspěvky od odborníků z praxe, kteří by byli ochotni se o své zkušenosti s čtenáři podělit. Časopis tak má spíše teoretický charakter, který mu ovšem právě praktici vyčítají. Ze zkušeností redakce pak bylo uvedeno, že někteří autoři, obávající se lektorského řízení, proto své příspěvky raději postoupí jinému časopisu, který je otiskne bez posouzení odborníka. Jinou předností finančně nezávislých časopisů je možnost barevného tisku a volné grafické úpravy. Stavební obzor naopak využívá publikační prostor do té nejmenší skulinky, čímž poskytuje čtenářům maximální množství informací.

Neméně závažným tématem diskuse byly příčiny a následky letošních povodní. Členové redakční rady jako zástupci mnoha stavebních oborů doporučili publikování výsledků šetření v chystaných číslech časopisu s návaznou diskusí odborníků.

Na závěr jednání popřáli doc. Lamboj a prof. Witzany redakční radě mnoho úspěchů a poděkovali jí za dosavadní činnost a vynaložené úsilí.



*Snímek ze zasedání redakční rady  
(zleva prof. Ing. Jiří Studnička, DrSc., vedoucí redaktorka Marcela Klímová, děkan Fakulty  
stavební ČVUT doc. Ing. Ladislav Lamboj, CSc.)*

## Území pro automobilku v Kolíně předala Skanska v rekordním čase

Bezesporu jednou z nejvýznamnějších letošních akcí Skanska CZ byla realizace stavby „Příprava území pro stavbu automobilky TPCA v Kolíně.“ Rekordní maraton stavebních prací byl završen předáním zařízení staveniště na konci října.

Investorovi, kterým bylo v první fázi město Kolín a ve druhé samotné společnost Toyota Peugeot Citroën Automobile Czech, předala Skanska dílo, jež po úplném dokončení významně ovlivní nejen život v regionu, ale i nezanedbatelnou část české ekonomiky.

Stavba samotná byla v mnoha směrech rekordní. Cílem nulté etapy, která začala v květnu a skončila v srpnu, bylo přemístit bezprecedentní množství zemní hmoty a upravit terén tak, aby nebyly porušeny hydrogeologické poměry podloží budoucí stavby. Dodavatel musí připravit rovnou plochu na pozemku včetně vnitřního a vnějšího odvodnění, vybudovat 2. fázi retenční nádrže, přeložit stávající vodoteče a odvodňovací kanály, zřídit nové staveništní komunikace a odstranit stávající komunikace vedoucí přes staveniště. Je také nutné odstranit zbytky starých staveb a vyrovnat výškový rozdíl 13 m na ploše 125 ha (cca 800 x

x 1 560 m). „Ještě nikdy nebyl v České republice, a pokud vím ani v Evropě, přemístěn takový objem zemní hmoty za tak krátkou dobu“, říká Ing. Igor Zorád, obchodní ředitel divize Pozemní stavby Čechy Skanska CZ, a. s.

V průběhu výstavby navrhla Skanska několik řešení, která v konečném důsledku znamenala úspory nákladů o téměř 20 %. Například původně plánovaná rovná plocha byla rozdělena na několik menších s různými výškovými úrovněmi, což znamenalo úspory při manipulaci se zeminou.

Náročné zkoušky kvality pak na konci srpna potvrdily připravenost plochy pro stavbu automobilky. Kompletnost a jakost díla potvrdili 5. září přímo na místě podpisem předávacích protokolů starostka města Kolína Zdeňka Majerová a předseda představenstva a generální ředitel Skanska CZ, a. s., Ing. Zdeněk Burda. V následujících týdnech pak Skanska CZ realizovala na ploše připravené pro automobilku také dodávku stavby „Zařízení staveniště“. Hotové dílo převzal investor koncem října 2002. „Vážíme si důvěry investora a jsme velmi rádi, že jsme takto náročnou stavbu mohli předat kvalitně, v požadovaném termínu a s podstatnými úsporami.“, řekl při této příležitosti výkonný ředitel divize Pozemní stavitelství Čechy Ing. Jiří Bažata.

## Třinecká divize Skanska staví v Praze největší administrativní budovu v ČR

Jednou z nejkvalitnějších částí Skanska v České republice je divize Pozemní stavitelství Morava se sídlem v Třinci. K prestižním zakázkám typu výstavby továrny LG Philips Displays v Hranicích nebo kompletní sítě prodejen Kaufland přidali nyní třinečtí další významný úspěch. Divize Pozemní stavitelství Morava této firmy totiž zvítězila v ostře sledovaném tendru na stavbu jedné z největších administrativních budov v České republice – administrativního centra mobilního operátora T-Mobile. Podpisem smlouvy stvrdili tuto významnou zakázku zástupci společností Skanska CZ, a. s., a Sekyra Group, která je developerem stavby. Centrum začala Skanska stavět již v srpnu v Praze-Roztylech a dokončení je plánováno na prosinec roku 2003.

Objemem největší zakázka pro moravskou divizi Skanska CZ, a. s., v tomto roce znamená pro stavebníky z Třince velikou výzvu: „Nejde jen o obyčejnou administrativní budovu. Centrum bude doslova napěchováno složitými komunikačními technologiemi a tomu musíme přizpůsobit celou stavbu již od základů.“ říká Jiří Haluzík, výkonný ředitel divize Pozemní stavitelství Morava.

Nové sídlo mobilního operátora T-Mobile bylo navrženo tak, aby svým vnějším vzhledem i vnitřním vybavením plně respektovalo nejnovější trendy ve výstavbě administrativních budov. Bude tak patřit mezi nejmodernější administrativní centra v České republice. Budova bude mít po dokončení 232 000 m<sup>3</sup> obestavěného prostoru a bude mít kapacitu 1 700 pracovních míst. Celková délka budovy bude 138 m, šířka nadzemní části 50 m, podzemní část je široká 56 m. Fasáda budovy bude kombinací celoskleněné fasády a pásových oken s parapety obloženými hliníkovými nebo keramickými panely. Celková podlahová plocha objektu dosáhne 51 000 m<sup>2</sup> ve třech podzemních a sedmi nadzemních podlažích.



---

# STAVEBNÍ OBZOR

## ročník 11 – 2002

---

### 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 2002

I

- Bartoněk, D.:* Program pro tvorbu kartogramů, 7/216  
– Vyhodnocení vad izolace potrubí Pearsonovou metodou, 9/268
- Bažant, Z. P. – Zhou, Y.:* Proč se zřítily budovy Světového obchodního centra v New Yorku?, 3/69
- Benešovský, P.:* Elektrostatika podlah, 10/296
- Benešovský, P. – Ficker, T.:* Negativní vlivy statické elektřiny v budovách, 6/167
- Beran, V.:* Péče o svěřené území a jeho objekty, 1/19
- Bouška, P. – Rovnaníková, P. – Pavlík, J. – Tydlitát, V. – Černý, R. – Klečka, V.:* Monitorování obsahu volné vody v raném stadiu hydratace cementové pasty pomocí mikrovlnné impulsní metody, 1/11
- Broža, V. – Gabriel, P. – Králík, M.:* Nové prvky v technologii výstavby trojrozměrných hydraulických modelů, 7/193
- Cihlář, Z. – Lamboj, J.:* Spolupůsobení plošného a pilotového základu, 9/250
- Circle, P. – Witzany, J. – Mencl, V. – Pospíšil, P. – Gregerová, M. – Hruška, A. – Zigler, R. – Čejka, T. – Wasserbauer, R.:* Karlův most – hodnocení stavebně technického stavu, 8/225
- Cvinger, Z.:* Implementace robotů do stavební výroby, 7/209
- Čechura, J.:* Zasklívací jednotky se symetricky uspořádanými skleněnými tabulemi pro okenní křídla z hlediska zvukové izolace, 4/97
- Čejka, T. – Karas, J. – Witzany, J.:* Analýza poruch před-sazených prefabrikovaných lodžii panelových domů, 5/129
- Funkční způsobilost a trvanlivost kontaktních zateplovacích systémů panelových domů, 5/145
- Čejka, T. – Witzany, J. – Mencl, V. – Pospíšil, P. – Gregerová, M. – Hruška, A. – Zigler, R. – Circle, P. – Wasserbauer, R.:* Karlův most – hodnocení stavebně technického stavu, 8/225
- Černý, R. – Jiříčková, M.:* Vlhkostní parametry materiálů pro obvodové pláště s vnitřní tepelnou izolací, 2/49
- Vliv hydrofobizačních přísad na vlhkostní vlastnosti cementovápenných malt, 9/264
- Černý, R. – Klečka, T. – Bouška, P. – Rovnaníková, P. – Pavlík, J. – Tydlitát, V.:* Monitorování obsahu volné vody v raném stadiu hydratace cementové pasty pomocí mikrovlnné impulsní metody, 1/11
- Čistý, M. – Skalová, J. – Klementová, E.:* Kalibrácia hydraulického distribučního systému závlahovej sústavy, 9/275
- Decký, M. – Múčka, P.:* Dynamický model príviesného vozíka na meranie pozdĺžnych nerovností vozovky, 2/59
- Ficker, T. – Benešovský, P.:* Negativní vlivy statické elektřiny v budovách, 6/167
- Ficker, T. – Podešvová, Z.:* Difúze vodních par v konstrukcích podle ČSN 73 0540 a DIN 4108, 2/53
- Neizotermická difúze vodních par pórovitými materiály, 3/79
- Některé fyzikální nepřesnosti tradované ve výuce stavební fyziky, 4/124
- Florían, A.:* Parametrická studie náhodného chování ohýbaných průřezů z recyklovaného betonu
- 1. část, 1/7
- 2. část, 9/257

- Fryba, L.*: Únava betonových železničních mostů, 1/3
- Gabriel, P.*: Úprava a obnova příbřežních zón labské vodní cesty, 6/187
- Gabriel, P.* – *Králík, M.* – *Broža, V.*: Nové prvky v technologii výstavby trojrozměrných hydraulických modelů, 7/193
- Gregerová, M.* – *Hruška, A.* – *Witzany, J.* – *Mencl, V.* – *Pospíšil, P.* – *Zigler, R.* – *Čejka, T.* – *Cirkle, P.* – *Wasserbauer, R.*: Karlův most – hodnocení stavebně technického stavu, 8/225
- Hánek, P.*: Möser, M. – Müller, G. – Schlemmer, H. – Werner, H.: Handbuch Ingenieurgeodäsie (rec.), 9/288
- Hánek, P.* – *Kašpar, M.* – *Janžurová, I.*: K ověření parametrů a jakosti totálních stanic, 2/55
- Hánková, D.* – *Štefanová, P.*: Extrémní hydrologické jevy a stoková síť, 9/271
- Holický, M.* – *Marek, P.*: Kombinace zatížení eurokódů v příkladech, 10/299
- Holický, M.* – *Marková, J.*: Vliv alternativních postupů v EN 1990 na spolehlivost konstrukcí, 2/33
- Hošek, J.* – *Litoš, J.*: Vznik trhlin v počátečním stadiu tvrdnutí betonu, 4/108
- Hruška, A.* – *Witzany, J.* – *Mencl, V.* – *Pospíšil, P.* – *Gregerová, M.* – *Zigler, R.* – *Čejka, T.* – *Cirkle, P.* – *Wasserbauer, R.*: Karlův most – hodnocení stavebně technického stavu, 8/225
- Hýčba, M.*: Konzervativní aproximace mezní plochy vysokocyklové časované pevnosti vrubované součásti a její grafické interpretace, 2/42
- Janžurová, I.* – *Hánek, P.* – *Kašpar, M.*: K ověření parametrů a jakosti totálních stanic, 2/55
- Jiránek, M.*: Vyhodnocení účinnosti systémů odvádějících radon z podloží stávajících staveb, 2/45  
– Snížování vlhkosti zdiva aktivním odvětráním podloží, 10/289
- Jiříčková, M.* – *Černý, R.*: Vlhkostní parametry materiálů pro obvodové pláště s vnitřní tepelnou izolací, 2/49  
– Vliv hydrofobizačních přísad na vlhkostní vlastnosti cementovápených malt, 9/264
- Jokl, M.*: Závažnost čistého prostředí – prach a kapalně aerosoly, 6/170
- Karas, J.* – *Witzany, J.* – *Čejka, T.*: Analýza poruch před-sazených prefabrikovaných lodžii panelových domů, 5/129  
– Funkční způsobilost a trvanlivost kontaktních zateplovacích systémů panelových domů, 5/145
- Kašpar, M.* – *Hánek, P.* – *Janžurová, I.*: K ověření parametrů a jakosti totálních stanic, 2/55
- Klečka, T.* – *Bouška, P.* – *Rovnaníková, P.* – *Pavlík, J.* – *Tydlitát, V.* – *Černý, R.*: Monitorování obsahu volné vody v raném stadiu hydratace cementové pasty pomocí mikrovlnné impulsní metody, 1/11
- Klementová, E.* – *Čistý, M.* – *Skalová, J.*: Kalibrácia hydraulického distribučního systému závlahovej sústavy, 9/275
- Kočandrová, M.*: Konvexní mnohostěny ve vyrovnání prostorových sítí, 1/27
- Korouš, J.* – *Marek, P.*: Odhad spolehlivosti prutu vystaveného korozi a určení plánu inspekci metodou SBRA, 6/161
- Korytářová, J.* – *Tichá, A.*: Hodnocení ekonomické výhodnosti nabídek veřejné zakázky, 4/126
- Kos, Z.*: Říha, J.: Posuzování vlivů na životní prostředí – metody pro předběžnou rozhodovací analýzu EIA (rec.), 1/32
- Kos, Z.* – *Košková, R.* – *Sláma, J.*: Předpokládaný vliv změny klimatu na vodohospodářské řešení plnění jam povrchových dolů, 7/206
- Košková, R.* – *Sláma, J.* – *Kos, Z.*: Předpokládaný vliv změny klimatu na vodohospodářské řešení plnění jam povrchových dolů, 7/206
- Koštál, J.*: Laboratorní stanovení filtračního součinitele Na-bentonitů, 9/279
- Kupilík, V.*: Závady zdvojené podlahy vlivem nevhodně upraveného podkladu, 4/104
- Kuráž, V.* – *Matoušek, J.* – *Litoš, J.*: Měření vlhkosti a teploty v průběhu hydratace samozhutnitelného betonu, 6/184
- Králík, J.*: Dřžka dób tepelných tokov cez energetické fasády, 1/16
- Králík, M.* – *Broža, V.* – *Gabriel, P.*: Nové prvky v technologii výstavby trojrozměrných hydraulických modelů, 7/193
- Křístek, V.*: Alternativa ke koncepci spolupůsobících šířek v technických výpočtech komorových nosníků, 7/198
- Lamboj, J.* – *Cihlář, Z.*: Spolupůsobení plošného a pilotového základu, 9/250
- Litoš, J.* – *Hošek, J.*: Vznik trhlin v počátečním stadiu tvrdnutí betonu, 4/108
- Litoš, J.* – *Kuráž, V.* – *Matoušek, J.*: Měření vlhkosti a teploty v průběhu hydratace samozhutnitelného betonu, 6/184
- Lízal, P.* – *Schmid, P.*: Kontaktní zateplovací plášť budov – ověřování vlastností výztužné vrstvy, 10/293
- Lojík, O.* – *Vašek, M.*: Nelineární výpočty ve stavebně inženýrské praxi, 5/135
- Máca, J.* – *Šmilauer, V.*: Optimalizace blokového základu, 3/75
- Makovička, D.*: Únosnost okenních konstrukcí při tlakových účincích výbuchu, 4/100
- Makovička, D.* – *Makovička, D. ml.*: Dynamická odezva a způsob porušování cihelných příček při výbuchu plynu uvnitř budovy, 2/37
- Marek, P.* – *Korouš, J.*: Odhad spolehlivosti prutu vystaveného korozi a určení plánu inspekci metodou SBRA, 6/161
- Marková, J.* – *Holický, M.*: Vliv alternativních postupů v EN 1990 na spolehlivost konstrukcí, 2/33
- Matoušek, J.* – *Litoš, J.* – *Kuráž, V.*: Měření vlhkosti a teploty v průběhu hydratace samozhutnitelného betonu, 6/184
- Mencl, V.* – *Witzany, J.* – *Pospíšil, P.* – *Gregerová, M.* – *Hruška, A.* – *Zigler, R.* – *Čejka, T.* – *Cirkle, P.* – *Wasserbauer, R.*: Karlův most – hodnocení stavebně technického stavu, 8/225
- Menčík, J.*: FMEA – metoda analýzy způsobů a následků poruch, 5/142
- Mikš, A.*: Kašpar, M. – Voštová, V.: Lasery ve stavebnictví (rec.), 5/159



- Múčka, P. – Decký, M.: Dynamický model přívěsného vozíka na meranie pozdĺžnych nerovností vozovky, 2/59
- Musil, F.: Význam vědního oboru technologie staveb v současném stavebnictví, 3/89
- Novák, J.: Laermann, K. H.: Optical Methods in Experimental Solid Mechanics (rec.), 10/298
- Pašek, J. – Witzany, J. – Čejka, T.: Funkční způsobilost a trvanlivost kontaktních zateplovacích systémů panelových domů, 5/145
- Pavlík, J. – Tydlitát, V. – Černý, R. – Klečka, V. – Tydlitát, V. – Rovnaníková, P.: Monitorování obsahu volné vody v raném stadiu hydratace cementové pasty pomocí mikrovlnné impulsní metody, 1/11
- Pavlíková, J.: Vliv mapových podkladů na kvalitu územních plánů, 5/156
- Podešvová, Z. – Ficker, T.: Difúze vodních par v konstrukcích podle ČSN 73 0540 a DIN 4108, 2/53
- Neizotermická difúze vodních par pórovitými materiály, 3/79
- Některé fyzikální nepřesnosti tradované ve výuce stavební fyziky, 4/124
- Polák, P.: K článku „Vliv mapových podkladů na kvalitu územních plánů“, 10/311
- Pospíšil, J. – Štroner, M.: Aparatura pro detekci polohy laserového svazku, 3/93
- Využití digitální kamery k ověření modelů vlivu atmosféry, 9/283
- Pospíšil, P. – Witzany, J. – Mencl, V. – Gregerová, M. – Hruška, A. – Zigler, R. – Čejka, T. – Cirkle, P. – Wasserbauer, R.: Karlův most – hodnocení stavebně technického stavu, 8/225
- Procházka, J.: Měření posunů a přetvoření v objektu Rádia Svobodná Evropa, 4/116
- Pruška, J.: Modelování vlivu svorníkové výstroje na diskontinuitní horninový masiv, 4/111
- Rovnaníková, P. – Pavlík, J. – Tydlitát, V. – Černý, R. – Klečka, T. – Bouška, P.: Monitorování obsahu volné vody v raném stadiu hydratace cementové pasty pomocí mikrovlnné impulsní metody, 1/11
- Schmit, P. – Lízal, P.: Kontaktní zateplovací plášť budov – ověřování vlastností výztužné vrstvy, 10/293
- Schütze, B. – Weber, H.: Měřičko-technické zkušenosti při sanaci budovy Vysoké školy výtvarných umění v Drážďanech, 5/152
- Sikorová, T. – Fillo, L.: Zomrel prof. Ing. Dr. techn. Josef Trokan, 7/219
- Skalová, J. – Klementová, E. – Čistý, M.: Kalibrácia hydraulického distribučního systému závlahovej sústavy, 9/275
- Sláma, J. – Kos, Z. – Košková, R.: Předpokládaný vliv změny klimatu na vodohospodářské řešení plnění jam povrchových dolů, 7/206
- Solař, J.: Dynamické účinky zvonů při zvonění, 3/82
- Straková, J. – Trčková, J. – Živor, R.: Měření propustnosti přírodních stavebních materiálů, 10/307
- Studnička, J.: Eggert, H. – Kauschke, W.: Structural Bearings (rec.), 7/197
- Ramberger, G.: Structural Bearings and Expansion Joints for Bridges (rec.), 9/267
- Towards a Better Built Environment – Innovation, Sustainability, Information Technology, 5/134
- Ocelové mosty – Barcelona, 9/289
- Svoboda, L.: Návrh zrnitých směsí metodou flexibilního simplexu, 3/86
- Šmilauer, V. – Máca, J.: Optimalizace blokového základu, 3/75
- Štefanová, P. – Hánková, D.: Extrémní hydrologické jevy a stoková síť, 9/271
- Štroner, M. – Pospíšil, J.: Aparatura pro detekci polohy laserového svazku, 3/93
- Využití digitální kamery k ověření modelů vlivu atmosféry, 9/283
- Šmejcký, J.: Hauzalová, L. – Šilarová, Š. a kol.: Ploché střechy – navrhování a sanace (rec.), 2/64
- Štibinger, J.: Odhad retenčních schopností povrchových vrstev v krajině pomocí tříparametrické infiltrační rovnice, 7/201
- (tes): König, H. – Erlacher, P.: Neviditelná hrozba – elektromagnetické pole kolem nás (rec.), 6/183
- Tichá, A. – Korytářová, J.: Hodnocení ekonomické výhodnosti nabídek veřejné zakázky, 4/126
- Tomek, A.: Standardní procedury jako neopomenutelný nástroj v řízení stavebního podniku, 1/24
- Trčková, J. – Živor, R. – Straková, J.: Měření propustnosti přírodních stavebních materiálů, 10/307
- Tydlitát, V. – Černý, R. – Klečka, V. – Rovnaníková, P. – Pavlík, J.: Monitorování obsahu volné vody v raném stadiu hydratace cementové pasty pomocí mikrovlnné impulsní metody, 1/11
- Valentová, J. – Valenta, P.: Vliv výstavby tunelů Mrázovka na režim proudění podzemní vody, 6/178
- Vašek, M. – Lojík, O.: Nelineární výpočty ve stavebně inženýrské praxi, 5/135
- Vondrák, J.: Vytyčování přímek pomocí zrcadlově symetrické Fresnelovy difrakce, 7/212
- Vraný, T.: Vliv krytiny na chování tenkostěnného ocelového nosníku, 3/65
- Wasserbauer, R. – Witzany, J. – Mencl, V. – Pospíšil, P. – Gregerová, M. – Hruška, A. – Zigler, R. – Čejka, T. – Cirkle, P.: Karlův most – hodnocení stavebně technického stavu, 8/225
- Weber, H. – Schütze, B.: Měřičko-technické zkušenosti při sanaci budovy Vysoké školy výtvarných umění v Drážďanech, 5/152
- Witzany, J. – Čejka, T. – Karas, J.: Analýza poruch před-sazených prefabrikovaných lodžii panelových domů, 5/129
- Funkční způsobilost a trvanlivost kontaktních zateplovacích systémů panelových domů, 5/145
- Witzany, J. – Mencl, V. – Pospíšil, P. – Gregerová, M. – Hruška, A. – Zigler, R. – Čejka, T. – Cirkle, P. – Wasserbauer, R.: Karlův most – hodnocení stavebně technického stavu, 8/225
- Zhou, Y. – Bažant, Z. P.: Proč se zřítily budovy Světového obchodního centra v New Yorku?, 3/69
- Zigler, R. – Witzany, J. – Mencl, V. – Pospíšil, P. – Gregerová, M. – Hruška, A. – Čejka, T. – Cirkle, P. – Wasserbauer, R.: Karlův most – hodnocení stavebně technického stavu, 8/225
- Živor, R. – Straková, J. – Trčková, J.: Měření propustnosti přírodních stavebních materiálů, 10/307

### ■ matematika

Kombinace zatížení eurokódů v příkladech (*Holický, M.*), 10/299

Konvexní mnohostěny ve vyrovnání prostorových sítí (*Kočandrová, M.*), 1/27

### ■ fyzika

Některé fyzikální nepřesnosti tradované ve výuce stavební fyziky (*Ficker, T. – Podešvová, Z.*), 4/124

Snižování vlhkosti zdíva aktivním odvětráním podloží (*Jiránek, M.*), 10/289

### ■ technologie staveb

Implementace robotů do stavební výroby (*Cvinger, Z.*), 7/209

Kontaktní zateplovací plášť budov – ověřování vlastností výztužné vrstvy (*Lízal, P. – Schmid, P.*), 10/293

Význam vědního oboru technologie staveb v současném stavebnictví (*Musil, F.*), 3/89

### ■ stavební hmoty

Monitorování obsahu volné vody v raném stadiu hydratace cementové pasty pomocí mikrovlnné impulsní metody (*Pavlík, J. – Tydlitát, V. – Černý, R. – Klečka, T. – Bouška, P. – Rovnaníková, P.*), 1/11

Měření vlhkosti a teploty v průběhu hydratace samozhutnitelného betonu (*Kuráž, V. – Matoušek, J. – Litoš, J.*), 6/184

Návrh zrnitých směsí metodou flexibilního simplexu (*Svoboda, L.*), 3/86

Neizotermická difúze vodních par pórovitými materiály (*Ficker, T. – Podešvová, Z.*), 3/79

Vlhkostní parametry materiálů pro obvodové pláště s vnitřní tepelnou izolací (*Jiříčková, M. – Černý, R.*), 2/49

Vliv hydrofobizačních přísad na vlhkostní vlastnosti cementových malt (*Jiříčková, M. – Černý, R.*), 9/264

Laboratorní stanovení filtračního součinitele Na-bentonitů (*Koštál, J.*), 9/279

### ■ konstrukce pozemních staveb

Analýza poruch představených prefabrikovaných lodžii panelových domů (*Witzany, J. – Čejka, T. – Karas, J.*), 5/129

Difúze vodních par v konstrukcích podle ČSN 73 0540 a DIN 4108 (*Ficker, T. – Podešvová, Z.*), 2/53

Délka dob tepelných tokov cez energetické fasády (*Králík, J.*), 1/16

Elektrostatika podlah (*Benešovský, P.*), 10/296

Funkční způsobilost a trvanlivost kontaktních zateplovacích systémů panelových domů (*Witzany, J. – Čejka, T. – Pašek, J.*), 5/145

Únosnost okenních konstrukcí při tlakových účincích výbuchu (*Makovička, D.*), 4/100

Vyhodnocení účinnosti systémů odvádějících radon z podloží stávajících staveb (*Jiránek, M.*), 2/45

Zasklívací jednotky se symetricky uspořádanými skleněnými tabulemi pro okenní křídla z hlediska zvukové izolace (*Čechura, J.*), 4/97

Závady zdvojené podlahy vlivem nevhodně upraveného podkladu (*Kupčík, V.*), 4/104

### ■ technická zařízení budov

Negativní vlivy statické elektřiny v budovách (*Ficker, T. – Benešovský, P.*), 6/167

Měření propustnosti přírodních stavebních materiálů (*Straková, J. – Trčková, J. – Živor, R.*), 10/307

Závažnost čistého prostředí – prach a kapalně aerosoly (*Jokl, M.*), 6/170

### ■ ekonomika a řízení ve stavebnictví

Hodnocení ekonomické výhodnosti nabídek veřejné zakázky (*Korytářová, J. – Tichá, A.*), 4/126

Péče o svěřené území a jeho objekty, (*Beran, V.*), 1/19

Standardní procedury jako neopomenutelný nástroj v řízení stavebního podniku, (*Tomek, A.*), 1/24

### ■ stavební mechanika

Alternativa ke koncepci spolupůsobících šířek v technických výpočtech komorových nosníků (*Křístek, V.*), 7/198

Dynamická odezva a způsob porušování cihelných příček při výbuchu plynu uvnitř budovy (*Makovička, D. – Makovička, D. ml.*), 2/37

Dynamické účinky zvonů při zvonění (*Solař, J.*), 3/82

FMEA – metoda analýzy způsobů a následků poruch (*Menčík, J.*), 5/142

Nelineární výpočty ve stavebně inženýrské praxi (*Vašek, M. – Lojík, O.*), 5/135

Odhad spolehlivosti prutu vystaveného korozi a určení plánu inspekci metodou SBRA (*Korouš, J. – Marek, P.*), 6/161

Optimalizace blokového základu (*Šmilauer, V. – Máca, J.*), 3/75

Vliv alternativních postupů v EN 1990 na spolehlivost konstrukcí (*Holický, M. – Marková, J.*), 2/33

### ■ betonové konstrukce a mosty

Karlův most – hodnocení stavebně technického stavu (*Witzany, J. – Mencl, V. – Pospíšil, P. – Gregerová, M. – Hruška, A. – Zígler, R. – Čejka, T. – Cirkle, P. – Wasserbauer, R.*), 8/225

Parametrická studie náhodného chování ohýbaných průřezů z recyklovaného betonu (*Florian, A.*)

– 1. část, 1/7

– 2. část, 9/257

Únava betonových železničních mostů (*Fryba, L.*), 1/3

Vznik trhlin v počátečním stadiu tvrdnutí betonu (*Hošek, J. – Litoš, J.*), 4/108

### ■ ocelové konstrukce

Konzervativní aproximace mezní plochy vysokocyklové časované pevnosti vrubované součásti a její grafické interpretace (*Hýčá, M.*), 2/42

Proč se zřítily budovy Světového obchodního centra v New Yorku? (*Bažant, Z. P. – Zhou, Y.*), 3/69

Vliv krytiny na chování tenkostěnného ocelového nosníku (*Vraný, T.*), 3/65

Vyhodnocení vad izolace potrubí Pearsonovou metodou (*Bartoněk, D.*), 9/268

### ■ geotechnika

Modelování vlivu svorníkové výstroje na diskontinuitní horninový masiv (*Pruška, J.*), 4/111

Spolupůsobení plošného a pilotového základu (*Lamboj, J. – Cihlář, Z.*), 9/250

Vliv výstavby tunelů Mrázovka na režim proudění podzemní vody (*Valentová, J. – Valenta, P.*), 6/178

### ■ silniční stavby

Dynamický model prívěsného vozíka na meranie pozdĺžnych nerovností vozovky (*Múčka, P. – Decký, M.*), 2/59

### ■ hydraulika a hydrologie

Extrémní hydrologické jevy a stoková síť (*Hánková, D. – Štefanová, P.*), 9/271

Kalibrácia hydraulického distribučného systému závlahovej sústavy (*Čistý, M. – Skalová, J. – Klementová, E.*), 9/275

### ■ hydrotechnika

Nové prvky v technologii výstavby trojrozměrných hydraulických modelů (*Broža, V. – Gabriel, P. – Králík, M.*), 7/193

### ■ hydromeliorace a krajinné inženýrství

Odhad retenčních schopností povrchových vrstev v krajině pomocí tříparametrické infiltrační rovnice (*Štibinger, J.*), 7/201

Předpokládaný vliv změny klimatu na vodohospodářské řešení plnění jam povrchových dolů (*Košková, R. – Sláma, J. – Kos, Z.*), 7/206

Úprava a obnova příbřežních zón labské vodní cesty (*Gabriel, P.*), 6/187

### ■ geodezie a pozemkové úpravy

K ověření parametrů a jakosti totálních stanic (*Hánek, P. – Kašpar, M. – Janžurová, I.*), 2/55

Aparatura pro detekci polohy laserového svazku (*Štroner, M. – Pospíšil, J.*), 3/93

Měření posunů a přetvoření v objektu Rádía Svobodná Evropa (*Procházka, J.*), 4/116

Měřičko-technické zkušenosti při sanaci budovy Vysoké školy výtvarných umění v Drážďanech (*Schütze, B. – Weber, H.*), 5/152

Vliv mapových podkladů na kvalitu územních plánů (*Pavlíková, J.*), 5/156

Vytyčování přímek pomocí zrcadlově symetrické Fresnelovy difrakce (*Vondrák, J.*), 7/212

Program pro tvorbu kartogramů (*Bartoněk, D.*), 7/216

Využití digitální kamery k ověření modelů vlivu atmosféry (*Pospíšil, J. – Štroner, M.*), 9/283

### ■ diskuse

K článku „Vliv mapových podkladů na kvalitu územních plánů“ (*Polák, P.*), 10/311

### ■ dizertace

1/23, 2/58, 3/74, 3/85, 3/96, 4/103, 4/123, 5/134, 6/166, 7/197, 9/263, 9/289, 10/310

### ■ ČKAIT

Příprava na autorizační zkoušku stavebního inženýra a technika (*Báčová, M.*), 7/221

Malá ediční řada velkých osobností českého stavitelství (*Báčová, M.*), 8/256

### ■ Fakulta stavební ČVUT

Nová posluchárna pro studenty (*Klímová, M.*), 9/290

### ■ konference

Měď v architektuře (–r–), 2/48

Pokroky v technologii betonu (–r–), 2/52

Obnova památek 2002 (–r–), 3/85

geodézie a kartografie v dopravě 2002 (–r–), 5/151

Ingeo 2002 (–r–), 6/186, 7/224

Techsta 2002 (–r–), 6/191, 7/215

CIREC, 7/215

EEBW 2002, 7/220

EEWB: Energie efektivně 2002, 8/255

Konference doktorského studia VUT v Brně, 10/VI

### ■ kongresy

Euroasfalt & Eurobitumene, 7/197

### ■ kurzy

Geotechnické inženýrství (–r–), 1/31, 3/81

### ■ literatura

Technický slovník naučný – 1. svazek (–r–), 1/6

Ondřejchová, V. – Vobrátilová, Z.: Chci stavět (–r–), 3/88

Technický slovník naučný – 2. svazek (–r–), 7/205

Möser, M. – Müller, G. – Schlemmer, H. – Werner, H.: Handbuch Ingenieurgeodäsie (*Hánek, P.*), 9/288

### ■ osobní zprávy

Zomrel prof. Ing. Dr. techn. Josef Trokan (*Sikorová, T. – Fillo, L.*), 7/219

### ■ public relations

Skanska CZ, a.s., se rozvíjí, značka IPS končí, 8/255

Skanska Prefa předběhla konkurenci ve vývoji zdvojené stěny, 9/267

Území pro automobilku v Kolíně předala Skanska v rekordním čase, 10/313

### ■ recenze

Říha, J.: Posuzování vlivů na životní prostředí – metody pro předběžnou rozhodovací analýzu EIA (*Kos, Z.*), 1/32

Hanzalová, L. – Šilarová, Š. a kol.: Ploché střechy – navrhování a sanace (*Šmejcký, J.*), 2/64

Kašpar, M. – Voštová, V.: Lasery ve stavebnictví (*Mikš, A.*), 5/159

König, H. – Erlacher, P.: Neviditelná hrozba – elektromagnetické pole kolem nás (*tes*), 6/183

Eggert, H. – Kauschke, W.: Structural Bearings (*Studnička, J.*), 7/197

Ramberger, G.: Structural Bearings and Expansion Joints for Bridges (*Studnička, J.*), 9/267

Learmann, K. H.: Optical Methods in Experimental Solid Mechanics (*Novák, J.*), 10/298

### ■ semináře

Ocelové konstrukce (–r–), 2/41, 3/92, 5/141

### ■ soutěže

O nejlepší rodinný dům s prostory pro drobné podnikání z cihlového systému POROTHERM 2002 (–r–), 3/85

Nový domov roku 2001 (–r–), 4/110

Liapor Beton 2002, 10/310

### ■ symposia

Towards a Better Built Environment – Innovation, Sustainability, Information Technology (*Studnička, J.*), 5/134

Ocelové mosty – Barcelona (*Studnička, J.*), 9/289

### ■ technologie

SENDVIX – vícevrstvé zdivo (–r–), 4/123

### ■ veletrhy

IBF – Stavební veletrhy Brno (–r–), 1/29

IBF – světový standard v českém prostředí (–r–), 3/74

Aqua-therm Praha 2001 (–r–), 3/78

IBF – doprovodný program (–r–), 4/125

Denkmal (–r–), 6/166

MIPIM 2002 (–r–), 6/192

Fondex, Welding, Simet, Textec, 7/211

BAU 2003, 10/292

### ■ výročí

K pětáosmdesátinám doc. Ing. arch. Josefa Švastala, DrSc., (*Štencel, M.*), 9/274

### ■ výstavy

Švédská architektura 20. století (–r–), 7/223

elec 2002 (–r–), 9/267

### ■ zprávy

Výstavba BB Centra pokračuje (–r–), 1/15

Palác Flora (–r–), 1/23

Národní technická knihovna (–r–), 1/30

Dřevo ve stavebnictví (–r–), 2/58

Palác Thunovských rekonstruován (–r–), 2/64

Výtahy a výtahářské firmy na internetu (–r–), 4/99

Administrativní centrum Florenc (–r–), 4/125

Vývoj trhu s kancelářskými prostory v Praze (–r–), 4/128

Dálnice D1, stavba 0133 Vyškov – Modřice (–r–), 5/151

Z historie ČVUT (–r–), 5/160

Prorážka tunelu Mrázovka (–r–), 6/169

Nová podoba náměstí Republiky (–r–), 6/177

Výstavba automobilky v Kolíně (–r–), 7/186

Data pro oceňování staveb zdarma na internetu (–r–), 7/205

Nová budova ČSA dokončena (–r–), 7/208

Dostavba kampusu VUT v Brně (–r–), 7/220

Hrubá stavba Danube House dokončena (–r–), 7/222

Dějiny zeměměřičtví na webu (*Hánek, P.*), 9/285



Vysoké učení technické v Brně  
FAKULTA STAVEBNÍ  
Ústav soudního inženýrství  
Ústav stavební ekonomiky a řízení



### www.usi.cz/konference

Ústav stavební ekonomiky a řízení na Fakultě stavební VUT v Brně a Ústav soudního inženýrství VUT v Brně pořádají ve dnech 12. a 13. února 2003 již v pořadí pátou mezinárodní odbornou konferenci doktorského studia. Stejně jako v minulých letech převzal záštitu děkan Fakulty stavební VUT v Brně doc. Ing. Jaroslav Puchřík, CSc., odborným garantem je doc. Ing. Bohumil Puchýř, CSc., proděkan pro doktorské studium této fakulty. Cílem konference je podpora doktorských studijních programů na vysokých školách s možností prezentace a výměny odborných poznatků vědeckových projektů, které probíhají na jednotlivých vysokých školách a univerzitách v ČR, ale i v zahraničí a komplexně řeší problematiku stavebnictví a oborů se stavebnictvím úzce souvisejících.

#### Sekce

- pozemní stavitelství
- konstrukce a dopravní stavby
- vodní hospodářství a vodní stavby
- fyzikální a stavebně materiálové inženýrství
- ekonomika a řízení stavebnictví
- geodézie a kartografie
- soudní inženýrství

Vysoká úroveň minulých ročníků je zárukou, že i letošní, jubilejní pátý ročník, nebude výjimkou. Předpokládá se hojná účast studentů doktorských studijních programů jak z vysokých škol a univerzit z České republiky, tak i ze zahraničí, především ze Slovenska, Polska, Rakouska, Německa, Francie a dalších. Sborník bude členěn podle zaměření odborných sekcí a jeho součástí bude CD se všemi publikovanými příspěvky.

**Informace: Ing. Pavel Kocanda, e-mail: kocanda.p@fce.vutbr.cz, tel: +420-5-41148133, fax: +420-5-41148632, Ing. Leona Grycmanová, e-mail: grycmanova.l@fce.vutbr.cz, tel: +420-5-41146008, fax: +420-5-43211061**