

# STAVEBNÍ OBZOR

## ROČNÍK 16 ČÍSLO 01/2007

### Navigace v dokumentu

#### OBSAH

Kotas, P. – Malec, J. – Pešata, J. – Ryjáček, P. – Vítek, P. – Polák, M. <b>Nová lávka pro chodce v Praze-Barrandově</b>	<b>2</b>
Škramlík, J. – Moudrý, I. <b>Sledování transportu vlhkosti elektromagnetickou mikrovlnnou metodou</b>	<b>9</b>
Kuklík, P. – Šejnoha, M. <b>Interakce piloty se základovou deskou</b>	<b>14</b>
Bubeníček, M. – Záleský, J. <b>Základní kritéria a doporučení pro sledování pórových tlaků ve svazích</b>	<b>20</b>
Švec, M. – Vorel, V. <b>Geodetické monitorování staveb a metody měření posunů</b>	<b>25</b>

**1 • 2007**

**ročník 16**

# 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**

Kotas, P. – Malec, J. – Pešata, J.  
– Ryjáček, P. – Vítek, P. – Polák, M.

**Nová lávka pro chodce  
v Praze-Barrandově . . . . . 2**

Škramlik, J. – Moudrý, I.

**Sledování transportu  
vlhkosti elektromagnetickou  
mikrovlnnou  
metodou . . . . . 9**

Kuklík, P. – Šejnoha, M.

**Interakce piloty  
se základovou  
deskou . . . . . 14**

Bubeníček, M. – Záleský, J.

**Základní kritéria  
a doporučení  
pro sledování  
pórových tlaků  
ve svazích . . . . . 20**

Švec, M. – Vorel, V.

**Geodetické  
monitorování  
staveb a metody  
měření  
posunů . . . . . 25**

**CONTENT**

Kotas, P. – Malec, J. – Pešata, J.  
– Ryjáček, P. – Vítek, P. – Polák, M.

**A Pedestrian Bridge in  
Prague-Barrandov . . . . . 2**

Škramlik, J. – Moudrý, I.

**Monitoring of Moisture  
Transport with the Electro-  
magnetic Microwave  
Method . . . . . 9**

Kuklík, P. – Šejnoha, M.

**Interaction of the Pile  
and the Foundation  
Slab . . . . . 14**

Bubeníček, M. – Záleský, J.

**Fundamental Criteria  
and Recommendations  
for Monitoring  
of Pore Pressures  
in Slopes . . . . . 20**

Švec, M. – Vorel, V.

**Geodetical Monitoring  
of Constructions  
and Methods  
of Measuring  
Shifts . . . . . 25**

**INHALT**

Kotas, P. – Malec, J. – Pešata, J.  
– Ryjáček, P. – Vítek, P. – Polák, M.

**Die neue Fußgängerbrücke  
in Prag-Barrandov . . . . . 2**

Škramlik, J. – Moudrý, I.

**Beobachtung  
des Feuchtigkeitstransports  
mit der elektromagnetischen  
Mikrowellen-Methode . . . . . 9**

Kuklík, P. – Šejnoha, M.

**Die Interaktionen  
eines Pfahls mit  
der Grundplatte . . . . . 14**

Bubeníček, M. – Záleský, J.

**Grundlegende Kriterien  
und Empfehlungen  
für die Aufzeichnung  
von Porendrücken in Hängen  
und Böschungen . . . . . 20**

Švec, M. – Vorel, V.

**Geodätische Beobachtung  
von Bauwerken  
und Methoden  
bei der Messung  
von Verschiebungen . . . . . 25**

**REDAKČNÍ RADA****Předseda:**

prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.

**Místopředseda:**

doc. Ing. Alois MATERNA, CSc.

**Členové:**

doc. Ing. Pavel HÁNEK, CSc.

doc. Ing. Vladimír JELÍNEK, CSc.

Ing. Jiří KALA, Ph. D.

doc. Ing. J. KORYTÁROVÁ, Ph. D.

Ing. Karel KUBEČKA

doc. Ing. Ladislav LAMBOJ, CSc.

Ing. Libor MATĚJKA, CSc., Ph. D.

doc. Ing. Jaroslav NOVÁK, CSc.

doc. Ing. Luděk NOVÁK, CSc.

doc. Ing. Miloslav NOVOTNÝ, CSc.

doc. Ing. Miloslav PAVLÍK, CSc.

prof. Ing. J. PROCHÁZKA, CSc.

Ing. Vlastimil ROJÍK

Ing. Karel SVOBODA

doc. Dr. Ing. Miloslav ŠLEZINGR

Ing. Milan ŠMAK, Ph. D.

Ing. Ludvík VĚBR, CSc.

doc. Ing. Josef VITÁSEK, CSc.

prof. Ing. Jiří WITZANY, DrSc.

Ing. Renata ZDAŘILOVÁ

**STAVEBNÍ OBZOR**, odborný měsíčník, vydává  
Fakulta stavební ČVUT Praha společně s Fakultou  
stavební VUT Brno, Fakultou stavební VŠB TU  
Ostrava, Českou komorou autorizovaných inženýrů  
a techniků činných ve výstavbě a Českým svazem  
stavebních inženýrů. Řídí redakční rada, vedoucí  
redaktorka Marcela Klímová. Adresa redakce:  
Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel./fax: 224 354 596,  
klimova@fsv.cvut.cz, http://web.fsv.cvut.cz/obzor.  
Vychází každý měsíc kromě července a srpna,  
cena za výtisk je 40 Kč včetně DPH (+ poštovné a  
balné). Objednávky odběru i reklamace přijímá  
Ing. Milan Gattringer, MG DTP, Borovanská 3388, 143 00  
Praha 4, tel./fax: 241 770 220, e-mail: mgdtp@volny.cz.  
Odběr je možné zrušit až po vyčerpání zaplace-  
ného předplatného. Inzerce adresujte redakci. Tech-  
nická redakce a realizace: Ing. Milan Gattringer. Po-  
dávání novinových zásilek povoleno Ředitelstvím  
pošt Praha, č. j. NP 144/1994, ze dne 21. 10. 1994.  
Do sazby 7. 12. 2006. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

**INDEX 47 755, ISSN 1210-4027**

# STAVEBNÍ OBZOR

ROČNÍK 16

ČÍSLO 1/2007

## Nová lávka pro chodce v Praze-Barrandově

*doc. Ing. arch. Patrik KOTAS*

*Ing. arch. Jan MALEC*

*Ing. arch. Patrik Kotas – Atelier designu a architektury*

*Ing. Jan PEŠATA*

*Metroprojekt Praha, a. s.*

*Ing. Pavel RYJÁČEK, Ph. D.*

*VPÚ DECO PRAHA, a. s.*

*Dr. Ing. Petr VÍTEK*

*Metrostav, a. s.*

*doc. Ing. Michal POLÁK, CSc.*

*ČVUT – Fakulta stavební, Praha*

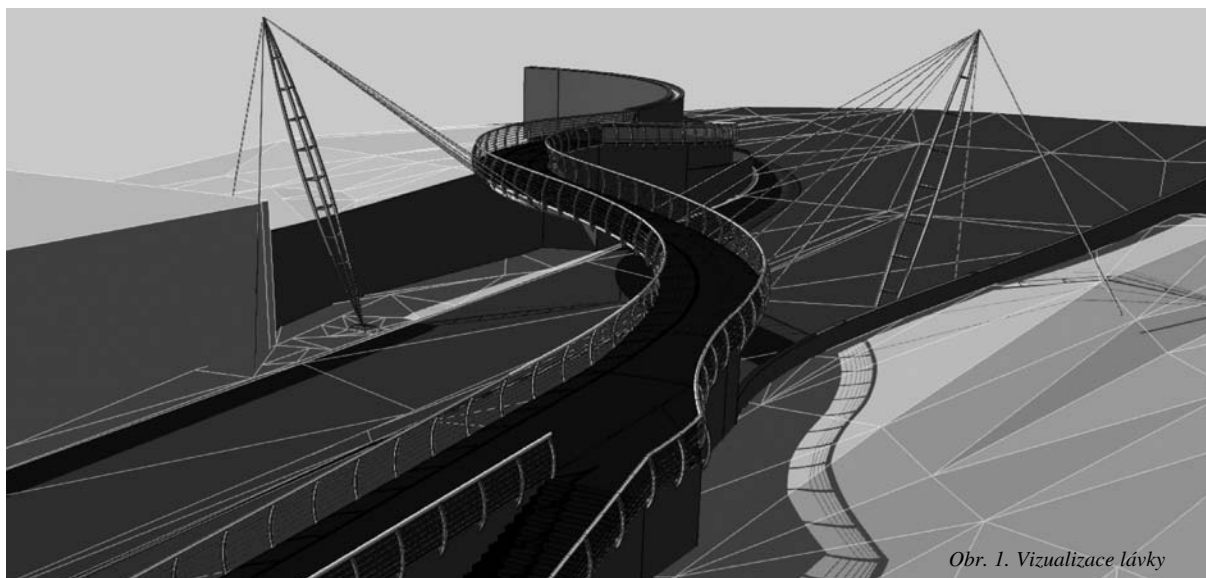
Nově postavená lávka v Praze-Barrandově propojuje dvě obytné oblasti, dosud rozdělené kapacitní komunikací K Barrandovu. Ocelová lávka je tvořena trubkovým hlavním nosníkem, který je zavěšen na dva šikmé pylony. Na lávku navazují oboustranná železobetonová předpolí. Pro zajištění dostatečného komfortu pro chodce byly na lávku umístěny dva pasivní dynamické pohlcovače kmitání.

### Úvod

Projekt lávky pro chodce přes ulici K Barrandovu doplňuje a navazuje na již realizovaný projekt tramvajové trati Hlubčepy – Barrandov. Lávka logicky navazuje na nově vybu-

dovanou pěší osu procházející zastávkou tramvaje K Barrandovu a spojuje toto lokální centrum s dosud odříznutou částí sídliště kolem ulic Slavínského a Geologické na druhé straně rychlostní spojky K Barrandovu (*obr. 1*). Tím je chodci umožněno dostat se bezpečně z jedné strany sídliště na druhou, aniž by musel úrovněově překonávat frekventovanou komunikaci.

Na straně směrem k zastávce tramvaje K Barrandovu vychází nové předpolí z osy již existující lávky pro chodce přes zastávku tramvaje. Následně zatáčí obloukem vpravo a stoupá podél ulice K Barrandovu až k ocelové lávce. Chodec na předpolí překonává výškový rozdíl přibližně 11 m. V těsné blízkosti před lávkou je do předpolí napojeno schodiště parabolického půdorysu, přicházející ze strany od parkoviště. Toto schodiště je nabídkou i pro chodce, kteří se pohybují po přechodu přes ulici K Barrandovu. Není to pro ně varianta nejkratší, ale je výrazně bezpečnější. Na vrcholu stoupání na



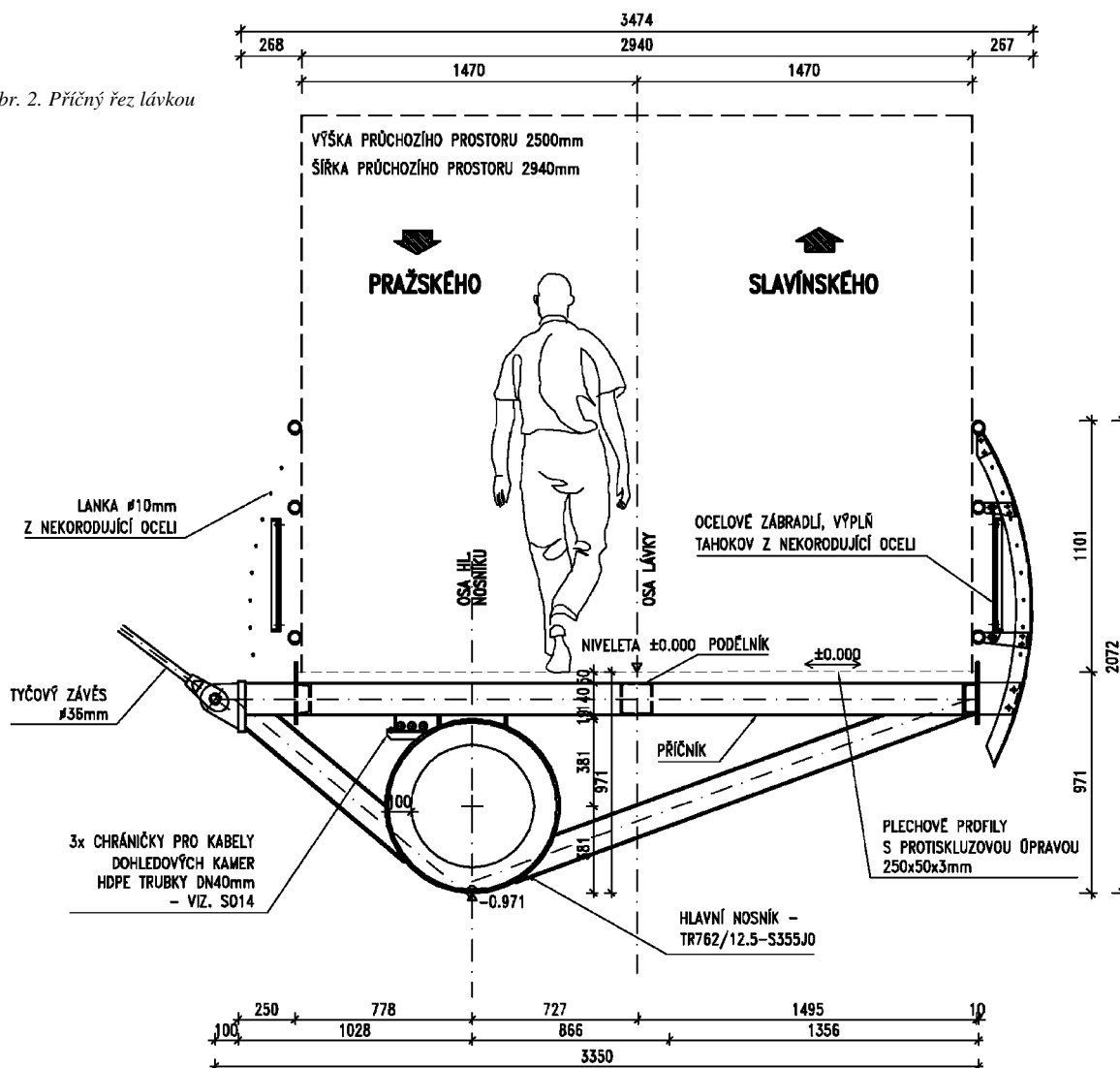
*Obr. 1. Vizualizace lávky*

severní předpolí navazuje zavěšená ocelová lávka půdorysného tvaru písmene S. Na straně k ulici Slavínského klesá jižní předpolí opět obloukem, a využívá tak volného prostoru mezi komunikací (ulice K Barrandovu a Slavínského) a objektem protihlukové stěny, sklon této části je 10 %. Celá konstrukce je tak řešena bezbariérovým způsobem. Ocelová konstrukce lávky je nasvícena osvětlením akcentujícím její tvar a tvořícím působivou noční scénu pro chodce i motoristy. Součástí projektu je včlenění zeleně do řešeného území, úprava protihlukových bariér a vegetační úpravy okolo betonových předpolí lávky.

kteří tvoří okopový plech, podporu pro mostovku, a slouží rovněž k připojení zábradlí (obr. 2). Mostovka je z plechových děrovaných profilů Lichtgitter C250 x 50 x 3 mm s protiskluzovou úpravou. Děrované profily umožňují odvod vody a mají dostatečné protiskluzové vlastnosti. Jsou kladeny rovnoběžně s osou uložení a seřezány na koncích na požadovanou délku a šikmost.

Na obou koncích nad opěrami jsou kolmo k hlavnímu nosníku přivařeny koncové příčníky komorového průřezu šířky 400 mm a proměnné výšky. V nich jsou přivařeny styčnickové desky pro čepová ložiska, čepy průměru 70 mm jsou vy-

Obr. 2. Příčný řez lávkou



### Konstrukční řešení

Lávka je navržena jako prostorová předpjatá ocelová konstrukce o rozpětí 45,13 m s šířkou průchozího prostoru 2,94 m. Nosná konstrukce je navržena s otevřenou mostovkou s příčníky, podélníky a příhradovým ztužením, s ocelovým hlavním nosníkem a lehkou členěnou mostovkou. Hlavní nosník je tvořen trubkou TR762 x 12,5, zakřivenou polygonálně do tvaru písmene S. K němu jsou po cca 3 m vějířovitě přivařeny příčníky ze čtvercové trubky TR140 x 10 mm. K příčníkům jsou připojeny i podélníky a ztužení, které podpírají mostovku a ztužují konstrukci. Na obou okrajích je navržen lemovací nosník, složený z plechu P10 a průřezu UPN140,

robeny z nekorodující oceli vyšší pevnosti. Ve třetinách rozpětí lávky jsou navrženy otvory pro kontrolu a rektifikaci pohlcovačů kmitání.

Hlavní nosník je podpírán na koncích na opěrách, ke kterým je pevně připojen (není umožněna dilatace), a pomocí vějířovitě uspořádaných tyčových závěsů Ø 36 mm, připojených k příčníkům mostovky. Závěsy jsou připojeny na dva protisměrné šikmé pylony a přes zpětný závěs Ø 85 mm zakončeny do základového bloku.

Tyčové závěsy jsou připojeny na konstrukci čepovými spoji. Na lávce jsou použity dva typy tyčových závěsů Macalloy, závěsy lávky Ø 36 mm, spojovací nosnou konstrukci

lávky s vrcholem pylonu (celkem 10 kusů) a zpětný závěs  $\varnothing 85$  mm (2 kusy), zakotvující vrchol pylonu k základovému bloku. Všechny obsahují napínací a rektifikační prvek a tenzometry pro měření předpětí při montáži i pro následnou kontrolu.

Pylony délky 13,8 m jsou tvořeny lehkou trubkovou konstrukcí typu Vierendeelova nosníku. Tři pásy jsou navrženy z trubek TR 168,3 x 10 a jsou spojeny vodorovnými příčlemi TR82 x 10. Pylon se rozšiřuje směrem do jeho středu. Vzájemná vzdálenost pásů je ve středu 620 mm. Na horním konci pylonu je navržen vrchlík, který umožňuje provést složité napojení pásů, a 6 styčnickových plechů pro čepy táhel.

Opěry a pylony lávky jsou založeny hlubinně na velko průměrových pilotách  $\varnothing 900$  mm, vrtaných po sejmutí ornice z terénu. Zakládání komplikovala přítomnost řady inženýrských sítí a masivní základy stávajících protihlukových stěn.

Pro zajištění komfortu chůze byly do hlavního nosníku umístěny dva pasivní dynamické pohlcovače kmitání firmy GERB, které podstatně omezují vibrace lávky způsobené chodci. Konstrukce pohlcovačů je tvořena ocelovým závažím, které je na nosné konstrukci lávky uloženo pružně pomocí svislých pružin a viskózních tlumičů. Kontrola pohlcovačů nebo dodatečná rektifikace je možná otvory na horní straně trubky po odmontování části podlahy.

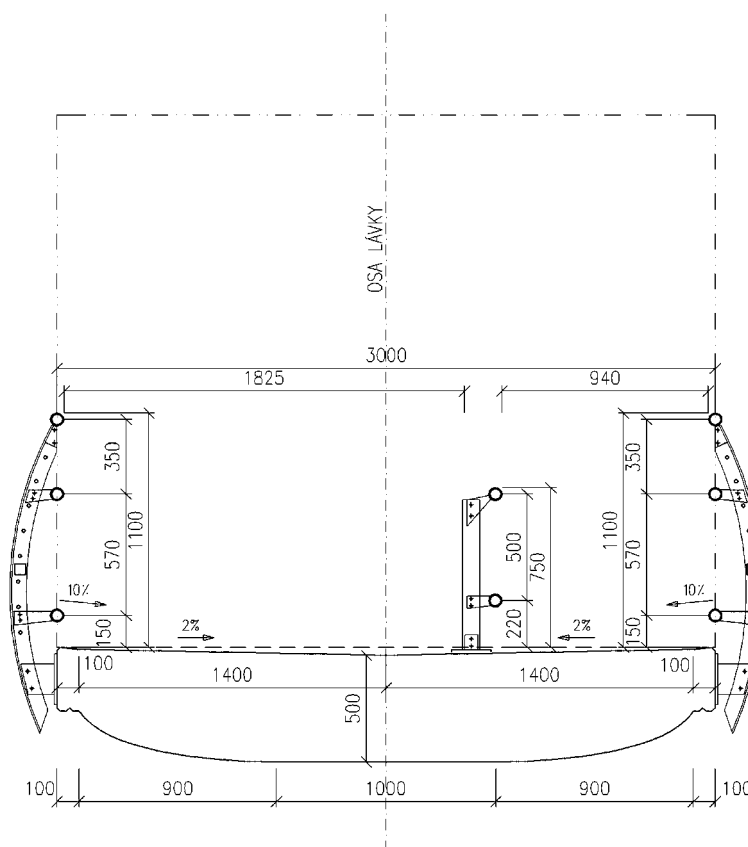
Ocelové zábradlí výšky 1,1 m po obou stranách lávky je přivařeno ke krajním podélníkům. Skládá se ze svislých sloupků profilu 2 x L70 x 50 x 6 a trubkových madel  $\varnothing 60$  mm. Mezi sloupky jsou napnuta ocelová lana  $\varnothing 10$  mm z nekorodující oceli ve vzdálenosti 110 mm. Na vnitřní straně jsou mezi sloupky umístěny panely s neválcovaným tahokovem (obr. 3). Pylony lávky chrání proti nárazu vozidel betonová jednostranná svodidla výšky 1,1 m, osazená na obrubníky ulice K Barrandovu před montáží nosné konstrukce.



Obr. 4. Severní předpolí



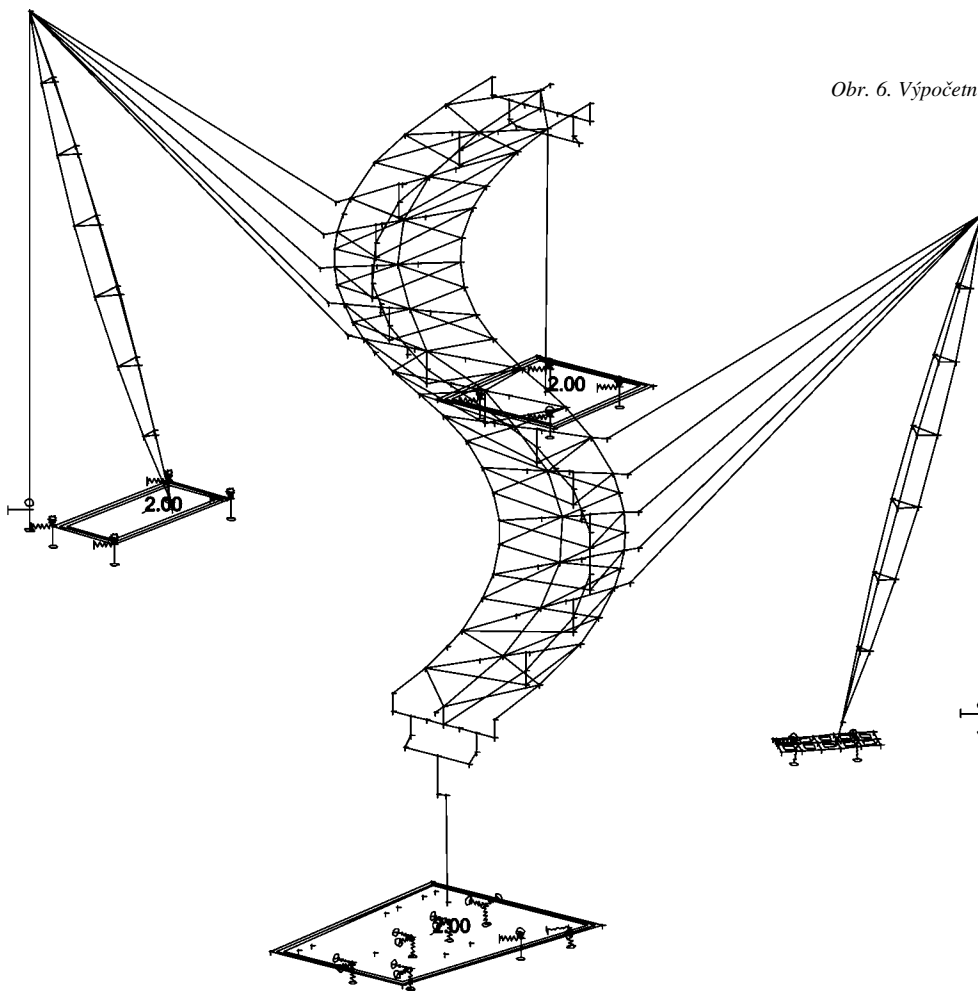
Obr. 3. Pohled na mostovku lávky



Obr. 5. Příčný řez předpolím

### Konstrukční řešení železobetonových předpolí

Dvě samostatná předpolí (severní a jižní) se skládají ze tří typů konstrukcí – deskové železobetonové monolitické vedené po terénu, železobetonové monolitické polorámové a rámové s opěrnou zdí a mostní spojitě deskové železobetonové ze staveništních prefabrikátů o čtyřech polích dlouhých 29 m na severu i jihu (obr. 4). Na severní opěru lávky je uložena samostatná konstrukce tříramenného schodiště se dvěma podestami parabolického půdorysného tvaru. Obě předpolí jsou (kromě mostních částí) založena plošně. Mostní části i schodiště jsou založeny na vrтанých velkopřůměrových pilotách  $\varnothing$  1 m. Pod opěry i pilíře je umístěna vždy jedna pilota, vyjma spodní podpěry schodiště, která je z důvodu dilatace založena plošně.



Obr. 6. Výpočetní model lávky

Opěry jsou tvořeny úložnými prahy vetknutými do piloty. Závěrná zídka je ukončena tak, aby přes ní mohl být proveden přesah navazujících konstrukcí. Toto řešení minimalizuje počet dilatačních spár nosné konstrukce v oblasti opěr. Pilíře jsou tvořeny železobetonovým sloupem eliptického průřezu, který je prostřednictvím kotevního armokoše vetknut do pilot bez použití základového bloku. Dřík má rozměry 0,8 x 0,6 m a v horní části je rozšířen do hlavičky o rozměrech 1,0 x 0,8 m. Na hlavičce je umístěn ložiskový blok.

Nosná konstrukce částí chodníků na terénu, krabicových částí a schodiště je monolitická, mostních částí ze staveništních prefabrikátů délky 4,1 až 8,4 m. Prefabrikáty mají deskový příčný řez tl. 0,5 m v ose (obr. 5). Montážní styky byly

navrženy v místech nulových momentů, podélná výztuž byla provařena. Nosné konstrukce obou předpolí ve výsledku fungují jako spojité nosníky o čtyřech polích. Vzhledem k tvarové náročnosti bylo vypracováno podrobné vytyčení prefabrikátů po 0,25 m. Vnější zábradlí, osazené na bocích přístupových chodníků, a zábradlí střední, vymezení prostor pro pohybově handicapované spoluobčany, úzce navazuje na zavěšenou lávku

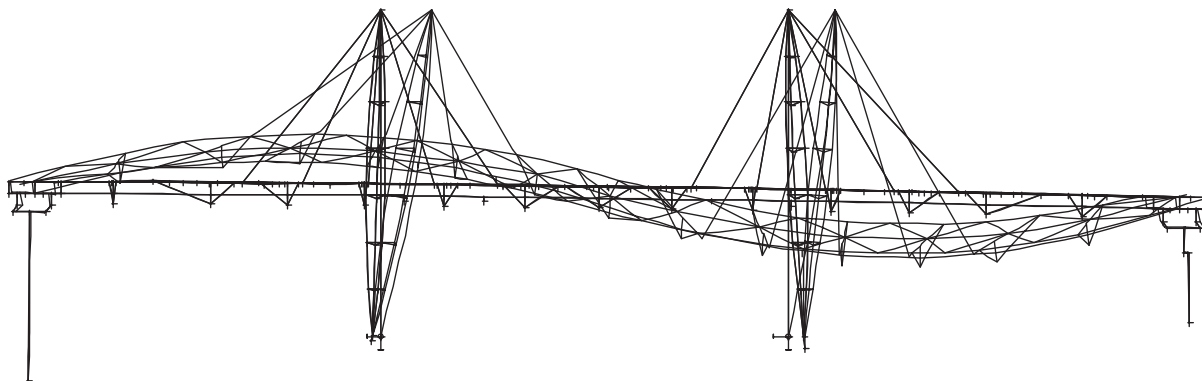
Na části severního předpolí, na straně přiléhající k ulici K Barrandovu, je osazena skleněná protihluková stěna. Odvodnění má kombinovaný dostředný příčný a podélný sklon, na mostních částech jsou navíc příčné odvodňovací prahy. Celá pochozí plocha betonových předpolí a schodiště je opatřena protiskluzovou hydroizolací tl. 5 mm.

### Statický a dynamický výpočet

Při návrhu konstrukce byl vytvořen podrobný výpočetní model lávky včetně základů a založení a provedena statická i dynamická analýza lávky včetně odezvy na buzení chodců. Vnitřní síly byly stanoveny geometricky nelineárním výpočtem (metoda II. řádu) se zohledněním předpínacích sil. Ve výpočetním prostorovém prutovém modelu (obr. 6) byly základové desky modelovány plošnými prvky a pružně podepřeny bodovými podporami, jejichž tuhost odpovídala tuhosti pilotového založení.

Vzhledem ke dvěma vypočteným vlastním frekvencím, které ležely v rezonančním intervalu s lidským krokem (1,4 až 3,3 Hz), a štíhlosti nosné konstrukce byla zjištěna značná citlivost lávky na dynamické účinky vyvolané pohybem chodců. Proto bylo pro zajištění komfortu nezbytné

lávku vybavit dvojicí pohlcovačů kmitání, které frekvenčním naladěním a vlastním útlumem zabraňují nadměrnému rozkmitání konstrukce. Jde o dva pohlcovače firmy GERB se závažím hmotnosti 850 kg a rektifikačním rozsahem +50/-100 kg. Viskózní tlumiče Viscodamper® zajišťují vysoký vlastní útlum závaží pohlcovače o velikosti 20 % kritického útlumu. Vlastní frekvence prvního pohlcovače byla z výroby naladěna na 2,05 Hz a druhého na 2,30 Hz, tj. na 95 % vypočtené první a druhé vlastní frekvence lávky zatížené spojitým proudem chodců (obr. 7, obr. 8). Skutečné frekvence lávky, zjištěné během dynamické zatěžovací zkoušky, byly vlastní frekvence pohlcovačů upraveny změnou hmotnosti závaží.



Obr. 7. Vypočtený první vlastní tvar kmitání  $f_{(1)} = 2,29 \text{ Hz}$

### Průběh výstavby

Vzhledem k termínu dokončení lávky, který investor stanovil na 31.5.2005, bylo nutno organizovat veškeré projektové i realizační práce tak, aby byl tento velmi krátký termín dodržen. Zaviněním nezvykle složitých klimatických podmínek byly zemní práce zahájeny až na konci února 2005, začátkem března se začaly vrtat první piloty. Souběžně probíhala výroba ocelové konstrukce v mostárně divize 7 Metrostavu v Hradci Králové.

Původně navržené krabicové betonové konstrukce obou předpolí byly nahrazeny v rozhodujících částech mostními prefabrikovanými konstrukcemi, pod kterými je volný prostor, působí vzdušněji a esteticky příznivěji. Výhodou bylo omezení výkopových prací, zjednodušení zakládání a snazší převedení přes inženýrské sítě. Dalším důvodem byla obava ze stékání betonové směsi při zhutňování a rovnání povrchu při značném podélném spádu (až 15 %). Kromě toho bylo možné zahájit práce na staveništních prefabrikátech již v době zakládání a realizace spodní stavby.

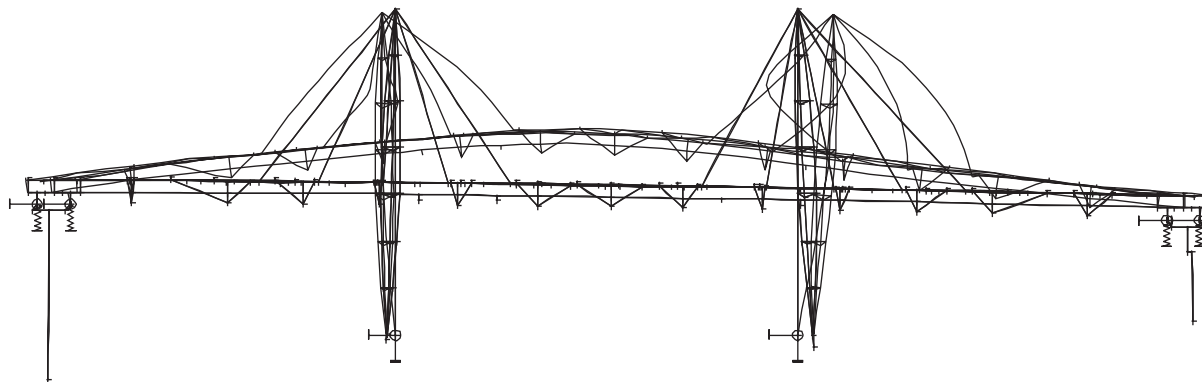
Montáž prefabrikátů probíhala tak, že první (nejnižší) prefabrikát se osadil na opěru a mostní pilíř. Následující prvek se uložil na předcházející pomocí jednoduchého přípravku a na následující pilíř. Přípravek, vytvořený ze dvou ocelových nosníků HEB uchycených ke konstrukci třmeny, umožňoval přesnou rektifikaci. Pro zajištění příčné stability byla betonová konstrukce podepřena lehkým lešením kolem pilířů. Klíny z tvrdého dřeva, připevněné na spodní líc betonové konstrukce, přenášely sílu přímo do pilířů, a bránily tak podélnému posunu prvků. Tento systém montáže umožnil dodržet termín a minimalizovat omezení provozu na frekventované ulici. Montáž staveništních prefabrikátů probíhala

během víkendu, čtyři pole mostní části předpolí se osadily a rektifikovaly za odpoledne.

K montáži byly využity tři jeřáby, přičemž jeden zajišťoval přesun portálu dopravního značení. Smontovanou ocelovou konstrukci přesunul další jeřáb z prostoru staveniště na ulici K Barrandovu (obr. 9) a následně ji dva jeřáby osadily do definitivní polohy. Tato činnost byla náročná na přesnost, neboť čepy ložisek měly jen minimální toleranci. Uprostřed rozpětí byla lávka uložena na provizorní podporu. Akce (jako jediná) proběhla za úplné výluky provozu během sobotního odpoledne.

Vztyčení pylonů, osazení, aktivace a předepnutí tyčových závěsů si vyžádalo další dva dny. Závěsy se předpínaly technotenzionerem. Poloha lávky se geodeticky sledovala, a současně se pomocí tenzometrů kontinuálně sledovalo napětí v jednotlivých táhlech tak, aby byla zajištěna jak projektovaná poloha, tak předepnutí táhel.

Dynamická zatěžovací zkouška před uvedením lávky do provozu ověřila správnost naladěním pohlcovačů a jejich funkč-



Obr. 8. Vypočtený druhý vlastní tvar kmitání  $f_{(2)} = 2,57 \text{ Hz}$



nost. Lávka byla slavnostně otevřena a uvedena do zkušebního provozu 1.6.2006, kolaudace proběhla v srpnu po dokončení zábradlí a pochozích vrstev.



Obr. 9. Pohled na lávku při montáži

### Dynamická zatěžovací zkouška

Dynamická zatěžovací zkouška byla na lávce provedena podle ustanovení ČSN 73 6209 ve dvou etapách. Během první části zkoušky, při které ještě nebyly pohlcovače funkční, byla činnost rozdělena do tří kroků:

- z kmitání lávky, které bylo vyvoláváno budičem kmitů (obr. 10), byly vyhodnoceny významné vlastní frekvence svázané s vlastními tvary, při kterých kmitá celá vodotěsná nosná konstrukce lávky, aby mohly být porovnány s odpovídajícími vypočtenými vlastními frekvencemi (tab. 1);
- byla určena dynamická odezva lávky na extrémní účinky skupiny vandalů;
- bylo posouzeno naladění instalovaných pohlcovačů a navržena úprava závaží tak, aby se optimalizovala jejich schopnost redukovat kmitání lávky.



Obr. 10. Pohled na elektrodynamický budič TIRAVIB 5140 ukotvený na konstrukci lávky

Na základě rozdílu mezi změřenými a vypočtenými vlastními frekvencemi (viz první dva řádky v tab. 1), které leží ve frekvenčním rezonančním intervalu s lidským krokem a na které byly nastaveny vlastnosti pohlcovačů, byla u pohlcovače naladěného na nižší vlastní frekvenci navržena úprava hmotnosti závaží na 751 kg, u druhého pohlcovače na 814 kg.

Po úpravě byly oba pohlcovače zprovozněny, a poté proběhla druhá etapa dynamické zatěžovací zkoušky:

- z dynamické odezvy zkoušené lávky na extrémní účinky skupiny vandalů byla ověřena účinnost pohlcovačů na redukci kmitání vyvolaného pohybem chodců po lávce;
- byla změřena odezva nosné konstrukce lávky na přechod skupin chodců definovaných v ČSN 73 6209. Zjištěné kmitání bylo posouzeno z hlediska nepříznivých účinků vibrací na lidský organismus.

Tab. 1. Naměřené a vypočtené vlastní frekvence

Vlastní frekvence [Hz]		Odchylka frekvencí [%]		
naměřené	vypočtené	vlastních	přípustná mezní (ČSN 73 6209)	
2,47	2,285	-8,1	+10 ; -15	
2,66	2,574	-3,3	+/-	15,1
4,38	4,327	-1,2	+/-	15,9
4,59	4,662	1,5	+/-	16,0
5,25	5,408	2,9	+/-	16,4
6,12	7,280	15,9	+/-	17,2
6,84	7,850	12,9	+/-	17,4

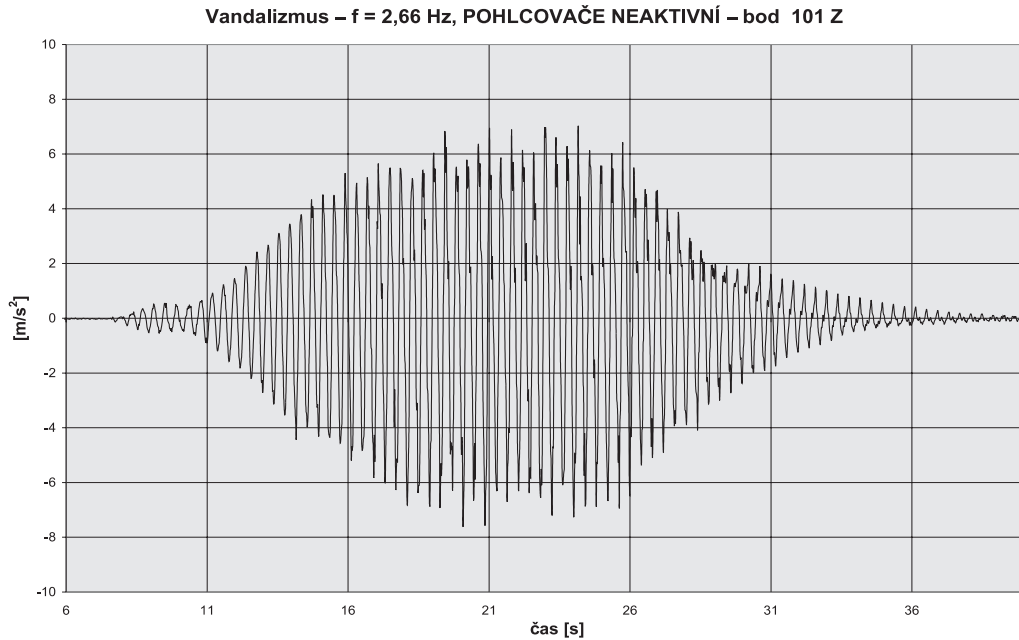
Z výsledků dynamické zatěžovací zkoušky vyplynulo:

- rozdíly mezi základními změřenými a odpovídajícími vypočtenými vlastními frekvencemi splňují kritéria ČSN 73 6209, model konstrukce použitý při návrhu lávky tudíž byl dostatečně výstižný;
- charakteristiky útlumu, vyhodnocené během první části zkoušky (logaritmický dekrement útlumu  $\zeta = 0,052$  pro dvě základní frekvence), odpovídají typu nosné konstrukce lávky a jsou větší než hodnota použitá ve výpočtu ( $\zeta = 0,035$ );
- zkouškou bylo prokázáno, že konstrukce lávky bez pohlcovačů je velmi citlivá na dynamické účinky pohybu chodců a že instalace dvou pohlcovačů pro zajištění potřebného komfortu chodců byla nezbytná;
- z porovnání odezvy lávky na účinky skupinky vandalů vyplynula schopnost pasivních dynamických pohlcovačů podstatně redukovat úroveň kmitání lávky. Jak je patrné z odezvy konstrukce (obr. 11, obr. 12), klesla dynamická odezva po aktivaci pohlcovačů na 1/5 až 1/8;
- pro skupiny chodců, kterými se podle ČSN 73 6209 simuluje provoz na lávce, splňuje odezva lávky podmínku pro pohodu chodců (RMS hodnota  $0,4 \text{ ms}^{-2}$ ).

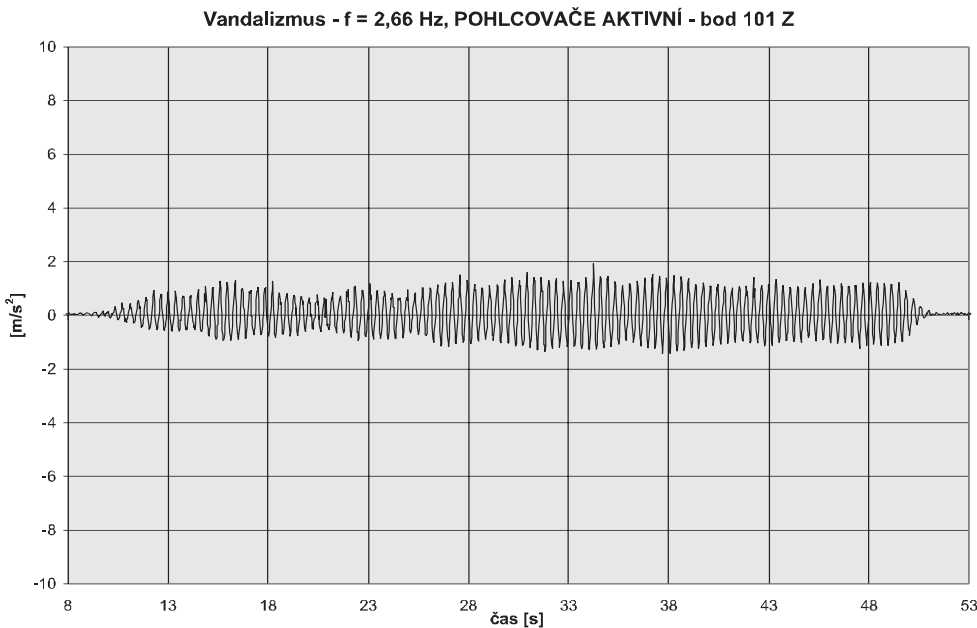
### Závěr

Při návrhu a výstavbě lávky bylo nutno vyřešit statické, dynamické a konstrukční problémy, které přinesl její netradiční tvar a komplikované podmínky v místě stavby. Po dokončení lávka vytváří architektonicky a konstrukčně zajímavou dominantu pro obyvatele Barrandova a pomyslnou „vstupní bránu“ pro návštěvníky přijíždějící do Prahy (obr. 13).

Investorem byla Městská část Praha 5, generálním projektantem ve všech projektových stupních sdružení Metroprojekt Praha, a. s., a Ing. arch. Patrik Kotas – Atelier designu a architektury. Projektantem objektu SO1 – Lávka (včetně opěr, pylonů a kotvení) byl ve všech projektových stupních VPÚ DECO Praha, a. s., zhotovitelem stavby Metrostav, a. s.



Obr. 11. Odezva na buzení lávky skupinou vandalů, pohlcovače neaktivní



Obr. 12. Odezva na buzení lávky skupinou vandalů, po aktivaci pohlcovačů



Obr. 13. Pohled na dokončenou lávku

Kotas, P. – Malec, J. – Pešata, J. – Ryjáček, P. – Vítek, P. – Polák, M.: A Pedestrian Bridge in Prague-Barrandov

The new footbridge in Prague-Barrandov connects two urban areas, divided by a frequented highway. The footbridge is formed by the tube main girder with a truss bridge deck, which is suspended to two skew pylons. Two tuned mass dampers are used to ensure comfort for pedestrians.

Kotas, P. – Malec, J. – Pešata, J. – Ryjáček, P. – Vítek, P. – Polák, M.: Die neue Fußgängerbrücke in Prag-Barrandov

Eine neu errichtete Fußgängerbrücke in Prag-Barrandov verbindet zwei Wohnsiedlungen, die bisher eine Hauptverkehrsader trennte. Sie besteht aus einem Stahlrohrträger, der an zwei geneigten Pfeilern aufgehängt ist. Auf die Brücke führen zwei Stahlbetonrampen. Zwei Schwingungstilger sorgen für einen ausreichenden Komfort für die Fußgänger.

# Sledování transportu vlhkosti elektromagnetickou mikrovlnnou metodou

Ing. Jan ŠKRAMLÍK, Ph. D.  
doc. Ing. Ivan MOUDRÝ, CSc.  
VUT – Fakulta stavební  
Brno

Článek je zaměřen na sledování vlhkosti materiálů stavebních konstrukcí netradiční elektromagnetickou mikrovlnnou metodou. Pojednává o obecných poznatcích z experimentálního měření využitím elektromagnetického mikrovlnného záření ke sledování jednorozměrného proudění vody v inertní pórovité hmotě jako transportu vlhkosti v nestacionárním stavu. Jde o zachycení polohy a množství vlhkosti pro vyjádření vlhkovostních profilů dostupnou nedestruktivní metodou. Cílem je získat potřebné údaje k výpočtu součinitele kapilární vodivosti  $\kappa$  a ověření metody, použitelné v reálných podmínkách, se záměrem získat charakteristické parametry vlhkosti včetně popisu jednorozměrného transportu vlhkosti v porézní stavební hmotě.

## Úvod

Převážným typem realizovaných stěnových stavebních konstrukcí jsou zděné konstrukce z kusových staviv spojených maltou. Značná část stavebních poruch je zapříčiněna a provázána nežádoucím působením vlhkosti. Současné trendy ve stavebnictví jsou směřovány na využití lehkých stavebních hmot se stále vyššími požadavky na bezporuchovou funkci konstrukcí, zejména na tepelně izolační schopnost obvodových plášťů. Nedostatečně vyřešeným tématem při studiu materiálových vlastností pórovitých staviv je zjišťování charakteristických materiálových parametrů pro posuzování vlhkovostního stavu ve stavebních konstrukcích. Potřebnou veličinou je součinitel vodivosti kapilární vlhkosti, který se odvozuje z měření saturační a desaturační křivky podle polohy a koncentrace vlhkovostního profilu v nestacionárním stavu průběhu navlhání [4].

## Vlhkovostní charakteristika stavebních materiálů

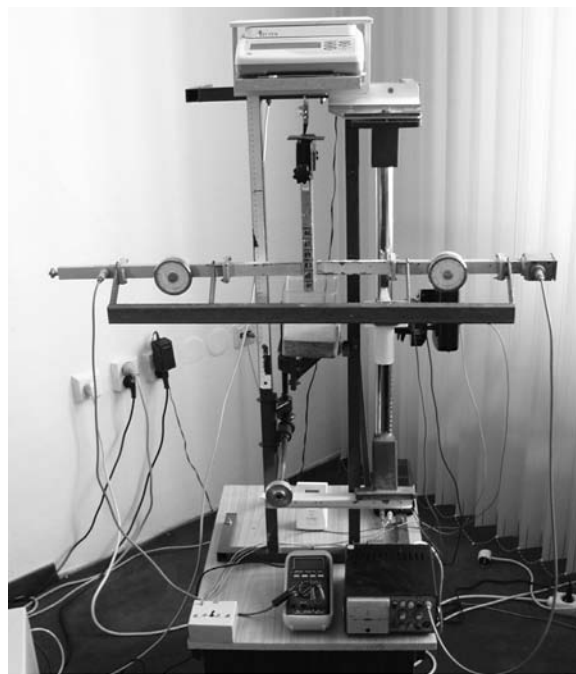
Součinitel kapilární vodivosti je parametr charakterizující přenos kapalně vlhkosti v porézní látce. Všechny metody určování součinitele vlhkovostní vodivosti využívají jednorozměrné difúzní rovnice. Tyto metody vycházejí z určení rozložení vlhkosti  $u(x, t)$  po délce vzorku v daných časech. Známé-li prostorové a časové rozložení vlhkosti v daném materiálu, je možné určit součinitele vlhkovostní vodivosti  $\kappa$  [4]. Známé matematické metody předpokládají nestacionární stav navlhání. Při použití metody Matanovy stačí znát jednu křivku navlhání a pro exaktnější metodu integrální je dokonce potřeba znát několik těchto křivek navlhání, zjištěných na témže vzorku pro různé časové intervaly.

Pro praktické stanovení součinitele vlhkovostní vodivosti se používají sorpční experimenty, které simulují průběh navlhání vzorku materiálu. Principem je uvedení vzorku materiálu

do kontaktu s kapalinou jeho dotykem s hladinou, a následně v určitém časovém intervalu zjištění rozložení jeho penetrace ve svislém směru navlhání (obr. 5) [4].

## Experimentální měření

K detekci transportu vlhkosti ve stavební hmotě pomocí elektromagnetického mikrovlnného záření [2] byla v Ústavu pozemního stavitelství FAST VUT v Brně sestavena měřicí aparatura (obr. 1). Návrh konstrukce vycházel z poznatků o chování tohoto záření v interakci s různými materiály [1].

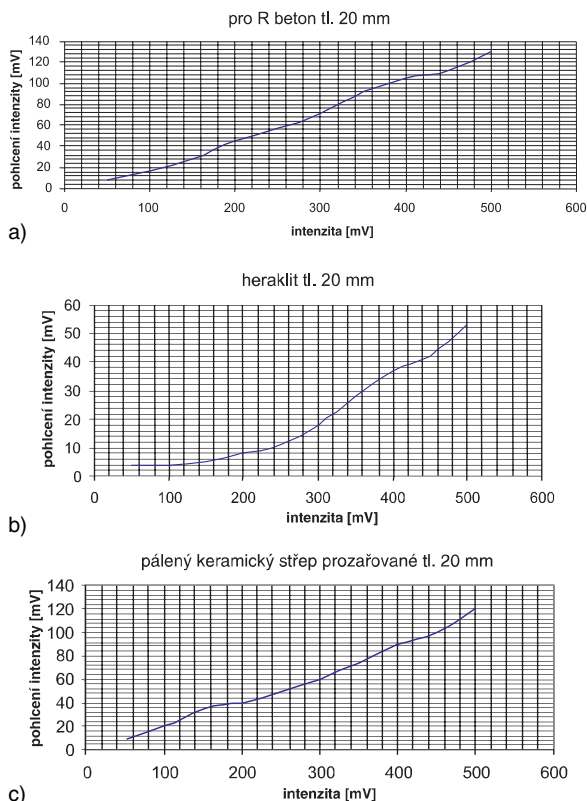


Obr. 1. Měřicí aparatura

Uvedená měření se prováděla na vzorcích materiálů vyvinutých v Ústavu technologie stavebních dílců a hmot v rámci výzkumného úkolu VVZ CEZ J22/98:26 1100008 „Výzkum a vývoj nových materiálů z odpadních surovin a zajištění jejich vyšší trvanlivosti“.

## Elektromagnetické mikrovlnné záření

K detekci polohy hmotnostní vlhkosti v pórovité struktuře inertní hmoty bylo využito elektromagnetické mikrovlnné záření, které umožňuje nedestruktivní měření s poměrně vysokou citlivostí. Výsledek není ovlivněn chemickým složením látky či množstvím chemicky vázané vody. Mikrovlny pronikají do materiálu bez vlivu na jeho vlastnosti. Pro měření vlhkosti pórovitých stavebních hmot vyhovuje frekvence okolo 1 010 Hz [1]. Propustnost sledovaných materiálů je uvedena na obr. 2.



Obr. 2. Závislost detekce změny intenzity na úrovni záření v interakci s materiálem v suchém stavu  
a – beton R, b – materiál H, c – keramický pálený střeš [2]

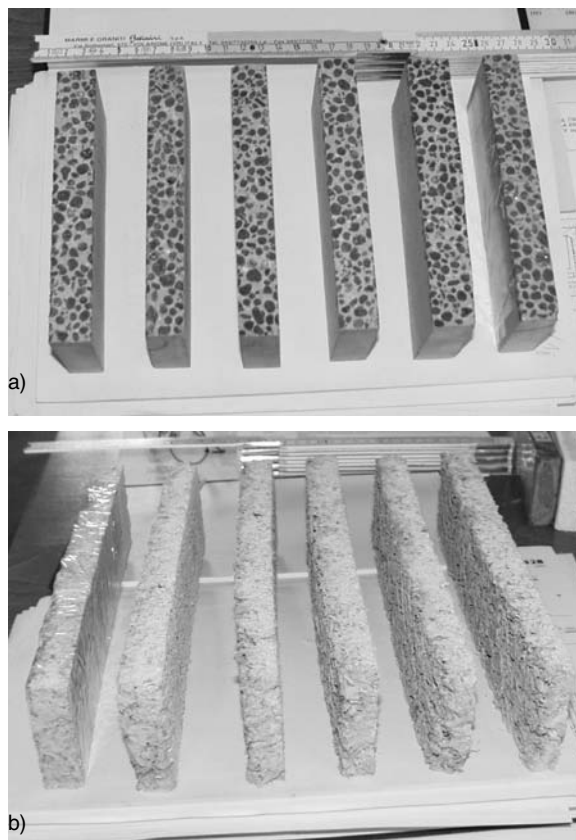
### Příprava vzorků

Měření v mikrovlnné aparatuře předpokládá přípravu jako u běžných sorpčních experimentů [9]. Vzorek materiálu o rozměrech 60 x 20 x 250 mm je před zahájením experimentu vysušen, zvážen a na povrchu izolován, aby se předešlo odpařování vlhkosti.

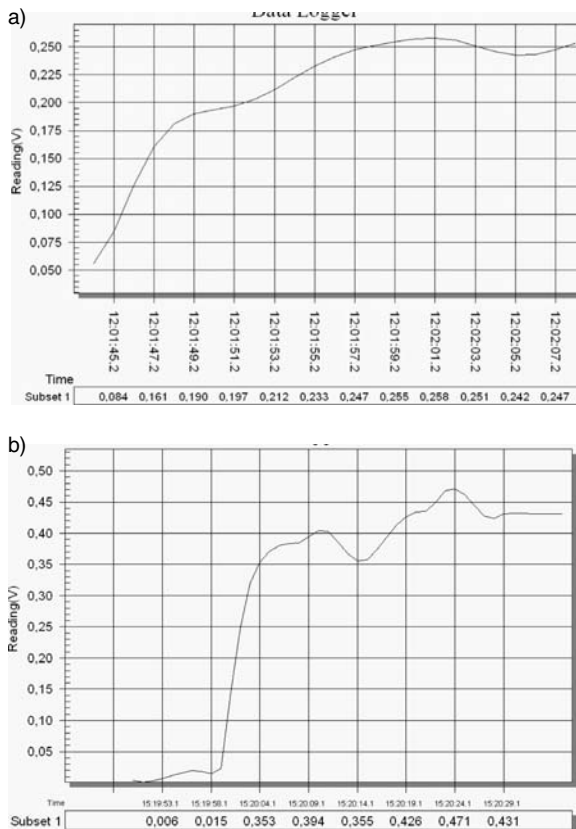
Pro sledování pohybu vlhkosti je vzorek, nejdelší stranou ve svislé poloze, zavěšen na digitálních vahách, což umožňuje jak sledování hmotnosti pronikající vody v průběhu navlhání, tak času od začátku experimentu. Měření je zahájeno uvedením spodní plochy průřezu do kontaktu s hladinou. V libovolně zvoleném časovém intervalu od zahájení experimentu je možné provést detekci jak rozložení, tak množství proniklé vlhkosti pojezdem vlnodů v délce vzorku ve vertikálním směru. Čím více vlhkosti vzorek obsahuje, tím méně záření vzorkem projde, neboť vodíková jádra molekuly vody absorbují mikrovlnné záření. Měřicí aparatura umožňuje zapisovat detekci změny intenzity záření v časových intervalech při pojezdu vlnodů podél vzorku materiálu (obr. 4).

Za předpokladu, že měření je prováděno od počátku délky vzorku „x“ souřadnice v nule, tj. od úrovně spodní plochy měřeného vzorku, neboli od jeho kontaktu s hladinou volné vody, je možné délkové, resp. výškové hodnoty považovat za určující ke stanovení polohy postupujícího vlhkového čela (obr. 5).

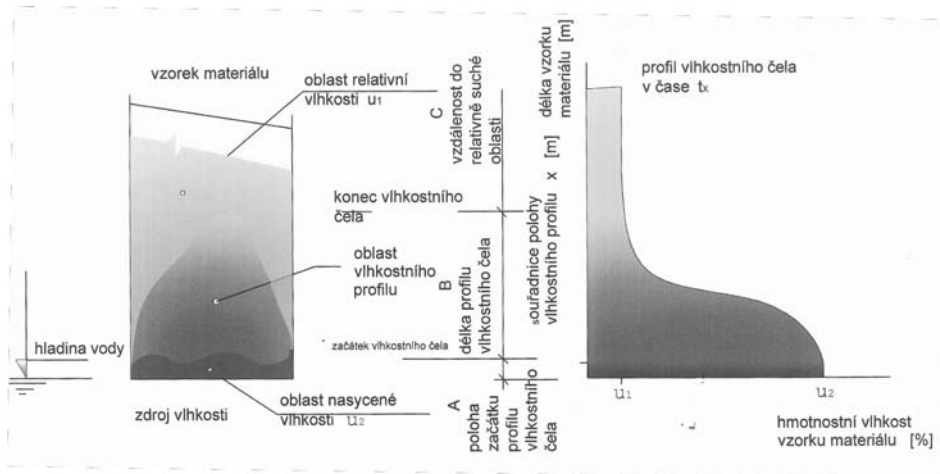
Naměřené údaje (obr. 4) umožňují přepočít rychlosti posuvu na údaje délkové, tj. na souřadnice polohy profilu vlhkosti. Pro převedení časových údajů na délku vlhkového profilu ve sledovaném vzorku materiálu byl použit program Linregrese Excel (obr. 6, obr. 7) a za předpokladu synchronizovaného pohonu pohybu vlnodů byly vyjádřeny sou-



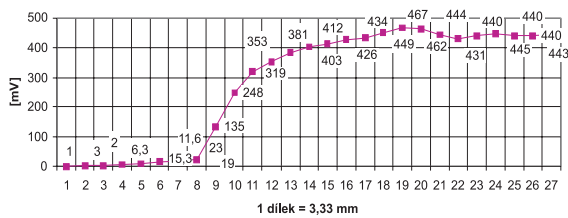
Obr. 3. Vzorky materiálů vyvinutých na bázi využití odpadních surovin  
a – beton R, b – materiál H [6]



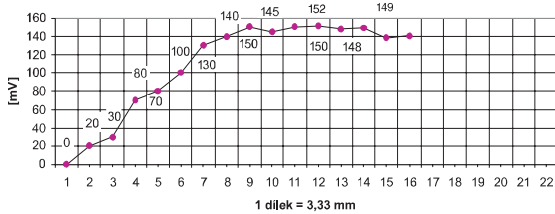
Obr. 4. Grafické znázornění polohy profilu vlhkového čela  
a – beton R, b – materiál H



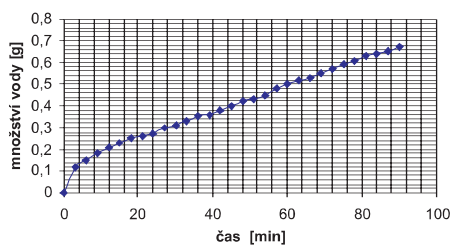
Obr. 5. Grafické vyjádření předpokladu průběhu navlhání vzorku materiálu od spodního okraje v čase a délce v nestacionárním stavu [2]



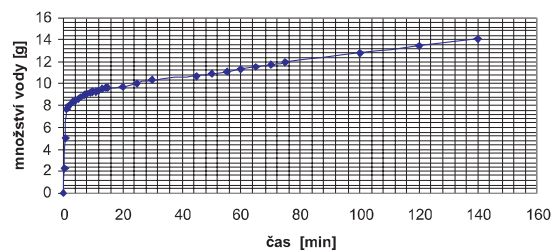
Obr. 6. Přepočet časových údajů posuvu vlnodů na délku vzorku materiálu H v programu Linregrese Excel [6]



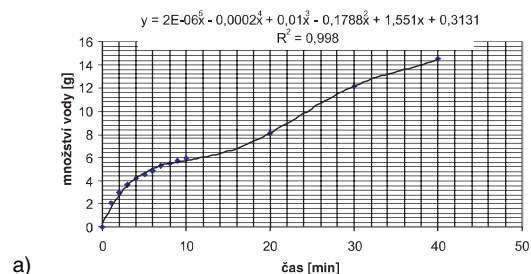
Obr. 7. Převedení časových údajů na souřadnice v délce vzorku v programu Linregrese Excel pro vzorek betonu R po navlhání (obr. 4) [6]



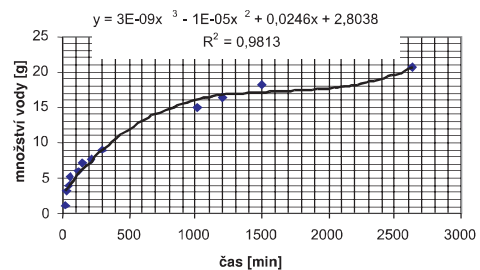
Obr. 8. Grafické vyjádření množství vody přibývající do vzorku materiálu R [6]



Obr. 9. Grafické vyjádření množství vody přibývající do vzorku materiálu H [6]



a)



b)

Obr. 10. Grafické vyjádření množství vody přibývající do vzorku plynosilikátu [6]

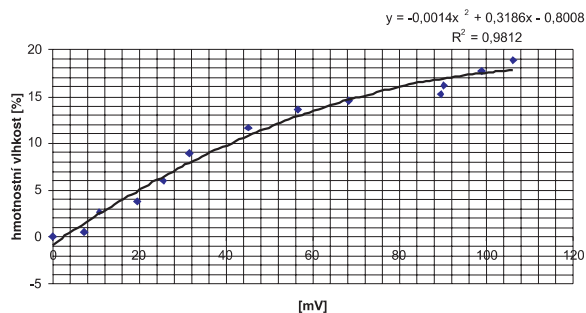
řadnice polohy profilu vlhkosti [2]. Jde o kontinuální detekci polohy profilu vlhkosti bez destrukce vzorku. Současně jsou zaznamenávány údaje o hmotnosti pronikající vlhkosti, které umožňují vyjádřit rychlost navlhání (obr. 8, obr. 9).

Vyjádření funkční závislosti změny intenzity elektromagnetického mikrovlnného záření na vlhkosti obsažené v porézní inertní hmotě dává předpoklad pro stanovení polohy a množství vlhkosti jako vlhkostního profilu nedestruktivní metodou.

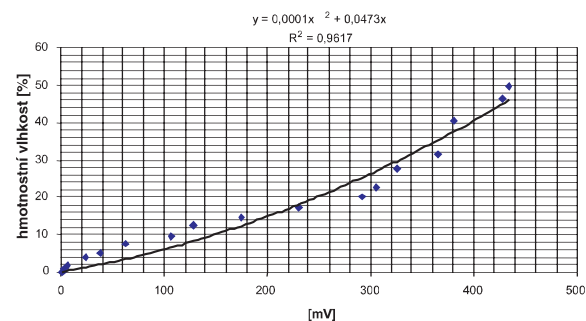
## Výpočet součinitele kapilární vodivosti $\kappa$

### Vstupní údaje

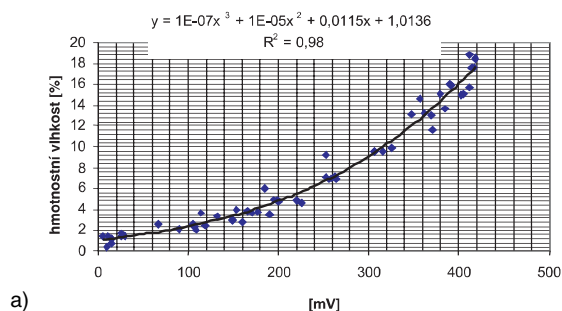
Vstupními údaji jsou jednak zjištěná změna intenzity elektromagnetického mikrovlnného záření, vyjádřená jako funkční závislost (obr. 11, obr. 12). Pro porovnání je na obr. 13 uvedena funkční závislost pro keramický pálený střep a plynosilikát a stanovení souřadnic polohy vlhkostního profilu křivkami vyššího řádu (obr. 6, obr. 7).



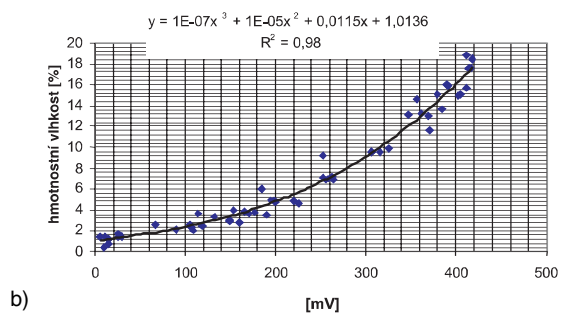
Obr. 11. Graf funkční závislosti změny intenzity záření na hmotnostní vlhkosti pro beton R [6]



Obr. 12. Graf funkční závislosti změny intenzity záření na hmotnostní vlhkosti pro materiál H [6]



a)



b)

Obr. 13. Graf funkční závislosti změny intenzity záření na hmotnostní vlhkosti  
a – keramický pálený střep, b – plynosilikát [2]

### Výpočet

Součinitel vlhkostní vodivosti je parametr charakterizující přenos kapalné vlhkosti v porézni látce. Všechny metody jeho určování využívají jednorozměrnou difúzní rovnici [5]

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \kappa \frac{\partial u}{\partial x} \right). \quad (1)$$

Výpočet součinitele kapilární vodivosti je možné provést Matanovou metodou, která využívá Boltzmannovu transformaci na základě zjištění jedné navlhací křivky a postupnými úpravami podle [4]

$$\kappa(u(x)) = \frac{1}{2 \cdot t \cdot u'(x)} \int_{\xi}^{\infty} u'(\xi) \cdot d\xi, \quad (2)$$

kde  $\kappa(u(x))$  je součinitel kapilární vodivosti jako fce vlhkosti v délce vzorku [ $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ ];

- $t$  – časový interval, ve kterém byla vlhkost měřena jako fce křivky  $u(x)$  [s];
- $\xi$  – substituce vzdálenosti v délce vzorku od bodu na křivce vlhkostního čela  $du$ ; ve vzorci vyjádřená do vzdálenosti, kde je vlhkost v ustáleném stavu;
- $\omega$  – nová proměnná za předpokladu, že  $t$  je konkrétní časový interval [-];
- $\eta$  – transformace označená jako Boltzmannova souřadnice [ $\text{ms}^{-1/2}$ ];
- $x$  – souřadnice v délce vzorku od spodní plochy měřeného vzorku [m];
- $u_1$  – maximální (dosažená) hmotnostní vlhkost [-];
- $u_2$  – relativní hmotnostní vlhkost materiálu [-].

Další postup je předmětem matematického zpracování vstupních údajů získaných měřicí aparaturou.

Vzhledem k tomu, že data jsou vždy zatížena chybou měření, je přesnější respektovat pouze závislost dvou veličin tak, aby celková chyba aproximace byla v určitém smyslu co nejmenší. Proto lze dobře využít metodu nejmenších čtverců, která spočívá v tom, že hledáme takové parametry funkce  $f$ , pro které je součet čtverců odchylek vypočtených hodnot od hodnot naměřených minimální [8]. Nejjednodušším typem je závislost lineární (určená rovnicí přímky). Za přesnější je možné považovat aproximaci polynomem  $k$ -tého řádu, pro výpočty bude postačovat polynom 3. řádu.

### Závěr

Ověření možnosti použití elektromagnetického mikrovlnného záření k detekci pohybu vlhkosti v inertní pórovité hmotě v experimentálně sestavené měřicí aparatuře dává předpoklad pro další postup získávání charakteristických materiálových charakteristik. Tento nedestruktivní způsob umožňuje získávání kontinuálních výsledků měření bez přerušení. Výsledky je možné zpracovávat pomocí známých matematických operací, např. v programu nejmenších čtverců metodou Maple k vyjádření materiálových parametrů z hlediska vlhkostních poměrů, např. závislosti součinitele kapilární vodivosti na hmotnostní vlhkosti. Na základě těchto předpokladů a poznatků probíhalo měření na vzorcích materiálu zhotovených na ÚTHD FAST VUT s využitím odpadních

surovin. Jde zejména o údaje použitelné pro matematické výpočty vedoucí ke stanovení součinitele kapilární vodivosti jako jedné z charakteristických materiálových veličin.

**Příspěvek vznikl za přispění výzkumného záměru MSM0021630511 "Progresivní stavební materiály s využitím druhotných surovin a jejich vliv na životnost konstrukcí" na Fakultě stavební VUT v Brně.**

#### Literatura

- [1] Moudrý, I.: Aplikace mikrovlnného záření pro stanovení změn vlhkosti dřeva a nedestruktivní zjišťování stavu dřevěných konstrukcí. VUT FAST, Brno, 1985.
- [2] Škramlík, J.: Vlhkost v dutinách stavebních konstrukcí. [Dizertační práce], VUT FAST, Brno, 2005.
- [3] Štátník, S.: Fyzikální předpoklady pro popis komplexního vlhkostního šíření. [Interní zpráva], VUT FAST, Brno, 2003.
- [4] Mrlík, F.: Vlhkostné problémy stavebních materiálů a koňstrukcí. Bratislava, Alfa 1985.
- [5] Kutílek, M.: Vlhkost pórovitých materiálů. Praha, SNTL 1992.
- [6] Škramlík, J. – Moudrý, I.: Progresivní stavební materiály s využitím druhotných surovin a jejich vliv na životnost konstrukcí. [Dílčí zpráva], výzkumný záměr MSM0021630511 10/2006, FAST VUT, Brno, 2006.
- [7] Kieβl, K.: Kapillarer und dampfförmiger Feuchtetransport in mehrschichtigen Bauteilen. Rechnerische Erfassung und bauphysikalische Anwendung. [Dissertation], Universität Essen-Fachbereich Bauwesen, Essen, 1983.
- [8] Došlá, Z. – Plich, R. – Sojka, P.: Matematická analýza s programem Maple (Diferenciální počet funkcí více proměnných). Brno, 1999.
- [9] Drchalová, J. a kol.: Nestacionární metody určování součinitele vlhkostní vodivosti. Stavební obzor, 8, 1998, č. 9, s. 268–271.

#### Škramlík, J. – Moudrý, I.: Monitoring of Moisture Transport with the Microwave Electromagnetic Method

This paper presents knowledge gained during the monitoring of 1D water flow in inert porous material as moisture transport in the non-stationary state. The non-destructive method applied facilitates to record the position and moisture content for the expression of moisture profiles. The monitoring is aimed to collect basic data for the calculation of the capillary conductivity coefficient and to develop and verify a method applicable in actual conditions.

#### Škramlík, J. – Moudrý, I.: Beobachtung des Feuchtigkeits transports mit der elektromagnetischen Mikrowellen-Methode

Der Artikel führt Erkenntnisse aus der Beobachtung einer eindimensionalen Strömung von Wasser in einem inerten porösen Material als Transport von Feuchtigkeit in einem nichtstationären Zustand an. Es handelt sich um die Erfassung der Lage und der Menge der Flüssigkeit zum Ausdrücken der Feuchtigkeitsprofile durch eine verfügbare zerstörungsfreie Methode. Das Ziel besteht darin, Unterlagen für die Berechnung des Koeffizienten der kapillaren Leitfähigkeit und für die Schaffung und Überprüfung einer unter realen Bedingungen anwendbaren Methode zu gewinnen.

## • dizertace



### Energetické systémy zpětného získávání tepla z větracího vzduchu

Ing. Daniel Adamovský

Dizertace analyzuje nový způsob hodnocení energetické účinnosti zařízení na zpětné získávání tepla ve vzduchotechnice. Vychází z trendu snižování provozní energetické náročnosti budov a technických zařízení.

### Systém sledování technického stavu budov geodetickými metodami

Ing. Pavla Formanová

Práce se vztahuje k některým částem Pražského Hradu, jehož vnitřní prostory se polohově zaměřují z vnitřku jednotlivých místností. Splnění úkolů dizertace podle zápisu z obhajoby brání nekvalifikovaná spolupráce pracovníků správy Hradu.

### Sledování posunů bodů geodetické sítě – statistický přístup

Ing. Tomáš Kubín

V dizertační práci byl odvozen parametr necentrality  $\chi^2$ -testu a F-testu v Gaussově–Markovově modelu s neúplnou hodnotou pro ověřitelnou podmínku, pro variantu omezení parametrů modelu a pro variantu středních hodnot měření.

### Výztužné stěny dřevostaveb

Ing. Radek Brandejs

Práce se zaměřuje na chování výztužných stěn při statickém i cyklickém zatížení. Teoretické modely byly ověřeny na experimentech ve skutečném měřítku. Získané výsledky lze aplikovat při navrhování vícepodlažních budov s dřevěnou kostrou, a umožní tak větší využití dřeva v bytové výstavbě.

### Vývojové trendy v bytové výstavbě na území ČR

Ing. Alena Smejkalová

Hlavním přínosem dizertace je mechanismus prognózování objemu výstavby na území ČR. Význam má formulace kvantitativního hodnocení vstupních faktorů pro vytvoření spektra relevantních časových řad pro anticipaci dat prognózní časové řady.

I.H.M. 2007  
mezinárodní veletrh řemesel

8. – 14. března 2007  
Nové výstaviště Mnichov

## Interakce piloty se základovou deskou

doc. Ing. Pavel KUKLÍK, CSc.  
doc. Ing. Michal ŠEJNOHA, Ph. D.  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

Cílem příspěvku je seznámit čtenáře s některými možnostmi modelování geotechnických úloh. Zaměřili jsme se na základové konstrukce, a to piloty a desky podepřené pilotami. Prezентovat budeme semianalytické řešení, mohlo by být nazváno i řešením metodou konečných vrstev, a řešení metodou konečných prvků.

### Úvod

Obě varianty mají společnou myšlenku dimenzionální redukce pomocí energetické transformace. V prvním případě, jak je v článku ukázáno, se řešení hledá ve tvaru určitého, můžeme říci, Fourierova rozvoje. Vrstva se tímto způsobem transformuje do roviny. Metoda konečných prvků používá splinové funkce, pomocí nichž je objekt transformován do uzlů sítě. V případě popisu nelineárního chování materiálu je výhodou MKP, že můžeme upravovat fyzikální parametry v rámci jednotlivých prvků. Přidáním kontaktních prvků je navíc možno modelovat nelineární chování na styku dvou materiálů. V případě analytického řešení se dají upravovat parametry pouze v rámci jednotlivých vrstev, nebo je možno řešit rozhraní mezi jednotlivými vrstvami či částmi, např. pilotou a zemínou. Tento přístup je řádově méně náročný na spotřebu strojového času v porovnání s metodou MKP, flexibilní, vhodný pro parametrické studie, a zejména získání rychlé představy o odezvě piloty na účinky vnějšího zatížení. Metoda konečných prvků umožňuje naopak získat komplexní představu o chování systému pilota–zemina respektováním jednotlivých fází výstavby. Analýza pilot spřažených s betonovou základovou deskou nečiní také žádné problémy. Vzhledem k tomu, že prezentované výsledky řešení ukazují na relativně dobrou shodu obou přístupů, je čistě na projektantovi, který při zpracování vlastního projektu zvolí. Nieméně kombinace obou metod poskytuje silný nástroj pro spolehlivé posouzení únosnosti navrhovaného založení. Oba přístupy jsou implementovány v programovém prostředí firmy FINE. Jde o programové moduly GEO-5 Pilota [1] a GEO MKP [2], [3], které byly v našich výpočtech použity.

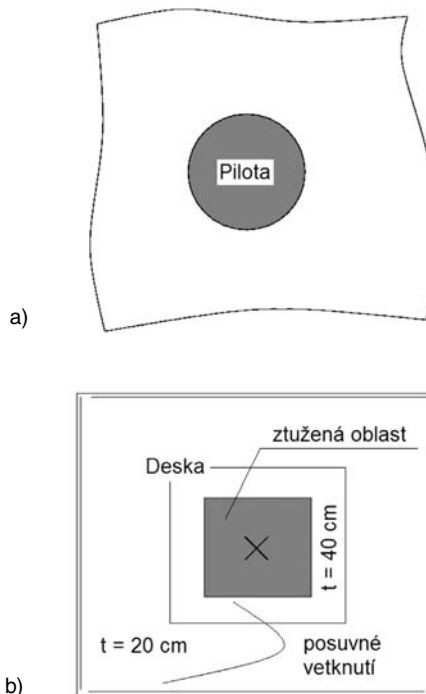
Zakládání stavebních objektů v hlubokých jamách na deskách podepřených pilotami je jak u nás, tak v zahraničí poměrně rozšířené. V České republice existuje řada firem specializujících se na tento způsob zakládání. Poměrně dobrou představu o jednotlivých přístupech při návrhu vrtaných pilot lze najít v [4]. Obecně se lze opřít jednak o metody analytické či semianalytické, jednak metody čistě numerické. Nejpoužívanějším zástupcem té druhé skupiny je metoda konečných prvků. Cílem je porovnat oba přístupy k řešení dané problematiky.

Vlastní příspěvek je rozdělen do dvou základních částí. První je věnována podrobnému popisu semianalytické meto-

dy, založené na elastickém řešení vrstvy konečné tloušťky. Základní teoretické předpoklady jsou ve stručnosti přiblíženy a doplněny ilustrativním příkladem řešení osamělé plovoucí piloty. Druhá část pak popisuje užití metody konečných prvků. Důraz je kladen jak na vhodnou volbu sítě konečných prvků, tak konstitutivních modelů v jednotlivých fázích budování. Podobně jako v případě pažicích konstrukcí je základem spolehlivého návrhu aplikace vhodného kontaktního modelu pro popis interakce, a to zejména volba pevnostních charakteristik kontaktu ( $c$ ,  $\varphi$ ,  $\psi$ ). S ohledem na první část je řešen problém osamělé piloty, ukázány jsou i výsledky kombinace vrtané piloty a základové desky.

### Topologie problému

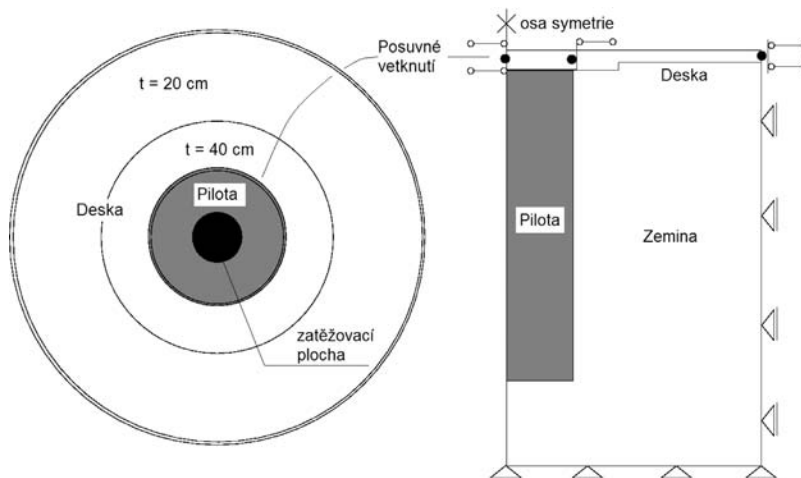
Nejprve se zmíníme o topologickém uspořádání problému. V obou případech byla řešena pilota délky 8 m a průměru 120 cm. V případě semianalytického řešení jde o výpočet osamělé plovoucí piloty, bez ohledu na přítomnost případných dalších objektů v jejím okolí (*obr. 1a*).



Obr. 1. Geometrické uspořádání  
a – výpočet piloty, b – elastické řešení desky

Topologické uspořádání problému vhodného pro numerické řešení metodou konečných prvků je patrné z *obr. 2*. Je zřejmé, že v tomto případě redukuje obecně trojrozměrný problém (3D) na problém dvojrozměrný (2D) uvážením osové souměrnosti. Na rozdíl od standardního pravoúhlého uspořádání výseku desky (*obr. 1b*) jsme odkázáni na určitou aproximaci uvážením desky kruhové.





Obr. 2. Geometrické uspořádaní piloty v kombinaci se základovou deskou  
a – půdorys, b – řez

**Posouzení semianalytickými metodami  
GEO-5 Pilota**

**Základní teoretické aspekty metody**

Teoretickým východiskem metody je řešení pružné vrstvy. Podrobnější odvození a napětí pružné vrstvy najdeme v [6], [8]. Zde je ukázáno, jak je při zanedbání vodorovných posunutí

$$w(x; y; z) = \sum_{j=1,3,5}^{\infty} w_j(x; y) \psi_j(z),$$

$$\psi_j(z) = \frac{1}{\sqrt{H}} \sin \frac{j\pi}{2H} z,$$

pomocí Kantorovičovy metody provedena dvojrozměrná redukce (3D/2D). Uplatněním Lagrangeova principu virtuálních posunutí získá požadavek rovnováhy ve svislém směru podoby

$$j^2 C_1 w_j - C_2 \Delta w_j = (-1)^{\frac{j-1}{2}} f_z.$$

V případě rotační symetrie dojde k dalšímu zjednodušení, úloha se stane jednorozměrnou a soustava nekonečně mnoha diferenciálních rovnic se zredukuje na tvar

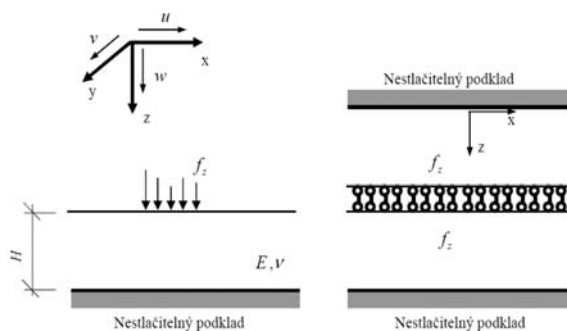
$$w_{j,xx} + \frac{1}{x} w_{j,x} - (j\alpha)^2 w_j = (-1)^{\frac{j-1}{2}} \bar{f}_z,$$

kde  $C_1 = \frac{\sqrt{H} \cdot \pi^2}{8H^2} E_{oed}, \quad C_2 = \frac{\sqrt{H}}{2} G,$

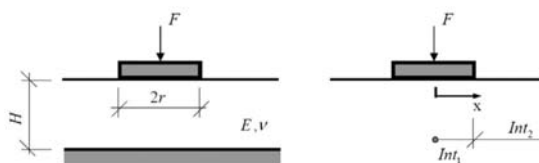
$$\alpha = \sqrt{\frac{C_1}{C_2}}, \quad \bar{f}_z = -\frac{f_z}{C_2}, \quad j = 1, 3, 5, \dots$$

Diferenciální rovnice tohoto typu bývá označována jako modifikovaná Besselova.

Význam symbolů a úlohu samotnou přibližuje obr. 3. Mimořádnou pozornost je třeba věnovat zadání, kdy zatížení je do vrstvy vnášeno nekonečně tuhou kruhovou deskou (obr. 4).



Obr. 3. Schéma pružné vrstvy a význam jednotlivých neznámých a vstupních parametrů



Obr. 4. Schéma pružné vrstvy, zatížení je vnášeno tuhou deskou

Vztah mezi sedáním a zatížením popisuje identita

$$w_0 = \left[ \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{H} \left[ 2\pi \cdot r \cdot (2n+1) \sqrt{C_1 C_2} \cdot \frac{K_1[(2n+1)\alpha r]}{K_0[(2n+1)\alpha r]} + \pi \cdot \frac{1}{r^2 \cdot (2n+1)^2 C_1} \right]} \right] \cdot F.$$

První člen ve jmenovateli popisuje vliv smykové kotliny (vynášení hrany desky okolním podložím z  $Int_2$ ), druhý vyjadřuje vliv „pružin“ přímo pod deskou ( $Int_1$ ).  $K_1[(2n+1)\alpha r]$  a  $K_0[(2n+1)\alpha r]$  jsou modifikované Besselovy funkce,  $r$  je poloměr desky.

### Řešení osamělé plovoucí piloty GEO-5 Pilota

Jelikož řešení pomocí nekonečných řad je příliš složité, ujal se zjednodušení a počítá se pouze s prvním členem, který je dominantní. V určitém smyslu můžeme hovořit o podloží Winklerově–Pasternakově (dále jen WP). Ve dvou rozměrech se toto řídí rovnicí

$$C_{1WP} w - C_{2WP} \Delta w = f_z$$

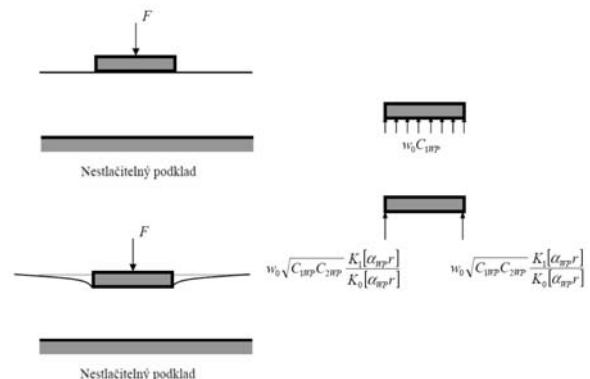
V partiální diferenciální rovnici jsme záměrně nahradili konstanty  $C_1$  a  $C_2$  konstantami  $C_{1WP}$  a  $C_{2WP}$ . Důvod je zřejmý, neboť zanedbáním dalších členů řady se dopouštíme určitých chyb a ty můžeme zmírnit úpravou parametrů. V programech fy FINE se konstanty  $C_{1WP}$  a  $C_{2WP}$  počítají z podmínky rovnosti matic poddajnosti nekonečně tuhého nekonečného základového pásu spočívajícího na WP podloží a na pružné vrstvě. Tato podmínka je obsažena v rovnostech

$$[C] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 2\sqrt{C_{1WP}C_{2WP}} + bC_{1WP} & 1 \\ 0 & 2\left[b^2\sqrt{C_{1WP}C_{2WP}} + bC_{2WP} + \frac{b^3}{3}C_{1WP}\right] \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{2\sqrt{H}[(2n+1)\sqrt{C_1C_2} + (2n+1)^2bC_1]} & 0 \\ 0 & \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{2\sqrt{H}[(2n+1)b^2\sqrt{C_1C_2} + bC_2 + (2n+1)^2\frac{b^3}{3}C_1]} \end{bmatrix}$$

Rovnice popisující sedání tuhé kruhové desky na WP podloží se proti pružné vrstvě zjednoduší na tvar

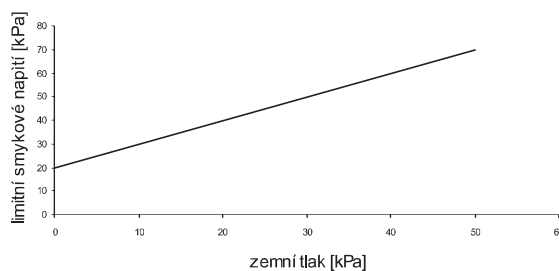
$$w_0 = \frac{1}{2\pi \cdot r \sqrt{C_{1WP}C_{2WP}} \cdot \frac{K_1[\alpha_{WP}r]}{K_0[\alpha_{WP}r]} + \pi \cdot r^2 \cdot C_{1WP}} \cdot F$$



Obr. 5. Tuhá kruhová deska na Winklerově–Pasternakově podloží

Zadání úlohy a přenos zatížení mezi tuhou deskou a WP modelem podloží ilustruje obr. 5. Modul rozdělí pilotu na nosníkové prvky délky zhruba dva a půl průměru. Minimální počet je deset. Uzel dřívku piloty je vynášen pružinou odpovídající vlivu smykové kotliny. Index malé  $k$  značí, že parametry zeminy se energeticky průměrují v okolí tohoto uzlu, přičemž se uvažuje deformační zóna, zóna vlivu, která je rovna 2,5násobku aktuálního průměru piloty. Každý uzel je tedy podepřen pružinou, jejíž pérová konstanta se vypočítá ze vzorce

$$k_k = 2\pi r_k \sqrt{C_{1WP_k} C_{2WP_k}} \frac{K_1(\alpha_{WP_k} r_k)}{K_0(\alpha_{WP_k} r_k)}$$



Obr. 6. Vztah mezi limitním smykovým napětím a zemním tlakem působícím na dřívík piloty

Reakce okolní zeminy v místě  $k$  vyvodí liniové zatížení odpovídající sednutí uzlu, jehož intenzita

$$f_k = w_k \sqrt{C_{1WP_k} C_{2WP_k}} \frac{K_1(\alpha_{WP_k} r_k)}{K_0(\alpha_{WP_k} r_k)}$$

Tomu odpovídá průměrné smykové napětí na prutovém prvku délky  $l_k$

$$\tau_k = \frac{f_k}{l_k} = \frac{w_k}{l_k} \sqrt{C_{1WP_k} C_{2WP_k}} \frac{K_1(\alpha_{WP_k} r_k)}{K_0(\alpha_{WP_k} r_k)}$$

Přenos smykového napětí se řídí Mohrovým–Coulombovým zákonem (obr. 6). Je-li smykové napětí menší než limitní, přenáší daný prutový prvek třecí sílu

$$T_k = 2\pi r_k l_k \tau_k$$

v opačném případě

$$T_{k,lim} = 2\pi r_k l_k \tau_{k,lim}$$

V patě piloty přibude k vlivu smykové kotliny ještě odpor pod patou. Pérová konstanta pružiny pod patou se tedy určí ze vzorce

$$k_p = \pi r_p^2 C_{1WP_p} + 2\pi r_p \sqrt{C_{1WP_p} C_{2WP_p}} \frac{K_1(\alpha_{WP_p} r_p)}{K_0(\alpha_{WP_p} r_p)}$$

Program umožňuje volit pod patou piloty vývoj hloubky deformační zóny v průběhu zatěžování. Jedna možnost je, že hloubka se vyvíjí v průběhu zatěžování od jednonásobku až

po dvojnásobek průměru paty piloty, druhá možnost, reálnější, hloubku deformační zóny počítá. Se základními myšlenkami vývoje deformační zóny se čtenář může seznámit v [6], [8].

Programem GEO-5 Pilota byla počítána mezní zatěžovací křivka piloty. Geologický profil a parametry zeminy jsou uvedeny v obr. 7.

Číslo	Vrstva [m]	Přiřazená zemina	Vzorek
1	9.30	Zemina číslo: 1 F6	
2	1.20	Zemina číslo: 3 Cb	
3	1.80	Zemina číslo: 1 F6	
4	1.70	Zemina číslo: 1 F6	
5	2.50	Zemina číslo: 2 G3 G-F	
6	-	Zemina číslo: 2 G3 G-F	

**Parametry zemín**

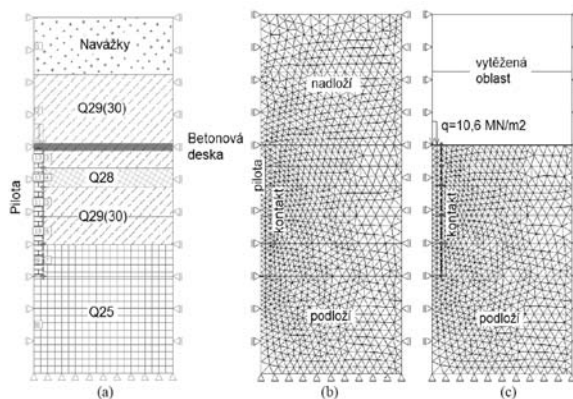
**Zemina číslo: 1 F6**  
 Objemová tíha :  $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$   
 Úhel vnitřního tření :  $\varphi_{\text{def}} = 27,00^\circ$   
 Soudržnost zeminy :  $c_{\text{def}} = 13,00 \text{ kPa}$   
 Poissonovo číslo :  $\nu = 0,40$   
 Modul přetvárnosti :  $E_{\text{def}} = 6,00 \text{ MPa}$   
 Obj.tíha sat.zeminy :  $\gamma_{\text{sat}} = 21,00 \text{ kN/m}^3$   
 Úhel roznášení :  $\beta = 20,00^\circ$

**Zemina číslo: 2 G3 G-F**  
 Objemová tíha :  $\gamma = 19,00 \text{ kN/m}^3$   
 Úhel vnitřního tření :  $\varphi_{\text{def}} = 33,00^\circ$   
 Soudržnost zeminy :  $c_{\text{def}} = 1,00 \text{ kPa}$   
 Poissonovo číslo :  $\nu = 0,30$   
 Modul přetvárnosti :  $E_{\text{def}} = 80,00 \text{ MPa}$   
 Obj.tíha sat.zeminy :  $\gamma_{\text{sat}} = 20,00 \text{ kN/m}^3$   
 Úhel roznášení :  $\beta = 20,00^\circ$

**Zemina číslo: 3 Cb**  
 Objemová tíha :  $\gamma = 19,00 \text{ kN/m}^3$   
 Úhel vnitřního tření :  $\varphi_{\text{def}} = 36,00^\circ$   
 Soudržnost zeminy :  $c_{\text{def}} = 1,00 \text{ kPa}$   
 Poissonovo číslo :  $\nu = 0,30$   
 Modul přetvárnosti :  $E_{\text{def}} = 100,00 \text{ MPa}$   
 Obj.tíha sat.zeminy :  $\gamma_{\text{sat}} = 20,00 \text{ kN/m}^3$   
 Úhel roznášení :  $\beta = 20,00^\circ$

Obr. 7. Geologický profil, výstup programu GEO-5 Pilota

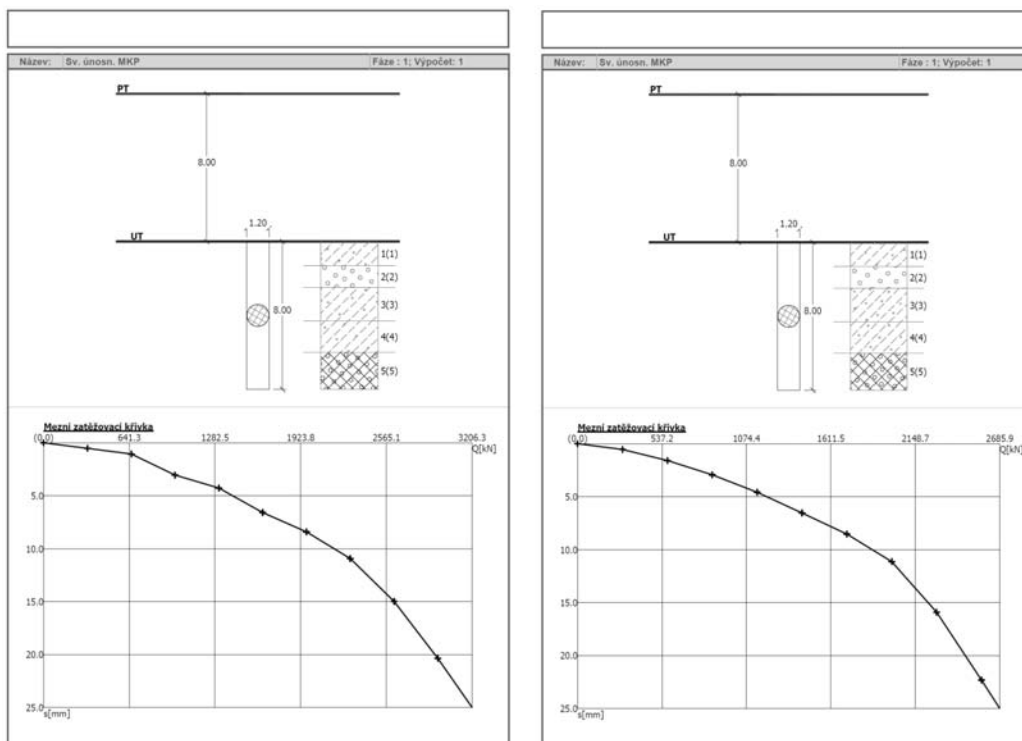
Pilota měla průměr 1,2 m. Stavební jáma měla hloubku 8 m (rozdíl původní terén – PT a upravený terén – UT). Pilota byla dlouhá také 8 m. Zadání úlohy a výsledné mezní zatěžovací křivky přibližuje obr. 8.



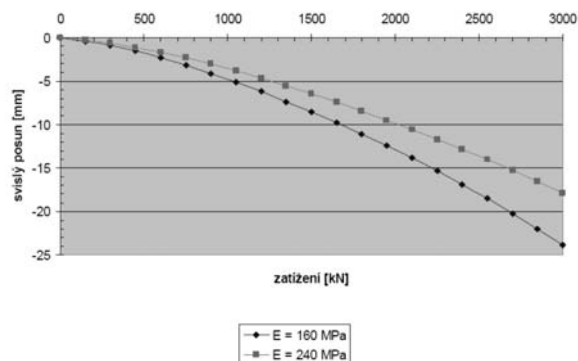
Obr. 9. a – morfologie oblasti, b – síť MKP a okrajové podmínky, c – síť MKP a zatížení ve 3. fázi

**Posouzení metodou konečných prvků – GEO MKP**

Na obrázku 10 jsou uvedeny výsledky úlohy řešené metodou konečných prvků. Jsou prezentovány dvě křivky, menší sedání přísluší řešení, při němž uvažujeme, že po odtižení je elastický modul pružnosti  $E_{ur}$  roven trojnásobku modulu deformačního, ve druhém případě je uvažován dvojnásobek [5].



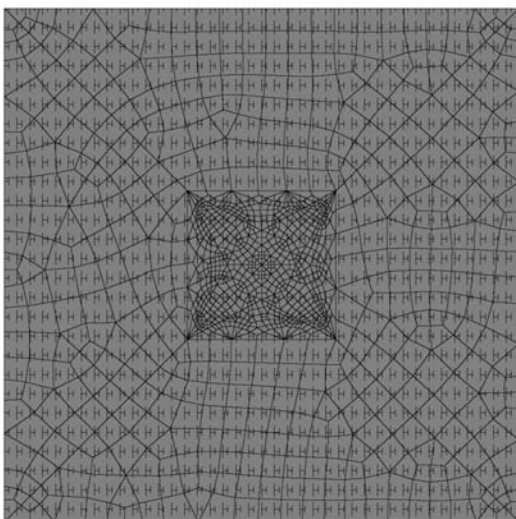
Obr. 8. Pracovní diagram osamělé piloty a – hloubka deformační zóny se počítá, b – hloubka deformační zóny se vyvíjí (od jednonásobku až po dvojnásobek průměru paty piloty)



Obr. 10. Zatěžovací křivka osamělé piloty

### Elastické podepření desky pilotou GEO-5 Deska

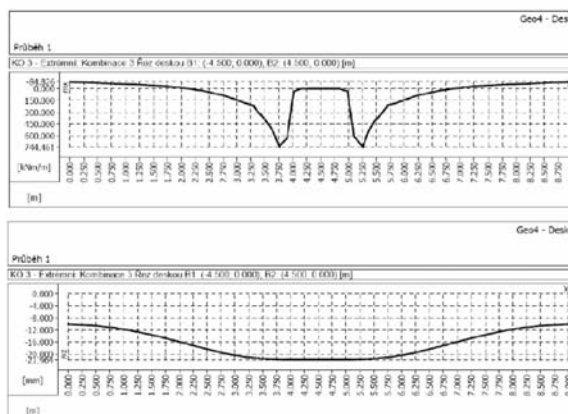
Sedání desky s pilotou jsme řešili pro normové zatížení sloupem 7 MN. Plošné zatížení činilo 5 kN/m<sup>2</sup>. Desku jsme zvolili tloušťky 20 cm, která se v okolí piloty ve čtverci 2,6 x 2,6 m zdvojnásobuje na hodnotu 40 cm. Beton jsme uvažovali dle původního návrhu B 35. Ve vzdálenosti 4,5 m od osy sloupu je uvažována rovina symetrie. Zadání úlohy a okrajové podmínky jsou schematicky uvedeny v obr. 1b). Síť pro výpočet MKP je zobrazena na výseku 9 x 9 m na obr. 11. Hustší síť je v místě tlustší 40 cm desky. Pilota byla modelována rovníplochým osmiúhelníkem. V obrázku je zachyceno i podloží, které se nachází všude mimo pilotu. Podloží bylo modelováno WP modelem podloží. Výstižnost tohoto modelu spočívá především v tom, že je schopen postihnout předkonsolidaci zeminy prostřednictvím hloubky deformační zóny. Odpor piloty jsme získali z jejího pracovního diagramu (obr. 8). Prostřednictvím sečny jsme zvolili pérovou konstantu  $k = 80\,000$  kNm<sup>-1</sup>. Průběh ohybového momentu  $m_x$  a sedání v ose  $x$  procházející středem desky ( $y = 0$ ) zachycuje obr. 12. Kombinace 3 odpovídá plnému zatížení (tj. vlastní tíha desky, zatížení sloupem a plošné nahodilé zatížení desky).



Obr. 11. Deska podepřená pilotou

Abychom zdůraznili rozdíl mezi standardním trojrozměrným přístupem MKP a řešením pouze desky metodou konečných prvků, upozorňujeme, že zadání úlohy je prostorové. Pomocí určitého technického citu jsme úlohu formulova-

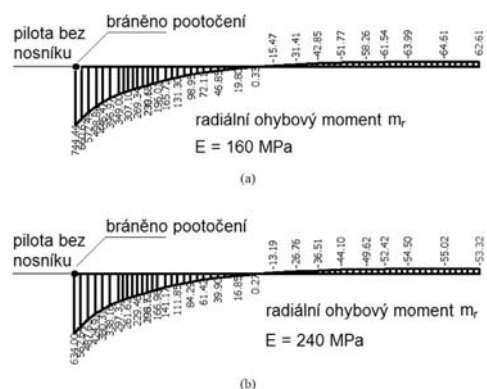
li v rovině, dvojrozměrně. Působení podloží jsme nahradili WP modelem, vliv piloty jsme odhadli z výše počítané zatěžovací křivky osamělé piloty. Jde tedy o zjednodušené technické řešení. Než uvedeme výsledky upozorňujeme na to, že desku jsme řešili jakoby po obvodu piloty vetknutou, neboť bezprostředně nad pilotou je sloup. Toto vetknutí však musí zprostředkovat deska, i když program, který má posuvné vetknutí zadáno jako vnější vazbu, uvádí v oblasti piloty moment nulový.

Obr. 12. Průběh ohybového momentu  $m_x$  a sedání desky spřažené s pilotou

Výsledky výpočtu ukazují, že sedání je přiměřené, rovněž hodnota ohybových momentů dosahuje snadno dimenzovatelné úrovně.

### Kruhová deska podepřená pilotou GEO-5 MKP

Obdobné zadání jako v předchozí části bylo řešeno prostorově pomocí MKP. Úloha byla formulována osově symetricky (obr. 2). Podobně jako pro osamělou pilotu byl uvažován vliv předkonsolidace zemin – dvě různé hodnoty modulu  $E_w$ . Výsledné ohybové momenty  $m_r$  přibližuje obr. 13. Podrobnější informace o samotném řešení MKP nalezneme v [5].

Obr. 13. Průběh ohybového momentu  $m_r$  na desce spřažené s pilotou

### Závěr

V příspěvku byly představeny dvě strategie řešení pilot a základových desek – jednak určitý technický přístup, založený na známých analytických řešeních a určitých technických

intuicích, jednak způsob založený na standardní algoritmicke MKP. V případě řešení problému osamělé piloty nebo piloty s deskou jsou výsledky výpočtů obou metod v poměrně dobré shodě. Je zřejmé, že výhodou technického přístupu je rychlost výpočtu. Jeho nevýhodou je, že řešení se značně komplikuje v případě složité geometrie konstrukce a značné proměny materiálových parametrů. Takové zadání naopak vyhovuje standardní algoritmicke MKP, která se sítí přizpůsobí libovolnému tvaru, a rovněž konečný prvek má vlastní materiálové parametry, které se v průběhu výpočtu mohou, víceméně libovolně, měnit. Lze konstatovat, že nejlepší je využít kombinaci obou metod. Pomocí technického přístupu lze získat velmi rychle základní představu o řešení a problematické detaily doladit MKP.

**Příspěvek byl vypracován za podpory projektů č. 1ET410430516 ČSAV a č. 103/04/1134 GA ČR. Software a odborné konzultace poskytla firma FINE, s. r. o.**

#### Literatura

- [1] GEO5 – Teoretická příručka. FINE, s. r. o., www.fine.cz, 2006.
- [2] GEO MKP – Uživatelská příručka. FINE, s. r. o., www.fine.cz, 2002.
- [3] GEO MKP – Theoretical guide. FINE, s. r. o., www.fine.cz, 2002.
- [4] Masopust, J.: Vrtané piloty. Praha, Čeněk a Ježek 1994, 263 s.
- [5] Šejnoha, M. – Kuklík, P.: Aplikace semianalytické metody a metody konečných prvků při analýze vrtaných pilot. Geotechnika, 9, 2006, č. 3, s. 3–9.
- [6] Kuklík, P. – Kopáčková, M.: Porovnání řešení pružné vrstvy s Boussinesqovým řešením pružného poloprostoru. Stavební obzor, 13, 2004, č. 6, s. 171–175.
- [7] Cunha, R. P. – Kuklík, P.: Numerical Evaluation of Pile Foundations in Tropical Soils of the Federal District of Brazil by Means of a Semi-analytical Mathematical Procedure. Solos e Rochas, Suelos y Rocas, Soils & Rocks, 2003, Vol. 26, No. 2, pp. 167–182.
- [8] Kuklík, P. – Masopust, J. – Mühl, J. – Sehnoutek, L.: Statické zatěžovací zkoušky základové půdy tuhou deskou v hlubokých jamách. Stavební obzor, 13, 2004, č. 9, s. 257–260.

#### Kuklík, P. – Šejnoha, M.: Interaction of the Pile and the Foundation Slab

The main objective of this paper is to introduce the reader to the modelling of bored piles using both semi-analytical and finite element methods. Owing to the fact that the presented results show a reasonable agreement of both methods, it remains up to the designer which approach he chooses to follow for completion of the actual project. Both approaches are implemented in the software environment of the company FINE Ltd. In particular the programs GEO 5 Pile [1] and GEO FEM [2], [3] are used in this study.

#### Kuklík, P. – Šejnoha, M.: Die Interaktionen eines Pfahls mit der Grundplatte

Ziel des Beitrags ist es, den Leser mit den Möglichkeiten der Modellierung von Bohrpfählen nach der semianalytischen Methode und der Methode der finiten Elemente bekannt zu machen. In Anbetracht dessen, dass die präsentierten Lösungsergebnisse auf eine relativ gute Übereinstimmung beider Verfahren verweisen, liegt es nur beim Planer, welches er bei der Erarbeitung des eigenen Projektes wählt. Beide sind in der Programmumgebung der Firma FINE implementiert. Es handelt sich um die Module GEO 5 Pilota [1] und GEO MKP [2], [3].

## Fakulta stavební ČVUT v Praze

Profesní komora požární ochrany® a Generální ředitelství hasičského záchranného sboru Ministerstva vnitra pořádají v rámci projektu strukturálních fondů JPD3

semináře

# Celoživotní vzdělávání v požární ochraně

20. – 22. února 2006

- 20. února – **Navrhování konstrukcí na účinky požáru podle evropských norem**  
Statické výpočty za požární situace
- 21. února – **Zajištění požární bezpečnosti staveb v souladu s evropskými normami**  
Nové poznatky v problematice požární ochrany obecně
- 22. února – **Kontroly požárně bezpečnostních zařízení**  
Požární ochrana v praxi

Semináře jsou zařazeny do systému celoživotního vzdělávání ČKAIT. Absolvování jednoho semináře je navrženo na ocenění bodovou hodnotou 1. Pro každý seminář jsou připraveny textové pomůcky v rozsahu 100 stran. Podrobné informace a přihlášku na seminář lze nalézt na internetové adrese:

[www.ocel-drevo.fsv.cvut.cz](http://www.ocel-drevo.fsv.cvut.cz)

# Základní kritéria a doporučení pro sledování pórových tlaků ve svazích

Ing. Michal BUBENÍČEK  
Ing. Jan ZÁLESKÝ, CSc.  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

Bez znalosti tlaku vody v pórech zeminy včetně jeho vývoje není možno stanovit stabilitu svahu jen na základě smykových parametrů zeminy a měření deformací. Na základě měření prostorových deformací a pórových tlaků na modelovém svahu vykazujícím velké smykové deformace jsou v článku uvedena základní kritéria pro návrh a hodnocení výstížnosti monitorování pórových tlaků. K úvahám a zpracovaným doporučením byly použity příklady dlouhodobého sledování v lokalitě u Ústí nad Labem.

## 1. Úvod

V geotechnice je přesný popis prostředí a předvídání chování svahů velmi obtížný díky proměnlivosti vlastností zemín a jejich rozložení v prostředí, výskytu podzemní vody, které není možné dostatečně přesně charakterizovat. Plánování geotechnického monitoringu a vyhodnocení možných geotechnických nejistot v zájmovém území jednoznačně vede k ekonomicky přijatelnému a efektivnějšímu využití výsledků ve výpočtech stability. Bez znalosti tlaku vody v pórech zeminy včetně jeho vývoje není možno s určitostí stanovit stupeň stability svahu jen na základě smykových parametrů zeminy a měření deformací.

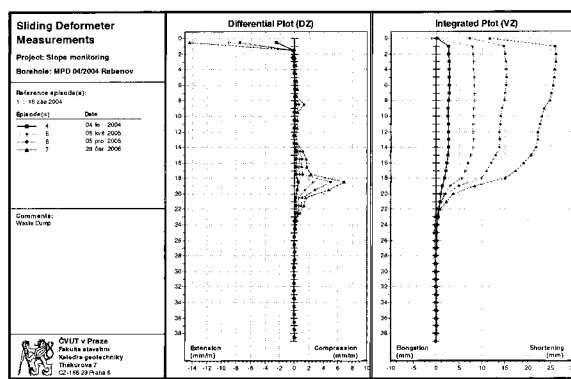
K úvahám a zpracovaným doporučením byly použity příklady dlouhodobého sledování v lokalitě u Ústí nad Labem. Na území uzavřeného povrchového lomu Chabařovice se od roku 2002 sleduje v rámci výzkumných úkolů Katedry geotechniky Fakulty stavební ČVUT v Praze severovýchodní svah Rabenov (obr. 1).



Obr. 1. Celkový pohled na svah Rabenov

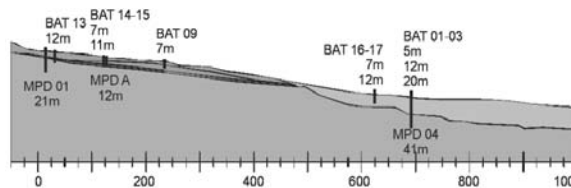
Mírně svažité horní část terénu je tvořena převážně terciárními jíly překrytými sprašovými hlínami v původním uložení. V jílech se vyskytují čedičové sutě rozvlčené po svahu. V dolní části svahu jsou podložní jíly překryté výsypkou lomu, která obsahuje vytěžené nadložní jíly, spraše a

zbytky uhlí. Svah s různým sklonem vykazuje velké smykové deformace ve směru sesuvu k zatápně jámě lomu a deformace vyvolané značnou stlačitelností výsypkových materiálů (obr. 2) [6].



Obr. 2. Svislá přetvoření zjištěná posuvným deformetrem ve vrtu MPD 04

Pohyby s rozdílnou rychlostí a hloubkou smykové plochy probíhají jak v rostlém terénu, tak v podložních jílech a v tělese výsypky [4]. K měření pórových tlaků se využívá systém švédské výroby, sestávající z filtru, přístupové trubky a snímače spuštěného do výstroje [5]. Na základě provedených instrumentací – měření prostorových deformací (MPD) a pórových tlaků (BAT) v profilu po spádnici svahu (obr. 3) – jsou dále uvedena základní kritéria pro návrh a hodnocení výstížnosti monitorování pórových tlaků.



Obr. 3. Vystrojený profil modelového svahu

Metodu a způsob monitorování je třeba plánovat na základě [7]:

- současných i dřívějších podkladů o zájmové lokalitě, tj.
  - topografické mapy,
  - leteckých snímků,
  - geologických map a záznamů,
  - záznamů o dřívějších průzkumech,
  - odborných knih a článků k dané lokalitě či problematice,
  - dokumentace o nadzemní i podzemní infrastruktuře,
  - hydrogeologických záznamů,
  - záznamů o těžební činnosti;

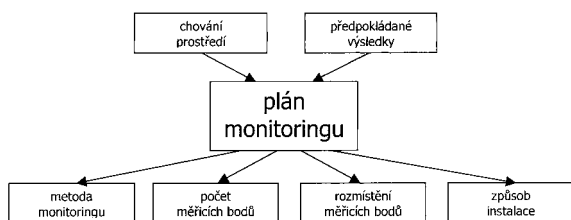
- periodických prohlídek území z hlediska
  - vývoje přetváření nestabilní oblasti,
  - oblastí zamokření, vývěry vody nebo retence;
- předběžného geotechnického průzkumu zaměřeného minimálně
  - na geologii prostředí,
  - základní charakteristiky zemín,
  - výskyt podzemní vody.

Nejistoty se v geotechnice obecně vyskytují díky proměnlivým vlastnostem a rozložení zemín a podzemní vody v prostředí, které je na rozdíl od materiálů, jako je ocel či beton, obtížné charakterizovat.

Samotný plán geotechnického monitorování by měl zahrnovat:

- výstižnou specifikaci cílů, předpokládaných výsledků a jejich prezentace;
- identifikaci rizik a nejistot nevystižením skutečného chování sledovaného prostředí a poškození instrumentací;
- stanovení, resp. odhad nejistoty a velikosti sledovaných veličin;
- sestavení variant metod monitoringu, popř. jejich kombinace;
- výběr nejhodnější metody vzhledem k požadovaným výsledkům, předpokládanému chování prostředí, rozpočtu a harmonogramu;
- průběžnou kontrolu shody předpokládaného chování prostředí a výstižnosti monitoringu a jeho případnou úpravu.

Pro návrh jsou rozhodující faktory z obr. 4.

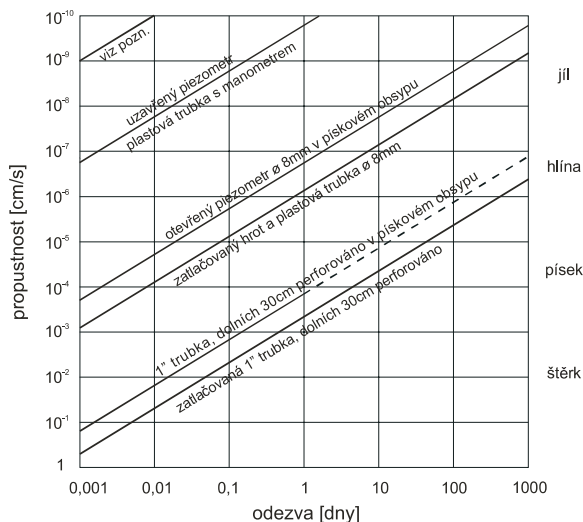


Obr. 4. Faktory pro návrh monitorování pórových tlaků

### Návrh sledování pórových tlaků

■ **Metodou monitoringu** se myslí technické vybavení, tj. otevřený nebo uzavřený piezometr, popř. jejich varianty, a způsob registrace dat. Výběr vychází ze znalosti geologie, resp. stratigrafie (propustné/nepropustné vrstvy) svahu. Na základě hydrogeologických podmínek (nasycené/nenasycené prostředí) se dá přibližně určit rozsah hodnot pórového tlaku. Pokud je očekávána proměnlivost sledovaných hodnot, je nutno vzít v úvahu hydrodynamické časové zpoždění v závislosti na propustnosti prostředí a typu vystrojení (obr. 5). Při jejím výběru rozhodují:

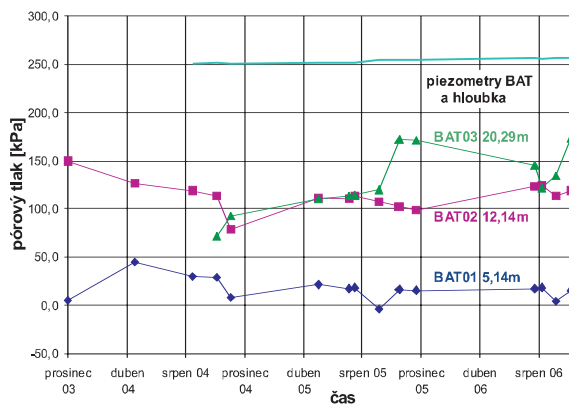
- inženýrskogeologické a hydrogeologické podmínky,
- výkyvy hodnot v čase,
- předpokládaný rozsah hodnot,
- cenový rozpočet,
- možnost kalibrace,
- vývoj chování prostředí, vliv provozu, stavebních či jiných aktivit.



Obr. 5. Doba 90% odezvy pro různé typy piezometrů (membránové s uzávěrem, piezorezistivní, strunové) v závislosti na propustnosti zeminy [8]

Doba odezvy na změnu tlaku závisí zejména na typu a rozměru piezometru a propustnosti zeminy. Jedním z faktorů při výběru technického vybavení je i cena, která z hlediska společenského úzce souvisí se závažností úlohy, tj. od poškození svahu přes škody na infrastruktuře až po úrazy a ztráty na životech. Při ekonomickém hodnocení přístrojů by měla být porovnána kromě kritérií, jako je recalibrace, instalace, údržba, podíl inventárního vybavení (opakované použití) a ztracené výstroje (jednorázové), požadovaná doba sledování. Někdy opomíjený provoz v zájmové lokalitě, jako pojezd těžké mechanizace, přístup veřejnosti apod., může zmařit jinak úspěšně probíhající sledování. Měřicí přístroj by měl vykazovat i odolnost proti působení vnějších vlivů a prostředí, do kterého se instaluje.

Porovnání výsledků měření pórových tlaků v horní části výsypky, tvořené terciárními jíly pod mírně ukloněným svahem, pomocí otevřeného trubkového a uzavřených piezometrů BAT, instalovaných ve třech úrovních, je na obr. 6. Zatímco piezometrická hladina podzemní vody v otevřeném piezometru se měnila jen nepatrně v úrovni necelých 2 m pod terémem, hodnoty pórových tlaků v čase se výrazně mění.



Obr. 6. Průběh pórového tlaku v otevřeném a uzavřených piezometrech BAT

■ **Polohu měřicích bodů** je vhodné volit na základě:

- předpokladu o možných oddělených hydraulických horizontech,
- stratigrafie (propustné, nepropustné vrstvy),
- případné hladiny podzemní vody a jejího kolísání,
- přetváření svahu,
- vývoje chování prostředí, vlivu provozu, stavebních či jiných aktivit,
- předpokladu o přístupu vody do území (podzemní, nadzemní přítoky).

Umístění měřicích bodů vychází buď z předpokládaného chování svahu podle výsledků výpočtů stability, nebo z geologické stavby svahu. V homogenních a propustných zeminách postačí v daném místě jedno měřidlo pórového tlaku zpravidla v největší hloubce. V oblastech s kolísající hladinou podzemní vody je výhodné umístit měřidla nad nejpravděpodobnější úroveň hladiny podzemní vody a pod ní. V nehomogenním prostředí při výskytu více zvodnělých vrstev je žádoucí instalovat piezometry na jednom místě ve svazku ve zvolených úrovních. Vývoj pórových tlaků může být často ovlivněn externími povrchovými či podzemními přítoky, drenážními systémy, studnami s odběrem vody, povrchovým odvodněním apod. Snaha získat tyto údaje v oblastech s největším totálním napětím v translační oblasti může při deformacích zeminy přesahující mez odolnosti přístroje vést k jeho poškození v úrovni smykové plochy, a tím ke ztrátě měřidel pod její úrovní. Při možnosti více variant porušení stability svahu je lepší umístit instrumentace v jednom či několika profilech po spádnicí v závislosti na rozloze svahu. Vliv již dříve zmíněného provozu se dá částečně omezit vhodným umístěním měřidel, např. v místech těžké mechanizaci nepřístupných, a jejich zviditelněním a zakreslením do přehledné situace instrumentací.

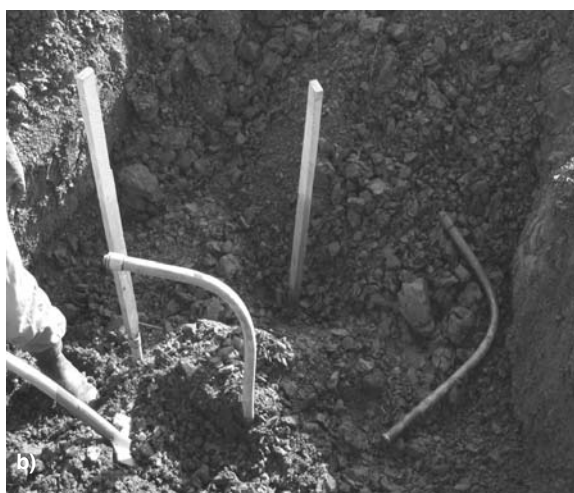
Poškození přístupových trubek piezometrů BAT těžkou mechanizací ve spodní části výsypky u zatápné jámy lomu, kde probíhala rekultivace, je vidět na obr. 7a. V tomto případě nebylo měření ztraceno, protože systém sestává z odděleného a uzavřeného filtru, zabudovaného v zemi, a mobilního snímače, který je s filtrem propojen v době měření a registrace dat. Po opravě vrchní části přístupových trubek a vyčištění výstroje bylo měření plně obnoveno (obr. 7b).

Například měření pórového tlaku ve svazku s piezometry BAT 16 a BAT 17 indikovalo stabilní artézskou hladinu podzemní vody v hloubce 12 m a tlaku až 188,7 kPa (obr. 8). Naopak v hloubce 7 m byly naměřeny konstantně téměř nulové hodnoty. Pokud by byl pro měření pouze jeden piezometr v mezilehlé hloubce, nebyla by napjatá hladina podzemní vody pravděpodobně zjištěna. Zjevně jde o lokální výskyt v dolní části výsypky, který významně neovlivňuje celkovou stabilitu. Pokud souhlasí poloha indikované smykové plochy s oblastí přetlaku, bude stabilita svahu pravděpodobně významně ovlivňována přímo velikostí pórového tlaku.

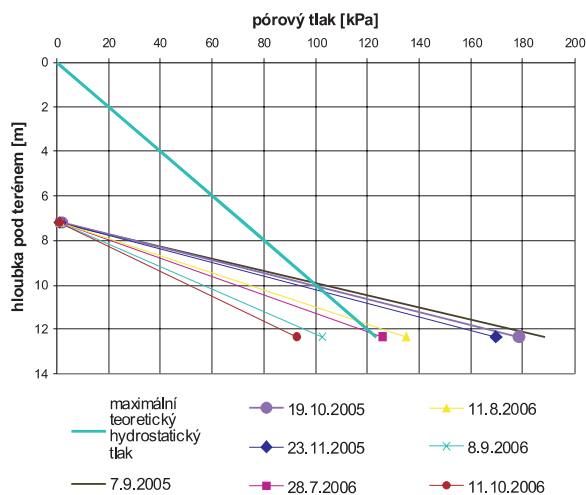
■ **Počet měřicích bodů** se určuje podle:

- rozlohy svahu,
- různorodosti svahu,
- výpočetního modelu a požadavků na data,
- cenového rozpočtu.

Výstižnost naměřených hodnot je značně ovlivněna rozsahem měření, která jsou závislá na místních podmínkách oblasti, v níž jsou přístroje osazeny. Hodnoty pórových tlaků charakterizují jen malou oblast, ve které jsou získány, a často nereprezentují celou oblast. Proto je před závěrečnou prezentací dat žádoucí provést měření v co největším počtu bodů, pocho-



Obr. 7. Poškození přístupových trubek piezometrů BAT s odděleným snímačem a záznamovým zařízením těžkou mechanizací a jejich oprava

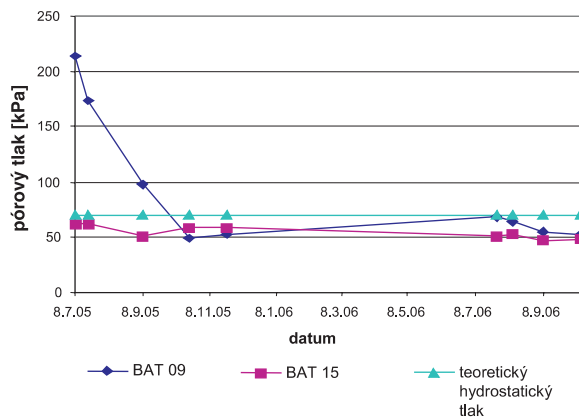


Obr. 8. Průběh pórových tlaků u piezometrů BAT 16 a BAT 17 v dolní části výsypky

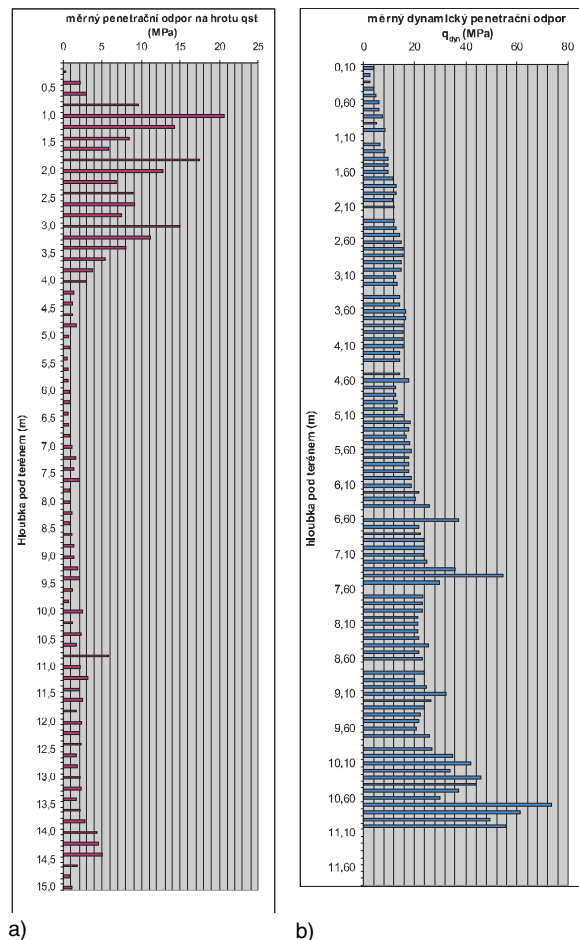
pitelně s ohledem na rozpočet. Základním předpokladem hospodárného využití měřidel je znalost rozsahu výpočetního modelu včetně variant možných poruch stability svahu a požadavků na množství dat pro výpočetní analýzu.



Výsledky měření pórových tlaků ve dvou uzavřených piezometrech ve vzájemné vzdálenosti cca 30 m po spádnicí horní části svahu Rabenov v rostlém terénu v hloubce 7 m jsou uvedeny na obr. 9. U níže položeného piezometru BAT 09 (pod povrchovou retencí vody) je zřejmý trvalý pokles hodnoty pórového tlaku v čase, zatímco piezometr BAT 15 (nad povrchovou retencí vody) vykazuje v čase poměrně konstantní hodnotu.



Obr. 9. Pórový tlak měřený ve dvou uzavřených piezometrech v hloubce 7 m



Obr. 10. Instalace filtrů piezometrů BAT  
a – statickou penetrací ve výsypce, b – dynamickou penetrací v přirozeném svahu

■ Nejvhodnější způsob instalace se doporučuje volit podle:

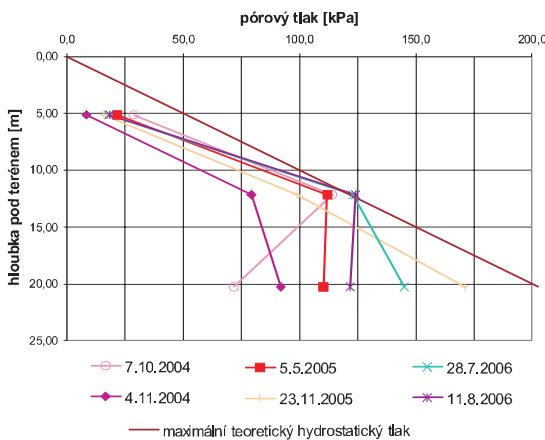
- typu instrumentace,
- pevnostních charakteristik zemin,
- přístupu k měřicímu místu,
- stratigrafie (přemostění vrstev),
- cenového rozpočtu.

Obvykle jej doporučí výrobce měřicího přístroje. Mezi současné způsoby patří instalace do vrtu a zatlačování, resp. zarážení pomocí statické, resp. dynamické penetrace. Některé piezometry je možno instalovat všemi uvedenými způsoby nebo jejich kombinací, čímž se výrazně sníží náklady a čas na instalaci. Zatlačování, resp. zarážení, se s výhodou používá při instalacích ve výsypkách a násypcech. Instalace dynamickou penetrací je neocenitelná v místech hůře přístupných pro pohyb a nízkou hmotnost soupravy. Nevýhodou může být případné poškození piezometru tlakem vody vyvolaným postupem penetrace nebo mechanicky. Instalace by měla co nejméně narušit nebo ovlivnit stávající chování prostředí. U víceúrovňových piezometrů ve společných vrtech je nutno dbát na pečlivé utěsnění vrtu nad každým filtrem a pod ním, aby nedošlo k nežádoucímu propojení vrstev. Příklad závislosti odporu zeminy na hloubce při instalaci piezometrů BAT se zvýšenou odolností pomocí statické, resp. dynamické penetrace ve výsypce tvořené terciárními jíly, resp. v přirozeném svahu, je na obr. 10.

■ Chování podzemní vody v prostředí. Pro správnou interpretaci měřené veličiny je třeba posoudit vliv:

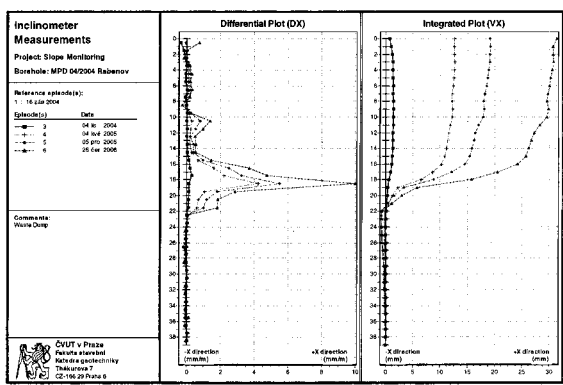
- propustnosti zemin a časového zpoždění,
- stupně nasycení prostředí,
- průběhu pórových tlaků s hloubkou,
- doby sledování a četnosti odečtu dat,
- předpokládané polohy oblastí smykových přetvoření,
- kontroly skutečného chování zeminy za smykového přetváření, tj. kontraktantní, neutrální nebo dilatantní.

Důležitým kritériem hodnocení výstižnosti sledování pórových tlaků jsou samotné mechanismy chování podzemní vody v zemině. Jinak vypadají pórové tlaky u spojitě hladiny podzemní vody a jinak u oddělených hydraulických horizontů nebo samostatných retencí vody v pórech, jako např. kamenité suti v jílech. V případě nenasycených zemin, kde se mohou vyskytovat negativní pórové tlaky, je potřeba použít instrumentaci umožňující měření sání nebo použít filtry s vysokým odporem proti vstupu vzduchu. Podstatná je i doba sledování, protože hodnota pórového tlaku se může v čase výrazně měnit (obr. 9).



Obr. 11. Rozdělení pórových tlaků nad smykovou plochou do hloubky 20 m

Výsledky sledování pórových tlaků ve výsypce trojicí piezometrů BAT 01-03, instalovaných ve skupině ve třech úrovních, jsou na obr. 11. Blízký vrt vystrojený pro sledování prostorových přetvoření MPD 04 indikoval smykovou plochu v hloubce 21 m pod terénem (obr. 12). Zajímavý je největší rozptyl pórových tlaků právě v úrovni smykové plochy [4].



Obr. 12. Identifikace smykové plochy přesnou inklinometrií ve vrtu MPD 04 v hloubce 21 m

## Závěr

Vlastnosti zemin a výskyt podzemní vody se mohou místo od místa výrazně lišit na rozdíl od homogenních konstrukčních materiálů ve stavebnictví s jednoznačně definovanými vlastnostmi. Ve většině případů ani nejpodrobnější geotechnický průzkum nemůže zachytit úplný obraz zeminového prostředí a odhalit veškeré anomálie. Parametry zemin určené během geotechnického průzkumu nemusí buď odpovídat povaze řešených problémů, nebo mohou vykazovat značný rozptyl hodnot, což vede k různým výsledkům výpočtu. Plánování monitoringu by mělo zefektivnit jejich identifikaci, posouzení a minimalizaci nejistot a zajistit co největší vypovídací schopnost. Sledování pórových tlaků se plánuje hlavně na základě chování prostředí a předpokládaných výsledků. Při výběru metody, čili technického vybavení, způsobu

instalace, počtu a rozmístění měřicích bodů, je nutné posoudit několik hledisek, zejména inženýrskogeologické a hydrogeologické podmínky a jejich prostorovou variabilitu, předpokládaný rozsah měřené veličiny, přetváření svahu, provoz a jiné aktivity v zájmové lokalitě, požadovanou dobu sledování, ale i cenový rozpočet.

Článek vznikl za podpory projektů FR VŠ G1 1080 „Terénní sledování závislosti pórových tlaků a svahových pohybů“ a IGS CTU0502411 „Měření pórových tlaků ve výsypce pomocí víceúrovňových piezometrů“. Využívá výstupy a instrumentace z projektů „Výzkum a verifikace metod sledování svahových pohybů“ GA 103/02/1166 a MSM 6840770005.

## Literatura

- [1] Záleský, J. et al.: Unstable Slope Monitoring and Remedial Measures Design. In: Proceedings of XIIIth Danube-European Conference on Geotechnical Engineering: Active Geotechnical Design in Infrastructure Development (Ed. J. Logar), Vol. 2, University of Ljubljana, 2006, pp. 525–530.
- [2] Bubeníček, M. – Záleský, J.: Measuring of Pore Water Pressure in a Mine Dump Using Multilevel Piezometers. In: Proceedings of Workshop 2006, ČVUT v Praze, Vol. 10, pp. 604–605.
- [3] Bubeníček, M.: Příklady monitoringu pórových tlaků na nestabilním svahu. In: Juniorstav 2006, VUT, FAST v Brně, 2006, s. 67–72.
- [4] Záleský, J. a kol.: Měření pórových tlaků a užití výsledků ve výpočtech stability svahu. In: Polní geotechnické metody 2005. Ústí nad Labem, AZ Consult, s. 107–113.
- [5] Záleský, J. – Bubeníček, M.: Přístroje a příklady sledování svahových pohybů. Stavební obzor, 13, 2004, č. 9, s. 279–281.
- [6] Kurka, J. – Záleský, J. – Lamboj, L.: Výzkum a verifikace metod sledování svahových pohybů – informace o vybraných výsledcích dosažených v průběhu řešení projektu. In: Polní geotechnické metody 2004. Ústí nad Labem, AZ Consult, s. 145–150.
- [7] Clayton, C. R. I.: Managing Geotechnical Risk. London, Thomas Telford Publishing 2001.
- [8] Smolczyk, U. et al.: Geotechnical Engineering Handbook. Berlín, Ernst & Son 2002, 787 s.

Bubeníček, M. – Záleský, J.: Fundamental Criteria and Recommendations for Monitoring of Pore Pressures in Slopes

Slope stability cannot be determined on the basis of soil shear parameters and measurement of deformations only, without the knowledge of water pressure in soil pores. Based on the measurement of spatial deformations and pore pressures on a model slope demonstrating large shear deformations, this article presents principal criteria for the design and assessment of the clarity of the monitoring of pore pressures. The reflections and recommendations made ensue from examples of long-term monitoring in a site close to Ústí nad Labem City.

Bubeníček, M. – Záleský, J.: Grundlegende Kriterien und Empfehlungen für die Aufzeichnung von Porendrücken in Hängen und Böschungen

Ohne Kenntnis des Wasserdrucks in den Poren des Erdstoffs einschließlich seiner Entwicklung ist es nicht möglich, die Stabilität eines Hanges bzw. einer Böschung nur aufgrund der Schubparameter des Erdstoffs und der Messung der Verformungen zu bestimmen. Aufgrund der Messung der räumlichen Verformungen und der Porendrücke an einer Modellböschung, die große Schubverformungen aufweist, werden im Artikel grundlegende Kriterien für den Entwurf und die Bewertung der Treffsicherheit der Aufzeichnung der Porendrücke angeführt. Zu den Betrachtungen und erarbeiteten Empfehlungen wurden Beispiele einer Langzeitbeobachtung an einem Standort bei Ústí nad Labem benutzt.

# Geodetické monitorování staveb a metody měření posunů

*doc. Ing. Mojmír ŠVEC, CSc.  
doc. Ing. Vladimír VOREL, CSc.  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha*

V příspěvku je dáno do souvislostí geodetické monitorování staveb a měření posunů. Uvádí se účel měření, obsah projektu měření a přehledně jsou popsány a hodnoceny geodetické metody.

## Úvod

Geodetické monitorování staveb je soubor měřických činností a analýz prováděných u vybraných staveb během výstavby a po jejím ukončení, a to především z bezpečnostních důvodů. Při výběru objektů pro toto monitorování se postupuje ve smyslu ČSN 73 0405 [1], jejíž závaznost je dána citací ve vyhlášce [2]. Toto monitorování nezahrnuje pouze měření posunů a přetvoření stavebních objektů, protože mimo to je třeba sledovat řadu vlastností a jevů souvisejících, např. zatěžovací stavy konstrukce a podloží, polohové změny konstrukce a podloží, napětí v konstrukci a podloží, filtrační vlastnosti (vodotěsnost), režim průsakových a podzemních vod, teplotní režim v konstrukci, vlastnosti konstrukčních materiálů atd.

Pod pojmem posun se při tom rozumí prostorová změna v poloze stavebního objektu nebo jeho části proti poloze v základní nebo předchozí etapě měření. Je-li posun vztažen k jiné části stavebního objektu nebo konstrukce, jde o posun „relativní“. Je-li posun vztažen k referenčnímu geodetickému systému, nezávislému na monitorovaném objektu nebo konstrukci, jde o posun „absolutní“.

Posuny a přetvoření stavebních objektů lze měřit různými fyzikálními metodami, mezi které patří i metody geodetické. Jejich velkou předností je, že poskytují informace o chování stavebních objektů a jejich částí ve všech směrech v daném čase, a to v relativních i absolutních hodnotách. Negeodetické metody umožňují zpravidla získat jen relativní hodnoty posunů jednotlivých částí objektů a konstrukcí.

Geodetické metody jsou však použitelné při měření jen některých monitorovaných jevů, jako jsou polohové změny a přetvoření konstrukce a podloží (sedání, zdvihy, vodorovné posuny, náklony, pohyby na dilatačních či pracovních spárách, deformace konstrukce-průhyby apod.), proto je třeba používat při monitorování stavebních objektů metody geodetické i negeodetické a všechny vzájemně vhodně doplňovat.

## Účel měření a jeho projekt

Měření posunů a přetvoření stavebních objektů a jejich částí slouží ve smyslu [1]:

- pro získání podkladů pro posouzení, jak se chová základová půda účinkem stavebního objektu a jak stavební objekt působí na jiné blízké objekty;

- pro porovnání naměřených (skutečných) hodnot posunů s očekávanými hodnotami, vypočtenými ve stavebním projektu;
- pro sledování stavu, funkce a bezpečnosti nových stavebních objektů;
- pro sledování stavu, funkce a bezpečnosti stávajících stavebních objektů, ovlivněných stavební činností v okolí.

Posuny stavebních objektů se měří během výstavby a po jejím dokončení:

- mohou-li mít význam pro bezpečnost a použitelnost objektu nebo zařízení;
- u stavebních objektů neobvyklé konstrukce nebo nových konstrukčních systémů, u výškových objektů o výšce větší než 50 m, u objektů citlivých na účinky posunů a u objektů založených v nepříznivých geologických podmínkách;
- jestliže se v průběhu výstavby objeví známky porušení objektu nebo jeho částí;
- u stavebních objektů v poddolovaném území, pokud toto měření odpovídá významu a důležitosti objektu nebo skupiny objektů.

Posuny již užívaných stavebních objektů se měří na základě odborného statického posudku, jestliže se objevily poruchy konstrukce nebo lze-li je očekávat vlivem přetížení nebo odlehčení základové půdy v okolí, změnou hladiny podzemní vody, poddolováním apod.

Pro každý stavební objekt, jehož posuny se mají měřit, se vypracuje projekt s těmito nezbytnými údaji:

- účel a druh měření (etapová, periodická, kontinuální);
- údaje o geologických, geotechnických a hydrologických poměrech a vlastnostech základové půdy;
- stručné údaje o způsobu založení, funkci a zatěžovacím postupu stavební konstrukce;
- hodnoty očekávaných posunů, vypočtené v projektové dokumentaci;
- potřebná přesnost měření s apriorním rozbohem;
- metody měření;
- způsob označení a zajištění bodů měřickými značkami, rozmístění pozorovaných a vztažných bodů, způsob osazení (stabilizace) značek a jejich ochrany proti poškození;
- projektová dokumentace úprav stavebních konstrukcí, popř. zařízení potřebných pro osazení měřických přístrojů a pomůcek pro měření posunů;
- časový plán stabilizace měřických značek a úprav stavební konstrukce;
- časový plán měření;
- způsob matematického a grafického zpracování a vyjádření výsledků měření a jejich interpretace;
- lhůty předávání dílčích zpráv a závěrečné zprávy o měření.

Projekt měření posunů obvykle zpracovává geodet projektanta ve spolupráci s geodetem investora, geologem, stati-

kem, dodavatelem technologie, popř. s dalšími specialisty. Zvláštní pozornost je třeba věnovat rozmístění pozorovaných a vztažných bodů a způsobu jejich stabilizace a signalizace (tvar a velikost značek) v závislosti na projektované metodě měření posunů, požadované přesnosti a použitých přístrojích a pomůckách. Hmota, tvar a povrchová úprava značek pro stabilizaci a označení vztažných i pozorovaných bodů musí být trvanlivá po dobu měření. Lze použít značek podle [2], popř. speciálních značek zhotovených pro daný účel.

### Geodetické metody při měření posunů

Těmito metodami lze určovat vodorovné i svislé posuny stavebních objektů a konstrukcí prostřednictvím měřených posunů pozorovaných bodů, osazených v charakteristických místech monitorovaných objektů. Posuny lze měřit relativní i absolutní a z nich soudit na přetvoření (deformace) objektů a na jejich náklony. Dále uvedeme nejužívanější geodetické metody, které lze zařadit mezi klasické, i když některé z nich předpokládají použití moderní měřicí techniky, např. elektronických univerzálních teodolitů (totálních stanic) a digitálních nivelačních přístrojů.

K měření **vodorovných posunů** lze použít metodu:

- záměrné přímky;
- trigonometrickou;
- polygonového pořadu;
- polární;
- GPS.

K měření **svislých posunů** jsou nevhodnější:

- geometrická nivelace;
- trigonometrické měření výšek (trigonometrická nivelace);
- hydrostatická nivelace;
- metoda GPS.

**Metoda záměrné přímky** je vhodná při měření vodorovných posunů pozorovaných bodů stavebních objektů tam, kde jde o určení složky vodorovných posunů kolmé na osu objektu. Je to metoda velmi jednoduchá a rychlá, která dává téměř okamžitě výsledky. Posuny měřené touto metodou jsou vztaženy ke koncovým bodům záměrné přímky rovnoběžné s osou stavebního objektu. Koncové body záměrné přímky (pozorovací stanovisko a orientační bod) nejsou obvykle příliš vzdáleny od monitorovaného objektu, proto je třeba připustit možnost ovlivnění jejich polohy objektem a měřené posuny uvažovat jako relativní. Poloha koncových bodů záměrné přímky se proto někdy zajišťuje měřením k dalším bodům osazeným mimo monitorovaný objekt. Jsou-li však tyto vztažné body dostatečně vzdáleny od monitorovaného objektu, aby měřené posuny mohly být považovány za absolutní (záměrná přímka je např. součástí trigonometrické mikrosítě stavebního objektu), metoda ztrácí svou jednoduchost a rychlost. Proto se používá obvykle ve své nejjednodušší formě a měřené posuny pozorovaných bodů je třeba považovat spíše za relativní.

Opakovaným měřením v základní a  $n$ -té etapě se určí příčná odchylka pozorovaného bodu od spojnice koncových bodů záměrné přímky, z níž jeden je stanoviskem měřického přístroje a druhý je signalizován cílovou značkou. Příčná odchylka pozorovaného bodu od záměrné přímky se buď čte přímo na transversálním měřítku, nebo se vypočte ze známé vzdálenosti pozorovaného bodu od stanoviska úhломěrného přístroje a měřeného paralaktického úhlu, sevřeného směrem záměrné přímky a směrem na pozorovaný bod. Přesnost

obou postupů je srovnatelná, přičemž metoda příčného měřítka je ekonomičtější. Při délce záměrné přímky do 300 m lze charakterizovat přesnost měřených posunů směrodatnou odchylkou 0,4 mm.

**Trigonometrická metoda** umožňuje zjistit absolutní hodnoty vodorovných posunů pozorovaných bodů monitorovaného objektu. Posuny pozorovaných bodů jsou vyjádřeny vzhledem ke vztažným bodům stabilizovaným tak, aby je bylo možno vzhledem k monitorovanému objektu považovat za pevné. U nás byla tato metoda použita hlavně k měření vodorovných posunů vodních staveb, ale lze ji aplikovat při měření vodorovných posunů všech pozemních stavebních objektů. Stavebními odborníky není příliš oblíbená pro názor, že je složitá, teoreticky náročná, pracná, a tedy drahá. Z těchto důvodů bývá používána při požadavku nejvyšší přesnosti. Její velkou předností však je, že umožňuje získat spolehlivé hodnoty posunů ve všech směrech.

Posuny pozorovaných bodů monitorovaného objektu se určují opakovaným protínáním vpřed z bodů geodetické mikrosítě, která musí být stabilizována tak, aby aspoň její okrajové body ležely mimo oblast, v níž může dojít k posunům vlivem monitorovaného objektu.

Při monitorování objektů založených v dobrých geologických poměrech lze vystačit s jednoduchou trigonometrickou mikrosítí tvořenou třemi až čtyřmi stanoviskovými (pozorovacími) body vzájemně spojenými oboustrannými záměry a několika ověřovacími a orientačními body, které nejsou upraveny k dostředění měřického přístroje. Stanoviskové body jsou s ověřovacími a orientačními body spojeny jednostrannými záměry. Tyto sítě bývají označovány jako neúplné, jejich příkladem jsou mikrosítě pro měření posunů na švýcarských vodních dílech.

K měření vodorovných posunů větších stavebních objektů založených na méně únosném podloží je třeba rozvrhnout síť vztažných bodů na větším území tak, aby aspoň okrajové body sítě ležely mimo přímý vliv stavební činnosti nebo mimo oblast působení jiných vlivů, které by mohly přímo ovlivnit stálost jejich polohy [1]. Všechny body vztažné sítě se stabilizují jako stanoviskové (zpravidla na pilířích), jsou spojeny oboustrannými záměry a tvoří úplnou trigonometrickou mikrosít monitorovaného objektu.

Vzájemnou polohu bodů geodetické mikrosítě je třeba ověřit v každé etapě měření a jejich možné posuny zavést do dalších výpočtů. Způsob určení posunů bodů sítě i posunů pozorovaných bodů monitorovaného objektu závisí na metodě jejího zaměření, která může být zaměřena směrově, délkově nebo kombinovaně včetně pozorovaných bodů. Posuny je vhodné řešit ve vlastní souřadnicové soustavě, volené v závislosti na osách monitorovaného stavebního objektu. Přesnost určení bodů sítě i bodů pozorovaných lze charakterizovat směrodatnou odchylkou do 0,5 mm.

K **polygonometrické metodě** měření vodorovných posunů stavebních objektů lze použít dva typy oboustranně připojených a orientovaných polygonových pořadů, vedených po monitorovaném objektu.

Přímý polygonový pořad, vedený kolmo k očekávaným posunům, je vhodnou náhradou metody záměrné přímky, protože zkrácením délek záměr lze značně utlumit nepříznivý vliv boční refrakce, působící při metodě záměrné přímky. Délky stran zůstávají prakticky neměnné a příčné posuny bodů pořadu (pozorovaných bodů) se počítají ze změn měřených vodorovných úhlů mezi základní a  $n$ -tou etapou nebo ze souřadnicových rozdílů. Teorie přímých pořadů je přitom poměrně jednoduchá.

Při polygonových pořadech obecného tvaru je třeba přesně měřit vodorovné úhly i délky stran a jejich teorie je pod-

statně složitější. U obou typů pořadů bude způsob zajištění polohy jejich přípojovacích bodů určovat, zda vypočtené posuny jsou relativní či absolutní, a na tom bude záviset i ekonomika metody.

Možnost současného měření délek i uhlů totálními stanicemi nabízí využití **prostorové polární metody** k měření vodorovných i svislých posunů stavebních objektů a konstrukcí [3]. Posun pozorovaného bodu se určí ze změny opakovaně měřeného vodorovného úhlu mezi orientačním a pozorovaným bodem a ze změny délky k pozorovanému bodu, popř. ze změny zenitového úhlu.

K určení relativních posunů pozorovaných bodů stačí teoreticky dva vztažné body – stanoviskový a orientační, proto je vhodné tuto metodu používat při zatěžovacích zkouškách stavebních objektů a konstrukcí. Pokud bude poloha stanoviskového a orientačního bodu zajišťována měřením k dalším vztažným bodům, metoda se zkomplikuje, ale umožní získat absolutní posuny pozorovaných bodů.

Určitý problém při elektronickém měření délek představuje signalizace pozorovaných bodů na obtížně přístupných místech objektu. Ten lze řešit použitím nalepovacích odrazných fólií, popř. totálních stanic s pasivním odrazem, ovšem při nižší přesnosti délkového měření.

Než přejdeme k metodám měření svislých posunů, je třeba uvést, že svislé posuny monitorovaných objektů se určují v absolutní nebo relativní vztažné soustavě. Absolutní vztažná soustava je dána množinou výškových bodů, nezávislých na monitorovaném objektu, u nichž jsou známy nadmořské výšky v použitém výškovém systému. Relativní vztažná soustava je dána vhodně zvolenými pozorovanými body, k nimž jsou vztaženy svislé posuny ostatních pozorovaných bodů.

Nejvhodnější a nejpoužívanější metodou měření svislých posunů pozorovaných bodů stavebních objektů je **geometrická nivelace** s použitím přístrojů a pomůcek a dodržováním zásad velmi přesné nivelace. Přitom je vhodné jednotlivé přestavy lať i stanoviska nivelačního přístroje ve všech nivelačních sestavách trvale stabilizovat. Nelze-li dodržet v jednotlivých sestavách stejné délky záměr vzad a vpřed, je třeba důsledně ověřovat vodorovnost záměrné přímkou nivelačního přístroje a zavádět korekce z nevodovornosti záměry. Délky záměr by neměly překročit 25 m. Nivelační značky musí být zhotoveny z nerezavějícího materiálu a osazeny tak, aby svým tvarem a velikostí nenarušovaly vzhled monitorovaného objektu ani jeho funkčnost.

Základním problémem při měření absolutních hodnot svislých posunů je otázka stability a určení možných posunů vztažných bodů. Ty musí být minimálně tři, je ale vhodné zvolit jich více a spojit je do uzavřeného výškového pořadu, ke kterému se připojí uzavřeným pořadem všechny pozorované body. Stabilitu vztažných bodů je třeba posuzovat porovnáním naměřených rozdílů převýšení mezi etapami s mezním rozdílem převýšení.

Metoda geometrické nivelace je velmi spolehlivá a při dodržování uvedených zásad lze dosáhnout kilometrové směrodatné odchylky kolem 0,3 mm a určení převýšení stabilizovaných nivelačních bodů v rozmezí jedné nivelační sestavy s reálnou přesností několika setin milimetru.

**Trigonometrická metoda** měření svislých posunů je vhodná zejména tehdy, jsou-li pozorované body monitorovaného objektu v místech geometrickou nivelací obtížně přístupných. Pozorované body se stabilizují terčí pro měření svislých úhlů a ze změn těchto úhlů se vypočtou svislé posuny. Metoda trigonometrické nivelace je zvláště vhodná, měřili se i vodorovné posuny pozorovaných bodů, protože do

výpočtu svislých posunů pozorovaných bodů je třeba zavádět i změny vodorovných délek záměr podle vztahu

$$\Delta h = d \left( 1 + \operatorname{tg}^2 \beta \right) \frac{\Delta \beta^{\operatorname{gon}}}{\rho^{\operatorname{gon}}} + \operatorname{tg} \beta \left( \pm \Delta d_s \pm \Delta d_p \right),$$

kde  $\Delta h$  je svislý posun pozorovaného bodu,

$d$  – vodorovná délka záměry,

$\beta$  – svislý úhel záměry v základní etapě,

$\Delta \beta$  – změna svislého úhlu záměry mezi etapami,

$\Delta d_s$  – změna vodorovné délky záměry, způsobená posunem stanoviska,

$\Delta d_p$  – změna vodorovné délky záměry, způsobená posunem pozorovaného bodu.

Jsou-li vodorovné posuny pozorovaných bodů určovány trigonometrickou metodou, je poloha stanoviska známa s dostatečnou přesností. Svislý posun stanoviska se určí trigonometricky ze vztažných bodů sítě a zavede do výpočtu svislých posunů pozorovaných bodů.

Jiný způsob určování délek záměr umožňuje měření vodorovných posunů pozorovaných bodů polární metodou. Za předpokladu použití dostatečně přesného teodolitu, popř. totální stanice, měření svislých posunů ze dvou až tří stanovisek a potlačení vlivu refrakčních změn, lze dosáhnout při délkách záměr kolem 100 m směrodatné odchylky v určení svislého posunu 1 až 2 mm.

**Hydrostatická nivelace** umožňuje získat při měření relativních hodnot svislých posunů nejpreciznější výsledky, přesto se pro obtížné použití velmi málo používá. Její podstatou je hadicová vodováha. Hydrostatická nivelace se původně používala k měření převýšení na velké vzdálenosti při přechodu přes široké vodní toky a mořské úžiny. Přesnou hydrostatickou nivelaci lze však použít k měření změn převýšení pozorovaných bodů vzdálených do 30 m. Aparatury pro přesnou hydrostatickou nivelaci umožňují měřit převýšení pozorovaných bodů do 10 až 15 cm, což je dáno rozměry koncových skleněných válců, což značně omezuje použití této metody. Měření svislých posunů hydrostatickou nivelací je naopak velmi vhodné v místech těžko přístupných geometrickou nivelací, kde nelze postavit nivelační přístroj, či nivelační lať, nebo nelze zaostřit dalekohled pro příliš krátké záměry.

Za příznivých okolností při eliminaci vnějších vlivů, hlavně rozdílných teplot kapaliny v trubici, lze dosáhnout reálné přesnosti v určení změny převýšení mezi pozorovanými body 0,05 až 0,1 mm. Velkou výhodou metody je možnost kontinuálního měření, a to na více místech najednou s automatickým záznamem. Hydrostatickou nivelaci lze s výhodou používat k měření svislých posunů pozorovaných bodů na základech stavebních objektů a z nich počítat jejich náklony.

**Metoda GPS** umožňuje zjistit hodnoty vodorovných i svislých posunů pozorovaných bodů. Problém je v přesnosti určení posunů. Použije-li se přesná úprava metody, která je po všech stránkách velmi náročná, lze dosáhnout přesnosti v určení polohy pozorovaného bodu až 5 mm a ve výšce 12 až 18 mm vzhledem ke vztažnému bodu. Tato metoda je v určení polohy pozorovaného bodu tedy asi o řád horší a v určení výšky až o dva řády horší než při použití klasických metod. Možnosti metody GPS však není vhodné srovnávat s metodami klasickými.

## Závěr

Všechny uvedené klasické geodetické metody měření posunů jsou při monitorování stavebních objektů dobře pou-

žitelné, je však vždy třeba uvážit vhodnost té které metody, jak z hlediska přesnosti, tak ekonomiky práce. Tato otázka musí být vyřešena již v projektu měření.

**Vypracováno s podporou výzkumného záměru CEZ MSM 684 077 0001, dílčí část „Geodetické monitorování při zajišťování spolehlivosti staveb“.**

Švec, M. – Vorel, V.: Geodetical Monitoring of Constructions and Methods of Measuring Shifts

This article draws attention to relations between geodetical monitoring of constructions and measurements of shifts. It explains the purpose of measuring shifts, the goal of the measurement project, and clearly describes and assesses geodetical methods.

#### Literatura

- [1] ČSN 73 0405 Měření posunů stavebních objektů. ČSNi, 1997.
- [2] Vyhláška Českého úřadu zeměměřického a katastrálního č. 31/1995 Sb., v platném znění, kterou se provádí zákon č. 200/1994 Sb., o zeměměřictví a o změně a doplnění některých zákonů souvisejících s jeho zavedením, v platném znění.
- [3] Procházka, J. – Suchá, J.: Zhodnocení geodetických měření při statické zatěžovací zkoušce Mariánského mostu v Ústí nad Labem. Stavební obzor, 9, 2000, č. 2. s. 58–63.

Švec, M. – Vorel, V.: Geodätische Beobachtung von Bauwerken und Methoden bei der Messung von Verschiebungen

Im Beitrag werden die geodätische Beobachtung von Bauwerken und die Messung von Verschiebungen in Zusammenhang gebracht. Es werden der Zweck der Messung der Verschiebungen, der Inhalt des Messprojektes angeführt und die geodätischen Methoden übersichtlich beschrieben und bewertet.

## • zprávy

### Myšák Gallery

Stavba multifunkčního projektu Myšák Gallery dorostla do nejvyššího devátého nadzemního podlaží. Stavební ruch v jedné z nejatraktivnějších lokalit Prahy však zatím nekončí. Budova, která výrazně ovlivní podobu rekonstruovaného centra hlavního města, bude dokončena za zhruba dvanáct měsíců.



Myšák Gallery vzniká v samém centru Prahy, na místě legendárního domu s cukrárnou U Myšáka ve Vodičkově ulici a dalších dvou již dnes neexistujících Vosátkových domů. Moderní budova citlivě navazuje na stávající objekt, který proslavila rondo-kubistická fasáda z dvacátých let minulého století navržená významným architektem Josefem Gočárem. Budova nabídne 10 400 m<sup>2</sup> obchodních, kancelářských a bytových ploch pro nejnáročnější klientelu. Pro administrativní prostory je vyhrazeno 4 000 m<sup>2</sup> ve čtyřech patrech, obchody budou své služby nabízet na celkem 3 400 m<sup>2</sup> ve třech podlažích a v dalších prostorách bude 32 exkluzivních bytů. Ve třech podzemních podlažích jsou umístěny skladové prostory a bezmála 90 parkovacích míst pro nájemce.

Samozřejmě budou špičkové služby pro všechny, kdo zde budou bydlet, pracovat nebo podnikat. K dispozici jsou bezbariérové vstupy, nepřetržitá bezpečnostní služba, klimatizace veškerých prostor, sprinklery či kamerový monitorovací systém. Občany a návštěvníky hlavního města jistě potěší luxusní nákupní galerie, která propojí Františkankou zahradu s Vodičkovou ulicí i Jungmannovým náměstím, a rozšíří tak populární pěší zónu.

Investorem projektu je realitní fond CEE Property Development Portfolio B.V. (CPDP). V roli developera vystupuje SG AM, společnost, která zároveň zajišťuje správu fondu, jehož kupní síla je okolo 12 mld. Kč. Sponzorem fondu a jedním z jeho akcionářů je i Česká spořitelna. Fond je zaměřen převážně na český a slovenský trh, ale postupně rozšiřuje své aktivity na celý region střední a východní Evropy. Realitní fond CPDP B. V. loni koupil například budovu T-Mobile v pražských Roztylech, letos administrativní objekt Polygon House na Pankráci. Developerem je Sekyra Group Asset Management, projekt vypracoval Ing. Arch. Martin Kotík, atelier Omicron K, Studio Casua. Generálním dodavatelem je a. s. Metrostav.

## • zprávy

### Rekonstrukce Škodova paláce



Pozdně kubistická budova v Jungmannově ulici byla postavena v roce 1929 pro Škodovy závody podle návrhu významného architekta Pavla Janáka (palác Adria, Černínský palác). Přilehlá administrativní budova v Charvátově ulici se datuje k roku 1937. I dnes obě budovy splňují nejvyšší požadavky díky flexibilnímu prostorovému využití kancelářského a společného prostoru v objektu. Budovy jsou přístupné několika vchody, což umožňuje jednoduché členění interiéru na nezávislá oddělení. V letech 1994–2004 byl palác hlavním sídlem Energetické skupiny ČEZ.

Za tímto jednoduchým popisem se však skrývá poměrně zajímavá historie. Na parcelách 34 a 35 měla být původně jen zhuštěná stávající zástavba definovaná především pozdně barokním Thun-Salmovským palácem. Kromě jiného se o zástavbu této lokality zajímala společnost Melantrich, pro kterou zpracovali návrh architekti Bohumil Hypšman a František Roith. Následně pozemky i budovu kupují Škodovy závody a o vypracování návrhu je požádán arch. Troníček, vedoucí architekt stavební a projekční firmy Nekvasil z Karlína. Ten přichází r. 1923 s poměrně zajímavým řešením, které však pražský magistrát nepřijímá. Ten zároveň navrhuje, aby na projekt byla vypsána soutěž nebo byl jeho zpracováním pověřen vybraný architekt. Osobou, která byla tímto úkolem nakonec pověřena, se stal profesor pražské Uměleckoprůmyslové školy Pavel Janák. Jeho první návrh z roku 1924 se sice setkal s kladným přijetím na Památkovém úřadu (předpokládal zahrnout stávající barokní fasádu do nové uliční fronty), proti však byl objednatel a investor, a proto se do realizace dostal až jeho druhý návrh.

*Projekt od architekta Janáka*



Celá stavba byla dokončena kolem roku 1926 a následně upravována až do třicátých let, zejména úpravou nároží Jungmannovy a Charvátovy ulice na autosalon. Dostavba druhé části objektu byla dokončena kolem roku 1938, počítáme-li do stavby i úpravu druhého suterénu pro potřeby protiletadlového krytu, který nechal Škoda budovat pravděpodobně v souvislosti s nástupem fašismu. Již ve své době šlo o velkorysý stavební dílo o zastavěné ploše cca 5 000 m<sup>2</sup>, při dvou podzemních a sedmi nadzemních podlažích je celková užitná plocha téměř 28 000 m<sup>2</sup>. Dispozičně jsou tyto plochy organizovány kolem dvou vnitřních dvorů tak, aby počet prostor bez přirozeného osvětlení byl minimalizován, a zároveň docházelo k optimálnímu provětrávání. Do nad-

zemních podlaží jsou situovány kancelářské prostory (za zmínku stojí především reprezentativní plochy pro ředitele Škodu ve 2. NP), v podzemí nacházíme technické a provozní zázemí, archivy, rozsáhlý trezor a již zmiňovaný kryt. Vertikálně je budova obsluhována 7 schodišti a 14 výtahy.

Vlastní objekt byl v obou stavebních etapách předurčen jako administrativní budova pro velkého klienta. Z tohoto pohledu byl pro alokaci úřadu Magistrátu hl. m. Prahy velmi vhodný s tím, že i dispoziční rozvrh v patrech je v principu respektován. Stavební úpravy jsou vedeny snahou rozvolnit z dnešního pohledu přeci jen příliš sevřený půdorys a scelit zejména nejmenší kancelářské plochy do větších celků. Na všech podlažích jsou kancelářské plochy doplněny rovnoměrně nezbytným provozním zázemím pro práci úřadu. Přízemí je určeno pro kontakt s veřejností. Zásadní úpravou je komunikační propojení obou objektů spojnicí v prodloužení původní pasáže (napojení v místech, kde autoři objektu uvažovali s propojením ve směru Charvátova – Národní) se vstupy z ulic Jungmannova a Charvátova. Na tuto vnitřní pasáž jsou navázány prostory administrativně správních agend na jedné straně (podatelna, přepážková hala DSA, kancelář dopravních podniků, informační kanceláře jednotlivých odborů), plochy věnované informacím a prezentaci Prahy a najít zde lze také služby jako kopírování, ověřování podpisů apod. Podzemní podlaží jsou upravena jako archivy, technické a technologické zázemí objektu. Oba provozy (část úřadu otevřená veřejnosti a materiálně provozní část úřadu včetně zásobování, nakládání s odpady apod.) jsou odděleny tak, aby nedocházelo ke křížení.



*Prostory pro kontakt s veřejností*

Objekt je typickým představitelem velkorysý hmotné architektury první republiky, založené na racionálním půdorysu a konstrukčním užití železobetonu a ovlivněné bohatou tradicí uměleckého řemesla s množstvím složitých detailů. Jde tak vpravdě o dokončené stavební dílo, které nelze dotvářet, lze ho jen doplnit. Základním principem interiérových vestaveb se proto stalo použití odlišných materiálů a konstrukčních detailů. Podstatná je práce se sklem a dřevem, které zároveň navozují ideu budoucího úřadu. Jedná se o myšlenky transparentnosti a lidskosti, v rovině architektury o snahu vytvořit moderní a inspirativní prostředí komunikace a služby veřejnosti.

*Textová informace*

# • ČVUT



## Rozvoj vysokého technického školství do roku 1918

300  
ČVUT  
1707–2007

Historie technického školství v Čechách je zároveň historií Českého vysokého učení technického a trvá již 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 přitom i nadále (z rozhodnutí císaře od roku 1787) součástí pražské univerzity, a teprve v září 1815 se stala i formálně samostatnou.

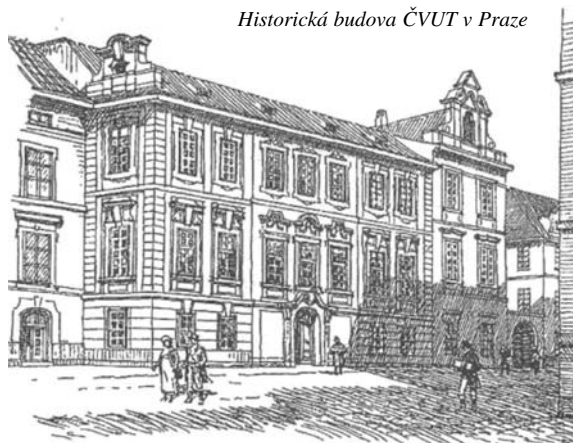
František Josef Gerstner, astronom, profesor matematiky a mechaniky, vědec v oboru teorie vlnění a hydromechaniky, organizátor vědeckého života a průmyslu v Čechách, autor projektu koněspřežní železnice z Českých Budějovic do Lince z roku 1828 a nepochybně také Christian Doppler, profesor matematiky 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 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).

Historická budova ČVUT v Praze



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, archi-



tektury a pozemního stavitelství, strojního 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 obor. 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.

archiv ČVUT

## • veletrhy

### Stavební veletrhy 2007

17. – 21. dubna, Brno

Příprava nadcházejícího ročníku brněnských stavebních veletrhů je v plném proudu. Tradičně budou sestávat z komplexu veletrhů IBF, SHK BRNO a ELEKTRO, vedle kterých souběžně proběhne veletrh URBIS INVEST. Zvýrazněným tématem budou „Opravy bytového fondu“. Hlavní linií spojující jak zvýrazněné téma, tak všechny veletrhy komplexu bude „Perspektiva“. Jde o myšlenku, která by měla být stavebnímu oboru velmi blízká a vlastní. Správní lidé na správném místě se správnou myšlenkou a ve správný čas.

Doprovodný program bude opět sestavován ve spolupráci a za garance prestižních českých i zahraničních oborových svazů a asociací. Zachována bude nejen prestižní soutěž Zlatá medaile a soutěž o nejefektivnější výstavní expozici,

ale také spolupráce a podpora v oblasti školství, ze které vzejdou zajímavé soutěže pro učně nebo architektonické soutěže pro mladé.

Loňský ročník upevnil své prvenství v oboru nejen v rámci České republiky, ale i v celé střední Evropě. Sešlo se na nich přes 1 400 vystavovatelů z 25 zemí na ploše 57 142 m<sup>2</sup>. V rámci čtyř samostatných projektů – IBF, SHK BRNO, ELEKTRO a URBIS INVEST – si na 91,5 tisíc návštěvníků ze 47 zemí prohlédlo veškeré novinky ze všech oblastí moderního stavebnictví. Přítom plných 69 % návštěvníků se považuje za odborníky.

Tisková informace



## Portfolio Stavebních veletrhů Brno 2007





### Stavební veletrhy Brno 2007:

- 

**IBF – 12. mezinárodní stavební veletrh**
- 

**SHK BRNO – 8. mezinárodní veletrh technických zařízení budov**
- 

**ELEKTRO – 4. mezinárodní veletrh osvětlovací techniky, elektroinstalací a systémové integrace budov**
- 

**URBIS INVEST – 2. mezinárodní veletrh investic, financí, realit a technologií pro města a obce**
- 

**EDEN 3000 – Stavební centrum EDEN 3000**

[www.stavebniveletrhybrno.cz](http://www.stavebniveletrhybrno.cz), [www.urbisinvest.cz](http://www.urbisinvest.cz)

## • veletrhy

### Bednění s nejnovějším řešením

V nabídce bednění pro betonování dochází k neustálým změnám nejen technickou inovací, rozhodující jsou i požadavky na bezpečnost, nové impulsy z oboru architektury nebo nová složení betonu. Prodej standardizovaného bednění stavebním firmám již dávno není hlavním obchodním artiklem (oborem) největších výrobců. Dnes se kompletní zařízení staveniště pronajímá – proč ne tedy bednění? Podle průzkumu pouze 30 % materiálu pro bednění pochází z vlastních zásob stavebních firem, 70 % si pronajímají pro konkrétní projekty. Podobně jako v jiných oblastech jsou při rozhodování zákazníků rozhodující investice, náklady na údržbu a ošetřování bednění, správní a režijní náklady a náklady na jeho odstranění. Dokonce i u betonového bednění pro speciální projekty se často najímá pouze určitá část systému. Je rovněž běžné najmout si kompletní tunelové bednění z jednotlivých částí systému.

Možnost rychlého postavení bednění a jeho odstranění usnadňuje dodržení termínovaných úkolů. U hrubé stavby je to možné pouze tehdy, jsou-li k dispozici efektivní systémy a velkorozměrové prvky nebo desky. Výrobci nabízejí pro plánování speciální softwarové programy, které zajišťují přes standardní rozhraní úplnou kompatibilitu se staveništními programy pro rozsah prací a kalkulace. Při práci pak jsou důležitá systémová řešení pro manipulaci s jednotlivými prvky bednění. Logické systémové rastry umožňují jejich optimální využití, čímž snižují náklady na skladování a pronájem. Dalším důležitým bodem je úspora mzdové náročných kotevnicích míst formováním jednotlivých prvků obed-

23. – 29. dubna  
Mnichov

bauma  
2007

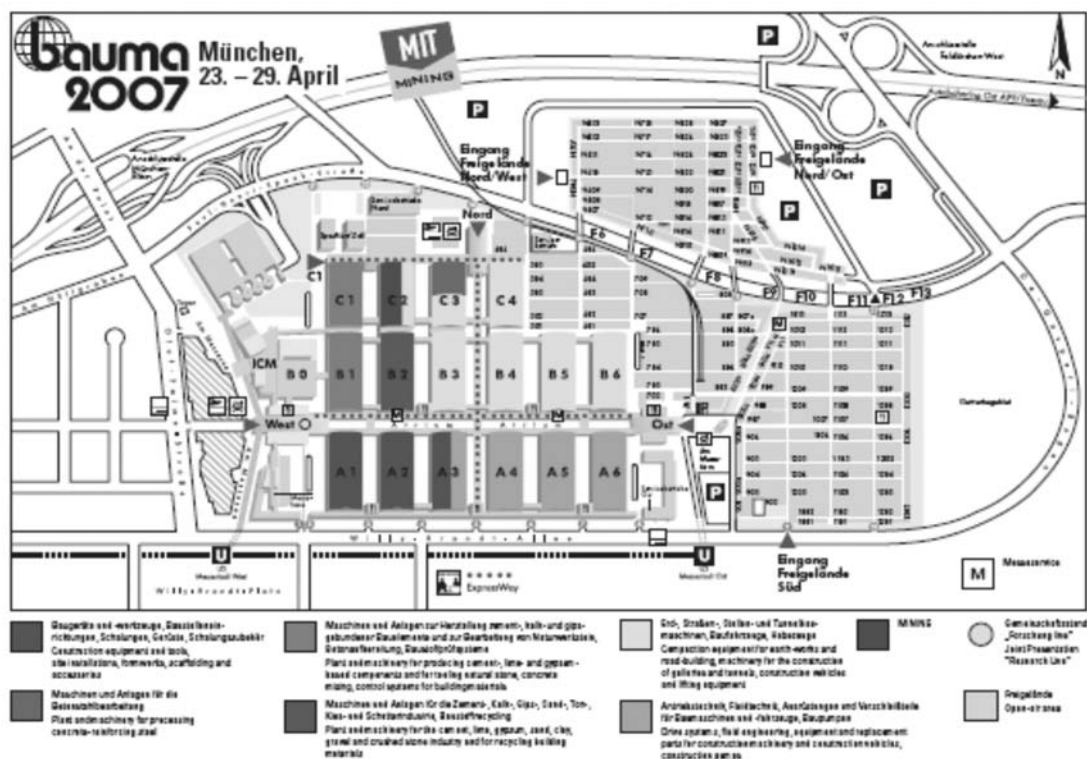
nění zdí. Pro bednění stropů nabízejí výrobci flexibilní systémy – od jednoduchého bednění nosných stropů až po prefabrikované stropní desky s integrovaným deskovým lešením.

Technika šplhání (horolezecká technika) bude rovněž důležitým bodem diskuzí. V USA, kde se souběžně s tradičními konstrukcemi z ocelových prvků „šplhá“ po stále větším počtu mrakodrapů, je věnována velká pozornost systémům přemísťovaným jeřáby nebo samočinně posuvným (výsuvným). Rovněž bezpečně zajištěné a kompletně vybavené plošiny bednění a pracovní lešení ovlivňují procesy na staveništi, a to až už jde o gigantické projekty výstavby mostů v Číně, nikdy nekončící „závody“ o nejvyšší mrakodrap, či běžné kancelářské budovy s posuvnými zásobovacími šachtami.

Vzhledem k tomu, že samozhutňující beton splňuje sny architektů, které ještě před několika lety nebyly vůbec realizovatelné, je třeba věnovat zvláštní pozornost povrchu navrhovaných, často velmi křehkých stavebních prvků. Výrobci se pokoušejí těmto požadavkům vyhovět nabídkou optimalizovaných bednicích desek. Diskuze o čistě dřevěných deskách, deskách s dřevěným jádrem a s plastovým obkladem, jakož i o čistě plastových deskách jistě zaujme odborné návštěvníky veletrhu.

Očekává se, že letošní ročník veletrhu bude největší akcí, která se kdy v Mnichově konala. Na základě enormně vysoké poptávky byla plocha pro vystavování rozšířena o dalších 30 tis. m<sup>2</sup> na celkových 530 tis. m<sup>2</sup>.

www.expocs.cz



# STAVEBNÍ OBZOR

## ROČNÍK 16 ČÍSLO 02/2007

### Navigace v dokumentu

#### OBSAH

Pavlík, Z. – Michálek, P. – Pavlíková, M. – Kopecká, I. – Maxová, I. – Černý, R. <b>Mšenský pískovec z pohledu transportu a akumulace vlhkosti a solí – část 1</b>	<b>33</b>
Michálek, P. – Tydlitát, V. – Konvalinka, P. – Černý, R. <b>Nový materiál na bázi hydrofilní minerální vlny se zvýšenou objemovou hmotností</b>	<b>41</b>
Štroner, M. – Suchá, J. – Pospíšil, J. <b>Ověřování vlastností totálních stanic TOPCON GPT-2006 – část 1</b>	<b>45</b>
Vondrák, J. – Fišer, Z. – Žufanová, V. <b>Alternativní přístup k ověřování přesnosti digitální katastrální mapy</b>	<b>49</b>
Štroner, M. <b>Rozvinutí snímku válcové plochy do roviny</b>	<b>55</b>

**1 • 2007**

**ročník 16**

# 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

Pavlík, Z. – Michálek, P. –  
Pavlíková, M. – Kopecká, I. –  
Maxová, I. – Černý, R.

**Mšenský pískovec  
z pohledu transportu  
a akumulace  
vlhkosti  
a solí – část 1 . . . . . 33**

Michálek, P. – Tydlitát, V. –  
Konvalinka, P. – Černý, R.

**Nový materiál na bázi  
hydrofilní minerální  
vlány se zvýšenou objemovou  
hmotností . . . . . 41**

Štroner, M. – Suchá, J. – Pospíšil, J.

**Ověřování vlastností totál-  
ních stanic TOPCON  
GPT-2006 – část 1 . . . . . 45**

Vondrák, J. – Fišer, Z. – Žufanová, V.

**Alternativní přístup  
k ověřování přesnosti  
digitální  
katastrální  
mapy . . . . . 49**

Štroner, M.

**Rozvinutí snímku  
válcové plochy  
do roviny . . . . . 55**

## CONTENT

Pavlík, Z. – Michálek, P. –  
Pavlíková, M. – Kopecká, I. –  
Maxová, I. – Černý, R.

**Sandstone Quarried in Mšeno  
from the Perspective of  
Transport, as Well as  
Moisture and Salts  
Accumulation – Part I . . . . 33**

Michálek, P. – Tydlitát, V. –  
Konvalinka, P. – Černý, R.

**New Material Based on  
Hydrophilic Mineral Wool  
with an Increased Bulk  
Density . . . . . 41**

Štroner, M. – Suchá, J. – Pospíšil, J.

**Verification of Total Stations  
TOPCON GPT-2006  
– Part 1 . . . . . 45**

Vondrák, J. – Fišer, Z. – Žufanová, V.

**Alternative Approaches  
to Accuracy  
Testing of Digital  
Cadastral  
Maps . . . . . 49**

Štroner, M.

**Flattening of  
an Image of the Cylindrical  
Plane . . . . . 55**

## INHALT

Pavlík, Z. – Michálek, P. –  
Pavlíková, M. – Kopecká, I. –  
Maxová, I. – Černý, R.

**Sandstein aus Mšené-lázně  
aus der Sicht des Transports  
und der Akkumulation von  
Feuchtigkeit und Salzen –  
Teil 1 . . . . . 33**

Michálek, P. – Tydlitát, V. –  
Konvalinka, P. – Černý, R.

**Ein neues Material  
auf Basis hydrophiler  
Mineralwolle mit erhöhter  
Dichte . . . . . 41**

Štroner, M. – Suchá, J. – Pospíšil, J.

**Prüfung der Eigenschaften  
von Totalstationen TOPCON  
GPT-2006 – Teil 1 . . . . . 45**

Vondrák, J. – Fišer, Z. – Žufanová, V.

**Eine alternative  
Herangehensweise  
an die Prüfung der  
Genauigkeit einer digitalen  
Katasterkarte . . . . . 49**

Štroner, M.

**Abwicklung einer  
Zylinderfläche  
in die Ebene . . . . . 55**

## REDAKČNÍ RADA

### Předseda:

prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.

### Místopředseda:

doc. Ing. Alois MATERNA, CSc.

### Členové:

doc. Ing. Pavel HÁNEK, CSc.

doc. Ing. Vladimír JELÍNEK, CSc.

Ing. Jiří KALA, Ph. D.

doc. Ing. J. KORYTÁROVÁ, Ph. D.

Ing. Karel KUBEČKA

doc. Ing. Ladislav LAMBOJ, CSc.

Ing. Libor MATĚJKA, CSc., Ph. D.

doc. Ing. Jaroslav NOVÁK, CSc.

doc. Ing. Luděk NOVÁK, CSc.

doc. Ing. Miloslav NOVOTNÝ, CSc.

doc. Ing. Miloslav PAVLÍK, CSc.

prof. Ing. J. PROCHÁZKA, CSc.

Ing. Vlastimil ROJÍK

Ing. Karel SVOBODA

doc. Dr. Ing. Miloslav ŠLEZINGR

Ing. Milan ŠMAK, Ph. D.

Ing. Ludvík VĚBR, 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  
bainé). Objednávky odběru i reklamace přijímá  
Ing. Milan Gattringer, MG DTP, Borovanská 3388, 143 00  
Praha 4, tel./fax: 241 770 220, e-mail: mgdtp@volny.cz.  
Odběr je možné zrušit až po vyčerpání zaplace-  
ného předplatného. Inzerce adresujte redakci. Tech-  
nická redakce a realizace: Ing. Milan Gattringer. Po-  
dávání novinových zásilek povoleno Ředitelstvím  
pošt Praha, č. j. NP 144/1994, ze dne 21. 10. 1994.  
Do sazby 11. 1. 2007. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

## Mšenský pískovec z pohledu transportu a akumulace vlhkosti a solí – část 1

*Ing. Zbyšek PAVLÍK, Ph. D.  
Ing. Petr MICHÁLEK  
Ing. Milena PAVLÍKOVÁ, Ph. D.  
prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.  
ČVUT – Fakulta stavební, Praha*

*Ing. Ivana KOPECKÁ  
Ing. Ivana MAXOVÁ  
Národní památkový ústav, Praha*

V článku jsou stanoveny základní materiálové parametry mšenského pískovce. Na základě experimentálních výsledků je prokázáno, že materiál má z hlediska transportu a akumulace vlhkosti a solí velmi příznivé vlastnosti.

### Úvod

Pro historické zdivo je často charakteristický vysoký obsah solí. Patrně nevýznamnějším zdrojem je voda v podzákladí, která obsahuje rozpustné soli. U většiny historických objektů chybí horizontální vodotěsná izolace, a tak mohou být roztoky solí volně transportovány kapilárními silami do zdiva. Dalším významným zdrojem jsou sodné a vápenaté ionty chloridů používaných pro zimní údržbu vozovek a chodníků. Ty mohou difundovat buď přímo do zdiva, nebo nejprve do půdy, a poté difúzně advektivním přenosem podzemní vody do konstrukcí. Soli mohou vznikat i důsledkem reakce kyselinotvorných plynů se základními složkami stavebních materiálů, některé typy pak jako důsledek biologické činnosti živých organismů a mikroorganismů. Ve vodě rozpustné soli, které jsou ve formě hydratovaných iontů transportovány porézním systémem, mohou být obsaženy již ve struktuře zdicích materiálů.

Soli v porézním systému zdicích materiálů ve formě roztoků nejsou většinou nebezpečné. Problém nastává po vypaření vody, díky němuž může za specifických podmínek (teplota, tlak, stupeň nasycení) dojít ke vzniku solných krystalů či krystalových hydrátů. V závislosti na tvaru, velikosti a propojení pórů mohou vzniknout krystalizační tlaky, které při překročení pevnosti materiálu způsobí jeho destrukci.

Nejjednodušším způsobem, jak zjistit rozsah poškození historického zdiva v důsledku krystalizace solí, je provést chemickou analýzu vzorků odebraných přímo z budovy. Laboratorní experimenty poskytnou podrobné informace o obsahu vody a typu a obsahu iontů solí v materiálu, díky nimž

jsme schopni kvantifikovat a klasifikovat stav zdiva. Současně je možné odhadnout pravděpodobné důvody přítomnosti jednotlivých solí a definovat jejich zdroje. Stěží však odhadneme, jak bude probíhat poškození v čase, přestože právě tato otázka je z hlediska životnosti a trvanlivosti konstrukce zásadní. Pro získání reálného obrazu o hysterezi a vývoji krystalizace by bylo nezbytné tento postup opakovat po dobu několika let, nebo dokonce desetiletí, což by bylo nejen vysoce finančně a časově náročné, ale i odběr tak velkého počtu vzorků by byl u historických budov nepřijatelný.

Transport vody a solí stejně jako jejich krystalizaci ve stěnách historických budov je možné efektivně předvídat pomocí matematického a počítačového modelování. Je možné získat představu o vývoji vlhkostních polí a polí koncentrace solí, což představuje klíčovou informaci, chceme-li odhadnout čas a místo poškození materiálu či konstrukce. Přesnost počítačových simulací však kriticky závisí na vstupních parametrech, jejichž určení pro specifické typy materiálů je časově náročné a značně obtížné. Také přesnost jednotlivých metod měření je diskutabilní, zejména u vysoce nehomogenních materiálů, jakými historické zdicí materiály bezesporu jsou.

Vstupní parametry pro počítačové modelování současného přenosu vlhkosti a solí můžeme rozdělit do dvou skupin:

- počáteční podmínky stanovíme odběrem vzorků materiálů na základě geometrie studované konstrukce s přihlédnutím k místům s předpokládaným výskytem vyšší koncentrace solí a k identifikaci jejich zdroje. Laboratorní analýzou stanovíme obsah vlhkosti a solí v konstrukci. Prvními z okrajových podmínek jsou meteorologická data pro teploty, relativní vlhkost, srážky a sluneční radiaci, pokud je to možné i data pro koncentraci kyselinotvorných plynů v atmosféře. Tyto údaje je možné získat z meteorologických měření ve formě „referenčního roku“, který představuje průměrné hodnoty jednotlivých veličin za dostatečně dlouhou dobu. Druhý typ zahrnuje obsah vlhkosti a koncentrace solí v půdě, která je v kontaktu či v blízkosti konstrukce. Tato data získáme opět měřeními in situ v kombinaci s chemickou analýzou;
- parametry popisující transport a akumulaci vlhkosti a solí materiálů použitých v konstrukci jsou obsaženy v matematických modelech v bilančních rovnicích hmotnosti vlh-

kosti a solí. Pro námi řešenou problematiku – současný transport vlhkosti a solí – zahrnují součinitel vlhkostní vodivosti a faktor difúzního odporu pro popis transportu kapalné a plynné vlhkosti, sorpční izotermy a retenční křivky popisující akumulaci vlhkosti. Dále je nezbytné stanovit vazebnou izotermu solí a disperzní koeficient solí. Všechny tyto parametry mohou být zjištěny běžnými experimenty a metodami ze vzorků odebraných z konstrukce. Pokud není možné vzorky odebrat (příkladem mohou být cenné historické budovy), mohou posloužit vzorky kamenů z lomů, které obvykle pro jednotlivé stavby známe.

V článku se věnujeme stanovení materiálových vlastností pískovce z lomu Mšené Lázně, a to objemové hmotnosti, hustotě matrice, otevřené pórovitosti a saturovaného obsahu vlhkosti, absorpčního koeficientu vody, součinitele vlhkostní vodivosti, součinitele difúze vodní páry, faktoru difúzního odporu vodní páry, sorpčních izoterm a retenčních křivek vlhkosti. Využitím těchto parametrů můžeme definovat mechanismus transportu a akumulace vlhkosti a částečně předpovědět chování materiálu při pronikání solného roztoku. Parametry popisující transport a akumulaci solí budou předmětem dalšího výzkumu. Získaná data budou vstupními parametry pro počítačovou simulaci vlhkostních a solných poměrů historických budov a skulptur z mšenského pískovce.

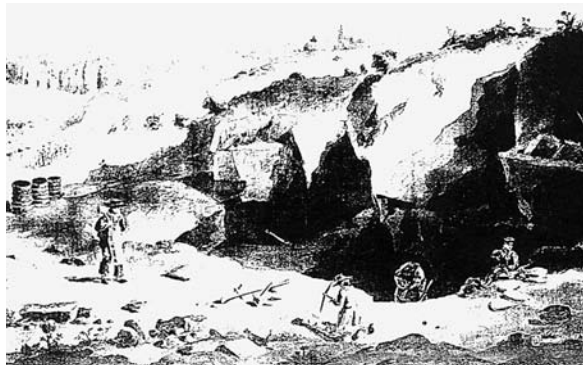
## Materiál

### Lomy a historické aplikace

Mnohé historické budovy v České republice byly postaveny z podobných typů pískovce. Křemičitý hrubozrnný pískovec se pro pevnost často používal zejména pro architektonické konstrukce, jako jsou stěny, portály a okenní rámy. Ornamentální části architektury (gotické květiny, romantické lastury) a skulptury (od dob renesance až do současnosti) se zhotovovaly z jemně zrnitého vápenato-hlinitého pískovce. K takovým druhům patří také pískovec z lomu Mšené Lázně.

První dochovaná zmínka o těžbě, pocházející ze zemského registru v klášteře v Roudnici nad Labem, je datována rokem 1388. Přesto první obrazový dokument pochází až z roku 1826 (obr. 1). Lomy v Lázních Mšené a okolí vstoupily do povědomí nejvíce v letech 1866 až 1873, neboť zdejší pískovec byl vybrán jako vhodný materiál pro dokončení Svatovítské katedrály na Pražském hradě. Za nejznámější můžeme považovat lom „Brož“, ze kterého se dopravoval v letech 1920–1930 pískovec na stavbu budovy Ministerstva průmyslu a obchodu ČR a pro adaptaci prezidentského domu na Pražském hradě. Byl uzavřen v roce 1978.

Po druhé světové válce se mšenský pískovec používal pro restaurování různých monumentů, např. kopie sochy Panny



Obr. 1. Ruční dobývání pískovce v lomu na kresbě J. Šembery z roku 1826

Marie se Svatým Dominikem a Svatým Tomášem Akvinským, sousoší Panny Marie se svatým Bernardem na Karlově mostě (obr. 2, obr. 3), kopie sochy z fontány na pražském Uhelném trhu (originál z roku 1797) či arkýřové kaple na pražské Staroměstské radnici.



Obr. 2. Kopie sochy Panny Marie se Svatým Dominikem a Svatým Tomášem Akvinským na Karlově mostě (stav v létě 2005)



Obr. 3. Sousoší Panny Marie se svatým Bernardem na Karlově mostě (stav v létě 2005)

V osmdesátých letech minulého století proběhl ve zmiňované oblasti rozsáhlý geologický výzkum, který prokázal dostatečné zásoby pískovce. V roce 1999 byla opět zahájena těžba. Většina současné produkce je určena na drobné architektonické prvky, opravu a restaurování historických budov a soch.

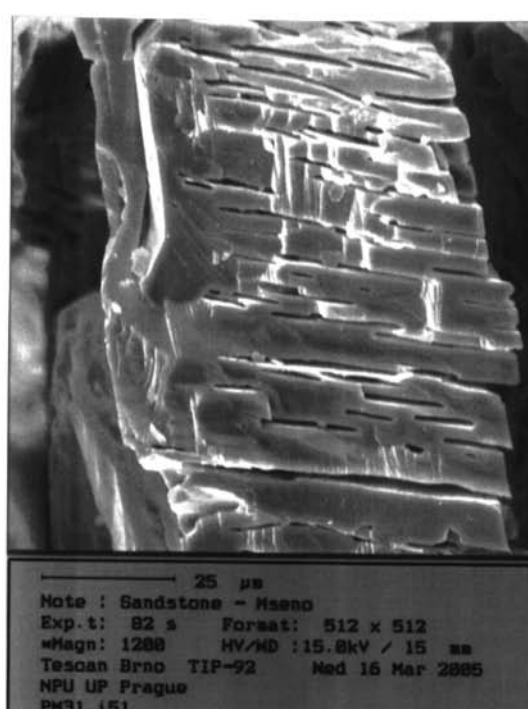
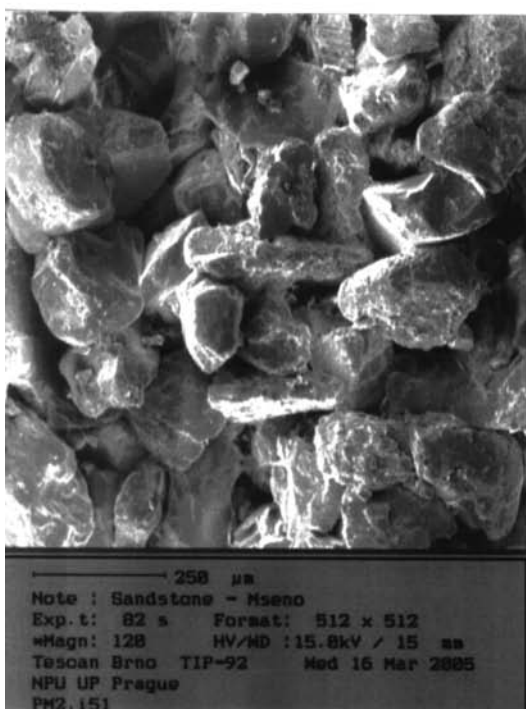
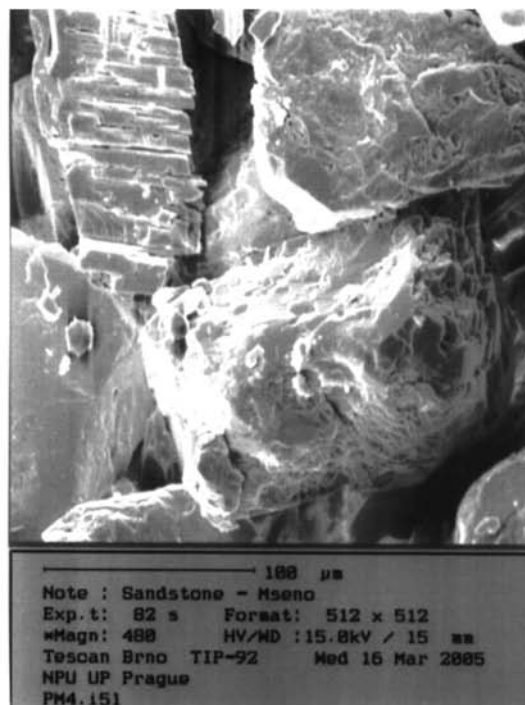
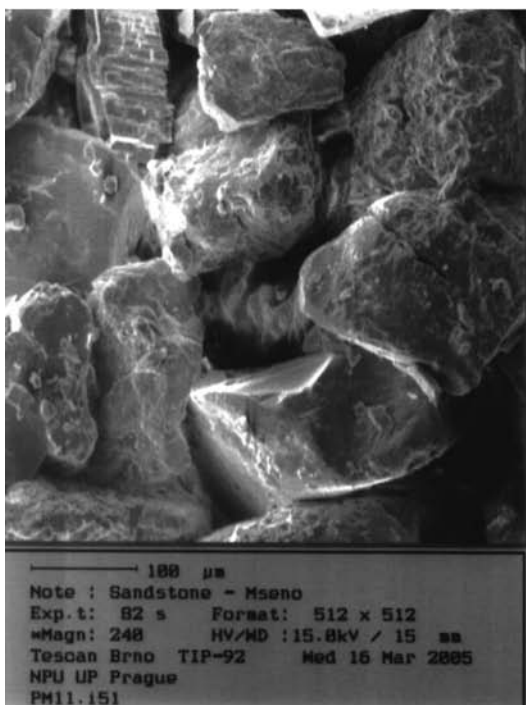
### Experimentální metody

#### Materiálové parametry

Mšenský pískovec je jemně zrnitý naředlý materiál s nažloutlými až hnědými skvrnami. Tento psamitický rovno-

měrně zrnitý kámen je z 95 % tvořen křemennými polooválnými zrny. Zrna ostatních minerálů se vyskytují zřídka, nejvíce je zastoupen turmalín, epidot, muskovit a zirkon. Zrna křemene mají průměr do 0,1 mm, zatímco zrna muskovitu poloměr až 0,3 mm (*obr. 4 až obr. 6*). Matrice je tvořena jílovými minerály, převážně kaolinitem. Základní vlastnosti pískovce [1] jsou uvedeny v *tab. 1*.

Ze základních fyzikálních parametrů byla třemi typy metod měřena objemová hmotnost, hustota matrice, celková otevřená pórovitost a saturovaný obsah vlhkosti. První spočívala ve stanovení objemové hmotnosti  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] z lineár-



Obr. 4. Struktura mšenského pískovce pořízená rastrovacím elektronovým mikroskopem SEM



Tab. 1. Vybrané fyzikální vlastnosti mšenského pískovce [1]

Objemová hmotnost [kgm <sup>-3</sup> ]	Pórovitost [% objemu]	Absorpce vody [% hmotnosti]	Pevnost [MPa]	
			v tlaku	v tahu
1 850–1 930	26,25–29,67	10,8–13,3	23,0–33,0	0,9–1,6

ních rozměrů vzorků a jejich hmotnosti (takto získaná data a veličiny budeme v následujícím textu označovat indexem 1)

$$\rho_1 = \frac{m_d}{abc}, \quad (1)$$

kde  $m_d$  [kg] je hmotnost suchého vzorku,  $a$ ,  $b$ ,  $c$  [m] jeho lineární rozměry.

Druhá metoda, pracující s kapilární nasákavostí (data a veličiny označené indexem 2), a třetí metoda, založená na vakuové nasákavosti (data a veličiny označené indexem 3), využily pro stanovení vyšetřovaných veličin koncept Archimédových vah. Vysušené vzorky byly nejprve zváženy, a poté plně nasyceny vodou. V případě kapilární nasákavosti byly ponořeny po dobu 24 hodin pod vodu. Vzorky pro měření vakuové nasákavosti byly ponořeny do exsikátoru s odvzdušněnou destilovanou vodou, uzavřeny a po dobu 3 h bylo v exsikátoru vytvořeno vakuum. Nasycené vzorky byly poté ponechány ve vodě 21 hodin.

Z hmotnosti suchého vzorku, vodou saturovaného  $m_w$  [kg] a ponořeného ve vodě zavěšeného na Archimédových vahách  $m_a$  [kg] jsme stanovili objem vzorku  $V$  [m<sup>3</sup>] podle vztahu

$$V_{2,3} = \frac{m_{w2,3} - m_{a2,3}}{\rho_w}, \quad (2)$$

kde  $\rho_w$  je objemová hmotnost vody při teplotě 20 °C, která činí 998 kgm<sup>-3</sup>.

Celková otevřená pórovitost  $\psi_0$  (bezrozměrná, ekvivalentní se saturovaným obsahem objemové vlhkosti  $w_{sat}$ ), objemová hmotnost a hustota matrice  $\rho_{mat}$  [kg/m<sup>3</sup>] byly vypočítány podle vztahů

$$w_{02,3} = w_{sat2,3} = \frac{m_{w2,3} - m_d}{V_{2,3} \rho_w}, \quad (3)$$

$$\rho_{2,3} = \frac{m_d}{V_{2,3}}, \quad (4)$$

$$\rho_{mat2,3} = \frac{m_d}{V_{2,3}(1 - \psi_{02,3})}. \quad (5)$$

### Transport kapalných vlhkostí

Byl charakterizován pomocí sorptivity a součinitele vlhkostní vodivosti. Sorptivita  $S$  [ms<sup>-1/2</sup>] je definována podle [2] jako

$$I = S\sqrt{t}, \quad (6)$$

kde  $I$  [m] je veličina charakterizující množství nasáklé vody,  $t$  [s] je čas. Rovnice (6) je zjednodušením obecného vztahu pro nárůst obsahu vlhkosti s odmocninou času, který se běžně používá v teorii transportních procesů v porézních médiích [3].

Rovnici (6) jsme získali vydělením původní rovnice ve tvaru

$$i = A\sqrt{t} \quad (7)$$

hustotou vody. V rovnici (7) je  $i$  [kg/m<sup>2</sup>] reálné množství nasáklé vody a  $A$  absorpční koeficient vody,  $A = S\rho_w$ .

Sorpční experiment měl běžné uspořádání podle [2]. Vzorky ve tvaru kvádry byly nejprve vodotěsně a parotěsně izolovány na bočních stranách epoxidovým tmelem. Čelní neizolovanou stranou byly poté zavěšeny nad rezervoár, ve kterém bylo nutné zvýšit vodní hladinu, aby byla v kontaktu se vzorkem. Konstantní úroveň hladiny během experimentu zajišťovala Mariottova láhev. Hmotnost vzorku byla monitorována jako funkce času buď automaticky, nebo ručním vážením v intervalech podle [4]. Tímto způsobem bylo stanoveno množství nasáklé vody  $i$  ve vzorku jako funkce času. Absorpční koeficient vody  $A$  byl poté vypočítán z lineární části funkce  $i = i(t^{1/2})$ .

Součinitel vlhkostní vodivosti  $\kappa$  [m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>] bez závislosti na obsahu vlhkosti byl určen ze stanoveného absorpčního koeficientu vody  $A$  pomocí vztahu [4]

$$\kappa = \left( \frac{A}{\rho_w(w_{sat} - w_0)} \right)^2, \quad (8)$$

kde  $w_0$  je počáteční množství vody ve vzorku.

### Transport plynných vlhkostí

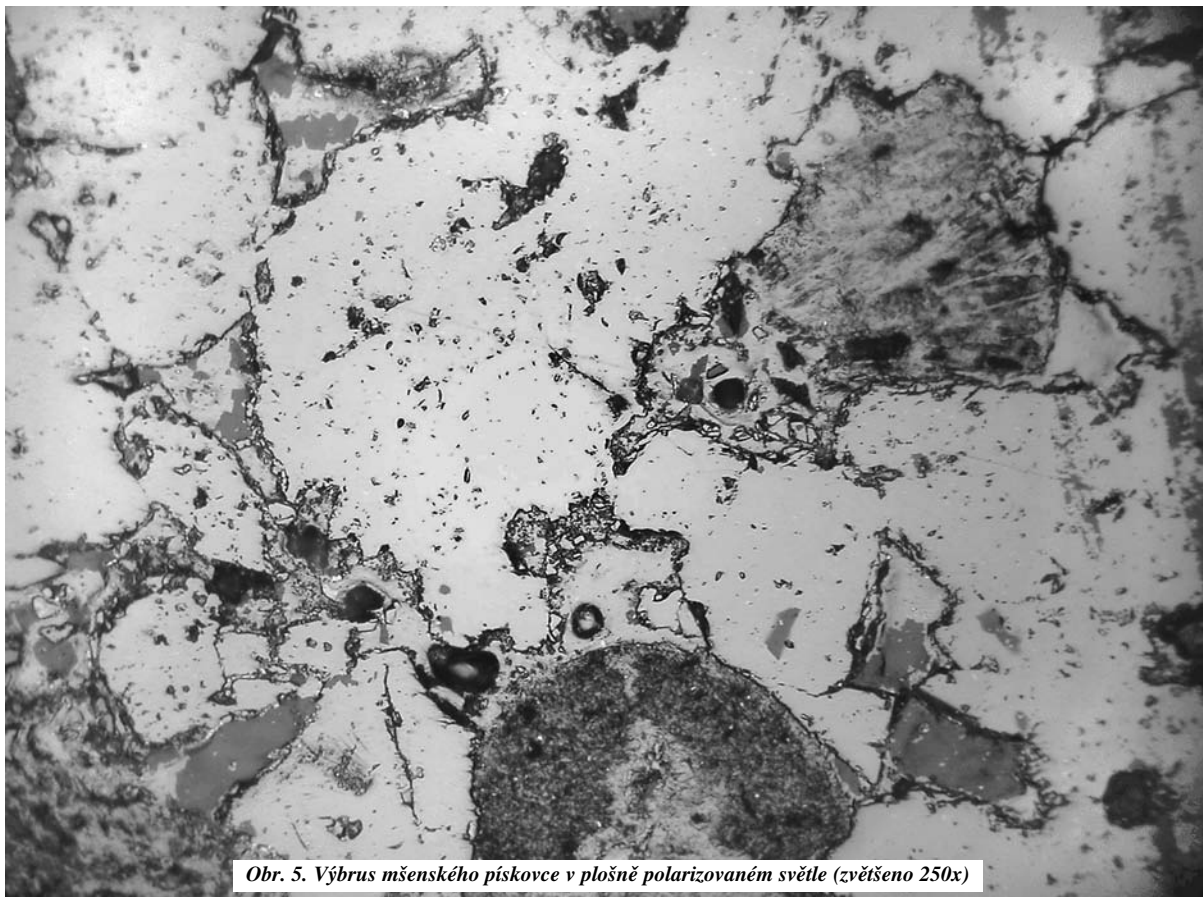
Pro měření součinitele difúze vodní páry jsme použili tři modifikace miskové metody (wet cup, dry cup a kombinovanou metodu). Vzorky byly opět po obvodu izolovány epoxidovým tmelem, umístěny do měřicí misky a utěsněny technickou plastelinou. Lepší zpracovatelnosti a nepropustnosti bylo dosaženo jejím zahřátím, s následným vytvrzením. Při aplikaci metody wet cup byla pod utěsněný vzorek umístěna miska s nasyceným roztokem K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, čímž vznikla na jeho spodní straně relativní vlhkost 97,8 %. Vzorky byly poté přemístěny do klimatizační komory s relativní vlhkostí 25 % a teplotou 25±1 °C, kde byly periodicky váženy. Po ustálení hmotnosti (ustálení toku vodní páry) byl stanoven součinitel difúze vodní páry  $D$  podle rovnice (9). V případě metody dry cup byl pod vzorek umístěn CaCl<sub>2</sub> vysušený při teplotě 250 °C a byla simulována relativní vlhkost 5 %. Následující postup byl obdobný jako u metody wet cup. Při kombinaci obou metod jsme pod vzorkem použili CaCl<sub>2</sub> (relativní vlhkost 5 %). Vzorek byl umístěn do klimatizační komory, v níž byla při teplotě 25±1 °C udržována relativní vlhkost 85 %. Vyhodnocení experimentu bylo jinak stejné jako u předešlých metod.

Součinitel difúze vodní páry  $D$  [m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>] byl vypočten ze zjištěných dat pomocí rovnice

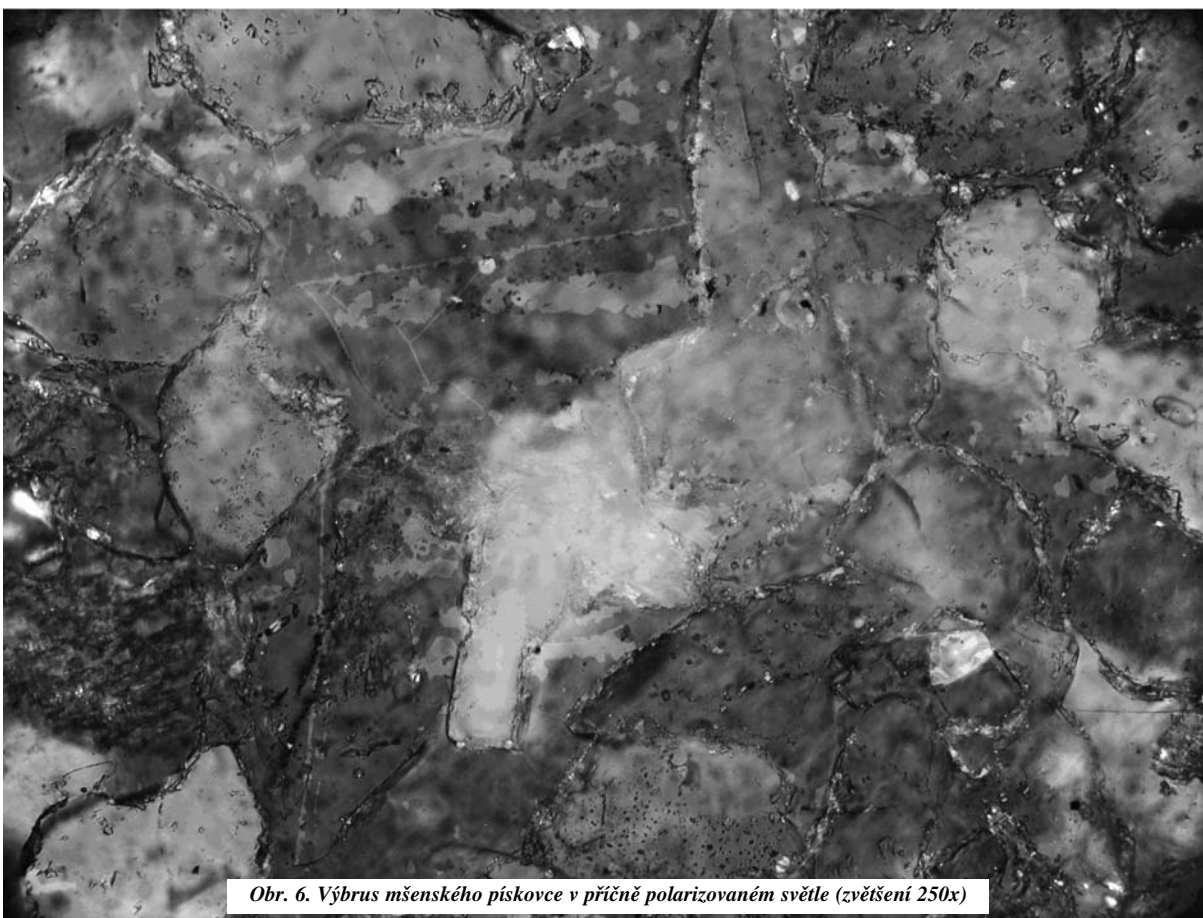
$$D = \frac{\Delta m \cdot d \cdot R \cdot T}{S \cdot \tau \cdot M \cdot \Delta p_p}, \quad (9)$$

kde  $\Delta m$  [kg] je množství vodní páry difundované vzorkem za příslušný čas,  $d$  [m] tloušťka vzorku,  $S$  [m<sup>2</sup>] plocha vzorku,  $\tau$  [s] časová perioda korespondující s transportem vodní páry o hmotnosti  $\Delta m$ ,  $\Delta p_p$  [Pa] rozdíl parciálních tlaků vodní páry o vzduchu pod specifickou plochou vzorku a nad ní,  $R$  [Jmol<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>] univerzální plynová konstanta,  $M$  [kgmol<sup>-1</sup>] molární hmotnost vody a  $T$  [K] absolutní teplota.

Na základě výpočtu součinitele difúze vodní páry jsme stanovili faktor difúzního odporu  $\mu$  [-] jako podíl difúzního



*Obr. 5. Výbrus měnského pískovce v plošně polarizovaném světle (zvětšeno 250x)*



*Obr. 6. Výbrus měnského pískovce v příčně polarizovaném světle (zvětšení 250x)*

součinitele vodní páry ve vzduchu  $D_a$  a součinitele difúze vodní páry měřeného materiálu  $D$ .

### Akumulace vlhkosti

Z parametrů popisujících akumulaci plynné a kapalné vlhkosti jsme se zabývali stanovením adsorpčních izoterem a retenčních křivek vlhkosti. Při měření adsorpčních izoterem byly jednotlivé vzorky, vysušené při teplotě 115 °C, umístěny do exsikátorů se solnými roztoky, které simulovaly různou relativní vlhkost vzduchu  $\varphi$  [%], viz tab. 2 [5]. Experiment probíhal paralelně ve všech exsikátorech. Rostoucí hmotnost vzorků byla průběžně monitorována až do ustálení. Objemový obsah vlhkosti byl pak vypočítán podle vztahu

$$w = \frac{m_s - m_0}{V \cdot \rho_w}, \quad (10)$$

kde  $m_s$  [kg] je hmotnost vlhkého vzorku po ustálení,  $m_0$  [kg] počáteční hmotnost suchého vzorku. Nakonec byla vytvořena adsorpční izoterma (tj. funkce  $w = w(\varphi)$ ) z bodů  $[\varphi, w]$ .

Tab. 2. Relativní vlhkost nad nasycenými roztoky solí při teplotě 23±1 °C

Roztok soli	Relativní vlhkost [%]
LiCl	12,00
MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	33,00
NaNO <sub>2</sub>	65,00
NH <sub>4</sub> Cl	79,50
KNO <sub>3</sub>	94,00
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	97,80

Pro zjištění retenční křivky vlhkosti byla zvolena metoda tlakové desky. Zařízení se skládá z kompresoru, který vytváří tlak vyšší než atmosférický, tlakového panelu s manometry pro regulaci tlaku, tlakové extrakční nádoby a keramických desek. V extrakční nádobě byly kapilárně nasáklé vzorky položeny na vzduchotěsné, vodou nasycené keramické desky pokryté vrstvou kaolinu a síťoviny. Podle typu keramické desky byl po uzavření nádoby aplikován přetlak  $p$  a extrahovaná voda ze vzorků se zachytávala do byrety. Po ustálení byl extraktor otevřen a stanovena hmotnost pro jednotlivé vzorky. Dále byly vzorky umístěny zpět a aplikován vyšší přetlak. Experiment byl ukončen stanovením obsahu vlhkosti  $w$  ve vzorcích a vytvořením retenční křivky vlhkosti jako funkce  $w = w(p)$ .

Pro ověření základních fyzikálních a vlhkostních transportních a akumulčních parametrů byly zvoleny vzorky následujících rozměrů:

- základní materiálové parametry 50 x 50 x 40 mm,
- transport kapalné vlhkosti 50 x 50 x 40 mm,
- transport plynné vlhkosti cylindrické Ø105 mm, výšky 20 mm,
- akumulace vlhkosti 30 x 30 x 10 mm.

Prezentované výsledky představují průměrnou hodnotu ze čtyř měření.

## Výsledky a diskuze

### Materiálové parametry

Základní materiálové parametry mšenského pískovce jsou uvedeny v tab. 3. Výsledky prokázaly dobrou shodu mezi daty získanými pomocí kapilární nasákavosti a daty určenými

mi využitím vakuové nasákavosti. Tato shoda indikuje velké množství kapilárních pórů ve struktuře materiálu. Hodnoty objemové hmotnosti, vypočítané na základě měření lineárních rozměrů vzorků, byly systematicky nižší (typicky o 4 %) než hodnoty získané dalšími dvěma metodami. Tento fakt připisujeme otevřeným pórům na povrchu materiálu.

Tab. 3. Základní materiálové parametry mšenského pískovce

$\rho_1$	$\rho_2$	$\rho_3$	$\rho_{mat2}$	$\rho_{mat3}$	$\Psi_{0,2}$	$\Psi_{0,3}$	$w_{sat2}$	$w_{sat3}$
[kgm <sup>-3</sup> ]					[m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ]		[kgm <sup>-3</sup> ]	
1 740	1 810	1 807	2 604	2 627	0,305	0,312	305	312

### Transport kapalné vlhkosti

Výsledky měření absorpčního koeficientu vody a součinitele vlhkostní vodivosti získané jak automatickým monitorováním přírůstku hmotnosti, tak ručním vážením, jsou prezentovány v tab. 4. Hmotnost získaná automatickým záznamem byla u všech vzorků vyšší než v případě ručního měření. Rozdíl je způsoben přesnější automatickou metodou, neboť při ručním vážení může dojít ke ztrátě části absorbované vody při vyjímání vzorku z nádoby.

Tab. 4. Absorpční koeficient vody a součinitel vlhkostní vodivosti mšenského pískovce

A (manuální měření) [kgm <sup>-2</sup> s <sup>-1/2</sup> ]	1,14
A (automatické měření) [kgm <sup>-2</sup> s <sup>-1/2</sup> ]	1,41
$\kappa$ (manuální měření) [10 <sup>-5</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]	1,33
$\kappa$ (automatické měření) [10 <sup>-5</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]	2,04

### Transport vodní páry

Hodnoty součinitele difúze vodní páry  $D$  a faktoru difúzního odporu vodní páry  $\mu$  jsou uvedeny v tab. 5. Oba parametry byly stanoveny v závislosti na relativní vlhkosti. Součinitel difúze vodní páry  $D$  je v případě měření metodou wet cup téměř třikrát vyšší než metodou dry cup a kombinovanou metodou. Na základě výsledků je možné usoudit, že významnou roli v rozsahu vyšší relativní vlhkosti má transport kapalné vlhkosti, což je v souladu s výsledky měření transportních parametrů kapalné vlhkosti.

Tab. 5. Parametry transportu vodní páry

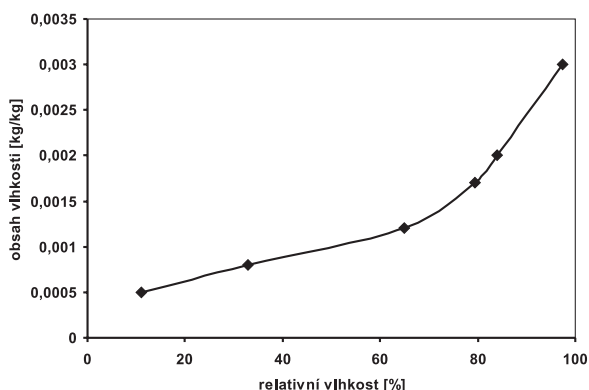
$D$ [10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]			$\mu$ [-]		
25–97 %	5–85 %	5–25 %	25–97 %	5–85 %	5–25 %
3,4	1,1	1,2	6,7	21	19

### Akumulační vlhkostní parametry

Z průběhu adsorpční izotermy pískovce (obr. 7) je zřejmé, že jeho adsorpční kapacita pro vodní páru je velmi malá, či spíše téměř zanedbatelná. To je způsobeno absencí malých pórů ve struktuře materiálu a dominantním zastoupením kapilárních pórů, které se projeví ve vysokých hodnotách

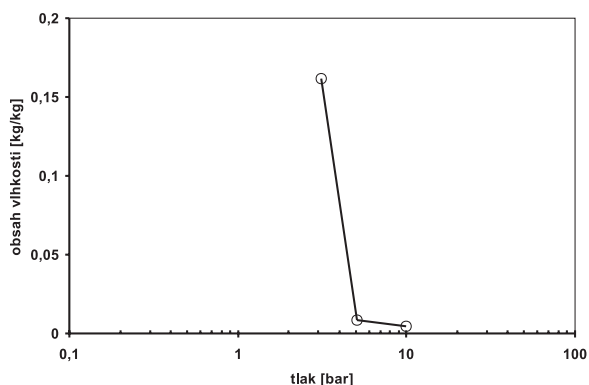
transportních parametrů kapalné vlhkosti a vodní páry (tab. 5, tab. 6). Jelikož velké póry mají menší specifický povrch, na jejich stěnách se adsorbuje méně molekul vody.

Retenční křivku vlhkosti uvádí obr. 8. Pro tlak menší než



Obr. 7. Adsorpční izoterma mšenského pískovce

3 bary byl obsah vlhkosti ve vzorcích přibližně stejný jako kapilární nasákavost (tab. 3). Hlavní pokles vlhkosti byl pozorován při tlaku 3 až 5 barů, který koresponduje s rozměry pórů 0,5 až 0,3 mm. Předpokládáme proto, že hlavní zastou-



Obr. 8. Retenční křivka vlhkosti mšenského pískovce

pení v distribuční křivce pórů budou mít právě póry této velikosti, které určují malou adsorpční schopnost materiálu pro vodní páru a velkou schopnost transportu kapalné a plyné vlhkosti.

## Závěr

Výsledné základní materiálové parametry a parametry transportu a akumulace vlhkosti, které mají přímou vazbu k transportu a akumulaci ve vodě rozpustných solí, mohou být využity dvojnásobem. První možností je přímá aplikace v počítačových modelech současného přenosu vlhkosti a solí. Je zřejmé, že pouze spolehlivě a dostatečně přesně určené parametry umožní seriózně předpovídat transport a akumulaci solí v konstrukcích historických budov. Tímto způsobem stanovená pole vlhkosti a koncentrace solí mohou být následně využita při návrhu údržby a sanace povrchových vrstev staveb. Další možností je využití počítačové simulace pro odhad rizika poškození historických konstrukcí a jejich materiálů v důsledku krystalizace solí z roztoku, případně jejich rekrystalizace z pevné fáze. Můžeme získat informace o vlhkových poměrech konstrukce, které přímo

souvisejí s prahem nasycení solného roztoku a následnou krystalizací.

Přínosem je i možnost přímého kvantitativního odhadu chování materiálu na základě získaných parametrů. Z tohoto hlediska se jeví jako klíčový parametr součinitel vlhkovosti vodivosti, který prokázal velkou schopnost pískovce transportovat kapalnou vlhkost. Toto zjištění je však z hlediska trvanlivosti a životnosti konstrukce rozporuplné. Na jedné straně struktura materiálu umožňuje rychlou redistribuci vlhkosti, např. po dešti. Následkem je redukce vlhkovostního napětí a prevence akumulace vlhkosti v nejvíce exponovaných povrchových částech konstrukce, která je často akumulací nadměrné vlhkosti poškozena. Na druhé straně je nutné si uvědomit, že neexistuje-li horizontální izolace proti vlhkosti, s čímž se často u historických budov setkáváme, dochází vlivem schopnosti mšenského pískovce k rychlému transportu vlhkosti z podzákladí.

U tohoto materiálu bylo také prokázáno, že jeho pórová struktura je otevřená pro transport vodní páry, což je bezpochyby pozitivní zjištění. V zimním období je vysoký koeficient difúze vodní páry garantem transportu vodní páry z interiéru stavební konstrukce, čímž je zabráněno vzniku kondenzace.

V rámci analýzy akumulčních parametrů vlhkosti bylo zjištěno, že mšenský pískovec obsahuje převážně póry velikosti 0,3 až 0,5 mm, zatímco obsah malých pórů je zanedbatelný. Otevřená struktura s vysokým zastoupením velkých pórů eliminuje případné poškození materiálu krystalizací solí či vytvářením krystalů ledu. Souhrnně je tedy možno prohlásit, že mšenský pískovec prokázal velmi dobré vlastnosti z hlediska transportu a akumulace vlhkosti a solného roztoku. Materiál je možno aplikovat v náročných podmínkách, jako je permanentní vystavení solným roztokům či vlhkosti, bez nebezpečí závažného poškození jeho struktury.

Článek vznikl za podpory projektu č. 103/06/0031 GA ČR.

## Literatura

- [1] Rybařík, V.: Ušlechtilé stavební a sochařské kameny České republiky. Hořice v Podkrkonoší, Nadace Střední průmyslové školy kamenické a sochařské 1994.
- [2] Hall, C.: Water Sorptivity of Mortars and Concretes: A Review. Magazine of Concrete Research, 41 (1989) 51–61.
- [3] Krüsch, O.: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik, 2. Auflage. Berlin, Springer Verlag 1963.
- [4] Roels, S. – Carmeliet, J. – Hens, H. – Adan, O. – Brocken, H. et al.: A Comparison of Different Techniques to Quantify Moisture Content Profiles in Porous Building Materials, Journal of Thermal Envelope & Building Science, 2004, Vol. 27, No. 4, pp. 261–276.
- [5] Arai, C. – Hosaka, S. – Murase, K. – Sano, Y.: Measurements of the Relative Humidity of Saturated Aqueous Salt Solutions, J. Chem. Eng. Jap., 9 (1976) 328–330.

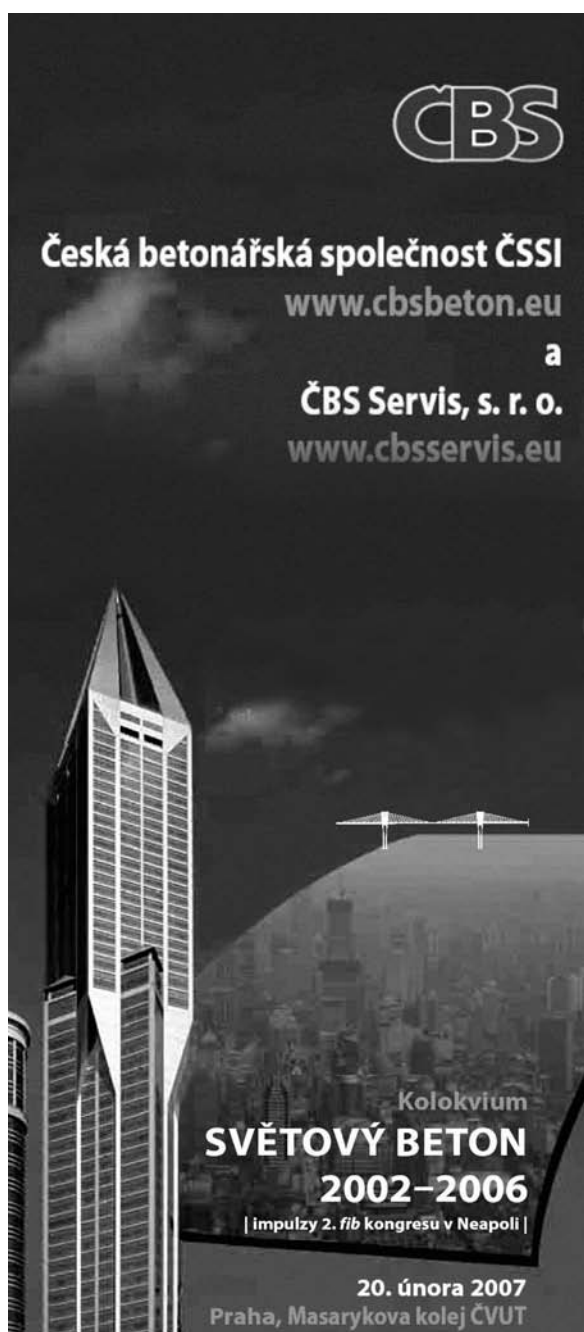
**Pavlík, Z. – Michálek, P. – Pavlíková, M. – Kopecká, I. – Maxová, I. – Černý, R.: Sandstone Quarried in Mšeno from the Perspective of Transport, as Well as Moisture and Salts Accumulation – Part I**

**This paper seeks to determine basic material parameters of sandstone from Mšeno. The experimental results have**

proved that the material has very favourable properties as concerns its transport and accumulation of moisture and salts.

Pavlík, Z. – Michálek, P. – Pavlíková, M. – Kopecká, I. – Maxová, I. – Černý, R.: Sandstein aus Mšené-lázně aus der Sicht des Transports und der Akkumulation von Feuchtigkeit und Salzen – Teil 1

Im Artikel werden die grundlegenden Materialparameter von Sandstein aus Mšené-lázně bestimmt. Aufgrund der Versuchsergebnisse wird nachgewiesen, dass das Material vom Gesichtspunkt des Transports und der Akkumulation von Feuchtigkeit und Salzen sehr günstige Eigenschaften besitzt.



**CBS**

Česká betonářská společnost ČSSI  
www.cbsbeton.eu

a

ČBS Servis, s. r. o.  
www.cbsservis.eu

Kolokvium  
**SVĚTOVÝ BETON**  
2002–2006  
| impulzy 2. fib kongresu v Neapoli |

20. února 2007  
Praha, Masarykova kolej ČVUT

## ● zprávy

### Národní technická knihovna

Již v lednovém čísle v roce 2002 náš časopis uveřejnil článek o záměru vybudovat moderní vědeckotechnickou knihovnu v samém středu dejvického areálu vysokých technických škol v Praze. Záměr přechází ve skutečnost a na pozemku, vymezeném ulicemi Technická, Thákuřova, Bechyňova a Studentská, vyroste do konce roku 2008 moderní budova Národní technické knihovny. Projekt výstavby s celkovými náklady 1,8 mld. Kč se stane jedním z prvních příkladů spolupráce soukromého a veřejného sektoru u nás. Strategickým partnerem pro výstavbu a generálním partnerem projektu je společnost Sekyra Group, která rovněž zabezpečí inženýrskou činnost, dokumentaci a technický dozor. Autorem architektonického návrhu je nástupce vítěze architektonické soutěže z roku 1991 ateliér Projektil Architekti, který je společně se společností HELIKA zpracovatelem projektu stavby.



Budova půdorysu zaobleného čtverce o rozměrech 70 x 70 m bude mít pět nadzemních podlaží pro knihovni a administrativní účely a tři podzemní podlaží s parkovištěm a depozitářem knih. Dva pláště sníží náklady, které by jinak byly spojeny s vybudováním a provozem klimatizace. „Nová knihovna má charakteristiky obvyklé v anglosaských a severských zemích a dosud nezvyklé v českých zemích. Využije všech účelných možností soudobých architektonických, konstrukčních a technologických principů, současně je koncipována tak, aby obstála dlouhou dobu v epoše překotného technického rozvoje,“ říká ředitel Státní technické knihovny Ing. Martin Svoboda.

Veřejnost zde nalezne sloučené knihovní fondy Státní technické knihovny a knihoven Českého vysokého učení technického a Vysoké školy chemicko-technologické. Prostory budou pro zájemce otevřeny sedm dní v týdnu včetně studovny přístupné i v nočních hodinách. Knihovna bude mít komplexní automatizovaný systém, volný přístup k rozsáhlým knižním a časopiseckým fondům, bohatou nabídku elektronických informačních zdrojů a dostatečný prostor pro prezenční studium. Nebude chybět ani prostor pro setkávání a komunikaci – ať už v atriu knihovny, ve studovnách, odpočinkových prostorách, výstavní síni, nebo třeba v kavárně.

Tisková informace

# Nový materiál na bázi hydrofilní minerální vlny se zvýšenou objemovou hmotností

Ing. Petr MICHÁLEK  
 RNDr. Vratislav TYDLITÁT, CSc.  
 doc. Ing. Petr KONVALINKA, CSc.  
 prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.  
 ČVUT – Fakulta stavební  
 Praha

V článku jsou uvedeny informace o novém tepelně izolačním materiálu na bázi hydrofilní minerální vlny se zvýšenou objemovou hmotností a výsledky měření jeho tepelných, vlhkostních a mechanických vlastností. Materiál je vyvíjen pro použití ve vnitřních zateplovacích systémech a pro vysušování a odsolování historického zdiva.

## Úvod

V současné době jsou na českém stavebním trhu k dispozici pouze materiály na bázi minerální vlny s hydrofobními přísadami, protože přítomnost vody nepříznivě ovlivňuje zejména jejich tepelně izolační funkci. Hydrofobizace však může vést i k problémům v konstrukci, například k hromadění zkondenzované vody, následnému vzniku tepelných mostů a možnému poškození konstrukce.

Hydrofilní přísady v materiálech na bázi minerální vlny se používají zřídka, hlavně v zemědělství pro pěstování rostlin. V minerální vlně urychlují transport kapalně vlhkosti a vytvářejí velký prostor pro další použití. Příkladem může být vnitřní zateplovací systém nebo desky pro vysušování či odsolování zdiva. Rychlost transportu kapalně vlhkosti závisí především na prostorové hustotě vláken, proto byl vyvinut materiál se zvýšenou objemovou hmotností. V článku jsou uvedeny výsledky ověřování jeho mechanických, tepelných a vlhkostních vlastností. Pro porovnání jsou zde i parametry dalších materiálů, které nebyly v článku [1] zahrnuty.

## Experimentální metody

### Základní parametry

Daný materiál charakterizuje objemová hmotnost, otevřená pórovitost a hustota matrice. Transport kapalně vlhkosti popisuje absorpční součinitel vody  $a$  z něj vypočtený průměrný součinitel vlhkostní vodivosti. Podrobný popis metod pro určení těchto parametrů je uveden v článku [1].

### Vysychání přes vrstvu hydrofilní minerální vlny

Při experimentu byl zkoumán transport vody z porézního stavebního materiálu nasyceného vodou přes různé vrstvy hydrofilní minerální vlny. Vzorky cihly, vodotěsně a parotěsně izolované po pěti stranách silikonovým kaučukem (jedna strana zůstala neizolovaná), se nechaly postupně nasytit vodou. Vzorky hydrofilní minerální vlny byly izolovány stejným způsobem po čtyřech bočních stranách. Poté byly oba vzorky mechanicky spojeny neizolovanými stranami k sobě tak, aby nebylo bráněno vypařování z jediné neizolované stra-

ny vzorku minerální vlny do prostředí laboratoře ( $21 \pm 1$  °C, 20 % relativní vlhkosti vzduchu). Přechod mezi cihlou nebo pórobetonem a minerální vlnou byl zvnějšku utěsněn sanitárním silikonem. Další dva nasycené vzorky cihly nebyly minerální vlnou pokryty a nechaly se vysychat neizolovaným čelem jako referenční. Jiné dva vzorky nasycené cihly měly dvě neizolovaná čela a také nebyly opatřeny minerální vlnou. Vlákna ve vzorcích minerální vlny byla kolmá ke směru transportu vlhkosti (s jedinou výjimkou, kde s ním byla rovnoběžná). Toto uspořádání experimentu respektuje orientaci vláken v izolačních deskách, tedy tak, jak by v nich probíhal transport vlhkosti na zdivu. Všechny vzorky se pravidelně vážily a hmotnostní úbytky odpařením zaznamenávaly. Ze získaných dat byl vypočten časový průběh obsahu vlhkosti ve vzorcích cihly.

### Součinitel difúze vodní páry a faktor difúzního odporu

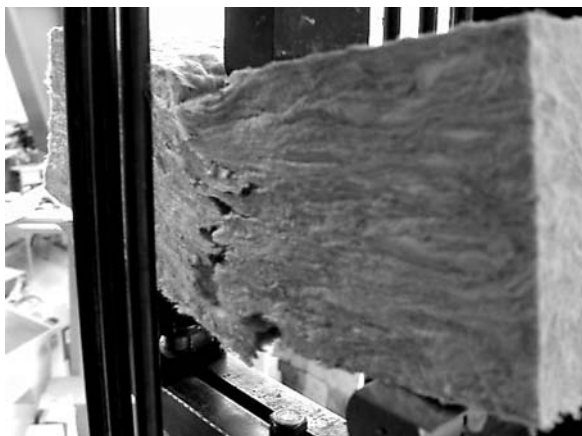
K měření součinitele difúze vodní páry byly využity miskové metody v modifikacích „wet cup“, „dry cup“ a „wet/dry cup“. Vzorky vodotěsně a parotěsně izolované silikonovým kaučukem na všech bočních stranách byly vloženy do misky a utěsněny silikonem. U metody wet cup byla uzavřená miska s nasyceným roztokem  $K_2SO_4$  (rovnovážná relativní vlhkost nad roztokem byla 97,8 %) umístěna v klimatizované místnosti s relativní vlhkostí 25 % a pravidelně vážena. Měření se prováděla při  $25 \pm 1$  °C v období dvou týdnů. Pro výpočet součinitele difúze vodní páry byla použita hmotnost misek při ustáleném průběhu úbytku vlhkosti určené pomocí lineární regrese pro poslední tři hodnoty. U metody dry cup byla uzavřená miska s vysušeným silikagelem nebo bezvodým  $CaCl_2$  (rovnovážná relativní vlhkost nad vysoušedlem byla určena měřením 5 %) umístěna v klimatizované místnosti s relativní vlhkostí 25 %. U kombinované metody wet/dry cup byla uzavřená miska se silikagelem umístěna do termostatické komory, ve které byla udržována relativní vlhkost 89 %. Výpočet součinitele difúze  $D$  [ $m^2s^{-1}$ ] a faktoru difúzního odporu  $\mu$  [-] z naměřených dat je uveden v [3].

### Součinitel tepelné vodivosti

Měření součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$  [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ] přístrojem ISOMET 2104 (Applied Precision, Bratislava) je založeno na analýze průběhu časové závislosti teplotní odezvy na impulsy tepelného toku do analyzovaného materiálu [2]. Přístroj je vybaven různými typy sond – jehlovou pro porézní, vláknité nebo měkké materiály a plošnou pro tvrdé materiály.

### Zkoušky pevnosti

Zahrnovaly měření pevnosti v tahu za ohybu, modulu pružnosti v tlaku, pevnosti v tlaku a pevnosti v tahu. Zkoušky pevnosti v tahu za ohybu (obr. 1) se prováděly na hydraulickém zkušebním stroji FP100 s tříbodovým ohybem se vzdáleností podpor 200 mm a grafickým záznamem prů-



Obr. 1. Zkouška pevnosti v tahu za ohybu

běhu zatěžování. Maximální zatěžovací síla byla podle nastaveného rozsahu 1 kN, 2 kN nebo 4 kN, rychlost průhybu při zatěžování 3 mm za minutu. Modul pružnosti v tlaku a pevnost v tlaku se určovaly běžnou tlakovou zkouškou. Při tahové zkoušce byly konce tyčových vzorků upnuty do zkušebního stroje a rovnoměrně zatěžovány tahem až do úplného přetržení vzorku (obr. 2).



Obr. 2. Zkouška pevnosti v tahu

### Materiály a vzorky

Hydrofilní minerální vlnu se zvýšenou objemovou hmotností s pracovním názvem DR (obr. 3) pro tyto účely vyrobila firma Rockwool CZ. Orientace vláken v materiálu je rovnoběžná s povrchem izolační desky. Pro porovnání byly podrobněji studovány i parametry materiálů na bázi hydrofilní minerální vlny z prací [1] a [3]. Vybraný materiál, označený pracovním názvem DD, se skládal ze dvou vrstev minerální vlny s rozdílnou objemovou hmotností. Vrstva mine-

rální vlny s nižší objemovou hmotností tl. 7 cm (měkká vrstva – DDS) byla během výroby spojena s vrstvou tl. 2 cm o vyšší objemové hmotnosti (tvrdá vrstva – DDH). Vlákna obou vrstev byla rovnoběžná s povrchem vyráběné desky. Další materiál, pracovním označený PRG, měl vlákna na povrch izolační desky kolmá. Vlákna všech materiálů byla pokryta hydrofilní přísadou.

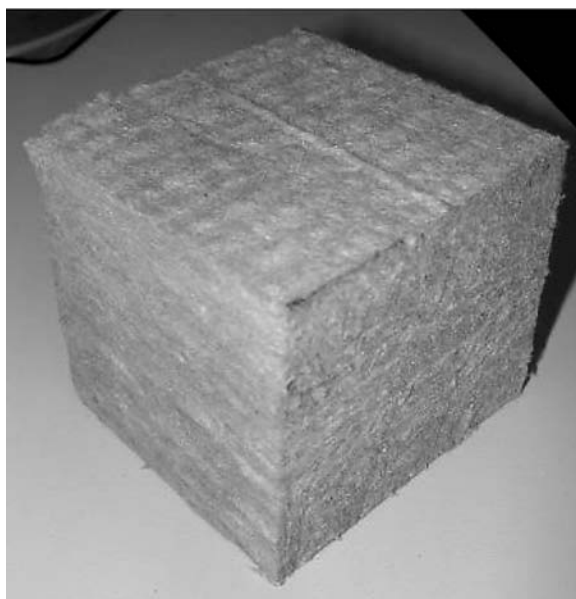
– Pevnost v tahu za ohybu se měřila na vzorcích 100 x 100 x 300 mm, připravených pro studium vlivu směru vláken ve dvou variantách. V prvních pěti kusech byla vlákna podélně ve směru délky vzorku, v dalších pěti příčně, tedy kolmo na délku vzorku.

– Modul pružnosti v tlaku se ověřoval na krychlích 100 x 100 x 100 mm také s ohledem na orientaci vláken ve vzorku, a to pět kusů bylo zatěžováno rovnoběžně se směrem vláken a po pěti kusech kolmo na směr vláken v jednom směru a ve druhém. Tři vzorky byly zatíženy tlakem až do rozdrčení, aby bylo možné určit pevnost v tlaku.

– Pevnost v tahu se měřila na tyčových vzorcích o délce 500 mm, tl. 100 mm (odpovídající tloušťce izolační desky), šířce 100 mm, uprostřed v délce 300 mm zeslabených na šířku 50 mm. Vlákna byla ve směru délky vzorku.

– Pro experiment vysychání přes vrstvu minerální vlny byly připraveny vzorky cihel 60 x 60 x 275 mm a vzorky hydrofilní minerální vlny 60 x 60 x 25/75/40/50 mm (pro materiály DDH/DDS/PRG/DR).

– Velikost vzorků pro určení absorpčního součinitele vody a součinitele tepelné vodivosti byla 50 x 50 x 50(20) mm. Třetí rozměr byl ve směru transportu vody, tl. 20 mm byla použita pouze u materiálu DDH. Pro stanovení součinitele difúze vodní páry byly připraveny válcové vzorky o průměru 110 mm a tloušťce 20 mm. Pro každé měření bylo použito pět vzorků.



Obr. 3. Materiál DR

### Výsledky a diskuze

Parametry nově vyvinutého materiálu DR jsou uvedeny v tab. 1. Pro porovnání jsou uvedeny i parametry materiálů z práce [1]. Rozdíly objemové hmotnosti mezi jednotlivými materiály jsou dostatečně velké, takže představují možné výrobní rozmezí. Objemová hmotnost standardních hydrofob-

ních minerálních vln je podle technických listů např. 138 a 175 kg/m<sup>3</sup> [4]. Pórovitost všech materiálů je vyšší než 90 %, jak bylo očekáváno pro tento typ materiálu. Hustota matrice přibližně souhlasí s údaji typickými pro čedič.

Tab. 1. Základní fyzikální parametry hydrofilních minerálních vln

Materiál	Objemová hmotnost	Hustota matrice	Pórovitost [% obj.]
	[kg/m <sup>3</sup> ]		
DR	164	2 644	93
DDH	210	2 540	91,9
DDS	90	2 540	96,4
PRG	60	2 697	96,5

Absorpční součinitele *A* vody a roztoku chloridu sodného pro orientaci vláken kolmo na směr toku vlhkosti, resp. rovnoběžně se směrem toku vlhkosti, uvádějí *tab. 2a* a *tab. 2b*. Nejvyšší hodnoty *A* vykazuje materiál DR při orientaci vláken rovnoběžně s tokem vlhkosti (*tab. 2b*). Parametry transportu roztoku Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o koncentracích 0,5 a 1 mol/l roztoku v materiálu DR s ohledem na orientaci vláken jsou uvedeny v *tab. 2c*. Je zřejmé, že rovnoběžná orientace vláken vzhledem ke směru transportu kapalné vlhkosti opět zapříčiňuje rychlejší přenos roztoku síranu sodného při obou koncentracích, jako tomu je u roztoků NaCl.

Tab. 2a. Parametry transportu vody a roztoku chloridu sodného, orientace vláken kolmo na směr toku vlhkosti

Materiál	Nasyčený obsah vlhkosti [kg m <sup>-3</sup> ]	Absorpční součinitel <i>A</i> [kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1/2</sup> ]					
		voda	0,05M NaCl	0,2M NaCl	0,5 M NaCl	0,8 M NaCl	1,0 M NaCl
DR	930,4	5,13	–	–	4,91	–	5,43
DDH	917,8	5,66	5,86	5,5	5,8	5,13	5,23
DDS	961,9	3,63	2,38	2,63	1,91	1,43	1,28

Tab. 2b. Parametry transportu vody a chloridu sodného, orientace vláken rovnoběžně se směrem toku vlhkosti

Materiál	Nasyčený obsah vlhkosti [kg m <sup>-3</sup> ]	Absorpční součinitel <i>A</i> [kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1/2</sup> ]					
		voda	0,1 M* NaCl	0,2M NaCl	0,5 M NaCl	0,8 M NaCl	1,0 M NaCl
DR	930,4	7,86	–	–	6,76	–	6,80
DDH	917,8	5,10	3,31	3,68	2,68	2,72	–
DDS	961,9	2,92	3,21	3,15	2,66	2,25	2,37
PRG	963,2	3,70	3,60	3,41	3,22	3,44	3,36

\* pro DDH byl použit roztok 0,05 M NaCl

Tab. 2c. Parametry transportu roztoku síranu sodného v materiálu DR s ohledem na orientaci vláken vzhledem ke směru transportu vlhkosti

Orientace vláken materiálu DR	Absorpční součinitel <i>A</i> [kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1/2</sup> ]	
	0,5 M Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1,0 M Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
kolmo	5,51	4,69
rovnoběžně	6,44	6,84

Difúzní vlastnosti studovaných materiálů pro vodní páru představuje *tab. 3*. Faktory difúzního odporu získané metodou wet cup jsou vždy nižší (a součinitele difúze vodní páry vyšší) než hodnoty získané metodou dry cup, což je jev pozorovaný u mnoha jiných materiálů. Materiál DR vykazuje přibližně stejné hodnoty faktoru difúzního odporu jako ostatní minerální vlny, je tedy zřejmé, že vyšší objemová hmotnost nezpůsobuje u této minerální vlny vyšší odpor proti průchodu vodní páry.

Tab. 3. Parametry transportu vodní páry, orientace vláken kolmo na směr toku vlhkosti (kromě materiálu PRG)

Materiál	Součinitel difúze vodní páry			Faktor difúzního odporu vodní páry		
	97/25 %	5/25 %	5/89 %	97/25 %	5/25 %	5/89 %
	[m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]			[-]		
DR	1,3 E-5	7,0 E-6	7,2 E-6	1,8	3,3	3,2
DDS	1,2 E-5	6,25 E-6	6,2 E-6	1,9	3,7	3,8
DDH	1,4 E-5	6,3 E-6	7,3 E-5	1,8	3,9	3,2
PRG	1,6 E-5	5,5 E-6	5,3 E-6	1,4	4,2	4,3

Tabulka 4 ukazuje, že součinitel tepelné vodivosti materiálů na bázi hydrofilní minerální vlny závisí v suchém stavu na objemové hmotnosti v relativně úzkém rozmezí. U hydrofilní minerální vlny DR se zvýšenou objemovou hmotností je jen mírně vyšší než u ostatních hydrofilních minerálních vln.

Tab. 4. Součinitel tepelné vodivosti

Materiál	Součinitel tepelné vodivosti [W/mK]
DR	0,051
DDH	0,047
DDS	0,043
PRG	0,036

Modul pružnosti a pevnosti v tlaku, pevnosti v tahu a v tahu za ohybu pro hydrofilní minerální vlnu DR uvádí *tab. 5*. Je patrné, že pevnost materiálu ve směru rovnoběžně s vlákny je vyšší než ve směru kolmo na vlákna. To je zřejmě způsobeno větším odporem vláken proti vzájemnému oddělení při působení síly v jejich směru. Vyšší modul pružnosti (1,595 MPa) pro směr kolmo na povrch vyráběné izolační desky souvisí pravděpodobně s tlakem na její povrch vyvinutým při výrobě.

Tab. 5. Mechanické vlastnosti materiálu DR v závislosti na orientaci vláken vzhledem k působící síle

Vlastnost	Orientace [MPa]	
	kolmo	rovnoběžně
modul pružnosti v tlaku	1,595/1,020 <sup>1)</sup>	5,765
pevnost v tlaku	0,200	0,337
pevnost v tahu	–	0,304
pevnost v tahu za ohybu	0,094 <sup>2)</sup>	0,3741 <sup>3)</sup>

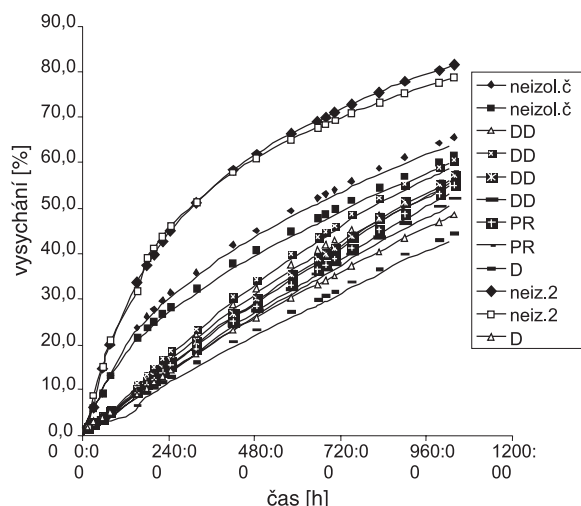
1) hodnoty pro dva možné směry působení síly kolmo na vlákna, a to ve směru kolmo na povrch vyráběné desky/rovnoběžně s povrchem desky

2) vlákna orientována kolmo na spojnice podpor i na působící sílu

3) vlákna orientována ve směru spojnice podpor, ale kolmo na působící sílu



Průběh vysychání dlouhých vzorků cihel spojených s různými materiály na bázi hydrofilní minerální vlny představuje obr. 4. Z grafu je zřejmé, že referenční vzorky bez mine-



Obr. 4. Vysychání vzorků cihel 275 mm izolovaných minerální vlnou nasycených vodou

rální vlny, zejména ty se dvěma neizolovanými čely, vysychají zpočátku nejrychleji. Po určité době je však rychlost vysychání všech vzorků přibližně stejná, což je zřejmě dáno stejnou rychlostí transportu vlhkosti v cihle směrem k povrchu, z něhož probíhá volné vysychání nebo vysychání přes vrstvu hydrofilní minerální vlny.

**Michálek, P. – Tydlitát, V. – Konvalinka, P. – Černý, R.:** New Material Based on Hydrophilic Mineral Wool with an Increased Bulk Density

This paper presents information on thermal insulating material based on hydrophilic mineral wool with an increased bulk density. Further, it presents outcomes of the monitoring of its thermal, moisture and mechanical properties. The material should be used in inner thermal insulating systems, as well as for drying and desalting of historical masonry.

## Závěr

Měření ukázala, že nový hydrofilní materiál na bázi minerální vlny s vysokou objemovou hmotností DR má dobré předpoklady pro využití ve stavební praxi v případech, kdy je vyžadován rychlý odvod vody nebo roztoku soli. Transport kapalné vlhkosti i roztoků solí je výrazně rychlejší než ve většině stavebních materiálů, a dokonce i než ve srovnatelných druzích minerální vlny, což se projevuje zvýšeným absorpčním součinitelem vody vzhledem k referenčním materiálům DDH, DDS a PRG. Faktor difúzního odporu vodní páry se od běžného typu minerální vlny liší jen v rámci chyby měření, součinitel tepelné vodivosti je v porovnání s běžnými typy jen mírně zvýšený. Materiál má výrazně větší odolnost proti mechanickému poškození, což umožňuje jeho účelné využití např. pro vnitřní tepelné izolace.

Článek byl vytvořen za podpory projektu č. 106/04/0138 GA ČR.

## Literatura

- [1] Michálek, P. – Tydlitát, V. – Černý, R.: Možnosti použití hydrofilních minerálních vln pro vysušování a odsolování zdiva. *Stavební obzor*, 15, 2006, č. 7, s. 220–223.
- [2] Isomet 2104. [Uživatelská příručka], Applied Precision Ltd., Bratislava.
- [3] Michálek, P. – Pavlík, Z. – Tydlitát, V. – Černý, R.: Tepelné a vlhkostní vlastnosti hydrofilních minerálních vln. *Stavební obzor*, 15, 2006, č. 6, s. 183–186.
- [4] Technické listy firmy Rockwool „Dachrock“, „Spodrock“, 08/1997.

**Michálek, P. – Tydlitát, V. – Konvalinka, P. – Černý, R.:** Ein neues Material auf Basis hydrophiler Mineralwolle mit erhöhter Dichte

Im Artikel werden Informationen über ein wärmedämmendes Material auf der Basis hydrophiler Mineralwolle mit erhöhter Dichte und die Ergebnisse der Prüfung seiner Wärme- und Feuchtigkeitseigenschaften sowie der mechanischen Eigenschaften angeführt. Das Material ist für innenseitige Wärmeschutzsysteme und zur Austrocknung und Entsalzung historischen Mauerwerks bestimmt.

## Fakulta stavební ČVUT v Praze

Profesní komora požární ochrany® a Generální ředitelství hasičského záchranného sboru Ministerstva vnitra pořádají v rámci projektu strukturálních fondů JPD3

semináře

# Celoživotní vzdělávání v požární ochraně

20. – 22. února 2006

- 20. února – **Navrhování konstrukcí na účinky požáru podle evropských norem**  
Statické výpočty za požární situace
- 21. února – **Zajištění požární bezpečnosti staveb v souladu s evropskými normami**  
Nové poznatky v problematice požární ochrany obecně
- 22. února – **Kontroly požárně bezpečnostních zařízení**  
Požární ochrana v praxi

Semináře jsou zařazeny do systému celoživotního vzdělávání ČKAIT. Absolvování jednoho semináře je navrženo na ocenění bodovou hodnotou 1. Pro každý seminář jsou připraveny textové pomůcky v rozsahu 100 stran.

Podrobné informace a přihlášku na seminář lze nalézt na internetové adrese:

[www.ocel-drevo.fsv.cvut.cz](http://www.ocel-drevo.fsv.cvut.cz)

# Ověřování vlastností totálních stanic TOPCON GPT-2006 – část 1

Ing. Martin ŠTRONER, Ph. D.  
Ing. Jitka SUCHÁ, Ph. D.  
doc. Ing. Jiří POSPÍŠIL, CSc.  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

Pro měření osnovy vodorovných směrů, zenitových úhlů a šikmých délek na krátké vzdálenosti u souboru dvanácti totálních stanic TOPCON GPT-2006 bylo realizováno experimentální pole. Současně byl experimentálně určen tvar rozměrů vhodného cíle pro měření na krátké vzdálenosti (největší délka cca 7 m). Nejvhodnější tvar a rozměr terče vyplynul z analýzy příslušných směrodatných odchylek. V článku jsou prezentovány hlavní parametry ověřovaných totálních stanic a přesnějšího přístroje Leica TC 1800, který bude sloužit k porovnání výsledků měření.

## Úvod

Spolehlivost stavebních objektů po jejich dokončení nebo objektů provozovaných je podmíněna spolehlivostí jednotlivých procesů a technologických operací, zejména ve fázi provádění staveb.

Významnou součástí těchto procesů jsou geodetické činnosti, např. kontrolní měření a měření posunů, které poskytují informace o geometrických a fyzikálních parametrech stavebního objektu, jeho podloží a okolí. Tyto informace a data vedou ke kvantitativnímu popisu spolehlivosti (tj. funkčnosti, životnosti, udržitelnosti, bezpečnosti atd.) stavebního objektu. Proto mezi problematiku výzkumného záměru VZ 1 - CEZ MSM 684 077 000 1 „Spolehlivost, optimalizace a trvanlivost stavebních materiálů a konstrukcí“, dílčí část „Geodetické monitorování k zajištění spolehlivosti staveb“ patří také partie ověřování geodetických měřicích přístrojů. Tato partie tvoří důležitý základ metrologického zabezpečení přístrojů a pomůcek využívaných při geodetických měřeních na stavbách.

V roce 2003 bylo v rámci projektu H2397/2003 Fondu rozvoje vysokých škol „Inovace a rozvoj laboratoří pro praktickou výuku Stavební geodézie“ získáno na podporu výuky předmětu Stavební geodézie Fakulty stavební ČVUT v Praze dvanácti totálních stanic Topcon GPT-2006. Díky tomu se naskytla unikátní možnost ověřovat způsobilost, stabilitu a přesnost přístrojů TOPCON GPT-2006 na větším množství exemplářů z téže výrobní série se záměrem určit, zda a jak výrazně se jednotlivé přístroje liší v přesnosti. Případně je možné v etapových měřeních opakovaných vždy po jednom roce sledovat vývoj přesnosti přístrojů. Za tímto účelem bylo realizováno experimentální testovací pole pro měření na krátké vzdálenosti, kde byly měřeny osnovy vodorovných směrů, zenitové úhly a šikmé délky. Součástí experimentu je porovnání s přesnějším přístrojem Leica TC 1800. Výsledky těchto poměrně rozsáhlých experimentů, podrobených statistickým testům, budou postupně publikovány.

## Přístroj Topcon GPT-2006

Na obrázku 1 je přístroj určený pro geodetické práce zejména ve stavebnictví. Směrodatné odchylky měření úhlů jsou 1,8 mgon, pro směrodatné odchylky délky měřené bezhranolově na vzdálenost větší než 25 m platí vztah 5 mm + 2 ppm-d, pro vzdálenost kratší pak má směrodatná odchylka velikost 10 mm. Pro měření délek na hranol pak platí vztah 3 mm + 2 ppm-d. Přístroj je vybaven dvouosým kapalinovým kompenzátorem, dalekohledem s třicetinásobným zvětšením a vnitřní pamětí, která pojme maximálně šest tisíc bodů. Důležité parametry jsou uvedeny v tab. 1.

Tab. 1. Hlavní parametry přístroje Topcon GPT-2006

dalekohled	
zvětšení	30x
obraz	vzpřímený
zorné pole	1,66 gon
rozlišovací schopnost	0,75 mgon
minimální zaostření	1,3 m
délkové měření	
bezhranolový mód – dosah	3 m až 100 m
hranolový mód – dosah na minihranol	1 500 m
– dosah na standardní hranol	4 000 m
presnost měření délek – bezhranolový mód $d < 25$ m	10 mm
$d > 25$ m	5 mm + 2 ppm. d
presnost měření délek – hranolový mód	3 mm + 2 ppm. d
elektronické měření úhlů	
metoda	absolutní čtení
minimální čtení	0,2 mgon
presnost měření úhlů	1,8 mgon
průměr kruhu	71 mm
korekce náklonu	
senzor náklon	vertikální a horizontální
metoda	kapalinový kompenzátor
rozsah kompenzace	$\pm 0,06$ gon
korekční jednotka	0,1 mgon
další vlastnosti	
citlivost krabicové libely	0,30 gon / 2 mm
citlivost alhidádové trubcové libely	0,012 gon / 2 mm
hmotnost přístroje s baterií	5 kg
rozsah pracovní teploty	-20 °C až +50 °C



Obr. 1. Topcon GPT-2006

Displej je použit maticový LCD se čtyřmi řádky o dvaceti znacích. Tři horní řádky zobrazují měřená data a dolní řádek zobrazuje programové klávesy, které se mění se změnou měřického módu. Pro ovládání je k dispozici celkem deset kláves, z toho čtyři kontextové.



Obr. 2. Leica TC1800

### Přístroj Leica TC 1800

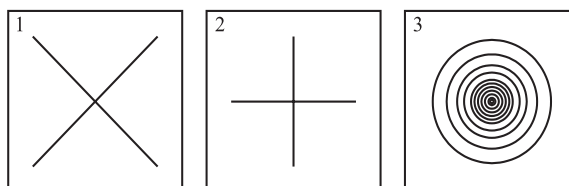
Jako referenční byl k dispozici přístroj Leica TC 1800. Směrodatné odchylky měření úhlů jsou 0,3 mgon, pro měřené délky na hranol pak platí vztah  $2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm} \cdot d$ . Přístroj je vybaven dvouosým kapalinovým kompenzátorem, dalekohledem s třicetinásobným zvětšením a možností registrace měření na paměťovou kartu. Důležité parametry jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2. Parametry přístroje Leica TC 1800

dalekohled	
zvětšení	30x
minimální zaostření	1,7 m
délkové měření	
hranolový mód – dosah na minihranol	1 300 m
– dosah na standardní hranol	2 500 m
přesnost měření délek – hranolový mód	2 mm + 2 ppm. d
elektronické měření úhlů	
metoda	absolutní čtení
minimální čtení	0,1 mgon
přesnost měření úhlů	0,3 mgon
korekce náklonu	
senzor náklon	vertikální a horizontální
metoda	kapalinový kompenzátor
rozsah kompenzace	$\pm 0,07$ gon
přesnost	0,1 mgon
další vlastnosti	
citlivost krabicové libely	0,07 gon / 2 mm
hmotnost přístroje s baterií	6,5 kg
rozsah pracovní teploty	$-20 \text{ }^\circ\text{C}$ až $+50 \text{ }^\circ\text{C}$

### Tvar a rozměr cíle

Byly navrženy celkem tři základní typy terčů (obr. 3). Rozměr čtvercového ohraničení všech terčů je  $50 \times 50$  mm. Tyto tři typy byly dále modifikovány, a to každý do čtyř variant různou tloušťkou čar (0,09 mm; 0,20 mm; 0,30 mm; 0,35 mm). Poloměr nejmenší kružnice kruhového znaku je 0,5 mm. Bylo tedy k dispozici celkem dvanáct typů znaků, mezi kterými bylo nutné vybrat nejvhodnější. Jako vhodné kritérium se jevila směrodatná odchylka cílení, kterou bylo třeba zjistit experimentálně.



Obr. 3. Typy cílů

Cílové znaky byly sestaveny do matice, očíslvány, vtištěny na papír A4 laserovou tiskárnou a stabilizovány na zdi v prostoru, kde bude probíhat experiment, ve vzdálenosti odpovídající předpokládané největší vzdálenosti měření (cca 7 m).

Záměrná přímková přístroje byla úmyslně zvolena nekolmá k rovině terčů, protože při měření v praxi kolmost záměry na terč nastává pouze výjimečně.

Směrodatnou odchylku měření směru  $\sigma_\varphi$  a zenitového úhlu  $\sigma_z$  lze vyjádřit pomocí vztahů (1)

$$\begin{aligned}\sigma_\varphi^2 &= \sigma_{\varphi c}^2 + \sigma_{\varphi o}^2, \\ \sigma_z^2 &= \sigma_{z c}^2 + \sigma_{z o}^2 + \sigma_i^2,\end{aligned}\quad (1)$$

kde  $\sigma_{\varphi c}$ ,  $\sigma_{z c}$  je směrodatná odchylka cílení pro směr, zenitový úhel,

$\sigma_{\varphi o}$ ,  $\sigma_{z o}$  – směrodatná odchylka odečtení pro směr, zenitový úhel,

$\sigma_i$  – směrodatná odchylka urovnání indexů.

Opakovaným odečítáním beze změny zacílení lze zjistit směrodatnou odchylku odečtení  $\sigma_o$ , v případě zenitového úhlu spolu se směrodatnou odchylkou urovnání indexu  $\sigma_i$ .

První částí experimentu bylo zjištění přesnosti odečítání totální stanice. Beze změny zacílení bylo provedeno 51 měření. Výsledkem byly směrodatné odchylky odečtení pro vodorovný směr  $\sigma_{\varphi o} = 0,00011$  g a směrodatné odchylky odečtení a urovnání indexu pro zenitový úhel  $\sigma_{z o i} = 0,00019$  g. Další částí bylo opakované padesátinásobné cílení na jednotlivé znaky v jedné poloze, vždy v pořadí 1, 2, ..., 12. Z měření byly zvlášť pro každý cíl a zvlášť pro vodorovný a zenitový úhel vypočteny průměry, opravy a směrodatné odchylky jednoho měření  $\sigma_\varphi$  a  $\sigma_z$ . Zároveň byl vypočten hodnotící koeficient  $P = \sqrt{(\sigma_\varphi^2 + \sigma_z^2)}$ . Výsledky jsou uvedeny v tab. 3.

Tab. 3. Směrodatné odchylky měření na jednotlivé cíle

Cíl	$\sigma_\varphi$ / gon	$\sigma_z$ / gon	$P$ / gon
1	0,00049	0,00053	0,00072
2	0,00046	0,00048	0,00066
3	0,00041	0,00032	0,00052
4	0,00047	0,00039	0,00061
5	0,00055	0,00041	0,00068
6	0,00045	0,00037	0,00058
7	0,00056	0,00048	0,00074
8	0,00056	0,00049	0,00075
9	0,00043	0,00031	0,00053
10	0,00045	0,00038	0,00059
11	0,0005	0,00054	0,00073
12	0,00041	0,00032	0,00052

V tabulce 4 jsou uvedeny zjištěné směrodatné odchylky v cílení  $\sigma_{\varphi c}$  a  $\sigma_{z c}$  získané podle vzorců (2), které vyjadřují jen vliv přesnosti cílení měřičem

$$\begin{aligned}\sigma_{\varphi c} &= \sqrt{\sigma_\varphi^2 - \sigma_{\varphi o}^2}, \\ \sigma_{z c} &= \sqrt{\sigma_z^2 - (\sigma_{z o}^2 + \sigma_i^2)}.\end{aligned}\quad (2)$$

Tab. 4. Směrodatné odchylky cílení

Cíl	$\sigma_{\varphi c}$ / gon	$\sigma_{z c}$ / gon	$P_c$ / gon
1	0,00047	0,00050	0,00069
2	0,00045	0,00044	0,00063
3	0,00040	0,00026	<b>0,00047</b>
4	0,00046	0,00034	0,00057
5	0,00054	0,00036	0,00064
6	0,00043	0,00031	<b>0,00053</b>
7	0,00055	0,00044	0,00071
8	0,00055	0,00046	0,00072
9	0,00041	0,00025	<b>0,00048</b>
10	0,00044	0,00033	0,00055
11	0,00049	0,00050	0,00070
12	0,00040	0,00025	<b>0,00047</b>

Z tabulky jednoznačně vyplývá, že kruhové cíle (č. 3, 6, 9 a 12 – vyznačeno tučně) jsou pro měřiče nejvhodnější. Dále vzhledem k padesáti opakováním lze spočítat směrodatnou odchylku směrodatné odchylky, která má pro nejmenší hodnotu  $P_c = 0,00047$  gon velikost  $\sigma_{P_c} = 0,000047$  gon. Je zřejmé, že rozdíl mezi hodnotícími koeficienty  $P_c$  terčů 3, 9 a 12 není statisticky významný. Při výběru nejvhodnějšího cíle bylo přihlédnuto také k subjektivnímu pocitu měřiče, který sledoval cílení na č. 12 jako problematické a pomalé, a to vzhledem k malému otvoru v nejmenší kružnici. Cíl č. 3 se jevil jako méně vhodný slabými čarami vzhledem k předpokládané dlouhodobosti stabilizace bodů. Z těchto důvodů byl pro měření nakonec vybrán jako nejvhodnější cílový znak č. 9 (kruhový s tloušťkou čar 0,3 mm).

## Závěr

Výsledkem první etapy je stanovení nejvhodnějšího typu a varianty cíle, který bude v dalších experimentech využit pro podrobné ověřování přesnosti a vlastností totálních stanic TOPCON GPT-2006 včetně vzájemného porovnání přístrojů. Zvolené postupy měření, jejich konkrétní realizace a závěrečné hodnocení výsledků včetně statistického bude podrobně popsáno v následujících článcích.

**Článek byl zpracován v rámci záměru VZ 1 - CEZ MSM 684 077 000 1 „Spolehlivost, optimalizace a trvanlivost stavebních materiálů a konstrukcí“, dílčí část „Geodetické monitorování k zajištění spolehlivosti staveb“.**

## Literatura

- [1] Firemní literatura k přístroji Topcon GPT-2006.
- [2] Firemní literatura k přístroji Leica TC 1800.
- [3] Böhm, J. – Radouch, V. – Hampacher, M.: Teorie chyb a vyrovnávací počet. Praha, Geodetický a kartografický podnik 1990.

Štroner, M. – Suchá, J. – Pospíšil, J.: Verification of Total Stations TOPCON GPT-2006 – Part 1

For the short-distance measurement of the set of horizontal directions, zenith angles and slope lengths, an experimental field was introduced in the set of 12 total stations TOPCON GPT-2006. At the same time, the shape and the size of the appropriate target for short-distance measurements (the largest length – approx. 7m) was experimentally determined. The most suitable form and size of the target arose from the analysis of the corresponding standard deviations. The article presents major parameters of the verified total stations and a more accurate device Leica TC 1800, which will be utilized for the comparison of the measurement results.

Štroner, M. – Suchá, J. – Pospíšil, J.: Prüfung der Eigenschaften von Totalstationen TOPCON GPT-2006 – Teil 1

Für die Messung des waagerechten Richtungssatzes, der Zenitwinkel und der schrägen Längen auf kurze Entfernungen bei einer Gruppe von zwölf Totalstationen TOPCON GPT-2006 wurde ein Experimentalfeld realisiert. Gleichzeitig wurde experimentell die Form der Abmessungen eines geeigneten Ziels für Messungen auf kurze Entfernungen (größte Länge ca. 7 m) bestimmt. Die geeignetste Form und die Abmessung der Zielscheibe ergab sich aus der Analyse der zugehörigen maßgebenden Abweichungen. Im Artikel werden die Hauptparameter der geprüften Totalstationen und des genaueren Instruments Leica TC 1800 vorgestellt, das zum Vergleich der Messergebnisse dienen wird.

**FAST VŠB TU Ostrava  
ÚTAM AV ČR Praha  
Inženýrská akademie ČR  
za podpory  
CIDEAS, SPS, ČSSI a ČKAIT  
pořádají**

**konferenci**

## **SPOLEHLIVOST KONSTRUKCÍ**

**12. dubna 2007 v Ostravě**

Osmý ročník konference se zahraniční účastí bude zaměřen na rozvoj pravděpodobnostního posudku bezpečnosti, použitelnosti a trvanlivosti konstrukcí v souladu se zdokonalováním výpočetní techniky a s prohlubováním poznatků z oblasti teorie spolehlivosti. Zvláštní pozornost bude zaměřena na aplikace v projekční praxi.

**[www.sbra-anthill.com](http://www.sbra-anthill.com)**

## • veletrhy

### **STROJEXPO 2007**

**11.–13. dubna, Praha**

Jarní období se v Pražském veletržním areálu PVA Letňany pozná podle toho, že se zde koná mezinárodní veletrh strojírenské techniky MACH a další tematicky související veletržní akce pod jednotící značkou STROJEXPO 2007. Proti květnovému termínu v předchozích letech byly tyto veletrhy přesunuty na duben. Důvodem jsou ochranné podmínky strojírenského veletrhu EMO Hannover, konaného v letošním září, stanovící svým účastníkům povinnost v termínu od 1. května do 31. října 2007 nevystavovat stroje ani strojní zařízení na výstavě či veletrhu stejného nebo podobného zaměření. Pořadatel akce, veletržní správa TERINVEST, proto zvolil pro pořádání veletrhů STROJEXPO 2007 dubnový termín.

Cílem veletrhů, konaných pod záštitou Českého vysokého učení technického v Praze, je přinést ucelenou přehledku technologií, strojů, materiálů, aplikací a nejnovějších trendů v oboru strojírenství, povrchových úprav, mechanických a chemických předúprav, hutnictví a slévárenství, zařízení pro chemickou výrobu (včetně zpracování plastů a pryží) a zařízení pro nakládání s odpady, recyklaci a čištění. Součástí jsou samostatné veletržní akce:

- **MACH** – 6. ročník  
stroje, zařízení a komponenty pro strojírenství
- **FINET** – 4. ročník  
povrchové úpravy a finální technologie
- **METAL** – 13. řadový veletrh  
stroje a zařízení pro hutnictví a slévárenství
- **WAREC** – 2. ročník  
nakládání s odpady, recyklace, čištění
- **INTERCHEM** – 1. ročník  
stroje, zařízení a technologie pro chemickou výrobu, zpracování plastů a pryží

Novinkou je razantní navýšení počtu států, které budou mít na veletržích obchodní zastoupení. Kromě standardních zástupců evropských zemí přislíbilo účast i Chile, Ecuador, Kolumbie, Peru, Irák, Pákistán a Indie. Většinou jde o delegace podnikatelů, kteří mají zájem obchodovat s českými strojírenskými firmami. Typickým případem je delegace kolumbijská, která má prvořadý zájem o navázání obchodních styků s výrobci strojů a zařízení pro zpracování odpadů. Perspektivně působí i zájem zástupců průmyslových odvětví z Iráku a Íránu. Přestože se zatím neřadí mezi státy, se kterými by obchodování probíhalo bez překážek, jsou pro naše exportně zaměřené podniky perspektivní. Na tuto skutečnost je proto pamatováno i v doprovodném programu a mnohé přednášky budou věnovány právě této problematice.

Zaměření veletrhů strojírenské techniky STROJEXPO 2007 a řada společných témat mezi kmenovými veletrhy MACH a FINET a souběžně probíhajícími veletrhy METAL, WAREC a INTERCHEM vytváří předpoklady pro to, aby účast na této akci nebyla zbytečná. Jde o udržení kroku s moderními trendy v oboru i s konkurencí.

za veletržní správu Terinvest, s. r. o.  
Ing. Bohuslav Kuklík  
Ing. Martin Smrček

# Alternativní přístup k ověřování přesnosti digitální katastrální mapy

Ing. Jiří VONDRÁK, Ph. D.  
Ing. Zdeněk FIŠER

VUT – Fakulta stavební, Brno

Ing. Vladimíra ŽUFANOVÁ, Ph. D.

Katastrální úřad, Brno

Digitální katastrální mapa je součástí operátu katastru nemovitostí. V příspěvku je diskutován postup daný předpisem a navržena alternativní metoda ověřování respektující statistické principy. Obě možnosti jsou porovnány v katastrálních územích Míroslav a Moravský Krumlov.

## Úvodem

V zájmu resortu je nejen tvorba nových digitálních katastrálních map (dále DKM), ale i ověřování jejich přesnosti. V současné době se řídí příslušnými ustanoveními vyhlášky č. 190/1996 Sb. [1] v platném znění. Podle názoru autorů příspěvku není předepsaný postup zcela v souladu se zažitými statistickými principy, používanými v geodézii, především se zákonem hromadění chyb.

## Digitální katastrální mapa

Vzniká při obnově operátu katastru nemovitostí, přičemž v současnosti platná vyhláška rozlišuje obnovu:

- novým mapováním podle §§ 48 až 56 vyhlášky;
- přepracováním SGI v S-JTSK do číselného vyjádření podle § 57 vyhlášky. Tento způsob je možné používat v územích s platnou katastrální mapou v S-JTSK, vyhotovenou na základě metod měření s přesností odpovídající alespoň 4. třídě přesnosti podle dřívějších předpisů;
- na podkladu komplexních pozemkových úprav, při nichž dochází k obnově jen v té části katastrálního území, ve které se tyto úpravy provádějí.

## Technické parametry

- přesnost bodů obsahu je dána kódem kvality bodu (tab. 1),
- souřadnicový systém je S-JTSK,
- je uspořádána podle katastrálních území,
- má vektorový charakter,
- neobsahuje duplicitní kresbu,
- umožňuje standardní grafický výstup,
- čárová kresba umožňuje vytvořit dva typy plošných objektů, a to parcely reprezentované parcelním číslem, umístěným v definičním bodu, a budovy, reprezentované uvnitř umístěnou značkou budovy.

## Analýza přesnosti podle vyhlášky

### Charakteristiky a kritéria přesnosti podrobného měření

V terénu je nutné zaměřit kontrolní soubor podrobných bodů. K tomu je třeba vybudovat bodové pole, připojit je do referenčního systému a body kontrolního souboru dále identifikovat s podrobnými body katastrální mapy. Soubor podrobných identických bodů má být podroben analýze podle kritérií uvedených ve vyhlášce pro kód kvality 3, resp. 4.

Charakteristikou přesnosti určení souřadnic  $x$ ,  $y$  podrobných bodů je střední souřadnicová chyba  $m_{xy}$ , daná vztahem

$$m_{xy} = \sqrt{0,5(m_x^2 + m_y^2)},$$

kde  $m_x$ ,  $m_y$  jsou střední chyby určení souřadnic  $x$ ,  $y$ .

Charakteristikou relativní přesnosti určení souřadnic  $x$ ,  $y$  dvojice podrobných bodů je základní střední chyba  $m_d$  délky  $d$  přímé spojnice bodů této dvojice, vypočtené ze souřadnic, které musí být určeny tak, aby charakteristika:

- $m_{xy}$  nepřesáhla kritérium  $u_{xy} = 0,14$  m;
- $m_d$  nepřesáhla kritérium  $u_d$  vypočtené v metrech pro každou délku pro kód kvality 3 ze vztahu  $u_d = 0,21 [(d + 12) : (d + 20)]$ , resp. pro kód kvality 4 ze vztahu  $u_d = 0,39 [(d + 12) : (d + 20)]$ .

Tab. 1. Kvalita podrobných bodů DKM

Kód	Bod
1	určený se střední souřadnicovou chybou 0,04 m (bývalá 1. třída přesnosti)
2	určený se střední souřadnicovou chybou 0,08 m (bývalá 2. třída přesnosti)
3	určený se střední souřadnicovou chybou 0,14 m (bývalá 3. třída přesnosti)
4	určený se střední souřadnicovou chybou 0,26 m (bývalá 4. třída přesnosti)
6	digitalizovaný z mapy měřítka 1 : 1 000
7	digitalizovaný z mapy měřítka 1 : 2 000
8	digitalizovaný z grafických map dřívějších pozemkových evidencí

Dosažení přesnosti určení podrobných bodů se ověřuje:

- oměrnými mírami nebo kontrolním měřením délek přírodních spojnic jiných vybraných dvojic podrobných bodů a jejich porovnáním s délkami vypočtenými ze souřadnic;
- nezávislým kontrolním měřením a výpočtem souřadnic výběru podrobných bodů a jejich porovnáním s určenými souřadnicemi.

### Posouzení přesnosti souřadnic

#### ■ Výběrová střední souřadnicová chyba

Pro porovnání dvojic souřadnic jednotlivých identických bodů se vypočtou rozdíly

$$\Delta x = x_m - x_k, \quad \Delta y = y_m - y_k,$$

kde  $x_m, y_m$  jsou dané souřadnice podrobného bodu a  $x_k, y_k$  jsou souřadnice téhož bodu z kontrolního určení.

Dosažení stanovené přesnosti se ověřuje pomocí výběrové střední souřadnicové chyby  $s_{xy}$ , vypočtené jako kvadratický průměr středních chyb souřadnic  $s_x, s_y$ , které se určí ve výběru o rozsahu  $N$  bodů ze vztahů

$$s_x = \sqrt{\sum_{j=1}^N \frac{\Delta x_j^2}{kN}}, \quad s_y = \sqrt{\sum_{j=1}^N \frac{\Delta y_j^2}{kN}}.$$

Hodnota koeficientu  $k = 2$ , má-li kontrolní určení stejnou přesnost jako podrobné měření, nebo  $k = 1$ , má-li kontrolní určení přesnost podstatně větší, tj.  $m_{xy} < 0,10$  m.

Přesnost určení souřadnic se pokládá za vyhovující, když výběrová střední souřadnicová chyba  $s_{xy}$ , vypočtená ze vztahu

$$s_{xy} = \sqrt{0,5 (s_x^2 + s_y^2)},$$

vyhovuje kritériu  $s_{xy} \leq 0,15$  pro výběr o rozsahu  $N$  100 až 300 bodů a  $s_{xy} \leq 0,14$  pro výběr větší než 300 bodů u kódu kvality 3. Pro kód kvality 4 platí hodnota  $s_{xy} \leq 0,26$  pro výběr o rozsahu větším než 300 bodů.

#### ■ Střední odchylka v poloze

Při posuzování jednotlivých bodů se přesnost určení souřadnic pokládá za vyhovující, když střední odchylka v poloze  $u_p$ , vypočtená ze vztahu

$$u_p = \sqrt{0,5 (\Delta_x^2 + \Delta_y^2)},$$

nepřekročí mezní odchylku  $2u_{xy} = 0,28$  m, a přitom alespoň 60 % posuzovaných odchylek nepřekročí hodnotu  $u_{xy} = 0,14$  m pro kód kvality 3. Pro kód kvality 4 platí hodnoty  $2u_{xy} = 0,52$  m, tj.  $u_{xy} = 0,26$  m.

#### ■ Přesnost souřadnic dvojice podrobných bodů

Dosažení přesnosti se posuzuje podle rozdílu délek daného vztahem

$$\Delta d = d_m - d_k,$$

kde  $d_m$  je délka spojnice vypočtená z daných souřadnic a  $d_k$  je přímo určená délka.

Považuje se za vyhovující, jestliže:

- absolutní hodnota všech rozdílů délek vyhovuje kritériu [m];
- kritérium  $|\Delta d| \leq u_d \cdot k$  [m] je splněno pro 60 % délek  $d$ , přičemž  $u_d$  se vypočte pro příslušný kód kvality podrobných bodů z uvedených vztahů a koeficient  $k$  má hodnotu pro délku:
  - vypočtenou ze souřadnic  $k = 1,0$ ,
  - spojnice určenou z hodnot odměřených na mapě u měřítek
 

1 : 200, 1 : 250, 1 : 500	$k = 1,1$ ,
1 : 1 000	$k = 1,2$ ,
1 : 2 000	$k = 1,3$ ,
1 : 5 000	$k = 1,6$ .

### Kritéria přesnosti podle zákona hromadění chyb

Vzorce pro posuzování přesnosti DKM uváděné ve vyhlášce mají původ v ČSN 01 3410, která byla v minulosti závazným předpisem. Závaznost předpisu ovšem ještě nezaručuje jeho bezproblémovost. Nabízí se možnost pokusit se stanovit kritéria porovnání souřadnic bodů DKM se souřadnicemi kontrolního měření na základě zákona hromadění chyb. Stejně tak je možné pokusit se stanovit kritéria pro ověření relativní přesnosti souřadnic dvojice podrobných bodů na základě rozdílů přímo měřených délek a délek vypočtených z jejich souřadnic bodů.

Přesnost podrobných bodů DKM charakterizuje střední souřadnicová chyba  $m_{xy}$  (tab. 1). Úplná charakteristika přesnosti podrobných bodů není známa, předpokládáme proto kruhový tvar elipsy chyb. Mezní souřadnicová chyba je pak dána vztahem

$$u_{xy} = m_{xy} \sqrt{2} \cdot t,$$

kde  $t$  je koeficient spolehlivosti. Pro zjišťování přesnosti jednotlivých bodů na základě rozdílů souřadnic DKM a souřadnic získaných kontrolním měřením navrhujeme použít zkoušku na hladině významnosti 95 %, tj.  $t = 2$ . Mezní souřadnicová chyba je pak kritériem pro posouzení rozdílů mezi body DKM a body kontrolního měření.

Další nezávislou metodou je posouzení relativní přesnosti na základě rozdílů přímo měřených délek ( $d_k$ ) a délek vypočtených ze souřadnic DKM ( $d_{DKM}$ ). Pro porovnání se stanoví jejich rozdíl

$$\Delta d = d_{DKM} - d_k.$$

Podle zákona hromadění středních chyb je střední chyba délky, vypočítané ze souřadnic bodů DKM, funkcí střední souřadnicové chyby bodů DKM, tj.

$$m_d = m_{x,y} \sqrt{2}.$$

Volbou technologie měření lze zajistit, že přesnost přímého měření délek spojnic bodů bude výrazně větší než přesnost délek vypočtených ze souřadnic. Pro stanovení kritéria tak bude rozhodující přesnost ze souřadnic vypočtených délek spojnic. Za předpokladu homogenity souboru souřadnic bodů DKM se stejným kódem kvality nebude mít pro posouzení rozdílů význam absolutní délka spojnice. Z dosavadních zkušeností autorů vyplývá, že na tento předpoklad se lze spolehnout až do délky spojnic několik set metrů.

Mezní chyba délky spojnice, a tím i kritérium pro posouzení shody s přímo měřenými délkami, pak je

$$u_d = m_d \cdot t,$$

kde  $t = 2$ . Na základě výše uvedeného lze stanovit kritéria přesnosti pro ověření samostatných bodů i relativní přesnosti souřadnic bodů DKM podle zákona hromadění chyb.

Vyhláška požaduje v obou případech, aby 60 % bodů nepřekročilo již hodnotu střední chyby. Žádný z rozdílů nesmí překročit mezní chybu. Při stanovení kritérií pro porovnání délek označuje vyhláška střední chybu jako  $u_d$ . Výpočet kritéria  $u_d$  podle tohoto ustanovení není podle názoru autorů v souladu se zákonem hromadění středních chyb, neboť jeho důsledkem je pro krátké délky značné zpřísnění požadavků na přesnost podrobných bodů. Vyhláška v tomto případě z nějakého důvodu nenahlíží hodnotu 0,14 m jako střední chybu definovanou podle zákona hromadění chyb. Konečným dopadem je, že stanovené mezní hodnoty pro porovnání délek odpovídají ověřování podrobných bodů se střední souřadnicovou chybou menší než 0,14 m.

Samozřejmě nelze zpochybnit legitimní snahu mít co nejvyšší kvalitnější katastrální mapu. Zde však požadavky vyhlášky na ověřování neodpovídají požadavkům stejného předpisu na střední souřadnicovou chybu. Podle našeho názoru to může v extrémním případě svádět ke zkreslování výsledků zeměměřických činností na úseku katastru nemovitostí.

Tab. 2. Kritéria pro posouzení přesnosti DKM na základě zákona hromadění chyb

Kód kvality bodu	$m_{x,y}$	$u_{x,y}$	$m_d$	$u_d$
3	0,14	0,40	0,20	0,40
4	0,26	0,74	0,37	0,74
6 <sup>1)</sup>	0,21	0,59	0,3	0,59
7 <sup>2)</sup>	0,42	1,19	0,59	1,19
8 <sup>3)</sup>	1,00	2,83	1,41	2,83

<sup>1)</sup> digitalizovaný z grafické mapy v měřítku 1 : 1000

<sup>2)</sup> digitalizovaný z grafické mapy v měřítku 1 : 2000

<sup>3)</sup> digitalizovaný z grafických map dřívějších pozemkových evidencí

### Ověřování v katastrálním území Miroslav

Katastrální území a obec Miroslav leží přibližně 40 km jihozápadně od Brna směrem na Znojmo. Ověřovala se část katastrální mapy ležící převážně v intravilánu obce Miroslav. Do roku 1980 byla součástí katastrálního operátu mapa 1 : 2 880 v souřadnicovém systému Sv. Štěpán a přidělové plány. V letech 1978–1980 probíhala obnova katastrálního operátu novým mapováním podle instrukce pro technicko-hospodářské mapování. Od roku 2000 se mapa přepracovávala do digitální podoby. Platnost nového operátu byla vyhlášena v roce 2002. Vzhledem k několika nedostatkům bylo stanoveno, že nová DKM bude vyhotovena s kódem kvality 4.

Pro kontrolní měření byla použita nová měřická síť charakterizovaná vnitřní přesností  $m_{x,y} = 0,03$  m. Lze tedy očekávat, že podrobné body zaměřené pro analýzu přesnosti budou podstatně přesnější než podrobné body DKM. Identita bodů byla určena v programu VKM. K seznamu souřadnic kontrolních bodů byl připojen jako referenční výkres DKM. Pak již bylo možné přiřadit k sobě čísla odpovídajících

identických bodů. Většina z nich jsou objekty trvalého charakteru, zejména rohy budov a zděné podezdívky plotů. Celkem bylo zaměřeno 724 podrobných bodů. Po identifikaci bylo vybráno 664 identických bodů.

Ke kontrolnímu měření délek se používalo ocelové pásmo a ruční dalkoměr Topcon EM-30 s přesností 3 mm. Celkem bylo zaměřeno 234 kontrolních délek. Část souboru kontrolních délek (konkrétně 44) byla použita i pro kontrolu přesnosti vlastního měření. Bylo prokázáno, že soubor kontrolních bodů splňuje s jistotou parametry kódu kvality 3. Je tedy o stupeň vyšší kvality než ověřovaná DKM.

### Přesnost DKM podle vyhlášky

Odchytky v poloze, vypočtené podle vyhlášky, byly rozděleny do tříd četnosti (tab. 3). Je zřejmé, že hodnoty se dobře přimykají teoretickému rozložení hustoty pravděpodobnosti pro střední souřadnicovou chybu. Je patrné, že většina bodů splňuje požadované parametry pro kód kvality 3. V ověřovaném souboru se však objevily i body s podstatně většími chybami. Porovnání středních odchylek v poloze podle vyhlášky je shrnuto v tab. 4.

Tab. 3. Odchytky podle tříd četnosti

Odchytky $u_p$ [cm]	Počet bodů	Podíl [%]
0–5	170	25,6
5–10	200	30,1
10–15	151	22,7
15–20	77	11,6
20–25	28	4,2
25–30	9	1,4
30–35	14	2,1
35–40	6	0,9
40–45	1	0,2
45–50	1	0,2
50–55	1	0,2
>55	6	0,9
celkem	664	100,0

Tab. 4. Porovnání středních odchylek v poloze podle vyhlášky

Odchytky	Počet bodů	Podíl [%]
$u_p \leq u_{x,y}$	628	94,6
$u_p > u_{x,y}$ a $u_p \leq 2u_{x,y}$	30	4,5
$u_p > 2u_{x,y}$ (nevyhovuje)	6	0,9

Podmínku  $u_p \leq u_{x,y}$  nesplňuje pouze 5 % podrobných bodů. V tomto ohledu bylo kritérium podle vyhlášky splněno. Nebyla však dodržena podmínka, že u žádného ověřovaného bodu nesmí  $u_p$  překročit  $2u_{x,y}$  (zde 0,52 m). Podle vyhlášky je nutné konstatovat, že DKM nevyhovuje ani kritériím pro kód kvality 4.

Dále byla určena výběrová střední souřadnicová chyba bodů. Kontrolní měření lze považovat za podstatně přesněj-



ší než u souřadnic podrobných bodů katastrální mapy. Proto bylo zvoleno  $k = 1$ . Výběrová střední souřadnicová chyba souboru bodů je  $s_{x,y} = 0,18$  m. Tato hodnota splňuje kritérium  $s_{x,y} \leq 0,26$  m pro soubor větší než 300 bodů ( $N > 300$ ) pro posuzování přesnosti podrobných bodů katastrální mapy vyhotovené podle dřívějších předpisů ve 4. třídě přesnosti mapování. Již nyní je zřejmé, že ověřovaná oblast DKM je jako celek velmi kvalitní. Bohužel, 1 % bodů, které nevyhověly kritériu  $u_p \leq 2u_{x,y}$ , je příčinou nevyhovujícího hodnocení podle vyhlášky. Pokud bude ověřován daný soubor bodů podle kritérií pro kód kvality 3, dosáhne se výsledků shrnutých v tab. 5.

Tab. 5. Ověření podle kritérií pro kód kvality 3

Odhylka	Počet bodů	Podíl [%]
$u_p \leq u_{x,y}$	498	75
$u_p > u_{x,y}$ a $u_p \leq 2u_{x,y}$	133	20
$u_p > 2u_{x,y}$ (nevyhovuje)	33	5

Porovnáním přímo měřených délek a délek vypočtených ze souřadnic DKM podle kritérií [1] pro kód kvality 4 bylo dosaženo výsledků obsažených v tab. 6. Je zřejmé, že kritériím vyhlášky nevyhověly tři míry. Jde o míry mezi body, které byly jako chybné vyhodnoceny již při analýze souřadnicových rozdílů. Stejným postupem pro kód kvality 3 bylo dosaženo výsledků uvedených v tab. 7.

Tab. 6. Porovnání délek podle kritérií pro kód kvality 4

Odhylka	Počet bodů	Podíl [%]
$\Delta d \leq u_d$	225	96,2
$u_d < \Delta d \leq 2u_d$	6	2,6
$\Delta d > 2u_d$ (nevyhovuje)	3	1,3

Tab. 7. Porovnání délek podle kritérií pro kód kvality 3

Odhylka	Počet bodů	Podíl [%]
$\Delta d \leq u_d$	213	91
$u_d < \Delta d \leq 2u_d$	12	5,1
$\Delta d > 2u_d$ (nevyhovuje)	9	3,8

### Přesnost podle zákona hromadění středních chyb

Kontrolní soubor zaměřených identických bodů byl podroben analýze i podle zákonů matematické statistiky. Podle oddílu 3 je mezní hodnota rozdílů souřadnic 0,40 m pro body s kódem kvality 3 a 0,74 m pro body s kódem kvality 4. Výsledky jsou uvedeny v tab. 8. Kritéria pro kód kvality 3, určená ze souřadnicových chyb, nesplnilo 9 bodů. Jak bylo uvedeno, body katastrální mapy mají deklarován kód kvality 4. Kritéria stanovená podle souřadnicových chyb pro kód kvality 4 nesplnily 4 body. Jde o body, které nevyhověly ani při analýze podle vyhlášky. Výsledky ověřování délek spojnic podle zákona hromadění středních chyb shrnuje tab. 9.

Tab. 8. Analýza podle zákona hromadění chyb

Odhylka	Kód kvality 3 $u_{x,y} = 0,40$ m		Kód kvality 4 $u_{x,y} = 0,74$ m	
	počet bodů	podíl [%]	počet bodů	podíl [%]
$u_p \leq u_{x,y}$	655	98,6	660	99,4
$u_p > u_{x,y}$ (nevyhovuje)	9	1,4	4	0,6

Tab. 9. Ověření délky spojnic podle zákona hromadění středních chyb

Odhylka	kód kvality 3 – $u_d = 0,40$ m		kód kvality 4 – $u_d = 0,74$ m	
	počet délek	podíl [%]	počet délek	podíl [%]
$\Delta d \leq u_d$	229	97,9	231	98,7
$\Delta d > u_d$ (nevyhovuje)	5	2,1	3	1,3

Jako chybné se opět objevují délkami mezi body, které byly jako chybné již analyzovány. Počet nevyhovujících délek je však menší než při ověřování podle vyhlášky. Jak již bylo zmíněno, je tento stav způsoben tím, že vyhláška stanovuje vyšší nároky na přesnost rozdílů mezi přímo měřenými délkami a délkami vypočtenými ze souřadnic, než odpovídá deklarované střední souřadnicové chybě.

Zkoušky potvrdily, že pro většinu lokality je oprávněně DKM deklarována s kódem kvality 4. Ojedinelé problémy však nutí ke konstatování, že DKM ověřovaná podle vyhlášky nevyhovuje kódu kvality 4.

### Ověřování v katastrálním území Moravský Krumlov

Moravský Krumlov leží v Jihomoravském kraji v okrese Znojmo, přibližně 30 km jihozápadně od Brna. Analyzovaná mapa vznikla přepracováním původního technicko-hospodářského mapování z let 1974 a 1975. Podklady tvořilo 40 listů map 1 : 1 000. Katastrální úřad deklaruje podrobné body DKM s kódem kvality 3.

Pro ověřování byla vybudována měřická síť 40 bodů. Průměrná střední souřadnicová chyba bodu měřické sítě z vyrovnání vyšla 0,04 m. Pro kontrolní soubor podrobných bodů bylo polární metodou zaměřeno 437 identických bodů. Identita bodů kontrolního souboru s body DKM byla zjištěna v programu VKM. Dále bylo zaměřeno 228 kontrolních délek.

### Analýza přesnosti podle vyhlášky [1]

Při zjišťování rozdílů souřadnic dvojic identických bodů byla hodnota  $u_{xy}$  překročena ve 28 % z celkového počtu bodů, což vyhovuje vyhlášce. Kritérium  $2u_p$  bylo ovšem překročeno ve 13 % případů. Katastrální mapa tím nesplnila podmínky pro kód kvality 3. Výsledky porovnání délek spojnic dvojic podrobných bodů shrnuje tab. 10.

Tab. 10. Porovnání délky spojnic

Odhylka	Počet bodů	Podíl [%]
$\Delta d \leq u_d$	209	92,0
$u_d < \Delta d \leq 2u_d$	17	7,0
$\Delta d > 2u_d$ (nevyhovuje)	2	1,0

### Analýza přesnosti podle zákona hromadění středních chyb

Pro porovnání souřadnic podrobných bodů byl použit stejný soubor kontrolních bodů jako pro analýzu přesnosti podle vyhlášky. Stejně konstatování platí i pro soubor délek spojnic mezi podrobnými body. Výsledky jsou uvedeny v tab. 11 a tab. 12.

Obecně je třeba poznamenat, že nevyhovujícími body jsou zde rohy plotů v zahrádkářské kolonii. Jejich evidování s kódem kvality 3 je zarážející i proto, že některé byly zaměřeny fotogrammetricky. V lokalitách typu zahrádkářských kolonií došlo zřejmě k posunu plotů, a proto kontrolně zaměřené body nelze spolehlivě prohlásit za identické s původním technicko-hospodářským mapováním. Není jasné, proč státní správa vedla tyto body s kódem kvality 3, když je identita reality a mapy velmi diskutabilní. Pokud by tyto body nebyly vedeny s kódem kvality 3, DKM by vyhověla požadavkům na přesnost.

Tab. 11. Výsledky ověřování rozdílů souřadnic

Odchylka	Kód kvality 3 $u_{x,y} = 0,40$ m	
	počet bodů	podíl [%]
$u_p \leq u_{x,y}$	411	94
$u_p > u_{x,y}$ (nevyhovuje)	26	6

Tab. 12. Výsledky ověřování délek

Odchylka	Kód kvality 3 $u_d = 0,40$ m	
	počet délek	podíl [%]
$\Delta d \leq u_d$	218	96,0
$\Delta d > u_d$ (nevyhovuje)	10	4,0

### Závěr

U digitálních katastrálních map vzniklých přepracováním vždy zůstává riziko nezjištěných chyb a omylů původního mapování. Ideálním předpokladem jejich vzniku je pouze nové měření. Mapy vzniklé přepracováním jsou poplatné možnostem doby vzniku podkladů a žádným postupem nelze jejich kvalitu zlepšit nad úroveň použitých podkladů. Rovněž možnost odhalení chyb a potenciálně problematických oblastí je při tvorbě DKM přepracováním omezena.

Kritéria podle vyhlášky kladou na podrobné body vyšší nároky než standardní aplikace zákona hromadění středních chyb. Jak již bylo uvedeno, podle názoru autorů není metodika ověřování podle [1] exaktní ve smyslu principů zákona hromadění chyb. V současnosti je připravována její novela, jejíž platnost se čeká od 1.3.2007. To je jistě příležitost k zamýšlení nejen nad metodikou posuzování přesnosti DKM.

Výsledky analýzy přesnosti vedou k závěru, že vybrané katastrální mapy nevyhovují požadovaným kritériím. Důvody mohou být dva, a to problémy s identitou bodů původního a kontrolního měření a omyl při původním mapování. Při mapovacích pracích pochopitelně docházelo i k ojedinělým pochybením. Některé omyly zůstávají neodhaleny řadu let. Takové izolované případy nesnižují úroveň katastrální mapy jako celku. Jiným případem je zmíněná zahrádkářská kolonie v Moravském Krumlově. Jde o problematickou lokalitu díky metodě vzniku původní mapy (fotogrammetrie) a cha-

rakteru užívání (časté změny oplocení). V těchto prostorách je deklarování kódu kvality 3 pro podrobné body překvapivé.

Je možné zvažovat, zda body, u nichž lze předpokládat hrubou chybu či omyl původního mapování, je správné z ověřování vyloučit. Zde diskutované výsledky jsou akademickou studií, která není podkladem pro právně ani jinak závazné závěry. Výsledky analýzy včetně komentářů byly předány vedoucím pracovníkům kompetentních katastrálních pracovišť, kteří je použijí v souladu s předpisy a všeobecným zájmem mít kvalitní digitální katastrální mapu.

### Literatura

- [1] ČÚZK: Vyhláška č.190/1996Sb., ve znění pozdějších předpisů. Praha, Sagit 2001.
- [2] Koncepce přepracování katastrálních map do digitální formy ze dne 26.2.1999. ČÚZK, č. j. 598/1999-1.
- [3] Návod pro obnovu katastrálního operátu. ČÚZK, č. j. 21/1997-23, ve znění dodatku č. 1; ČÚZK, č. j. 5239/1998-23.
- [4] Návod pro správu a vedení katastru nemovitostí. ČÚZK, č. j. 4571/2001-23.
- [5] Kolektiv: Tvorba a vedení DKM. [Sborník], seminář, VUT Brno 1996.
- [6] Struktura a výměnný formát digitální katastrální mapy a souboru popisných informací katastru nemovitostí České republiky. [www.cuzk.cz/adr08/format1\\_3.html](http://www.cuzk.cz/adr08/format1_3.html)
- [7] Prozatímní návod pro obnovu katastrálního operátu přepracováním souboru geodetických informací a pro jeho vedení. ČÚZK, č. j. 5238/1998-23 ze dne 21.12.1998.
- [8] Zákon č. 344/1992 Sb., o katastru nemovitostí České republiky.
- [9] Metodický návod pro převod map v systému stabilního katastru do souvislého zobrazení v S-JTSK a doplňování parcel vedených ve zjednodušené evidenci do DKM, návrh z 13.11.2003.

### Vondrák, J. – Fišer, Z. – Žufanová, V.: Alternative Approaches to Accuracy Testing of Digital Cadastral Maps

The digital cadastral map (DKM) is an essential part of the Real Estate Cadastre. The department needs and requires not only creation of new maps but also testing of their accuracy. Accuracy testing of digital cadastral maps is supposed to follow corresponding provisions of law and the application-of-law instruction (hereinafter referred to as the Instruction). According to the authors, the procedure described in the Instruction contradicts statistical principles commonly used in surveying, especially the theory of errors. This paper discusses the procedure prescribed by the Instruction and proposes an alternative testing method respecting statistical principles. Both methods were used for accuracy testing of digital cadastral maps in two cadastral areas (Miroslav and Moravsky Krumlov). The paper evaluates the quality of maps in these cadastral districts and, above all, compares the two methods of accuracy testing.

### Vondrák, J. – Fišer, Z. – Žufanová, V.: Eine alternative Herangehensweise an die Prüfung der Genauigkeit einer digitalen Katasterkarte

Eine digitale Katasterkarte (DKK) ist Bestandteil des Operats des Liegenschaftskatasters. Im Interesse des Ressorts liegt nicht nur die Schaffung neuer DKK, sondern auch die Prüfung ihrer Genauigkeit. Zurzeit richtet sich die Prüfung der Genauigkeit von DKK nach den

einschlägigen Bestimmungen der Verlautbarung Nr. 190/1996 Slg. in der geltenden Fassung (im Folgenden nur "die Verlautbarung"). Nach der Meinung der Autoren des Beitrags steht das durch die Verlautbarung vorgeschriebene Verfahren nicht ganz im Einklang mit den in der Geodäsie angewandten und bewährten statistischen Prinzipien, vor allem mit dem Fehlerfortpflanzungsgesetz. Im Beitrag wird das durch die Verlautbarung gegebene Verfahren diskutiert und eine alternative Prüfmethode vorgeschlagen, die die statistischen Prinzipien respektiert. Der Vergleich beider Möglichkeiten wird in zwei Katastergewebieten (Miroslav und Moravský Krumlov) realisiert. Der Beitrag bewertet die Qualität der DKK in den genannten Katastergewebieten und konfrontiert die zwei Herangehensweisen an die Genauigkeitsprüfung.

## • literatura

**Dvořáková, E. – Fragner, B. –  
– Šenberger, T.**

### Industriál\_paměť\_východiska

Staré fabriky, užitkové a výrobní haly, pivovary, jatky, cukrovary, vodárny a vodojemy, mlýny a vodní díla, nádraží, hutě, vápenky nebo důlní věže patří do české a moravské krajiny a do obrazu našich měst stejně neodmyslitelně jako historické památky. Tato publikace dokumentuje autentický stav některých průmyslových objektů a areálů v České republice v rozmezí let 2003 až 2006, představuje unikátní architekturu a typologii industriálních staveb, navazující na odpovídající technologie jednotlivých průmyslových odvětví. Zachycuje nejen to, co zbylo z průmyslové éry v naší paměti; naznačuje současně východiska pro nové postindustriální využití tohoto dědictví, od stavebních konverzí po alternativní uměleckou inspiraci.



Kniha, kterou doplnil fotografiemi Pavel Frič, vychází v roce 300. výročí českého technického vzdělávání a těží z mnohaletého bádání památkářů, teoretiků a historiků architektury z okruhu Výzkumného centra průmyslového dědictví při ČVUT v Praze.

*Titanic, Grada, 2007*

## • zprávy

### Myslбек oslavil desáté narozeniny

Objemná budova paláce Myslbek na historicky významném rozhraní Starého a Nového Města získala své jméno podle pozemku, na kterém byla vystavěna. Jméno se poprvé na Příkopech objevilo ve třicátých letech jako název výtvarného spolku navazujícího na osobnost Josefa Václava Myslbeka, který vlastnil v těchto prostorách prozatímní výstavní pavilon. Do roku 1926 stála na Příkopech budova banky Union, která se ji rozhodla strhnout a vypsát soutěž na sídlo nové. Projekt počítal s rozšířením parcely až na Ovocný trh, kde se za tímto účelem obětovalo pět domů. Stavba se však nerealizovala a banka se rozhodla prázdnou parcelu prodat. Uvolněnou plochu zaplnil ve třicátých letech zmiňovaný pavilon. Označovala se tak nadále i prázdná parcela poté, co byl pavilon v padesátých letech odstraněn. Celý prostor se proměnil v park spojující klidné prostředí Ovocného trhu s živými Příkopy. Parková úprava později sloužila jako staveniště pro výstavbu metra a rekonstrukci Stavovského divadla. Město ještě mnohokrát uvažovalo, jak by se mělo s parcelou největšího a nejdražšího pozemku v centru Prahy naložit. V poslední vypsání soutěže zvítězila francouzská finanční společnost Caisse des Dépôts et Consignations (CDC), která se pustila do výstavby gigantického projektu administrativně obchodního paláce Myslbek.



Vlastníkem budovy je akciová společnost Myslbek, založená v roce 1993 a spravovaná společností PBW Czech Republic. Projekt se uskutečnil díky úspěšné spolupráci společnosti Caisse des Dépôts et Consignations (CDC) a Magistrátu hlavního města Prahy. Pro veřejnost byla nová budova poprvé zpřístupněna v říjnu 1996. Nabízí 8 600 m<sup>2</sup> prodejní plochy, 17 000 m<sup>2</sup> kancelářské plochy a 324 parkovacích míst.

Stavba jako celek se skládá prakticky ze tří na sobě nezávislých budov. Kancelářská podlaží jsou soustředěna kolem vnitřních atrií, aby všechny pracovní plochy měly dobré denní osvětlení. Fasáda na Ovocný trh evokuje stylové a barevné prvky pražské architektury, fasáda na Příkopy, s přesně sesazenými skleněnými povrchy a impozantní výškou vstupního podlaží "Piano Nobile", vytváří symbolickou bránu se stylizovanou pohyblivou mříží v moderním stylu. Nákupní galerie v přízemí a prvním patře budovy je propojena eskalátory a výtahem. Mezi nájemce kancelářských i prodejních prostor patří významné české i mezinárodní firmy. Činnost vyvíjejí v nejrůznějších oblastech podnikání: bankovníctví, pojišťovnictví, právní poradenská činnost, telekomunikace a spotřební zboží. Většina nájemců se do budovy nastěhovala ihned po jejím dokončení a i po několika letech zde stále působí.

*Tisková informace*

# Rozvinutí snímku válcové plochy do roviny

Ing. Martin ŠTRONER, Ph. D.

ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

Při dokumentaci památkových objektů je často třeba digitální model objektu doplnit skutečnými fotografiemi a tyto na objekt umístit. Článek uvádí matematický postup, který umožní převést fotografii v digitální formě ze zkršené formy do podoby rovinné.

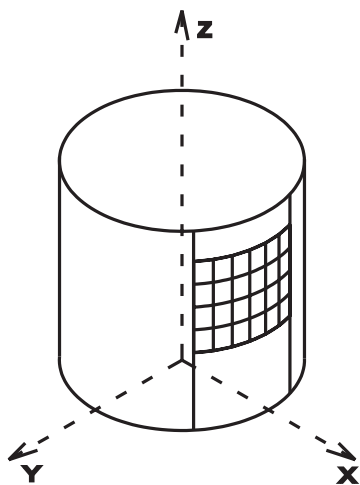
## Úvod

Dokumentace nejen památkových objektů je oblast, ve které se ve velké míře uplatňuje digitální forma zpracování a prezentace výsledků měření. Z měřických metod je využívána hlavně fotogrammetrie a v poslední době také laserové skenování. Výsledkem práce bývá CAD model.

Pro dosažení maximálně věrného zobrazení zdokumentovaného objektu je vhodné vytvořený model potáhnout snímkem jeho skutečného povrchu. Cílem uváděného matematického postupu je transformovat středový průmět části válcové plochy tak, aby výsledkem byl povrch snímané válcové plochy rozvinutý do roviny. Pro snazší odvození a výpočet bylo přijato jedno zjednodušení, a to takové, že osa válcové plochy je svislá a prochází počátkem soustavy souřadnic. Tento předpoklad nikterak neomezuje možnost použití výpočtu. Vzhledem k tomu, že všechny výpočty probíhají v souřadnicích, lze pomocí prostorové transformace tuto podmínku snadno splnit i u válcové plochy, která ve skutečnosti v terénu ve svislé poloze není.

## Popis problému

Na válcové ploše je oblast, která byla zachycena např. digitálním fotoaparátem, a tím převedena středovým promítáním do roviny (rovinný snímací čip). Jako výsledek výpočtu je požadován obraz zájmové oblasti na válci (obr. 1) rozvinutý do roviny.



Obr. 1. Obraz zájmové oblasti na válci

## Matematické funkce

Při popisu možného postupu transformačního výpočtu bude třeba využít dále uvedených matematických rovnic.

### ■ Válcová plocha

Rovnice (1) popisuje rovnici válcové plochy ve svislé poloze, jejíž osa je rovnoběžná s osou Z souřadné soustavy a prochází jejím počátkem [1]

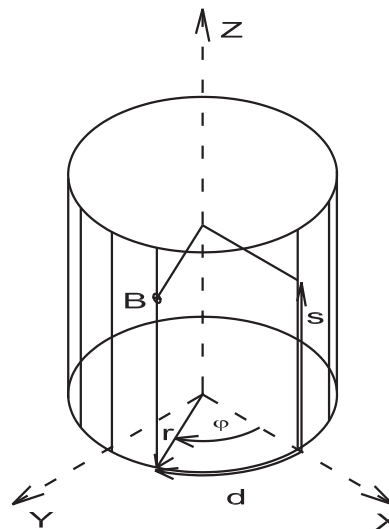
$$X^2 + Y^2 - r^2 = 0, \quad (1)$$

kde  $X, Y$  jsou souřadnice a  $r$  je poloměr válcové plochy. Pro výpočet bude využít také jiný popis válcové plochy, vyjádřený na obr. 2, a rovnicemi

$$s = Z, \quad (2)$$

$$d = r \cdot \varphi, \quad (3)$$

kde  $\varphi$  je směrnik bodu v rovině  $X, Y$  (v obloukové míře),  $s$  je výška bodu  $B$  a  $d$  je délka po obvodu válce.



Obr. 2. Jiný popis válcové plochy

### ■ Direktní lineární transformace

Jednoduchá a účinná transformace geodetických (prostorových) souřadnic  $X, Y, Z$  na souřadnice snímkové  $x, y$ .

$$x = \frac{L_1 \cdot X + L_2 \cdot Y + L_3 \cdot Z + L_4}{L_9 \cdot X + L_{10} \cdot Y + L_{11} \cdot Z + 1} - (k_0 r^2 + k_1 r^4 + k_2 r^6) \cdot (x - x_0), \quad (4)$$

$$y = \frac{L_5 \cdot X + L_6 \cdot Y + L_7 \cdot Z + L_8}{L_9 \cdot X + L_{10} \cdot Y + L_{11} \cdot Z + 1} - (k_0 r^2 + k_1 r^4 + k_2 r^6) \cdot (y - y_0). \quad (5)$$

Členy v závorce potlačují vliv radiální distorze, jejich velikost je závislá na koeficientech  $k_0, k_1, k_2$  a vzdálenosti  $r$  od hlav-

ního snímkového bodu  $x_0, y_0$ . Podrobnější informace lze najít např. v [2].

Kromě této transformace lze využít i jiné rovnice, např. středového promítání, a snadno nahradit v algoritmu uvedené rovnice. Direktní lineární transformace (DLT) má velkou výhodu ve snadném výpočtu transformačního klíče (koeficientů  $L_1, L_2, \dots, L_{11}$ ).

#### ■ Výpočet prostorových souřadnic

Jestliže je k bodu  $B$  znám směrnik  $\varphi$ , vodorovná délka  $D$  (zde vždy totožno s  $r$ ) a výška bodu  $Z$ , lze vypočítat prostorové souřadnice  $X, Y, Z$  podle vzorců

$$X = D \cdot \cos(\varphi) \quad (6)$$

$$Y = D \cdot \sin(\varphi) \quad (7)$$

$$Z = Z. \quad (8)$$

Tyto vzorce mají význam hlavně pro výpočet v návaznosti na vzorce (2) a (3).

#### Postup transformace

Pro výpočet transformace je nutné geodetické měření, které určí poloměr válcové plochy a potřebný počet vřícovacích bodů (nejméně 6, při použití členů potlačujících distorzi – v závorce – příslušně více), které umožní výpočet prvků vnitřní a vnější orientace pro přepočítávaný snímek pomocí DLT.

#### ■ Velikost pixelu

Je třeba zvolit, jak velkou oblast válcové plochy bude ve výsledných obrazových datech reprezentovat 1 pixel. Lze volit podle účelu prací, ale je vhodné volit podobně, jako je tomu v originálních obrazových datech v zájmové oblasti. Prakticky se volí  $\Delta = \Delta s = \Delta d$ , pixely snímače fotoaparátu jsou pokládány za čtvercové.

#### ■ Stanovení zájmové oblasti

Dále je třeba zvolit hranice zájmové oblasti válce, pravý dolní bod zájmové oblasti je definován  $d_p, s_p$ , levý horní bod je definován  $d_k, s_k$  (index  $p$  = počáteční,  $k$  = koncový). Tato volba určuje spolu s hodnotou  $\Delta$  počet sloupců  $n$  a řádků  $m$  výsledného obrazu. Platí

$$n = \frac{d_k - d_p}{\Delta} + 1, \quad (9)$$

$$m = \frac{s_k - s_p}{\Delta} + 1. \quad (10)$$

Body vymezující oblast mohou být zaměřeny geodeticky (nejlépe současně se zaměřením vřícovacích bodů pro výpočet transformace geodetických souřadnic do snímku), a poté lze z prostorových souřadnic  $X, Y, Z$  určit souřadnice  $s, d$  uvedených bodů.

#### ■ Výpočet bodů na válcové ploše

Dále je třeba vypočítat polohu jednotlivých bodů na válcové ploše, nejsnazší je to v souřadné soustavě  $s, d$  podle postupu

$$\begin{aligned} \text{pro } i &= 0 \text{ až } m, \\ \text{pro } j &= 0 \text{ až } n, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s[i, j] &= s_p + i \cdot \Delta, \\ d[i, j] &= d_p + j \cdot \Delta. \end{aligned}$$

Výsledkem cyklu jsou dvě matice obsahující souřadnice pravidelného rastru po povrchu válcové plochy.

#### ■ Výpočet souřadnic

Dalším krokem je ze souřadnic  $s[i, j], d[i, j]$  vypočítat  $Z[i, j]$  a  $\varphi[i, j]$  úpravou vzorců (2) a (3). Dostaneme

$$Z = s, \quad (11)$$

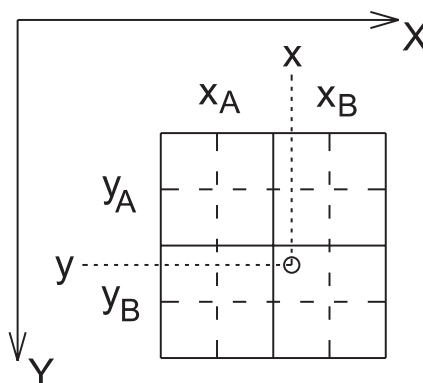
$$\varphi = \frac{d}{r}. \quad (12)$$

Ze souřadnic  $Z[i, j]$  a  $\varphi[i, j]$  je třeba dále vypočítat souřadnice prostorové podle vzorců (6), (7), (8) a z nich souřadnice snímkové  $x[i, j], y[i, j]$  podle vzorců (4) a (5).

#### ■ Výpočet barvy bodu

Barva pixelu obrazových dat je složena z hodnot barev červené ( $R$ ), zelené ( $Z$ ) a modré ( $B$ ), každá z nich v intervalu 0 až 255. Snímkové souřadnice  $x[i, j], y[i, j]$  z předchozího výpočtu v matici o rozměru  $m \times n$  obecně nejsou celá čísla, a tedy je třeba pro určení barvy vypočítat hodnoty  $R, G, B$  z okolních bodů. Při transformaci snímku je nutno zmínit a při algoritmicizaci výpočtu ošetřit případ, kdy se promítaný bod zobrazí mimo hranice snímku, a v takovém případě se přiřadí obvykle barva černá ( $R = 0, G = 0, B = 0$ ).

Pokud bod na snímku leží, pak je k dispozici mnoho postupů, jak určit výslednou barvu bodu. Nejjednodušší je metoda nejbližšího souseda, u které se snímkové souřadnice  $x[i, j], y[i, j]$  zaokrouhlí a převezme se barva pixelu s těmito souřadnicemi.



Obr. 3. Vážený průměr z nejbližších čtyř bodů

Tento postup však značně zhoršuje kvalitu výsledného obrazu, a proto se obvykle využívá jiných postupů, jako je vážený průměr z nejbližších čtyř bodů (obr. 3), jejichž snímkové souřadnice se získají jako kombinace souřadnic  $x_A = \text{celá část}(x[i, j]), x_B = x_A + 1; y_A = \text{celá část}(y[i, j]), y_B = y_A + 1$ . Hodnota červené barvy  $R$  se pak získá postupem

$$R_{i,j} = \frac{R_{AA} \cdot d_{AA} + R_{AB} \cdot d_{AB} + R_{BA} \cdot d_{BA} + R_{BB} \cdot d_{BB}}{d_{AA} + d_{AB} + d_{BA} + d_{BB}}, \quad (13)$$

$$d_{AA} = \sqrt{(x_A - x)^2 + (y_A - y)^2},$$

$$d_{AB} = \sqrt{(x_A - x)^2 + (y_B - y)^2}, \dots, \quad (14)$$

kde  $R_{AA}$  je hodnota červené barvy bodu na snímku o souřadnicích  $x_A, y_A$ , kde  $R_{AB}$  je hodnota červené barvy bodu na snímku o souřadnicích  $x_A, y_B$ , atd. Stejným postupem lze vypočítat hodnotu barvy pro zelenou  $G$  a modrou  $B$ .

Výsledkem převodu (zpětné transformace) je matice  $m \times n$  prvků, kde každý prvek obsahuje hodnoty  $R, G, B$ , které lze snadno uložit jako rastrový obrázek. Pro vytvoření obrazu povrchu celé válcové plochy by ovšem bylo třeba transformovat a spojit více snímků.

### Závěr

Uvedený postup je možno využít nejen pro válec, ale může být modifikován pro jiné matematicky vyjádřitelné plochy rozvinutelné do roviny, jako je kuželová plocha nebo eliptický válec.

Článek byl zpracován v rámci projektu č. 205/04/1398 GA ČR „Využití 3D skenerů v geodézii a památkové péči“.

### Literatura

- [1] Rektorys, K. a kol.: Přehled užití matematiky. Praha, Prometheus 1995.
- [2] Hanzl, V. : Přímá lineární transformace snímkových souřadnic s eliminací radiálního zkreslení objektu. Geodetický a kartografický obzor, 32/74, 1986, č. 5.

### Štroner, M.: Flattening of an Image of the Cylindrical Plane

When documenting historical monuments, it is often necessary to add real photographs to the created CAD model of a building and place them on top of it. This article presents a mathematical procedure which facilitates to convert a photograph in digital form from the distorted form into flat form.

### Štroner, M.: Abwicklung einer Zylinderfläche in die Ebene

Bei der Dokumentation von denkmalgeschützten Objekten ist es oft notwendig, das CAD-Modell des Objektes durch tatsächliche Fotografien zu ergänzen und diese auf das Objekt zu platzieren. Der Artikel befasst sich mit einem mathematischen Verfahren, das die Überführung einer Fotografie in digitaler Form aus der gezeichneten Form in die ebene Form ermöglicht.

## • dizertace



### Energetické systémy zpětného získávání tepla z větracího vzduchu

Ing. Daniel Adamovský

Dizertace analyzuje nový způsob hodnocení energetické účinnosti zařízení na zpětné získávání tepla ve vzduchotechnice. Práce vychází z trendu snižování provozní energetické náročnosti budov a technických zařízení.

### Systém sledování technického stavu budov geodetickými metodami

Ing. Pavla Formanová

Práce se vztahuje k některým částem Pražského hradu, jehož vnitřní prostory se polohově zaměřují z vnitřku jednotlivých místností. Splnění úkolů dizertace podle zápisu z obhajoby brání nekvalifikovaná spolupráce pracovníků správy Hradu.

### Sledování posunů bodů geodetické sítě – statistický přístup

Ing. Tomáš Kubín

V dizertační práci byl odvozen parametr necentrality  $\chi^2$ -testu a F-testu v Gaussově–Markově modelu s neúplnou hodnotou pro ověřitelnou podmínku, pro variantu omezení parametrů modelu a pro variantu středních hodnot měření.

### Výztužné stěny dřevostaveb

Ing. Radek Brandejs

Práce se zaměřuje na chování výztužných stěn při statickém i cyklickém zatížení. Teoretické modely byly ověřeny na experimentech ve skutečném měřítku. Získané výsledky lze aplikovat při navrhování vícepodlažních budov s dřevěnou kostrou, a umožní tak větší využití dřeva v bytové výstavbě.

### Vývojové trendy v bytové výstavbě na území ČR

Ing. Alena Smejkalová

Hlavním přínosem dizertace je mechanismus prognózování objemu výstavby na území ČR. Význam má formulace kvantifikačního hodnocení vstupních faktorů pro vytvoření spektra relevantních časových řad pro anticipaci dat prognózní časové řady.

## • ČVUT



### Rozvoj vysokého technického školství do dnešních dnů



Téměř šest let násilného uzavření českých vysokých škol za fašistické okupace 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, postupně 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, strojní, 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. Po rozdělení ČSFR byla v roce 1993 zahájena výuka na nově vzniklé fakultě dopravní. Od roku 2005, kdy vznikla fakulta biomedicínského inženýrství, má České vysoké učení technické sedm fakult.

Nedílnou součástí jsou pracoviště a účelová zařízení s celoškolskou působností, jako jsou Masarykův ústav vyšších studií, Kloknerův ústav, Výpočetní a informační centrum, Technologické a inovační centrum, Výzkumné centrum průmyslového dědictví, Ústav technické a experimentální fyziky, Centrum pro radiochemii a radiační chemii, Útvar výstavby a investiční činnosti, Správa účelových zařízení, Nakladatelství Česká technika (členěné na Ediční středisko, Audiovizuální a technické centrum a Prodejnu technické literatury). Centrum informačních a poradenských služeb spolupracuje s fakultami, katedrami i studentskými organizacemi. Pomáhá firmám průmyslových oborů a institucím kontaktovat talentované studenty, vytváří podmínky pro spolupráci již v průběhu studia. Lze zde získat veškeré informace o studiu a dění na ČVUT i informace pro mimoškolní život. Odborné poradny – studijní, psychologická, sociálněprávní, duchovní – poskytují individuální pomoc.

O vědeckých, pedagogických, kulturních, sportovních a dalších aktivitách školy informuje časopis Pražská technika.

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

## • výstava

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNIČKÉ  
V PRAZE

300  
ČVUT  
1707-2007

TECHNIKA OČIMA TECHNIKA

*Jako profesori medicíny jsou lékaři života lidu, právě tak profesori techniky musí svými radami bdít nad životem průmyslu a svými přednáškami sloužit potřebám země a doby.*  
František Josef rytíř Gerstner

Lapidárium Betlémské kaple, Betlémské náměstí, Praha 1 • [www.cvut.cz](http://www.cvut.cz)

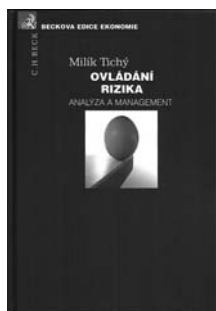
## ● recenze

Milík Tichý

### OVLÁDÁNÍ RIZIKA

#### Analýza a management

C. H. Beck, Praha, 2006, 396 s., cena 850 Kč



Již název naznačuje poněkud ne-tradiční autorův přístup k této poměrně mladé a rychle se rozvíjející disciplíně. Z podtitulu je zřejmé, že obsah knihy pokrývá dvě nosná témata – rizikovou analýzu a rizikový management. Spojuje tak technickou i ekonomickou problematiku při studiu rizik.

Pro pochopení díla je třeba si uvědomit autorův vývoj, který se k problematice rizik propracoval

přes své aktivity v oboru stavební spolehlivosti až po činnost projektového manažera uplatňujícího se v různých funkcích pro kvalifikovaného investora. V této činnosti získal neocenitelnou zkušenost s uzavíráním nejrůznějších smluv (mandátních, o dodávkách projektových a stavebních prací, pojistných, jakož i kupních a nájemních). Stal se i rozhodcem u rozhodčího soudu. Měl tak možnost pochopit problematiku rizik v celé její šíři a obecnosti. Jakkoli vybaven poznatky teorie spolehlivosti, neklade přehnaný důraz na teoretické základy směřující k pravděpodobnosti selhání, jako spíše na principy a způsob „spolehlivostního myšlení“ při hodnocení rizik. Přes nepochybně široký rozhled v sobě autor nezapře stavebního inženýra a knihu směřuje do oblasti technologických procesů a cíleně se nezabývá speciálními otázkami, jako jsou finanční či ekologická rizika. Velkou pozornost věnuje rizikologii. Je účelné čtenáře upozornit, aby názvosloví věnoval potřebnou pozornost. Z vlastní zkušenosti mohou potvrdit, že nepřesná interpretace základních rizikologických pojmů může vést až k hrubým omylům v rizikové analýze.

Knihou není teoretickým dílem, je spíše průvodcem a užitečným „rádcem“ při řešení konkrétních úloh, s nimiž se inženýr v denním životě setkává. Z tohoto důvodu byla přijata na Fakultě stavební ČVUT v Praze za jednu ze základních učebnic pro rodící se studijní program „Bezpečnostní a rizikové inženýrství“. Je rozdělena na čtyři části:

■ První část je věnována základním pojmům a definicím. Čtenář se dozví, co se skrývá pod pojmy projekt, aspekt, segment, či Osoba. Pochopí událost jako realizaci jevu, naučí se rozlišovat mezi neurčitostí a nejistotou a dokáže rozlišovat mezi různými kategoriemi rizik, jejichž soubor tvoří portfolio rizik. Postupně se dostane k základním pojmům rizikové analýzy, jako je pravděpodobná možnost a škoda, jakožto hmotná forma újmy. Důraz je kladen na souvislost rizika s faktorem času a prostoru a na okolnosti (kontext), v nichž se nachází projekt nebo Osoba. Pojmy riziková situace a rizikové faktory uzavírají tuto vstupní část knihy, která se může zdát netrpělivému čtenáři poněkud rozvláčná.

■ Druhá část předkládá teoretické základy, počínaje diskuzí o fyzikálních a statistických závislostech se zmínkou o koeficientu korelace, jakož i o existenčních a sekvenčních závislostech. Teorii pravděpodobnosti je věnován jen nezbytný prostor s omezením na základní axiomy, z nichž plynou i jednoduchá vyjádření pro závislost pravděpodob-

nosti na čase (pravděpodobnost během technického života jako funkce pravděpodobnosti za jednotku času) a prostoru. Zmínka je též o odhadech matematicko-statistických veličin, dále o základních typech rozdělení pravděpodobnosti a o náhodných funkcích. Navazující spolehlivostní inženýrství je pojednáno na úrovni základních spolehlivostních modelů, přesto nechybějí nezbytné transformační vztahy a odhad střední životnosti včetně definice podmínek spolehlivosti. Pozornost je v této části věnována inženýrství jakosti, a to procesu zajištění jakosti včetně požadavku na potřebu systematického managementu jakosti a jeho segmentů. Druhá část je uzavřena problematikou rozhodování, definicí funkce užítka a stanovením jejích vlastností. Čtenář najde zmínku o logice, jakožto nástroji usuzování, a o významu lidského činitele v rizikovém inženýrství a managementu rizika.

■ Třetí část je nejobsáhlejší a předkládá metody analýzy rizika. Důraz je kladen na vnímavost posuzovatele z hlediska nebezpečí. Je diskutována metodika identifikace segmentů a zdrojů nebezpečí, jakož i samotných nebezpečí metodami hazop, HIT apod., dále kvalifikace, tj. rozlišení identifikovaných nebezpečí, a nakonec jejich kvantifikace. Rozlišuje se relativní riziko (v porovnání s jinými, či s jistou srovnávací úrovní) a absolutní riziko, jakožto pravděpodobná škoda (součin pravděpodobnosti realizace scénáře a vzniklé škody). Vlastním metodám předchází jednoduchá jednoparametrická (FAR) a víceparametrická hodnocení (čára FN, index RPN). Metody jsou pak rozděleny na simulační (typu Monte Carlo) a expertní (UMRA, FMEA a její modifikace) s tím, že je vždy diskutována jejich verbální a numerická fáze. Nechybí ani zmínka o brainstormingu a analýze SWOT.

■ Závěrečná čtvrtá část naznačuje cesty, jak s rizikem naložit. Za základní součást ovládání je označováno rizikové inženýrství, zaměřené na analytickou stránku rizika. Specifické postavení má management rizika s cílem chránit současný a budoucí majetek Osoby, který obsahuje kromě činností souvisejících s analýzou rizika zejména rozhodování o riziku. Tato část, zahrnující čtyři základní strategie managementu rizika, tzv. 4T, je probrána velice důkladně. Velká pozornost je věnována sledování rizika a potřebě a organizaci systému managementu rizika. Bohatě praktické zkušenosti autora se promítají do problematiky závazkových vztahů a smluv, řešení sporů a pojištění. Čtenáře nepochybně zaujme nejen diskuze o pojistitelnosti a nepojistitelnosti rizik a o relaci mezi funkcí užítka a pojištěním, ale i problematika zabezpečení proti nepojistitelným rizikům (bankovní záruky a jejich formy).

■ Obsáhlá příloha je praktickým návodem, jak pracovat s vybranými expertními metodami (SAFMFA a UMRA) a poskytuje potřebné informace o základních typech rozdělení.

Tato kniha vyplňuje prázdné místo na českém trhu. Není pochyb o tom, že o ni bude zájem nejen mezi studenty, ale i mezi technickou veřejností. Její vydání je významným edičním počinem vydavatelství C. H. Beck v Praze.

prof. Ing. Jiří Šejnoha, DrSc.



## • zprávy

### Rekonstrukce Hlavního nádraží v Praze

V polovině prosince byla zahájena rozsáhlá rekonstrukce a revitalizace bývalého Wilsonova nádraží. Po dobu pěti let, které si přestavba vyžádá, musí být zachována provozuschopnost železniční stanice i metra. Stavební práce budou probíhat v několika samostatných a za sebou následujících etapách s cílem minimalizovat potíže způsobené cestujícím a návštěvníkům stanice. České dráhy přijmou odpovídající provozní opatření, aby mohl být zachován co největší rozsah služeb. Prostory sloužící k odbavení cestujících a poskytování služeb budou rozšiřovány a modernizovány jako jedny z prvních. Již po první etapě by mělo zahájit činnost Centrum pro odbavení cestujících s moderní koncepcí, která úspěšně funguje na evropských nádražích. V prostorách železniční stanice budou zřízeny další služby, např. banky, cestovní agentury nebo poskytování informací. Návštěvníci budou mít možnost nákupů v renovovaných a rozšířených komerčních prostorách. V historické Fantově budově budou provedeny důkladné restaurátorské práce.

„Rekonstrukce pražského hlavního nádraží je pro nás velkou výzvou, neboť se v ní setkává krása secesní architektury s moderním fungováním nádraží jako místa, které budou

vyhledávat jak cestující a návštěvníci hlavního města, tak obyvatelé centra Prahy, kvůli příjemnému prostředí a široké nabídce kvalitních služeb. Chceme nádraží nejen opravit, ale především otevřít pro všechny obyvatele a začlenit do života metropole“, říká Enrico Aliotti, generální ředitel Grandi Stazioni S. p. A. Společnost, v jejíž čele stojí, připravuje ve spolupráci s radnicí městské části Praha 1 obnovu přilehlých Vrchlického sadů. Cílem je zlepšit přístup k nádražní budově a posílit bezpečnost a vldnost prostoru. Zkušenosti z revitalizace velkých nádražních komplexů v Itálii a znalost problematiky železničního světa jsou základními prvky specializovaného know-how, které Grandi Stazioni přenesla do českého projektu. Při zpracování tohoto netradičního projektu byly využity zkušenosti českých odborníků a společností. Cena investice je cca 1 mld. Kč, z toho je cca 50 % financováno Živnostenskou bankou. Pro zajištění stavebních prací byla vybrána a. s. Metrostav.

Rekonstrukcí projdou následně i železniční stanice v Karlových Varech a Mariánských Lázních, kde budou práce trvat dva roky.

*Tisková informace*



mezinárodní veletrh stavebních strojů, strojů na výrobu stavební hmoty, stavebních vozidel, stavebního nářadí a těžebního průmyslu

**23. – 29. dubna 2007**

**Nové výstaviště Mnichov**

## • zprávy

### Tunely na Islandu

Dva tunely mezi městy Siglufjörður a Ólafsfjörður na severním pobřeží Islandu o celkové délce téměř 11 km, které postaví Metrostav za 5,7 mld. islandských korun, budou součástí nového úseku hlavní dopravní tepny ostrova. O významu projektu svědčí i to, že podpisu smlouvy o zhotovení díla se zúčastnili členové islandského parlamentu, ministři islandské vlády a mnoho dalších významných hostů. Obyvatelé města Siglufjörður, kde byla smlouva podepsána, uspořádali při této příležitosti velkou lidovou slavnost, na níž se mimo jiné podával dort ve tvaru jedenáctimetrového tunelu.



„Dvoukolovou soutěž obelalo šest různých mezinárodních konsorcií. Nabídka, kterou jsme předložili ve sdružení s islandskou stavební společností Háfell, splnila požadavky investora, společnosti Vegagerðin (instituce srovnatelná s Ředitelstvím silnic a dálnic ČR) nejlépe. Dokázali jsme nabídnout nejen nejvýhodnější cenu, ale obstáli jsme také v dalších kritériích, například termínech či garancích kvality,“ říká obchodní ředitel Metrostavu Ing. Pavel Pilát a dodává, že nedostatečně chráněný domácí trh a nerovné podmínky v zakládajících státech EU nutí české stavební firmy ucházet se o zakázky i v tak vzdálených zemích, jakou je právě Island. I tam jsou Češi schopni prokázat své kvality a prosadit se navzdory domácím pochybnostem o vysokých cenách českého stavebnictví.

Firma počítá, že na výstavbě tunelů bude pracovat celkem šedesát českých specializovaných dělníků a dvacet techniků a že při dobrém řízení stavby bude schopna termín dokončení zkrátit až o šest měsíců.

Na stavbě, jejíž součástí je také most přes řeku Héðinsfjarðará a jejíž celková délka činí 14,1 km, vybuduje Metrostav dva úseky ražených a hloubených tunelů o celkové délce 10 995 m. Kratší z obou tunelů, Siglufjörður, bude dlouhý 3 871 m, druhý tunel Ólafsfjörður bude měřit 7 124 m. Vjezdy do obou tunelů budou chráněny betonovými límci, které zajistí přístupnost podzemní komunikace za ztížených klimatických podmínek. Ražba tunelů bude v celé délce probíhat ve vyvřelých horninách, nestabilní vrstvy se dají očekávat pouze v hloubených úsecích. Výška nadloží je poměrně vysoká, v úseku pod vrcholem Hólsfjall činí až 600 m. Podmínky v podzemí budou pro raziče s ohledem na sopečnou aktivitu Islandu značně náročné. V nejhlubších místech ražeb bude teplota dosahovat až 40 °C.

Tisková informace

**České vysoké učení technické v Praze  
pořádá  
16. ročník vědeckého semináře  
Workshop 2007**

**19. – 23. února 2007**

**Fakulta stavební a Fakulta architektury, Thákurova 7, Praha 6**

# Pokyny pro autory

## STAVEBNÍ OBZOR

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

tel.: 224 354 596

klimova@fsv.cvut.cz

Redakce přijímá články v textovém editoru Word, tištěné po jedné straně bílého papíru formátu A4 (horní okraj 25 mm, levý 35 mm, pravý 10 mm, dolní 15 mm), řádkování, 1,5. Rukopisy se dodávají výhradně na volných listech. Stránky se číslují průběžně uprostřed dolního okraje. Současně je třeba dodat elektronickou verzi (disketu, CD, e-mail), opatřenou jménem autora a názvy uložených souborů. Obrázky je vhodné uložit do samostatného souboru. Text nezalamovat do sloupců a obrázky do textu nevkładat.

### Úprava rukopisu

- **Název příspěvku (arial, 14 bodů, tučně)**, oddílů (**arial, 12 bodů, tučně**) a odstavců (**times, 12 bodů, tučně**) se píše malými písmeny kromě velkých začátečních písmen, bez teček na konci. **Neměl by obsahovat více než 8 slov.** Titulky se nepodtrhávají ani neprostrkávají. Pokud není článek příliš rozsáhlý, není třeba nadpisy číslovat. U rozsáhlejších textů se oddíly (kapitoly) mohou číslovat arabskými číslicemi s tečkou, odstavce (podkapitoly) při hierarchickém členění se číslují dvěma (výjimečně třemi) arabskými číslicemi s tečkou za každou číslicí.
- **Záhlaví** – jméno autora, název a místo jeho pracoviště (nezkrácené osobní jméno, příjmení s akademickými tituly a vědeckými hodnostmi; je-li autorů více, sdružují se podle pracovišť).
- **Anotace** – max. 5 řádků vystihujících obsah článku, **anglické a německé resumé** stejného rozsahu je překladem anotace. V případě dodání pouze české verze redakce zařídí její překlad (vhodné je dodat cizojazyčné specifické odborné termíny).
- **Text článku (times, 12 bodů)** – obvyklý rozsah je 8 až 10 stran, neměl by přesahovat 12 stran a obsahovat více než 7 obrazových předloh (grafy, schémata, fotografické snímky, tisky počítačových periférií apod.) a tabulek.
- **Seznam literatury** se zařadí na konec rukopisu. Jednotlivé prameny se označí čísly v hranatých závorkách. Uvedou se jen prameny citované v článku a v přiměřeném rozsahu. Jen výjimečně by měla být citována literatura starší patnácti let. Počet autocitací nesmí přesáhnout třetinu všech citovaných prací. Odkazy v textu se uvádějí rovněž čísly v hranatých závorkách, které nelze nahradit lomítky.
- **Poznámka pod čarou** nemá být delší než tři řádky. Píše se na řádek následující za místem, ke kterému se text pod čarou vztahuje. Od vlastního textu se odděluje vodorovnou čarou. Místo v textu a příslušný text pod čarou se vyznačují arabskými číslicemi jako mocnitél s obloučkem, např. <sup>1)</sup>, na rozdíl od poznámek u tabulek, kde se značí <sup>\*)</sup>. Poznámky pod čarou se číslují **průběžně** v celém příspěvku.

### Vzorce

- V textu se **odkazy** na vzorce uvádějí obvyčejnými čísly v okrouhlých závorkách (n);
- pro **proměnné** se v matematických výrazech používá ležaté písmo (*times italica, 12 bodů*), pro vektory

přednostně písmena latinské abecedy (*arial italica tučně, 10 bodů*), pro matice velká písmena, přednostně latinské abecedy (*TIMES ITALICA TUCNĚ, 12 BODU*). Číslice ve vzorcích, a to i v indexech a exponentech, se píše stojatě;

- **indexy a exponenty** se píše bez mezery ke znaku, se správným směrem snížení/zvýšení k základní úrovni řádku;
- **desetinná místa** se oddělují od celku desetinnou čárkou;
- používají se **zákonné měřicí jednotky**;
- znaménka ve vzorcích (=, +, -, ·, :, ... atd.) musí být od ostatních veličin oddělena mezerou;
- pro násobení se nepoužívá \*, ale příslušné znaménko;
- jednotlivé matematické symboly do textu **nelze vkládat** (na rozdíl od číslovaných rovnic), **je nutné je psát jako souvislý text.**

Grafický program QuarkXpress 6.0, ve kterém se časopis láme, v některých případech nekomunikuje s extenzemi pro úpravu matematických vzorců různých verzí editoru Word. **U textů s velkým rozsahem vzorců je proto možné se před zpracováním článku o vhodnosti dané extenze ve studiu informovat (Ing. Milan Gattringer, tel.: 241 770 220).** Předjede se tak složitým korekturám.

### Úprava obrazových předloh a tabulek

- Na médium se obrázky ukládají jako samostatné soubory s příponou **jpg, tif, eps, bmp** s rozlišením **300 DPI**. Tabulky a grafy jako soubory s příponou **xls**. Prostor pro ně se v rukopisu nevynechává, do textu se **nevepoují**. Do redakce je třeba dodat i jejich tištěnou podobu. Pro zajištění kvalitní reprodukce je třeba dodat obrázky ve zhruba dvojnásobném rozměru, než bude tištěný formát. Změnitelnou základnu obrázku je třeba obyčejnou tužkou vyznačit. Do textu budou v korektuře zalomeny podle možnosti co nejbliže odkazu v závorce.
- **Pérové kresby** – každý originál musí být na samostatném listu maximálního formátu A4. Obrázky je nejlépe dodat v poměru **1 : 1**, tj. buď na šířku jednoho sloupce (max. 77 mm), nebo dvou sloupců (max. 160 mm); tloušťka čar musí odpovídat tištěnému formátu obrázku. Pro popisování kreseb a grafů se v textovém editoru používá výhradně písmo **arial** jednotné velikosti. Pro přehlednost má být v obrázku co nejméně textu, s počínajícími malými písmeny. Vysvětlivky lze uvést v podpisu pod obrázek. V textu se odvolávky na obrazové předlohy uvádějí v kulatých závorkách (*obr. n*). U diagramů se stupnice popisují vždy vně, na středu za jednosměrnou šipkou následuje značka veličiny, za ní jednotka veličiny v hra-

natých závorkách. U grafu se vyznačuje ukončení obrázku šipkou. Vytíštěné obrázky je třeba označit vpravo dole příslušným číslem a příjmením autora.

- **Fotografické snímky**, na rubu lehce označené číslem a příjmením autora, musí být kontrastní, na hladkém bílém fotografickém papíru s ostrou kresbou, rovnoměrným leskem po celém povrchu, stupnicí polostínů, min. velikostí 9 x 12 cm.
- **Popisky pod obrázky** (*times italica*, 12 bodů) na samostatném listu se vloží za poslední stranu rukopisu.
- **Tabulky** se označí průběžně arabskými číslicemi (*Tab. 1.*) a názvem (*times italica*, 12 bodů) umístěným nad tabulku. Vysvětlivky k obsahu a definice symbolů se píší pod tabulku jako poznámky pod čarou. Na samostatných listech se vkládají za poslední stranu textu.

### Příspěvky do rubrik

Rozsah nemá přesahovat šest stran a obsahovat více než čtyři obrazové předlohy včetně tabulek. Pod textem se vpravo dole uvede jméno a příjmení autora. Obecné požadavky na rukopis, obrazové předlohy a tabulky platí obdobně jako u hlavních článků.

#### Autorské korektury

Všechny otisky sazby zaslané autorovi musí být zkorigovány a vráceny do redakce obratem. Články se v redakci upravují podle zvyklostí časopisu. V rámci korektury lze opravovat pouze chyby v odborné a stylistické terminologii a technické nedostatky zaviněné tiskárnou. Autor svým podpisem na korektuře znovu potvrdí, že po opravě jím vyznačených chyb s vytištěním článku souhlasí.

### Recenze vědeckotechnické literatury

- **Záhlaví** – je nutné dodržet toto pořadí údajů: příjmení a iniciály osobního jména autora (bez titulu), název díla (u cizího názvu v originále, do závorky český překlad), pořadí vydání (u druhého a dalších), místo vydání, vydavatel, rok vydání, počet stran, obrázků, tabulek, popř. cena. Název knih psaných jinak než latinkou se uvede v českém přepisu.
- **Struktura** – význam problematiky díla, záměr autora, popis díla po významných částech (kapitolách), hodnocení záměru autora, okruh čtenářů, kterým je dílo určeno. V pravé části rukopisu pod textem recenze jméno a příjmení recenzenta nebo jeho šifra. Recenze nesmí být delší než dvě strany.

### Údaje o autorech

Na zvláštním listu autor uvede své jméno a příjmení, adresu bydliště včetně PSČ, telefonní číslo, popř. e-mail na pracovišti (netisknou se) a prohlášení, že jde o původní, jinde nepublikovaný článek. Zároveň dodá podepsanou žádost o otištění textu ve Stavebním obzoru.

- Tisknou se pouze původní, dosud nepublikované práce.
- Hlavní články se lektorují.
- Za obsah článku ručí autor.
- Otištěné články nejsou honorovány.
- Nevyžádané rukopisy se nevracejí, diskety a CD si lze do měsíce po vyjití článku vyzvednout v redakci.

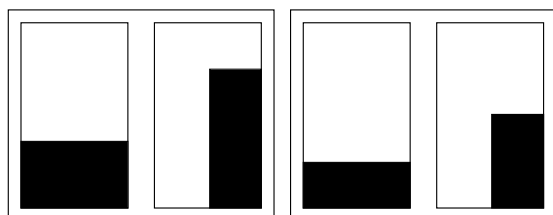
## Korekturní znaménka

Korektury se vyznačují barevně dvěma shodnými znaménky. Jedním se označí opravené místo a druhé se opakuje na příslušném okraji otisku v účaří opravené řádky. Vpravo vedle znaménka na okraji otisku se napíše správné písmeno nebo doplňující text.

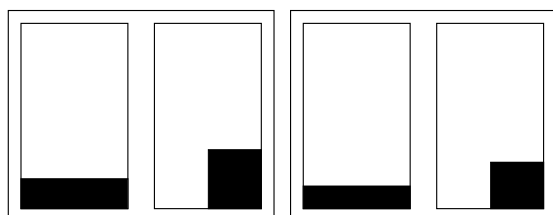
	výměna chybného nebo poškozeného písmene		chybějící mezera
	výměna více chybných písmen, popř. slov		zvětšení mezer mezi slovy
	vypuštění přebytečných písmen nebo slov (deleatur)		zmenšení mezery mezi slovy
	vypuštění textu ve více řádcích		zrušení mezery nebo spojovníku
	chybějící slovo nebo text, popř. spojovací znaménko nebo pomlčka		zrušení mezery mezi řádky
	vynechaná řádka		vyznačení odstavce
	zařazení obrázku nebo tabulky		zrušení odstavce
	porušený slovosled		vysazení slov jiným písmem
	přemístění slov nebo řádek		index prvního stupně
	přemístění přehozených písmen nebo slov		index druhého stupně
	správné pořadí přehozených řádek		exponent prvního stupně
	zapomenutá zarážka		exponent druhého stupně
	posunutí textu nahoru nebo dolů		chybně vyznačená korektura se v textu podečkuje



1 str. 3/4 str. 1/2 str. 1/2 str.



1/3 str. 1/3 str. 1/4 str. 1/4 str.



1/6 str. 1/6 str. 1/8 str. 1/8 str.

# Ceník inzerce v časopisu **STAVEBNÍ OBZOR** pro rok 2007

Formát	Uvnitř listu [Kč]	2. a 3. strana obálky [Kč]
1 strana	9.000,-	17.000,-
3/4 strany	6.750,-	12.750,-
1/2 strany	4.500,-	8.500,-
1/3 strany	3.000,-	5.665,-
1/4 strany	2.250,-	4.250,-
1/6 strany	1.500,-	2.835,-
1/8 strany	1.125,-	2.125,-

**Inzerát na požádání graficky upravíme.**  
**Další informace v redakci**  
 tel./fax: 224 354 596  
 e-mail: klimova@fsv.cvut.cz/obzor

Cena za jeden výtisk je 40,- Kč, předplatné na celý rok 400,- Kč (+ poštovné a balné).  
 Objednávky předplatného přímo na internetových stránkách <http://web.fsv.cvut.cz/obzor/> nebo e-mail: [mgdtp@volny.cz](mailto:mgdtp@volny.cz).  
 Písemně na adrese MG DTP, Ing. Milan Gattringer, Borovanská 3388/2, 143 00 Praha 4 nebo faxem na tel./fax: 241 770 220.



## OBJEDNÁVKA

**PLÁTCE**

Jméno a příjmení (organizace): .....  
 Adresa: ..... PSČ: .....  
 Tel./fax: ..... e-mail: ..... IČO: ..... DIČ: .....  
 Bankovní spojení: kód banky: ..... číslo účtu: ..... specifický symbol: .....

**ODBĚRATEL**

Jméno a příjmení (organizace): .....  
 Adresa: ..... PSČ: .....  
 U organizace bankovní spojení: .....  
 IČO: ..... DIČ: .....

**OBJEDNÁVKA**

Objednávám závazně . . . . ks časopisu STAVEBNÍ OBZOR v tištěné formě  nebo v elektronické formě na CD .  
 Časopis/CD uhradím:  složenkou  fakturou  osobně v redakci.

..... datum ..... podpis (razítko organizace)

# STAVEBNÍ OBZOR

## ROČNÍK 16 ČÍSLO 03/2007

### Navigace v dokumentu

#### OBSAH

Holický, M. – Marková, J. – Sýkora, M. <b>Spolehlivost lehkých střech zatížených sněhem</b>	65
Novotný, B. – Luxemburk, F. <b>Posouzení funkční způsobilosti elastických mostních závěrů</b>	70
Pavlík, Z. – Fiala, L. – Černý, R. – Sobczuk, H. – Suchorab, Z. <b>Využití homogenizačních principů při kalibraci metody TDR</b>	74
Zuda, L. – Černý, R. – Bayer, P. – Rovnaník, P. <b>Tepelné vlastnosti kompozitního materiálu za vysokých teplot</b>	81
Štroner, M. – Suchá, J. – Pospíšil, J. <b>Ověřování vlastností totálních stanic TOPCON GPT-2006 – část 2</b>	85
Kalvoda, P. – Suchá, M. – Brkl, L. – Vondrák, J. <b>Subpixelové měření v blízké fotogrammetrii</b>	89

**%• 2007**

**ročník 16**

# 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. –  
Sýkora, M.

**Spolehlivost  
lehkých střech  
zatížených sněhem . . . . . 65**

Novotný, B. – Luxemburk, F.

**Posouzení funkční  
způsobilosti elastických  
mostních  
závěrů . . . . . 70**

Pavlík, Z. – Fiala, L. – Černý, R. –  
Sobczuk, H. – Suchorab, Z.

**Využití homogenizačních  
principů  
při kalibraci  
metody TDR . . . . . 74**

Zuda, L. – Černý, R. – Bayer, P. –  
Rovnaník, P.

**Tepelné vlastnosti  
kompozitního  
materiálu za vysokých  
teplot . . . . . 81**

Štroner, M. – Suchá, J. – Pospíšil, J.

**Ověřování vlastností  
totálních stanic TOPCON  
GPT-2006 – část 2 . . . . . 85**

Kalvoda, P. – Suchá, M. – Brkl, L.  
– Vondrák, J.

**Subpixelové  
měření v blízké  
fotogrametrii . . . . . 89**

## CONTENTS

Holický, M. – Marková, J. –  
Sýkora, M.

**Reliability of Light  
Roofs Loaded  
by Snow . . . . . 65**

Novotný, B. – Luxemburk, F.

**Assessment  
of Serviceability  
of Asphaltic  
Plug Joints . . . . . 70**

Pavlík, Z. – Fiala, L. – Černý, R. –  
Sobczuk, H. – Suchorab, Z.

**Application of Homo-  
genization Principles in the  
Calibration of the TDR  
Method . . . . . 74**

Zuda, L. – Černý, R. – Bayer, P. –  
Rovnaník, P.

**Thermal Properties  
of a Composite Material with  
Slag Binder and Vermiculite  
at High Temperatures . . . . 81**

Štroner, M. – Suchá, J. – Pospíšil, J.

**Verification of Properties of  
TOPCON GPT-2006 Total  
Stations – Part 2 . . . . . 85**

Kalvoda, P. – Suchá, M. – Brkl, L.  
– Vondrák, J.

**Subpixel Measurement  
in Close-Range  
Photogrammetry . . . . . 89**

## INHALT

Holický, M. – Marková, J. –  
Sýkora, M.

**Zuverlässigkeit leichter  
Dächer unter  
Schneebelastung . . . . . 65**

Novotný, B. – Luxemburk, F.

**Beurteilung der Funktions-  
fähigkeit elastischer Fahr-  
bahnübergangskonstruktionen  
an Brücken . . . . . 70**

Pavlík, Z. – Fiala, L. – Černý, R. –  
Sobczuk, H. – Suchorab, Z.

**Anwendung der  
Homogenisierungsprinzipien  
bei der Kalibrierung des  
TDR-Verfahrens . . . . . 74**

Zuda, L. – Černý, R. – Bayer, P. –  
Rovnaník, P.

**Wärmetechnische  
Eigenschaften eines  
Kompositmaterials bei hohen  
Temperaturen . . . . . 81**

Štroner, M. – Suchá, J. – Pospíšil, J.

**Prüfung der Eigenschaften  
von Totalstationen TOPCON  
GPT-2006 – Teil 2 . . . . . 85**

Kalvoda, P. – Suchá, M. – Brkl, L.  
– Vondrák, J.

**Subpixelmessung  
in der Nahfoto-  
grammetrie . . . . . 89**

## REDAKČNÍ RADA

### Předseda:

prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.

### Místopředseda:

doc. Ing. Alois MATERNA, CSc.

### Členové:

doc. Ing. Pavel HÁNEK, CSc.

doc. Ing. Vladimír JELÍNEK, CSc.

Ing. Jiří KALA, Ph. D.

doc. Ing. J. KORYTÁROVÁ, Ph. D.

Ing. Karel KUBEČKA

Ing. Libor MATĚJKA, CSc., Ph. D.

doc. Ing. Jaroslav NOVÁK, CSc.

doc. Ing. Luděk NOVÁK, CSc.

doc. Ing. Miloslav NOVOTNÝ, CSc.

doc. Ing. Miloslav PAVLÍK, CSc.

prof. Ing. J. PROCHÁZKA, CSc.

Ing. Vlastimil ROJÍK

Ing. Karel SVOBODA

doc. Dr. Ing. Miloslav ŠLEZINGR

Ing. Milan ŠMAK, Ph. D.

Ing. Ludvík VÉBR, CSc.

doc. Ing. Josef VITÁSEK, CSc.

prof. Ing. Jiří WITZANY, DrSc.

Ing. Renata ZDAŘILOVÁ

STAVEBNÍ OBZOR, odborný měsíčník, vydává  
Fakulta stavební ČVUT Praha společně s Fakultou  
stavební VUT Brno, Fakultou stavební VŠB TU  
Ostrava, Českou komorou autorizovaných inženýrů  
a techniků činných ve výstavbě a Českým svazem  
stavebních inženýrů. Řídí redakční rada, vedoucí  
redaktorka Marcela Klímová. Adresa redakce:  
Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel./fax: 224 354 596,  
klimova@fsv.cvut.cz, http://web.fsv.cvut.cz/obzor.  
Vychází každý měsíc kromě července a srpna,  
cena za výtisk je 40 Kč včetně DPH (+ poštovné a  
bainé). Objednávky odběru i reklamace přijímá  
Ing. Milan Gattringer, MG DTP, Borovanská 3388, 143 00  
Praha 4, tel./fax: 241 770 220, e-mail: mgdtp@volny.cz.  
Odběr je možné zrušit až po vyčerpání zaplace-  
ného předplatného. Inzerce adresujte redakci. Tech-  
nická redakce a realizace: Ing. Milan Gattringer. Po-  
dávání novinových zásilek povoleno Ředitelstvím  
pošt Praha, č. j. NP 144/1994, ze dne 21. 10. 1994.  
Do sazby 7. 2. 2007. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027



## Spolehlivost lehkých střech zatížených sněhem

prof. Ing. Milan HOLICKÝ, DrSc.  
Ing. Jana MARKOVÁ, Ph. D.  
Ing. Miroslav SÝKORA, Ph. D.  
ČVUT – Kloknerův ústav  
Praha

**Předložený rozbor se zabývá spolehlivostí lehkých střech zatížených vlastní tíhou a sněhem. Porovnává se spolehlivost střech navržených podle předchozí verze ČSN a podle zásad zavedených Eurokódů ČSN EN. Uvažují se čtyři vybrané lokality na území ČR, pro které jsou stanoveny pravděpodobnostní modely zatížení sněhem na základě dostupných měření. Ukazuje se, že provedené změny předpisů jsou oprávněné a nanejvýš potřebné. Při návrhu lehkých střech se doporučuje zvýšit součinitel zatížení od sněhu v závislosti na lokálních podmínkách a zatěžovacím poměru charakteristických hodnot zatížení sněhem a celkového zatížení na hodnoty větší než 1,5.**

### Úvod

Havárie lehkých střech v zimním období 2005/2006 vyvolaly revizi normativních dokumentů pro zatížení sněhem – ČSN 73 0035 [1], ČSN P ENV 1991-2-3 [2] a ČSN EN 1991-1-3 [3]. Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) ve spolupráci s ČVUT v Praze – Kloknerovým ústavem vyhodnotil dostupná měření a zpracoval novou mapu sněhových oblastí, která se stala podkladem pro Změnu Z3 ČSN 73 0035 [4], Změnu Z1 přednormy ČSN P ENV 1991-2-3 [5] a Změnu Z1 zavedené evropské ČSN 1991-1-3 [6]. Všechny změny jsou platné od 1. 11. 2006 a zavádějí stejnou charakteristickou hodnotu zatížení sněhem.

Nová mapa sněhových oblastí v dokumentech [4]–[6] odpovídá zásadám zavedených evropských norem [6], [7] a uvádí charakteristické hodnoty zatížení sněhem na zemi pro průměrnou dobu návratu padesát let (kvantily ročních maxim pro pravděpodobnost 0,98). V některých oblastech jde o hodnoty až dvakrát větší než podle předchozí verze ČSN 73 0035 [1]. Změny Z3 [4] a Z1 [5], [6] jsou proto předmětem řady diskuzí a odborných článků [9]–[12], které změny odůvodňují a poskytují pokyny pro jejich uplatnění v projekční praxi.

V současné době lze navrhovat konstrukce podle ČSN 73 0035 [4], kdy se uplatní pravidla pro kombinace zatížení podle této normy, nebo podle ČSN P ENV 1991-2-3 [5] s využitím kombinačních pravidel podle ČSN P ENV 1991-1 [8] pro zásady navrhování. Oba alternativní postupy se po definitivním zavedení příslušných souborů EN Eurokódů do systému ČSN (asi od roku 2010) nahradí návrhem podle

ČSN EN 1991-1-3 [6] s uvážením kombinačních pravidel podle ČSN EN 1990 [7].

Předložený rozbor se zabývá citlivou otázkou spolehlivosti lehkých střech zatížených vlastní tíhou a sněhem. Porovnává se spolehlivost střech navržených podle předchozí verze ČSN 73 0035 [1] – dále značeno jako varianta „ČSN“, podle ČSN 73 0035 po Změně Z3 [4] – varianta „ČSN Z3“ – a podle zásad zavedených Eurokódů ČSN EN 1991-1-3 [6] a ČSN EN 1990 [7] s využitím alternativních pravidel (6.10) a (6.10a,b) pro kombinace zatížení v mezních stavech únosnosti – varianty „EN (6.10)“ a „EN (6.10a,b)“. Uvažují se čtyři vybrané lokality na území ČR, pro které jsou stanoveny pravděpodobnostní modely zatížení sněhem z dostupných měření ČHMÚ.

Ukazuje se, že změny platných předpisů jsou oprávněné a nanejvýš potřebné. Při návrhu lehkých střech se doporučuje zvýšit součinitel proměnného zatížení od sněhu v závislosti na lokálních podmínkách a zatěžovacím poměru charakteristických hodnot zatížení sněhem a celkového zatížení (od stáلهo a sněhu) na hodnoty větší než 1,5.

### Zatížení sněhem na zemi ve vybraných lokalitách

Pro kritické zhodnocení modelu zatížení sněhem na zemi  $S$ , zavedeném změnami Z3 [4] a Z1 [5], [6], se dále využijí měření ročních maxim  $S_1$  v meteorologických stanicích Humpolec, Ostrava-Poruba, Praha-Ruzyně a Zlín z období 1962 až 2006. Základní statistické charakteristiky ročních maxim zatížení sněhem na zemi  $S_1$  – průměr  $\mu_{S_1}$  a variační koeficient  $V_{S_1}$  – jsou uvedeny v tab. 1. Roční maxima zatížení sněhem se zpravidla popisují Gumbelovým rozdělením maximálních hodnot [7], [13]. Za předpokladu nezávislosti ročních maxim lze z ročních extrémů odvodit průměr  $\mu_{S_N}$  a směrodatnou odchylku  $\sigma_{S_N}$  maxim, které nastanou v období  $N$  let, ze vztahů [13]

$$\mu_{S_N} = \mu_{S_1} + 0,78 \ln(N) \sigma_{S_1}; \sigma_{S_N} = \sigma_{S_1}. \quad (1)$$

Kvantil ročních maxim odpovídající pravděpodobnosti  $p$  lze stanovit ze vztahu [13]

$$s_p = s_{\text{mod}} - \ln(-\ln(p)) / c, \quad (2)$$

kde  $s_{\text{mod}}$  a  $c$  jsou parametry Gumbelova rozdělení pro roční maxima

$$s_{\text{mod}} = \mu_{S_1} - 0,577 \sqrt{6} \sigma_{S_1} / \pi; c = \pi / (\sqrt{6} \sigma_{S_1}). \quad (3)$$

Tab. 1. Charakteristiky zatížení ve vybraných lokalitách

Lokalita	Maxima				Charakteristické hodnoty [kN/m <sup>2</sup> ]		
	průměr [kN/m <sup>2</sup> ] $\mu_{S_1}$	variační koeficient $V_{S_1}$	průměr [kN/m <sup>2</sup> ] $\mu_{S_{50}}$	variační koeficient $V_{S_{50}}$	teoretické	ČSN	Změny Z3, Z1
					$s_p$	$s_0$	$s_k$
Humpolec	0,533	0,66	1,61	0,22	1,45	1	1,5
Ostrava-Poruba	0,344	0,68	1,06	0,22	0,95	0,5	1
Praha-Ruzyně	0,323	0,70	1,02	0,22	0,91	0,5	1
Zlín	0,296	0,64	0,88	0,22	0,79	0,5	1

Tabulka 1 dále uvádí statistické charakteristiky padesátiletých maxim zatížení sněhem na zemi  $S_{50}$ , teoretické charakteristické hodnoty získané jako 98% kvantil Gumbelova rozdělení a charakteristické hodnoty zatížení sněhem na zemi podle ČSN 73 0035 [1] (v normě uvedena jako základní tíha sněhu  $s_0$ ) a podle nové sněhové mapy zavedené změnami Z3 [4] a Z1 [5], [6]. Údaje naznačují velmi dobrou shodu teoretických hodnot  $s_p$ , stanovených vyhodnocením meteorologických pozorování, s hodnotami  $s_k$  v nové mapě sněhových oblastí [4], [5], [6] pro lokality Humpolec, Ostrava-Poruba a Praha-Ruzyně. Pro oblast Zlína se zdá být charakteristická hodnota  $s_k$  podle nové sněhové mapy poněkud konzervativní. Vzhledem k „vyhlazování“ sněhové mapy z důvodu praktické použitelnosti (při tvorbě mapy se zavedl přiměřený počet sněhových oblastí se stejnou charakteristickou hodnotou) lze konstatovat, že změny Z3 [4] a Z1 [5], [6] velmi dobře odpovídají výsledkům pravděpodobnostního rozboru.

### Zatížení sněhem na střeše

Podle ČSN [1] se normové (charakteristické podle terminologie EN) hodnoty zatížení sněhem na střeše  $s_{s,k}$  (v normě značeno  $s_n$ ) stanoví ze vztahu

$$s_{s,k} = s_0 \mu_s \kappa, \quad (4)$$

kde  $s_0$  je základní tíha sněhu na zemi (pro uvažované lokality uvedena v tab. 1),  $\mu_s$  je tvarový součinitel a  $\kappa$  součinitel stanovený v závislosti na tíze zastřešení. V dalším rozboru se uvažují ploché střechy ( $\alpha = 0^\circ$ ) nebo střechy s mírným sklonem ( $\alpha \leq 25^\circ$ ), pro které platí  $\mu_s = 1,0$ . Součinitel  $\kappa$  se v souladu s ČSN [1] uvažuje:

- hodnotou 1,2, pokud pro průměrné stálé zatížení (a zároveň charakteristickou hodnotu) platí  $\mu_G = G_k \leq 0,5$  kN/m<sup>2</sup>;
- hodnotou 1,0, pokud platí  $\mu_G = G_k \geq 1,0$  kN/m<sup>2</sup>;
- hodnotou stanovenou lineární interpolací v intervalu 1,2 až 1,0 pro  $\mu_G = G_k$  v rozmezí 0,5–1,0 kN/m<sup>2</sup>.

Poznamenejme, že v souladu s ČSN [1] se součinitel  $\kappa$  stanoví pouze na základě tíhy zastřešení přenášeného uvažovaným konstrukčním prvkem. V dalším rozboru se však nerozlišuje vlastní tíha zastřešení a další stálá zatížení, a proto se součinitel  $\kappa$  zjednodušeně stanovuje na základě charakteristické hodnoty celkového stálého zatížení  $G_k$ .

Charakteristické hodnoty zatížení sněhem na střeše  $s_{s,k}$  podle dokumentů [4]–[6] se určí ze vztahu

$$s_{s,k} = \mu_i C_e C_t s_k, \quad (5)$$

kde  $s_k$  je charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi uvedená v tab. 1,  $\mu_i$  tvarový součinitel,  $C_e$  součinitel expozice a  $C_t$  tepelný součinitel. Hodnoty tvarového součinitele v dokumentech [4]–[6] se opírají o nové poznatky o sfoukávání sněhu ze střech získané na základě evropského výzkumu [14]. Pro ploché střechy ( $\alpha \leq 25^\circ$ ) je tvarový součinitel  $\mu_i = 0,8$  (v dalším rozboru se zjednodušeně uvažuje rovnoměrné zatížení sněhem na celé ploše střechy). Součinitele expozice a teploty se dále uvažují v souladu s doporučením dokumentů [4]–[6] jednotkové,  $C_e = C_t = 1$ , a proto se v dalším rozboru neuvádějí.

Pro stanovení výpočtové (návrhové podle terminologie EN) hodnoty zatížení sněhem na střeše se podle ČSN [1] uvažuje součinitel zatížení  $\gamma_Q = 1,4$  (v normě označený  $\gamma_f$ ), zatímco při výpočtu návrhové hodnoty podle dokumentů [4], [6] se uvádí vyšší dílčí součinitel zatížení -  $\gamma_Q = 1,5$ .

### Pravděpodobnostní rozbor spolehlivosti

Předmětem rozboru je spolehlivost nosné konstrukce, pro kterou lze funkci mezního stavu  $g(\mathbf{X})$  zapsat v jednoduchém tvaru

$$g(\mathbf{X}) = K_R R - K_E (G + \mu_1 S_{50}). \quad (6)$$

Základní veličiny vystupující v rovnici (6) jsou popsány v tab. 2. Při rozboru spolehlivosti se uvažuje návrhová životnost konstrukce padesát let, která se pro budovy a běžné stavby doporučuje v EN 1990 [7]. Proto se ve funkci mezního stavu (6) uvažují pro zatížení sněhem na zemi hodnoty padesátiletých extrémů  $S_{50}$ . Poznamenejme, že statistické charakteristiky zatížení sněhem v tab. 1 se stanovily v souladu s postupy v Eurokódech.

Při návrhu odolnosti konstrukce podle verze ČSN 73 0035 [1] (varianta „ČSN“), podle ČSN 73 0035 po Změně Z3 [4] („ČSN Z3“) a podle zásad zavedených Eurokódů s využitím alternativního pravidla (6.10) („EN 6.10“) se stanoví charakteristická hodnota odolnosti  $R_k$  ze vztahu

$$R_k / \gamma_M = \gamma_G G_k + \gamma_Q s_{s,k}, \quad (7)$$

kde charakteristická hodnota zatížení sněhem na střeše  $s_{s,k}$  se určí ze vztahu (4) pro variantu ČSN a ze vztahu (5) pro varianty ČSN Z3 a EN 6.10. Dílčí součinitele a charakteristické hodnoty vystupující ve vztahu (7) jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2. Modely základních veličin

Veličina	Symbol	Rozdělení	Dílčí součinitel $\gamma$	$X_k$	$\mu_x$	$V_x$
			ČSN / ČSN Z3 / EN	ČSN / ČSN Z3 + EN	ČSN / ČSN Z3 + EN	
odolnost	$R$	LN	1,15/1,15/1,15	(7)/(8)	$0,8 R_k$	0,1
stálé zatížení	$G$	N	1,20/1,20/1,35	(10)	$1,0 G_k$	0,1
zatížení sněhem na zemi (max. 50 let)	$S$	GU	–	tab. 1	tab. 1	tab. 1
tvarový součinitel	$\mu_1$	–	–	1,0/0,8	1,0/0,8	–
součinitel lehkých střech	$\kappa$	–	–	1,0 až 1,2/–	–	–
zatížení sněhem na střeše (max. 50 let)	$S_s$	–	1,4/1,5/1,5	(4)/(5)	$m_1 m_{S50}$	$V_{S50}$
největší odolnost	$K_R$	N	–	–	1	0,05
největší zatížení	$K_E$	N	–	–	1	0,1

N – normální rozdělení, LN – lognormální rozdělení s počátkem v „0“; GU – Gumbelovo rozdělení maximálních hodnot

Ve variantě EN 6.10a,b, ve které se při návrhu odolnosti použije dvojice rovnic 6.10a a 6.10b [7], se odolnost určí z méně příznivého ze vztahů

$$R_k / \gamma_M = \gamma_G G_k + \psi_0 \gamma_Q S_{s,k}, \quad (8a)$$

$$R_k / \gamma_M = \xi \gamma_M G_k + \gamma_Q S_{s,k}, \quad (8b)$$

kde zatížení sněhem na střeše  $S_{s,k}$  se stanoví ze vztahu (5). Redukční součinitele  $\xi$  a  $\psi_0$  ve vztazích (8a,b) se uvažují hodnotami doporučenými v ČSN EN 1990 [7], kde se uvádí  $\xi = 0,85$  a  $\psi_0 = 0,5$  pro zatížení sněhem v obvyklých nadmořských výškách nedosahujících horské úrovně (přes 1 000 m se má uvažovat  $\psi_0 = 0,7$ ).

V následujícím rozboru se sleduje spolehlivost konstrukce navržené podle jednotlivých variant v závislosti na zatěžovacím poměru  $\chi$  charakteristických hodnot zatížení sněhem na střeše k celkovému zatížení, který je dán vztahem

$$\chi = s_{s,k} / (G_k + s_{s,k}). \quad (9)$$

Poměr  $\chi$  lze u lehkých střech očekávat přibližně v rozmezí hodnot 0,4 až 0,8. Pro poměr  $\chi$  a známé zatížení sněhem na střeše  $S_{s,k}$  lze ze vztahu (9) stanovit charakteristickou hodnotu stálého zatížení

$$G_k = s_{s,k} (1 - \chi) / \chi. \quad (10)$$

Poznamenejme, že v dalším rozboru se nerozlišují stálá zatížení z různých zdrojů (vlastní tíha konstrukce, tíha střešního pláště, tíha technického zařízení uvažovaného objektu, které může být zavěšeno na nosné konstrukci střechy apod.). Vzhledem k tomuto zjednodušení se ve variantách ČSN a ČSN Z3 uvažuje součinitel stálého zatížení  $\gamma_G = 1,2$  (v normě označený  $\gamma_p$ ). Ve variantách EN 6.10 a EN 6.10a,b se uvažuje  $\gamma_G = 1,35$ .

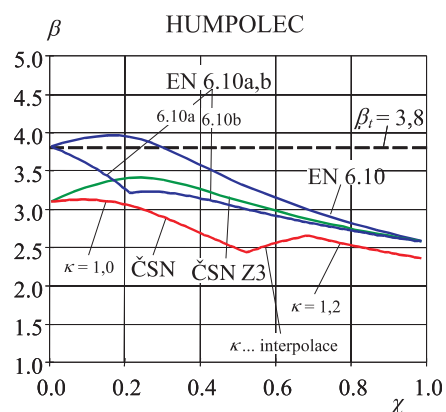
Pravděpodobnostní modely základních veličin popsané v tab. 2 jsou založené na doporučeních JCSS (Joint Committee on Structural Safety – Společná komise pro spolehlivost stavebních konstrukcí) [15].

Poznamenejme, že poměr  $\mu_R / R_k$  průměrné a charakteristické hodnoty odolnosti  $R$  vychází z předpokladu, že pro charakteristickou hodnotu přibližně platí  $R_k = \mu_R (1 + 2 V_R)$  [15].

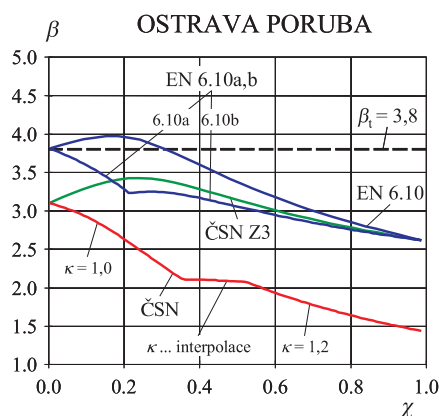
### Výsledky rozboru spolehlivosti

Rozbor spolehlivosti konstrukce vychází z funkce mezního stavu (6) a pravděpodobnostních modelů základních veličin uvedených v tab. 1 a tab. 2. Závislost indexu spolehlivosti  $\beta$  na zatěžovacím poměru  $\chi$  pro konstrukci navrženou podle ČSN, ČSN Z3, EN 6.10 a EN 6.10a,b pro lokality Humpolec, Ostrava-Poruba, Praha-Ruzyně a Zlín zachycují obr. 1 až obr. 4. Spolehlivost konstrukcí navržených podle ČSN a EN 6.10 pro všechny uvažované lokality se porovnává na obr. 5.

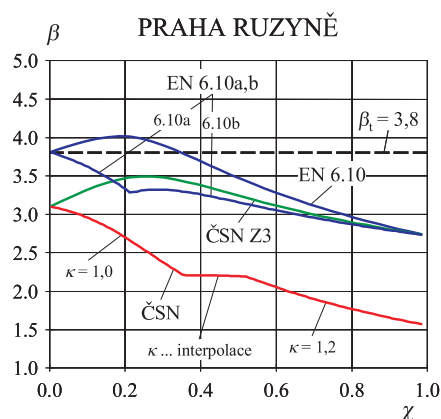
Obrázky 1 až 5 zřetelně ukazují, že návrh založený na normě ČSN 73 0035 [1] (varianta ČSN) vede k výrazně nižší spolehlivosti než nový model zatížení sněhem na střeše zavedený Změnami Z3 [4] a Z1 [5], [6] (varianty ČSN Z3 a EN). Index spolehlivosti  $\beta$  je pro variantu ČSN menší přibližně o 1,0 až 2,0 v porovnání se směrnou hodnotou  $\beta_t = 3,8$  doporučenou pro běžné konstrukce a návrhovou životnost



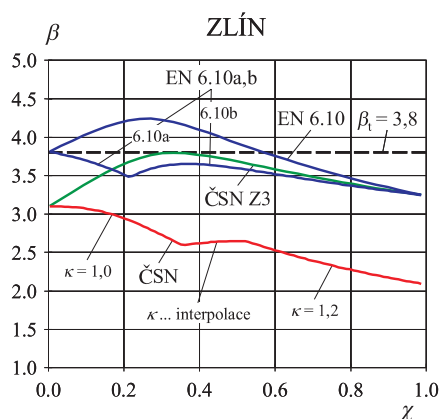
Obr. 1. Index spolehlivosti  $\beta$  v závislosti na poměru  $\chi$  pro lokalitu Humpolec



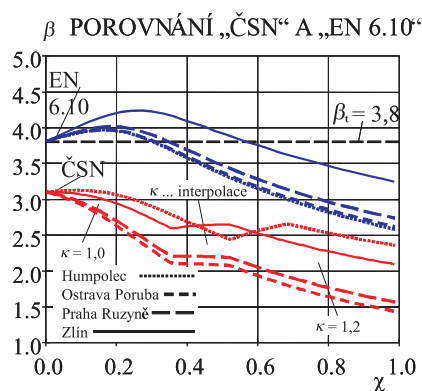
Obr. 2. Index spolehlivosti  $\beta$  v závislosti na poměru  $\chi$  pro lokalitu Ostrava-Poruba



Obr. 3. Index spolehlivosti  $\beta$  v závislosti na poměru  $\chi$  pro lokalitu Praha-Ruzyně



Obr. 4. Index spolehlivosti  $\beta$  v závislosti na poměru  $\chi$  pro lokalitu Zlín



Obr. 5. Index spolehlivosti  $\beta$  v závislosti na poměru  $\chi$  – porovnání pro všechny uvažované lokality

padesát let [7] (pravděpodobnost poruchy  $P_f$  je přibližně padesátkrát až pětsetkrát vyšší než směrná hodnota  $P_f = 7,2 \times 10^{-5}$  odpovídající  $\beta_t = 3,8$ ). Předchozí předpis tedy nezajišťoval dostatečně spolehlivé konstrukce lehkých střech.

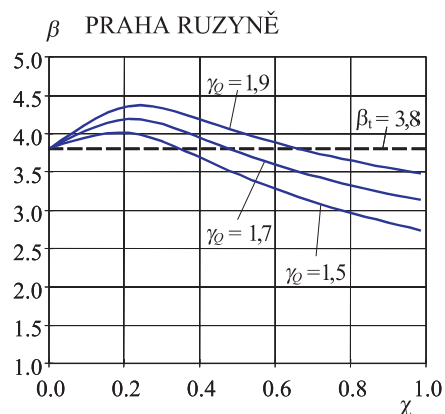
Varianty ČSN Z3 a EN 6.10a,b vedou pro zatěžovací poměr  $\chi$  v očekávaném rozmezí od 0,4 do 0,8 (pro lehké střechy) k indexu spolehlivosti  $\beta$  přibližně 3,8 až 2,8, a tedy k pravděpodobnostem poruchy  $P_f$  vyšším v některých případech přibližně padesátkrát, než je směrná hodnota. Ukazuje se také, že pro konstrukce s převládajícím stálým zatížením ( $\chi \sim 0$ ) vede návrh podle ČSN Z3 k poměrně malé spolehlivosti – index spolehlivosti je  $\beta \sim 3,0$  a pravděpodobnost poruchy  $P_f$  je asi dvacetkrát vyšší než směrná hodnota. Tento poznatek odpovídá výsledkům studií [16] a [17].

Nejvyšší spolehlivosti je dosaženo při návrhu podle varianty EN 6.10. Pro očekávané rozmezí zatěžovacího poměru 0,4 až 0,8 je index spolehlivosti  $\beta$  vyšší o 0,4 až 0,1 v porovnání s ČSN Z3 a EN 6.10a,b.

Poznamenejme, že u všech uvažovaných variant návrhu je patrná významná proměnlivost indexu spolehlivosti  $\beta$  s měnícím se zatěžovacím poměrem  $\chi$ . Například pro EN 6.10 se index spolehlivosti  $\beta$  mění z 3,8 na 4,0, a následně klesá pod 3,0 pro  $\chi = 0,8$ .

Výsledky pravděpodobnostního vyhodnocení meteorologických dat zatížení sněhem na zemi, popsané ve druhém oddílu, naznačují, že charakteristické hodnoty  $s_k$  zavedené Změnami Z1 [4] a Z3 [5], [6] dobře odpovídají teoretickým hodnotám. Pro variantu EN 6.10 je však spolehlivost konstrukce pro vyšší zatěžovací poměry  $\chi > 0,3$  nedostatečná; index

spolehlivosti  $\beta$  významně klesá pod směrnou hodnotu  $\beta_t$ . Tomu lze zabránit zvýšením součinitele zatížení sněhem  $\gamma_Q$ . Obrázek 6 naznačuje vliv součinitele  $\gamma_Q$  na index spolehlivosti  $\beta$  pro lokalitu Praha-Ruzyně, kterou lze považovat za reprezentativní (viz obr. 5). Pro žádoucí zvýšení spolehlivosti lehkých střešních konstrukcí v předpokládaném rozmezí poměru  $\chi$  0,4 až 0,8 by bylo třeba zvýšit hodnoty dílčího součinitele zatížení sněhem  $\gamma_Q$  na 1,7 až 1,9. Poznamenejme, že podobný poznatek se uvádí ve studiích zpracovaných pro kombinaci zatížení sněhem a větrem v šesti lokalitách v Německu [18], [19].



Obr. 6. Vliv součinitele zatížení  $\gamma_Q$  na index spolehlivosti  $\beta$  pro lokalitu Praha-Ruzyně

## Závěry

Z předložené studie spolehlivosti lehkých střech zatížených vlastní tíhou a sněhem lze vyvodit tyto závěry:

- statistický rozbor dostupných měření ve čtyřech vybraných lokalitách v ČR potvrzuje charakteristické hodnoty uvedené v nové mapě sněhových oblastí, která je součástí Změny Z3 ČSN 73 0035 [4], Změny Z1 ČSN P ENV 1991-2-3 [5] a Změny Z1 ČSN EN 1991-1-3 [6];
- modely zatížení sněhem na střeše zavedené Změnami Z3 [4] a Z1 [5], [6] zvyšují výrazně spolehlivost lehkých střech v porovnání s verzí ČSN 73 0035;
- spolehlivost střech navržených pro vlastní tíhu a sníh klesá s rostoucím poměrem charakteristických hodnot zatížení od sněhu a od vlastní tíhy a sněhu;
- index spolehlivosti lehkých střech navržených podle ČSN 73 0035 [1] může v některých případech klesnout až na hodnotu 1,5, což odpovídá vysoké pravděpodobnosti poruchy 0,07;
- index spolehlivosti lehkých střech navržených podle Změny Z3 ČSN 73 0035 [4] a podle dvojice rovnic 6.10a a 6.10b v EN 1990 [7] a ČSN EN 1991-1-3 [6] může v některých případech klesnout pouze na hodnotu 2,8, což odpovídá pravděpodobnosti poruchy 0,003, a tedy stále nedostatečné spolehlivosti;
- nejvyšší spolehlivost je dosaženo při návrhu podle rovnice 6.10 v EN 1990 [7] a ČSN EN 1991-1-3 [6]. Index spolehlivosti je pro lehké střešní konstrukce vyšší přibližně o 0,1 až 0,4 v porovnání s variantami ČSN Z3 a EN 6.10a,b;
- při návrhu lehkých střech se doporučuje zvětšit součinitel proměnného zatížení od sněhu v závislosti na lokálních podmínkách a zatěžovacím poměru charakteristických hodnot zatížení sněhem a celkového zatížení (od stálého zatížení a sněhu) na hodnoty 1,7 až 1,9;
- další kalibrační studie by se měly zaměřit na zpracování operativních normových předpisů pro navrhování lehkých střech na celém území ČR.

**Příspěvek vznikl v rámci řešení projektu č. 103/06/1521 GA ČR „Spolehlivost a hodnocení rizik konstrukcí v extrémních podmínkách“.**

## Literatura

- [1] ČSN 73 0035 Zatížení stavebních konstrukcí. ČNI, 1986.
- [2] ČSN P ENV 1991-2-3 Zásady navrhování a zatížení konstrukcí. Část 2-3: Zatížení konstrukcí – Zatížení sněhem. ČNI, 1997.
- [3] ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem. ČNI, 2005.
- [4] ČSN 73 0035 Zatížení stavebních konstrukcí, Změna Z3. ČNI, 2006.
- [5] ČSN P ENV 1991-2-3 Zásady navrhování a zatížení konstrukcí. Část 2-3: Zatížení konstrukcí – Zatížení sněhem, Změna Z1. ČNI, 2006.
- [6] ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem, Změna Z1. ČNI, 2006.
- [7] ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí, 2004.
- [8] ČSN P ENV 1991-1 Zásady navrhování a zatížení konstrukcí. Část 1: Zásady navrhování, Změna Z1. ČNI, 1997.
- [9] Studničková, M.: Zatížení sněhem na střeších. Stavitel 3/2006.
- [10] Studničková, M.: Aktualizace kapitoly V. Zatížení sněhem ČSN 73 0035 a přílohy 4 – Mapy sněhových oblastí. Stavební listy 11/12, 2006.
- [11] Studničková, M.: ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem a Změna Z3 ČSN 73 0035 Zatížení stavebních konstrukcí. Beton, 6/2006.
- [12] Kučera, V.: Hodně sněhu – hodně stavebních havárií. [Sborník], seminář „Specifikace zatížení při hodnocení existujících konstrukcí“. 2006, Praha, Nakladatelství ČVUT 2006.
- [13] Holický, M. – Marková, J.: Základy teorie spolehlivosti a hodnocení rizik. Praha, Nakladatelství ČVUT 2005, s. 115.
- [14] Snow Loads. Final Report, DGIII-D3, 1999.
- [15] JCSS Probabilistic Model Code, www.jcss.ethz.ch/ 2005
- [16] Holický, M. – Marková, J.: Vliv alternativních postupů v EN 1990 na spolehlivost konstrukcí. Stavební obzor, 11, 2002, č. 2, s. 33–36.
- [17] Holický, M. – Marková, J.: Reliability of Concrete Elements Designed for Alternative Load Combinations Provided in Eurocodes. Acta Polytechnica, Vol. 43, No. 1, 2003, pp. 29–33.
- [18] Schleich, J. B. – Sedlacek, G. – Kraus, O.: Realistic Safety Approach for Steel Structures. Eurosteel, Coimbra, 2002, pp. 1521–1530.
- [19] Sadvský, Z.: On Optimal Reliability-Based Code Calibration – Design Value Format. CTU Reports, Vol. 8, No. 3, 2004, pp. 175–178.

**Holický, M. – Marková, J. – Sýkora, M.: Reliability of Light Roofs Loaded by Snow**

The submitted study is focused on a reliability analysis of light-weight roofs exposed to permanent load and snow. The reliability of roofs designed in accordance with previous ČSN and Eurocodes ČSN EN is compared. Four localities in the Czech Republic, for which probabilistic models are derived from the available data, are considered. It appears that the accepted revision is fully justified and highly needed. For the design of light-weight roofs it is recommended to use the partial factors for the snow load greater than 1,5; depending on local conditions, and the load ratio of the snow load and the total load.

**Holický, M. – Marková, J. – Sýkora, M.: Zuverlässigkeit leichter Dächer unter Schneebelastung**

Die vorliegende Analyse befasst sich mit der Zuverlässigkeit leichter Dächer, die durch ihr Eigengewicht und durch Schnee belastet werden. Es wird die Zuverlässigkeit von nach der vorhergehenden Version der ČSN entworfenen Dächern und von nach den Grundsätzen der eingeführten Eurocodes ČSN EN entworfenen Dächern verglichen. Es werden vier ausgewählte Standorte auf dem Gebiet der Tschechischen Republik in Betracht gezogen, für die Wahrscheinlichkeitsmodelle der Schneebelastung aufgrund zugänglicher Messungen festgelegt werden. Es zeigt sich, dass die durchgeführten Änderungen der Vorschriften berechtigt und höchst notwendig sind. Bei der Planung leichter Dächer empfiehlt es sich, den Koeffizienten der Schneelast in Abhängigkeit von den örtlichen Bedingungen und dem Belastungsverhältnis der charakteristischen Werte der Schneelast und der Gesamtbelastung auf Werte von mehr als 1,5 zu erhöhen.

# Posouzení funkční způsobilosti elastických mostních závěrů

Ing. Bohuslav NOVOTNÝ, DrSc.  
 ČVUT – Kloknerův ústav, Praha

doc. Ing. František LUXEMBURK, CSc.  
 ČVUT – Fakulta stavební, Praha

V článku se analyzuje účinek přejezdu těžkých nákladních vozidel na napjatost a deformace elastického mostního závěru a na základě vztahů DesignGuide2002 se provádí výpočet trvalých deformací. Výsledky přibližné analýzy potvrzují, že materiál je „přetížen“ a k vyjždění kolejí a poruchám spolupůsobení závěru s mostní a vozkovou konstrukcí může dojít již velmi brzy po jeho uvedení do užívání.

## Úvod

Elastický mostní závěr (EMZ) má eliminovat účinky pohybů mostních konstrukcí s hodnotou maximálního pohybu do 50 mm a zabezpečovat vodotěsnost. V praxi je však často pozorováno předčasné porušení těchto konstrukčních prvků – především ztrátou spolupůsobení (odtrhnutím) směsi závěru a přilehlé konstrukce a vyjžděním kolejí těžkými nákladními vozidly. V příspěvku budeme zkoumat vliv tohoto přejezdu využitím relativně jednoduchých matematických modelů, které se standardně uplatňují při posuzování funkčnosti vozovek.

## Vlastnosti materiálů

Napětí v konstrukci elastického mostního závěru, vyvolaná teplotním roztahováním a zkracováním mostní konstrukce, vznikají relativně pomalu. Relaxuje-li materiál závěru obdobně rychle, jak to vyžadují změny teploty, výsledná napětí jsou poměrně malá – proto jsou relaxační vlastnosti směsi EMZ mimořádně důležité. Při poklesu teploty schopnost materiálu relaxovat postupně klesá až k bodu náhlé změny vazkosti směsi  $T_g$  (teplota skelného přechodu). Při této teplotě vazkost a roztažnost materiálu klesá téměř k nule, materiál se stává křehkým a každý dodatečný pohyb způsobí lom – dochází k poruše mostního závěru a ke ztrátě jeho funkční způsobilosti.

V České republice upravují požadavky na EMZ technické podmínky TP80 [2]. Definují požadavky na vstupní materiály směsí, ale nepředepisují metody, které by posoudily vhodnost směsi závěru. Vhodnost směsi v USA pro APJ (Asphalt Plug Joint) se ověřuje zkouškou AASHTO TSRST [1] (Thermal Specimen, Restricted Specimen Test), tj. stanovením teploty skelného přechodu  $T_g$  a času relaxace  $t_{75}$  (doba potřebná pro pokles napětí o 75 %). Styky APJ nesmějí být realizovány v oblastech s teplotami nižšími než  $T_g$ , čas relaxace  $t_{75}$  by měl být kratší než  $t_{B75}$  (Bridge Time Requirement), který představuje časový úsek mezi jednotlivými přírůstky (diskrétního) pohybu mostní konstrukce.

## Vlastnosti směsí

Problematika elastických mostních závěrů je v zahraničí (zejména v USA) rozpracována podstatně detailněji než v ČR. Podrobnější informace o vlastnostech používaných materiálů musíme proto hledat v zahraniční literatuře (zejména o vyjždění kolejí při vyšších teplotách). Podle zprávy [1] byly ověřovány směsi amerických výrobců, a to z hledisek, která jsou důležitá pro správnou funkci závěru. Výsledky zkoušek výrobků firem PAVETECH, WBA (Watson, Bowman, Acme) a KL (Koch/LDI) pro teploty, které jsou pro posouzení účinků pojezdu těžkými nákladními vozidly nejzávažnější, uvádí tab. 1. Sloupce 3 až 5 uvádějí výsledky v tahu – modul pružnosti  $E_b$ , napětí na mezi průtažnosti  $\sigma_y$  a deformaci  $\varepsilon_y$  odpovídající mezi průtažnosti. Další hodnoty charakterizují schopnost adheze pojiva směsi závěru v kontaktu s betonovou mostní deskou a přilehlou vozovkou – zkouškou v přímém tahu bylo zjištěno mezní normální kontaktní napětí  $\sigma_{b,n}$  a smykovou zkouškou smykové mezní kontaktní napětí  $\sigma_{b,t}$ . V posledním sloupci je uveden modul tuhosti (rezilientní modul)  $M_r$  směsi (zkouška v nepřímém tahu).

Tab. 1. Charakteristiky materiálů elastického mostního závěru

Teplota [°C]	Materiál	$E_b$	$\sigma_y$	$\varepsilon_y$	$\sigma_{b,n}$	$\sigma_{b,t}$	$M_r$
		[MPa]			[MPa]		
21	P	1,3	0,027	0,020	0,067	0,110	15,7
	WBA	4,6	0,130	0,029	0,09	0,130	8,9
	KL	1,5	0,044	0,030	0,098	0,076	14,7
4,4	P	9,3	0,130	0,014	0,220	0,210	94,8
	WBA	14,0	0,180	0,018	0,260	0,330	27,7
	KL	7,8	0,150	0,019	0,190	0,220	56,3

P – Pavetech; WBA – Watson, Bowman, Acme; KL – Koch/LDI

Tab. 2. Charakteristiky směsi závěru stanovené v laboratoři ČVUT

Teplota [°C]	$E$ [MPa]	$F_{b,t}$ ( $\sigma_{b,t}$ ) [kN, MPa]	$M_r$ [MPa]
20	–	17,0 (0,962)	–
5	–	35,0 (1,981)	–
-10	80	–	1 230,0
-20	250	53,0 (2,999)	2 640,0

Experimentální výzkum vlastností závěrů používaných v ČR byl v omezeném rozsahu proveden i v Silniční laboratoři ČVUT. Uplatnění standardních zkoušek pro tyto nestan-

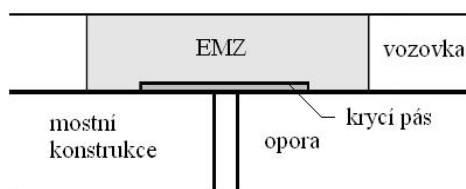
dardní směsi naráželo při vyšších teplotách na značné problémy. Ze získaných výsledků základních materiálových vlastností směsi uvádíme v tab. 2 modul tuhosti pojiva  $E$ , modul tuhosti směsi (rezilientní modul)  $M_r$  a smykovou sílu  $F_{b,r}$  na mezi porušení styku závěru a standardní asfaltové směsi ve smykové zkoušce spojení vrstev ( $\sigma_{b,r}$  představuje smykové napětí odpovídající síle  $F_{b,r}$  za předpokladu rovnoměrného rozdělení napětí na ploše styku vrstev).

### Analýza funkčnosti

Při návrhu závěru je nutné přihlížet k chování vybrané směsi. Materiál styku musí být poddajný (vazký), aby se přizpůsobil deformacím vyvolaným teplotně podmíněnými pohyby mostní konstrukce. Při nadměrné vazkosti však dochází k nežádoucímu tečení směsi, k separaci kameniva a vyjíždění kolejí těžkými nákladními vozidly. Zaměříme se na tyto účinky a budeme sledovat napětí, deformace při simulaci přejezdu a možnosti vzniku trvalých deformací. Získání těchto informací je náročné, reálnou situaci (schematicky znázorněnou na obr. 1) budeme proto modelovat zjednodušeně. Geometrii závěru budeme uvažovat v podobě, kterou americké zdroje považují za optimální: šířka 500 mm, tloušťka 5 cm. Uvažujeme účinek dvojmontáže standardní nápravy 100 kN – dvě kruhová zatížení o poloměru 12,03 cm, rovnoměrné svislé intenzity 0,55 MPa a vzdálenost středů pneumatik 34,4 cm. Výpočtovým modelem je dvousložkový systém:

- vrstva (popř. deska) EMZ s moduly pružnosti 20 MPa (odpovídající teplotě 21 °C) a 100 MPa (4,4 °C), Poissonovo číslo uvažujeme hodnotou 0,5;
- poloprostor s materiálovými parametry betonové konstrukce mostovky ( $E_c = 37,5$  GPa,  $\nu_c = 0,2$ ).

Zanedbáme tedy vliv kovového krycího pásu zajišťujícího uzavření dilatační mezery a přenášejícího svislé napětí do podkladní konstrukce. Rovněž zanedbáme vliv dalších podrobností geometrie prostoru, který závěr vyplňuje. Předběžné výpočty přitom naznačují, že tuhost podkladu nemá na veličiny důležité pro posouzení jeho funkce zásadní vliv.



Obr. 1. Schéma elastického mostního závěru

### Spolupůsobení s konstrukcí

Působení elastického mostního závěru při přejezdu těžkými nákladními vozidly v této části simulujeme modelem tenké pružné desky, která spolupůsobí s podkladní mostní konstrukcí a na bocích s mostní vozovkou. Kontakt s mostní konstrukcí je považován za dokonalý, pokud svislé tahové kontaktní napětí je menší než pevnost spoje EMZ/mostní konstrukce. „Desku EMZ“ analyzujeme metodou konečných prvků [3], v důsledku lokálních účinků těžkých nákladních vozidel (rychlé odeznívání efektu se vzdáleností) uvažujeme pouze segment EMZ 0,5 × 1,5 m podle obr. 2 a pohyb dvojmontáže standardní nápravy 100 kN simulujeme několika polohami zatížení ( $0 \leq x_L \leq 0,18$  m), simulace začíná „okrajovou polohou“ středů zatížení  $x_L = 0$ .

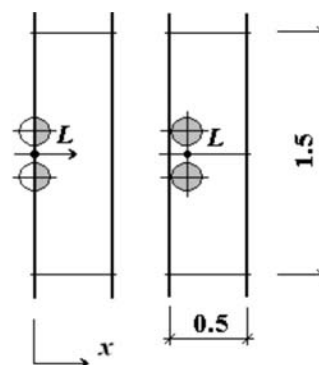
Výsledky zjednodušené simulace uvádí tab. 3. Zjednodušení se týká především způsobu interakce desky závěru s přílehlou konstrukcí – symbolem  $V$  označujeme předpoklad volného okraje desky (situace vznikne po jeho odtrhnutí od konstrukce vozovky),  $R$  označuje případ s omezenou deformací okraje (verze posuvného kontaktu s podmínkou  $\partial^2 w / \partial y^2 = 0$  na okraji  $x = 0$ ) umožňující svislé posuny jeho okraje. Dále symbol  $O$  označuje předpoklad oboustranného kontaktu desky závěru s podkladní mostní konstrukcí (nedochází k jeho odtrhnutí, styk přenáší i tahová kontaktní napětí) a  $J$  jednostranný kontakt s možností odtrhnutí závěru od mostní konstrukce (pouze za negativních – tlakových kontaktních napětí). Veličina  $\sigma_{okraj}$  představuje normální okrajové napětí vyvolané posuvným vetknutím závěru (model  $R$ ), napětí  $\sigma_{kont}$  označuje tahové normální napětí na styku s mostní konstrukcí, které může vzniknout pouze za předpokladu oboustranného kontaktu. Tabulka 3 ukazuje, že napětí  $\sigma_{okraj}$  i  $\sigma_{kont}$  nabývají hodnot, které přesahují adhezní pevnost  $\sigma_{b,n}$  z tab. 1.

Tab. 3. Výsledky výpočtu za předpokladu kontaktu desky závěru a mostní konstrukce

Veličina	Typ výpočtu	$E = 20$ MPa (21,0 °C)	$E = 100$ MPa (4,4 °C)
$\sigma_{okraj, max}$ [MPa]	$R/O$	0,357	0,357
	$R/J$	0,663	0,663
$\sigma_{kont, max}$ [MPa]	$V/O$	0,734	0,727
	$R/J$	0,734	0,727
$\sigma_h, max$ [MPa]	$V/O$	0,363	0,362
	$V/J$	1,018	1,018
$w_{max}$ [mm]	$V/O$	0,396D-02	0,396D-02
	$V/J$	-4,247	-0,850

$V$  – okraj volný,  $R$  – posuvně vetknutý,  $J$  – jednostranný,  $O$  – oboustranný

Maximální horizontální napětí  $\sigma_h$  materiálu závěru a průhyby  $w$  uvádí tab. 3. Výsledky výpočtu za předpokladu jednostranného kontaktu  $J$  naznačují, že při odtrhnutí závěru se vytvoří hrb (záporné průhyby) s následným značným zvýšením horizontálních tahových napětí.



Obr. 2. Simulace pohybu dvojmontáže standardní nápravy 100 kN [m]

Výsledky předchozích výpočtů doplníme zpřesněnou analýzou vlivu podmínek na bočním styku desky závěru s konstrukcí vozovky: na okraji  $x = 0$  určujeme okrajové síly a

okrajové momenty (dvojice sil) tak, aby byly splněny podmínky vetknutí – nulové průhyby a nulové natočení okrajového průřezu desky. Uvažujeme pouze „okrajovou“ polohu dvojmontáže  $x_L = 0,1203$  m na rozdíl od výsledků *tab. 3*, které představují maximální hodnoty v intervalu  $0 \leq x_L \leq 0,18$  m.

Tab. 4. Maximální napětí při vetknutí závěru na styku s konstrukcí vozovky

Napětí [MPa]	Okrajové podmínky	$E = 20$ MPa (21,0 °C)	$E = 100$ MPa (4,4 °C)
$\sigma_{okraj, max}$	CE	0,205	0,216
$\sigma_{h, max}$		0,859	0,905
$\sigma_{h, max}$	FE	0,407	0,408
$\sigma_{okraj, max} = \sigma_{h, max}$	RE	0,513	0,513

CE – napětí za vetknutí okraje, FE – u volného okraje, RE – za posuvného vetknutí okraje

Maximální kontaktní napětí při vetknutí okraje a pro porovnání horizontální napětí u volného okraje s cílem prokázat, že odtrhnutí závěru (ztráta kontaktu) vede k menšímu horizontálnímu napětí s nekontrolovatelným růstem deformací (tvorba hrubů), uvádí *tab. 4*. Pro porovnání jsou zde uvedena i okrajová napětí za posuvného vetknutí okraje – maximální hodnoty představují přibližně průměr při úplném vetknutí okraje.

#### Výpočet trvalých deformací

V této části modelujeme závěr jako pružnou vrstvu v dokonalém kontaktu s pružným poloprostorem, který má materiálové parametry betonu mostovky. Na tuto soustavu působí dvě kruhová zatížení modelu dvojmontáže a tloušťku vrstvy závěru uvažujeme ve dvou verzích: 5 cm a 10 cm. Výsledky výpočtu jsme shrnuli v *tab. 5* včetně veličin důležitých pro posouzení mechanického působení závěru. Vrstva materiálu tl. 10 cm lépe roznáší zatížení, proto je smykové napětí  $\tau_{xz}$  na styku s podkladní konstrukcí menší než u vrstvy tl. 5 cm, menší je i pravděpodobnost ztráty pevného kontaktu vrstvy závěru a podkladní konstrukce. Větší jsou i vodorovné deformace  $\varepsilon_h$  a svislé deformace  $\varepsilon_z$ . Vodorovné deformace přitom ovlivňují únavovou výkonnost (životnost) závěru. Vysoké hodnoty deformací  $\varepsilon_z$  při vyšších teplotách jsou nebezpečné z hlediska možnosti vzniku a rozvoje trvalých deformací.

Tab. 5. Napětí a deformace dvouvrstvého systému od účinku standardní nápravy 100 kN

Veličina	Místo	Vrstva EMZ $h$ [cm]	20 MPa (21,0 °C)	100 MPa (4,4 °C)
$\tau_{xz}$ [MPa]	$z = h$	5	0,1823	0,1822
		10	0,1200	0,1200
$\varepsilon_h \cdot 10^2$	$z = h/2$	5	0,5600	0,1051
		10	0,7425	0,1484
$\varepsilon_z \cdot 10^2$	$z = h/2$	5	-0,9411	-0,1749
		10	-1,3592	-0,2669

Výpočet trvalých deformací provedeme podle americké návrhové metody Design Guide2002 [4]. Celková trvalá

deformace, vyjádřená hloubkou vyjeté koleje  $d_{rut}$  v asfaltové vrstvě rozdělené na  $n$  vrstev, představuje součet trvalých deformací generovaných v jednotlivých vrstvách

$$d_{rut} = \sum_{i=1}^n \varepsilon_p^{(i)} h_i, \quad (1)$$

kde  $\varepsilon_p^{(i)}$  je celková plastická deformace ve vrstvě  $i$  a  $h_i$  je tloušťka vrstvy  $i$ . Plastická deformace  $\varepsilon_p^{(i)}$  se určuje na základě vztahu DesignGuide2002 [4] v závislosti na velikosti pružné deformace vyvolané opakovaně účinky standardního zatížení – budeme přitom používat výsledný model

$$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_r} = k_1 10^{-34488} T^{15606} N^{0479244}, \quad (2)$$

kde  $\varepsilon_p$  je plastická deformace nahromaděná po  $N$  opakovaných zatížení,

- $\varepsilon_r$  – pružná deformace (resilient strain),
- $N$  – počet opakování zatížení,
- $T$  – teplota ve stupních Farenheita [°F],
- $k_1$  – parametr hloubky.

Parametr hloubky  $k_1$  je funkcí celkové tloušťky  $h_{ac}$  asfaltových vrstev a hloubky  $z$ , ve které plastickou deformaci zjišťujeme

$$\begin{aligned} k_1 &= 0,328196^z \times (C_1 + C_2 z), \\ C_1 &= -0,1039 h_{ac}^2 + 2,4868 h_{ac} - 17342, \\ C_2 &= 0,0172 h_{ac}^2 - 1,7331 h_{ac} + 27,428. \end{aligned} \quad (3)$$

Vztahy (1) až (3) vycházejí z výsledků měření in-situ se zaměřením na standardní asfaltové směsi. Při posuzování trvalých deformací směsi závěru s extrémně nízkými hodnotami modulu tuhosti je tuto skutečnost třeba vést v patrnosti. Při výpočtu trvalých deformací podle vztahů (1) až (3) jde již o značnou extrapolaci mimo interval kalibračních hodnot, nicméně výpočty mohou poskytnout cenné informace o vlivu jednotlivých veličin na průběh formování trvalých deformací. Při výpočtech podle (1) jsme vrstvu materiálu závěru v případě celkové tloušťky 5 cm rozdělili na vrstvy 3 + 1 + 1 cm a v případě celkové tloušťky 10 cm na vrstvy 4 + 2 + 2 + 2 cm. Výsledky z *tab. 6* dávají za pravdu zahraničním zkušenostem, že za optimální je považována tloušťka 5 cm. Závěr tloušťky 10 cm,

Tab. 6. Hloubka kolejí drut podle vztahů (1) až (3) předpisu [4]

$N$	$h$ [cm]	$T = 21,0$ °C (20 MPa)	$T = 4,4$ °C (100 MPa)
102	5	0,1890	0,0158
	10	0,7689	0,0642
103	5	0,5699	0,0476
	10	2,3179	0,1937
104	5	1,7181	0,1435
	10	6,9876	0,5838
106	5	–	1,3041
	10	–	5,3057



doporučený TP80 [2], generuje podstatně větší hloubku vyjetých kolejí. I když hodnoty podle vztahů (1) až (3) lze považovat v důsledku extrapolace do jisté míry za nadhodnocené, je zřejmé, že při vyšších teplotách jsou závěry v důsledku nízké tuhosti náchylné k nadměrné tvorbě trvalých deformací i při menším provozu těžkých nákladních vozidel. Tyto výsledky jsou ve shodě s pozorováním stavu již realizovaných závěrů [5] a potvrzují i závěry práce [1].

### Závěr

V příspěvku jsme uplatnili zjednodušené modely funkce elastického mostního závěru k přibližné analýze jeho napjatosti a deformace při přejezdu těžkými nákladními vozidly a k odhadu tvorby trvalých deformací. Výsledky naznačují, že materiál závěru je těmito přejezdy nadměrně namáhán. Při ověřování trvalých deformací jsme extrapolovali použití vztahů návrhové metody [4], které byly odvozené pro standardní asfaltové směsi. Pro směsi s velmi malou tuhostí při vyšších teplotách indikují malou odolnost proti vzniku a rozvoji trvalých deformací. Vztahy (1) až (3), uplatněné při určování hloubky vyjetých kolejí, by mohly být použity jako základ pro úpravu výpočtového postupu na základě dlouhodobého monitorování funkce realizovaných elastických mostních závěrů.

Novotný, B. – Luxemburk, F.: Assessment of Serviceability of Asphaltic Plug Joints

In the paper, the effect of heavy vehicle loads on stress and deformation state of asphaltic plug joints (APJ) is addressed using approximate methods. Then the DesignGuide2002 formulae are used to determine the APJ rutting. The computations indicate that the material is overstressed and overstrained, which may result in excessive premature distress formation.

Novotný, B. – Luxemburk, F.: Beurteilung der Funktionsfähigkeit elastischer Fahrbahnübergangskonstruktionen an Brücken

Im Artikel wird die Wirkung des Befahrens mit schweren LKW auf den Spannungszustand und die Verformung einer elastischer Fahrbahnübergangskonstruktionen an Brücken analysiert und aufgrund der Beziehungen des DesignGuide2002 eine Berechnung der bleibenden Verformungen durchgeführt. Die Ergebnisse der Annäherungsanalyse bestätigen, dass das Material "überlastet" wird und es bereits sehr bald nach der Inbetriebnahme zur Spurrinnenbildung und zu Störungen des Zusammenwirkens der Übergangskonstruktion mit der Brücken- und Fahrbahnkonstruktion kommen kann.

Příspěvek byl vypracován v rámci projektu č. 103/04/0581 GA ČR.

### Literatura

- [1] Bramel, B. K. – Dolan, C. W. – Puckett, J. A. – Ksaibati, K.: Asphalt Plug Joints – Material Characterization and Specifications. [Final Report], University of Wyoming, Laramie, 1999.
- [2] TP80 – Elastický mostní závěr. [Technické podmínky], Ministerstvo dopravy ČR, Praha, 2003.
- [3] Novotný, B.: Contact Problem in Design of Concrete Roads. Building Research Journal, **49**, 2001, No. 3, pp. 181–195.
- [4] Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures. [Final Report, NCHRP Project 1-37A], Transportation Research Board, National Research Council, 2004.
- [5] Diagnostický průzkum stávajících elastických mostních závěrů PK. [Zpráva], Mostní vývoj, s. r. o., Brno, 2005.

**Valeš M.**

### Inteligentní dům

ERA, Brno, 2006, 136 s., barevná příloha, brožovaná, cena 131 Kč

Co je to inteligentní dům a jaké výhody přináší svým obyvatelům? Odpovídá zkušený autor, který se zabývá jejich projektováním a instalacemi. Dozvíte se, jak inteligentní dům dosahuje úspor energií potřebných pro provoz domu. Seznámíte se s jeho vybavením – co vše lze integrovat a automatizovat (osvětlení, topení, klimatizace, bezpečnostní systém, stínící technika, telefony, audio/videotechnika atd.). Zjistíte, jakými způsoby vše společně jednoduše ovládat a nainstalovat tak, aby kabelové rozvody a technika nerušila design interiéru. Na rozdíl od ostatních knih na toto téma, které se věnují téměř výhradně inteligentní elektroinstalaci, je kladen důraz na vzájemné propojení a řízení veškeré elektroniky v domě včetně domácího kina a multi-room audio/videosystémů.

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

# ROADWARE 2007

13. mezinárodní silniční veletrh

22. – 24. května

Průmyslový palác na Výstavišti Praha

## Využití homogenizačních principů při kalibraci metody TDR

Ing. Zbyšek PAVLÍK, Ph. D.

Ing. Lukáš FIALA

prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.

ČVUT – Fakulta stavební, Praha

prof. Henryk SOBCZUK, DrSc.

Ing. MSc. Zbigniew SUCHORAB

Lublin University of Technology, Lublin

V článku je řešen problém kalibrace metody TDR (Time Domain Reflectometry) pro měření obsahu vlhkosti stavebních materiálů jak standardní gravimetrickou metodou, tak metodou empirickou a metodami založenými na dielektrických směšovacích modelech odvozených na základě homogenizačních principů. Analýza experimentálně stanovené kalibrační křivky slouží jako kritérium pro posouzení vhodnosti a aplikovatelnosti jednotlivých modelů.

### Úvod

V současnosti existuje mnoho metod, které mohou být aplikovány jak v laboratoři, tak na místě stavby, např. při stavebně technickém průzkumu. V laboratořích se setkáme nejčastěji s přesnými a nákladnými zařízeními, pracujícími např. na principu útlumu  $\gamma$ -záření [1], [2], [3], na principu jaderné magnetické rezonance [4], [5] a rentgenové radiografie [6]. Přestože přesnost těchto metod je nezpochybnitelná, jsou většinou použitelné pouze pro laboratorní měření. V praxi se používají méně přesné metody, založené např. na zjištění elektrického odporu či kapacity kondenzátoru, kde měřeným dielektrikem je vlhký materiál [7]. Přesnost totiž značně závisí na vodivosti roztoku v pórech, tzn. především na obsahu iontů solí v konstrukci či materiálu.

Metoda TDR, o které jsme již referovali v pracích [8], [9], umožňuje v závislosti na typu senzorů velmi přesné laboratorní měření, ale i měření in-situ, a to i ve značně zasolených materiálech. Její univerzálnost je důvodem, proč se nyní podrobnou kalibrací zabýváme. S principem a technologií měření se může čtenář seznámit v pracích [8], [9], kde jsme podrobně rozvedli postup měření včetně základní kalibrace senzorů a jejich osazení do materiálu. V tomto článku jsme se zaměřili na evaluaci vlhkosti z naměřených hodnot relativní permitivity, což považujeme za klíčový krok pro univerzální využití metody TDR k měření vlhkosti stavebních materiálů s často velmi odlišnou vnitřní strukturou.

### Experiment

Kalibrační měření byla provedena na vzorcích pórobetonu polské firmy PPH FAELBED zařízením LOM/RS/6/mps firmy Easy Test [10], pracujícím na principu TDR. Laboratorní sondy typu LP/ms stejného výrobce mají dva hroty o délce 53 mm,  $\varnothing$  0,8 mm, vzdálenost hrotů je 5 mm. Přesnost rozlišení senzorů udávaná výrobcem je  $\pm 0,1$  % z naměřeného obsahu vlhkosti.

U pórobetonu je často diskutována závislost trvanlivosti a pevnosti na vlhkosti, zejména při cyklickém vlhčení a vysoušení. Jelikož aplikace homogenizačních metod je podmíněna znalostí základních materiálových parametrů, provedli jsme měření celkové otevřené pórovitosti, objemové hmotnosti, hustoty matrice a nasyceného obsahu vlhkosti na principu vakuové nasákavosti s využitím Archimédovy hmotnosti [11]. Výsledky zjištěných materiálových parametrů jsou uvedeny v tab. 1.

Tab. 1. Základní materiálové parametry studovaného pórobetonu

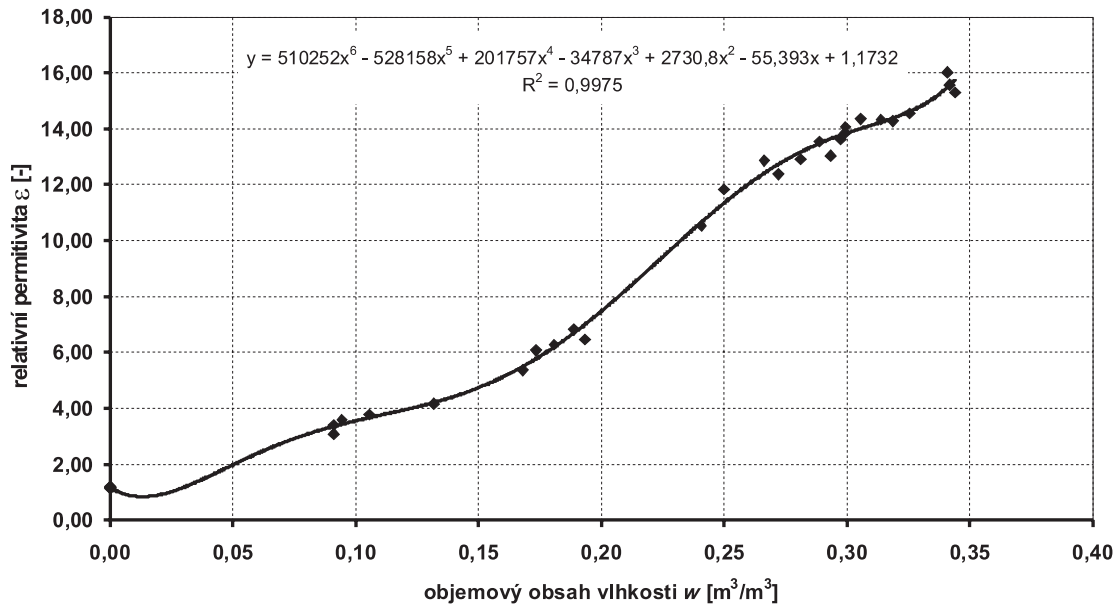
Celková otevřená pórovitost	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,77
Objemová hmotnost		480
Hustota matrice	[kg/m <sup>3</sup> ]	2 060
Nasycený obsah vlhkosti		768

Do vzorků o rozměrech 40 x 40 x 100 mm bylo nejprve nutné vyvrtat dva paralelní otvory pro osazení senzorů a jejich horní části následně utěsnit silikonovým tmelem. Jednotlivé vzorky byly částečně nasyceny vodou a parotěsně utěsněny. Vlhkost se monitorovala měřením relativní permitivity metodou TDR až do ustálení. Po ustálení permitivity, a tím vlastně i vlhkosti, byl experiment přerušen a vlhkost v jednotlivých vzorcích stanovena gravimetrickou metodou. Z hodnot relativní permitivity a odpovídajících hodnot gravimetrické vlhkosti byla vytvořena kalibrační křivka (obr. 1).

### Empirické konverzní funkce

Jak jsem již uvedli, pro stanovení závislosti obsahu vlhkosti na relativní permitivitě je možné použít destruktivní gravimetrickou metodu, která je velmi oblíbená pro kalibraci či ověřování metod měření vlhkosti. Tento způsob je nejen časově náročný, ale dalším základním nedostatkem takto stanovené kalibrační křivky je její omezení pouze na jednotlivý materiál. Cílem je najít či navrhnout vhodný kalibrační model pro celou škálu stavebních hmot, nezávisle na jejich vnitřní struktuře. Jednou z možností je využití empirických konverzních funkcí. Můžeme je stanovit např. gravimetrickou kalibrací a na základě jejich průběhu pro různé typy a skupiny materiálů rozhodnout, pro jaké materiály s podobnými či do jisté míry shodnými vlastnostmi jsou použitelné. Tento způsob kalibrace metody TDR se osvědčil v půdních vědách, kde se často setkáváme s empirickými křivkami navrženými Toppem [12] či Malickim [13]. Platnost těchto empirických kalibračních křivek, které jsou definovány vztahy (1) a (2)

$$\theta = -5,3 \cdot 10^{-2} + 2,92 \cdot 10^{-2} \cdot \varepsilon_{\text{eff}} - 5,5 \cdot 10^{-4} \cdot \varepsilon_{\text{eff}}^2 + 4,3 \cdot 10^{-6} \cdot \varepsilon_{\text{eff}}^3, \quad (1)$$



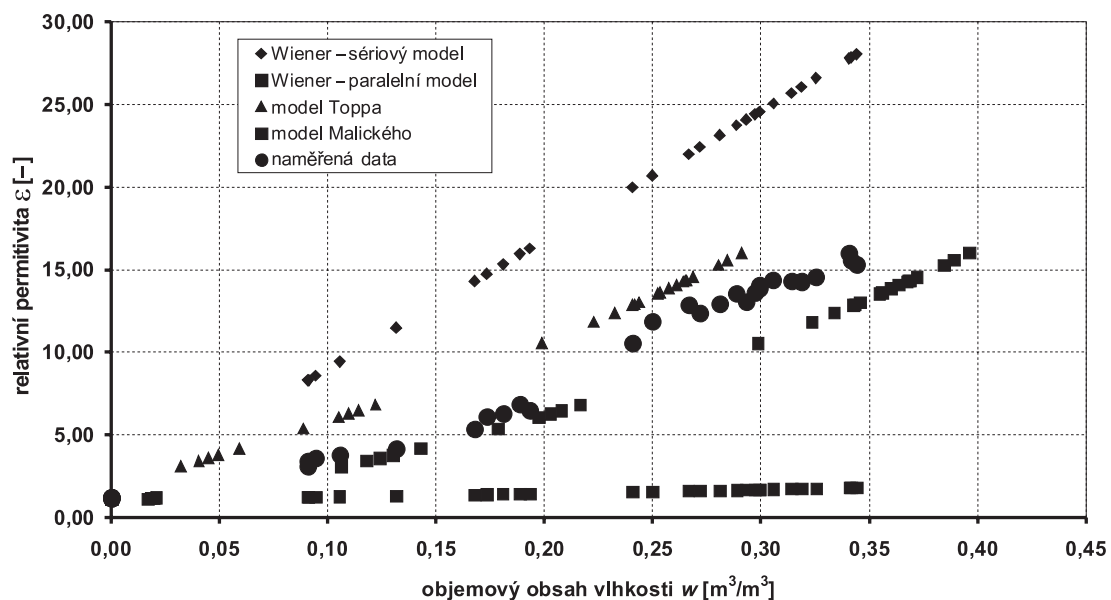
Obr. 1. Empirická kalibrační křivka stanovená gravimetricky

$$\theta = \frac{\sqrt{\varepsilon_{\text{eff}}} - 0,819 + 0,168 \cdot \rho - 0,159 \cdot \rho^2}{7,17 + 1,18 \cdot \rho}, \quad (2)$$

kde  $\varepsilon_{\text{eff}}$  je relativní permitivita,  $\theta$  [ $m^3/m^3$ ] objemový obsah vlhkosti a  $\rho$  objemová hmotnost, jsme ověřili i pro pórobeton. Přestože se někteří autoři domnívají, že tyto metody je možné aplikovat univerzálně [14] pro veškeré porézní materiály, je zřejmé, že pro námi studovaný pórobeton selhaly, což potvrzují výsledky prezentované na obr. 2. Protože si uvědomujeme časovou náročnost empirické kalibrace, která by musela být provedena pro celou řadu materiálů, využili jsme pro stanovení závislosti změřené relativní permitivity na vlhkosti dielektrické směšovací modely, vycházející z principů homogenizace.

### Dielektrické směšovací modely

Ve smyslu homogenizační teorie můžeme porézní materiál obecně považovat za směs tří fází – pevné, kapalné a plynné. V případě pórobetonu je pevná fáze tvořena jemně mletým křemenným pískem, páleným vápnem, cementem a hliníkovým práškem. Kapalná fáze je reprezentována vodou a plynná fáze vzduchem. V případě, že materiál je suchý, uvažujeme jeho strukturu pouze jako směs pevné a plynné fáze. Objemová frakce vzduchu, který vyplňuje póry suchého materiálu, je definována jeho otevřenou pórovitostí. Při pronikání vody do materiálu dojde k částečnému vytlačení vzduchu z pórů a k jeho nahrazení vodou. Chceme-li tedy spočítat jeho relativní permitivitu, musíme nejprve znát permitivitu jeho jednotlivých složek. V našem případě jsme relativní permitivitu matrice pórobetonu  $\varepsilon_s$  spočítali na základě permitivity suchého vzorku materiálu  $\varepsilon_{\text{eff,d}}$ . Hodnota  $\varepsilon_s$  byla



Obr. 2. Závislost relativní permitivity na vlhkosti stanovená empirickými konverzními funkcemi Toppa a Malického

určena pomocí Rayleighova vztahu [15]

$$\frac{\varepsilon_{\text{eff}} - 1}{\varepsilon_{\text{eff}} + 2} = f_s \left( \frac{\varepsilon_s - 1}{\varepsilon_s + 2} \right) + f_a \left( \frac{\varepsilon_a - 1}{\varepsilon_a + 2} \right), \quad (3)$$

kde  $f_s$  a  $f_a$  jsou objemové podíly pevné a plynné fáze v materiálu a  $\varepsilon_a$  relativní permitivita vzduchu (1,0).

Prvním analyzovaným směšovací modelem byl čtyřfázový model, navržený Dobsonem a kol. [16], který je definován vztahem

$$\theta = \frac{\varepsilon_{\text{eff}}^\alpha - \theta_{bw}(\varepsilon_{bw}^\alpha - \varepsilon_{fw}^\alpha) - (1 - \psi)\varepsilon_s^\alpha - \psi\varepsilon_a^\alpha}{\varepsilon_{fw}^\alpha - \varepsilon_a^\alpha}, \quad (4)$$

kde  $\varepsilon_{\text{eff}}$  je relativní permitivita materiálu naměřená metodou TDR,  $\theta$  objemový obsah vlhkosti [ $\text{m}^3/\text{m}^3$ ],  $\theta_{bw}$  množství vázané vody na stěnách porézního prostoru,  $\varepsilon_{bw}$  relativní permitivita vázané vody,  $\varepsilon_{fw}$  relativní permitivita volné vody (79 při 20 °C),  $\varepsilon_a$  relativní permitivita vzduchu,  $\psi$  celková otevřená pórovitost ( $0,77 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ) stanovená pomocí vakuové nasákovosti a  $\alpha$  empirický parametr.

Druhým směšovacím modelem je model de Loora [17] definovaný vztahem

$$\theta = \frac{3(\varepsilon_s - \varepsilon_{\text{eff}}) + 2\theta_{bw}(\varepsilon_{bw} - \varepsilon_{fw}) + 2\psi(\varepsilon_a - \varepsilon_s)}{\varepsilon_{\text{eff}} \left( \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_{fw}} - \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_a} \right) + 2(\varepsilon_a - \varepsilon_{fw})} + \frac{\varepsilon_{\text{eff}}\theta_{bw} \left( \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_{fw}} - \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_{bw}} \right) - \varepsilon_{\text{eff}}\psi \left( \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_a} - 1 \right)}{\varepsilon_{\text{eff}} \left( \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_{fw}} - \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_a} \right) + 2(\varepsilon_a - \varepsilon_{fw})}. \quad (5)$$

Dalším byl model Boettchera [18], který popisuje rovnice

$$\frac{\varepsilon_{\text{eff}} - 1}{\varepsilon_{\text{eff}} + 2\varepsilon_{\text{eff}}} = f_a \left( \frac{\varepsilon_a - 1}{\varepsilon_a + 2\varepsilon_{\text{eff}}} \right) + f_w \left( \frac{\varepsilon_w - 1}{\varepsilon_w + 2\varepsilon_{\text{eff}}} \right) + f_s \left( \frac{\varepsilon_s - 1}{\varepsilon_s + 2\varepsilon_{\text{eff}}} \right). \quad (6)$$

Použili jsme také tři homogenizační vztahy Bruggemana typu, navržené Polderem a van Santenem [19]. V prvním z těchto vztahů autoři předpokládali sférické uspořádání jednotlivých složek tvořících strukturu materiálu, druhý vztah reprezentuje jehlicovité uspořádání, třetí plošnou orientaci komponent. Tyto vztahy jsou vyjádřeny rovnicemi

$$\varepsilon_{\text{eff}} = \varepsilon_s + \sum f_j (\varepsilon_j - \varepsilon_s) \cdot \frac{3\varepsilon_{\text{eff}}}{2\varepsilon_{\text{eff}} + \varepsilon_j}, \quad (7)$$

$$\varepsilon_{\text{eff}} = \varepsilon_s + \sum f_j (\varepsilon_j - \varepsilon_s) \cdot \frac{5\varepsilon_{\text{eff}} + \varepsilon_j}{3\varepsilon_{\text{eff}} + 3\varepsilon_j}, \quad (8)$$

$$\varepsilon\varepsilon_{\text{eff}} = \varepsilon_s + \sum f_j (\lambda_j - \lambda_M) \cdot \frac{2\varepsilon_j + \varepsilon_{\text{eff}}}{3\varepsilon_j}, \quad (9)$$

kde  $f_j$  je objemový podíl vzduchu nebo vody,  $\varepsilon_j$  relativní permitivita vzduchu nebo vody.

Podle Wienera [20] musí jakýkoli vícefázový kompozit splňovat podmínky horní

$$\varepsilon_{\text{eff}} = \frac{1}{\frac{f_1}{\varepsilon_1} + \frac{f_2}{\varepsilon_2} + \frac{f_3}{\varepsilon_3}} \quad (10)$$

a dolní meze

$$\varepsilon_{\text{eff}} = f_1\varepsilon_1 + f_2\varepsilon_2 + f_3\varepsilon_3 \quad (11)$$

funkce efektivní permitivity, která leží mezi těmito dvěma hranicemi. Zde jsme Wienerovy meze použili pro ověření získaných výsledků.

Posledním ze sledovaných vztahů a modelů byla funkce efektivní permitivity navržená Lichteneckerem [21], který předpokládal, že splňuje podmínku definovanou rovnicí

$$\varepsilon_{\text{eff}}^k = f_1\varepsilon_1^k + f_2\varepsilon_2^k + f_3\varepsilon_3^k, \quad (12)$$

kde parametr  $k$  nabývá hodnot v intervalu [-1, 1]. Extrémní hodnoty parametru  $k$  reprezentují tedy Wienerovy meze. Parametr  $k$  popisuje přechod od anizotropie při  $k = -1,0$  k anizotropii při  $k = 1,0$ . Lichteneckerova rovnice (12) je však aplikovatelná i pro izotropní materiály. Je vhodné zmínit, že je konzistentní s mnoha dalšími aproximacemi, např. Looyenga [22] zavádí ve svých výpočtech funkce efektivní permitivity  $k = 1/3$ .

## Výsledky a diskuze

Výsledky empirické kalibrace závislosti objemového obsahu vlhkosti na změřené relativní permitivitě jsou uvedeny na obr. 1. Získaná data jsme proložili polynomicke funkcí, kterou můžeme považovat za empirickou kalibrační křivku se spolehlivostí  $R^2 = 0,9913$ . Obrázek 2 popisuje výsledky získané aplikací empirických vztahů Toppa a Malického. Je zřejmé, že hodnoty vypočtené pomocí Toppovy polynomicke funkce jsou systematicky vyšší než experimentální data. Můžeme však také pozorovat relativně dobrou shodu experimentálně stanovených dat s výsledky Malického funkce v rozsahu vlhkosti do  $0,20 \text{ m}^3/\text{m}^3$ . Pro větší obsah vlhkosti je však i tato funkce nevhodná. Toto zjištění nepřekvapuje, neboť obě funkce byly původně navrženy pro aplikaci v půdních vědách. Zatímco pro většinu půd je charakteristická malá hygroskopičnost, mnoho stavebních materiálů, např. pórobeton, je značně hygroskopických. Pro tyto materiály se zmíněné metody jeví jako nevhodné. V případě, že je aplikujeme, je nutné vždy ověřit jejich přesnost, např. empirickou kalibrací. Pro ověření platnosti prezentovaných výsledků uvádíme i Wienerovy meze.

Výsledky vypočtené Dobsonovým čtyřfázovým modelem jsou pro různé hodnoty empirického parametru a vázané vlhkosti uvedeny na obr. 3. Byly získány optimalizací metodou nejmenších čtverců, přičemž obsah vázané vlhkosti  $\theta_{bw}$  byl volen s ohledem na sorpční izotermu materiálu a parametr  $\alpha$  byl fitován podle gravimetricky získaných dat. První dvě hodnoty  $\theta_{bw}$  na obr. 3 korespondují s vlhkostí sorpční izotermu pro obsah vlhkosti 30 % a 97 %. Třetí hodnota reprezentuje počátek nadhygroskopické oblasti vlhkosti. Z porovnání je evidentní, že senzitivita Dobsonova modelu na změny  $\theta_{bw}$  je velmi malá a ve všech případech jsme získali velmi dobrou shodu s experimentálními daty. Při aplikaci tohoto modelu je však nezbytné znát obsah vázané vlhkosti a i tento model je vhodné ověřit empirickou kalibrací.

U modelu de Loora bylo nejlepší shody s empirickými daty dosaženo pro obsah vázané vlhkosti v blízkosti maximální hygroskopické vlhkosti. Výsledky tří úspěšných aproximací experimentálních dat jsou prezentovány na obr. 4, což je důkazem malé citlivosti modelu na její změny.

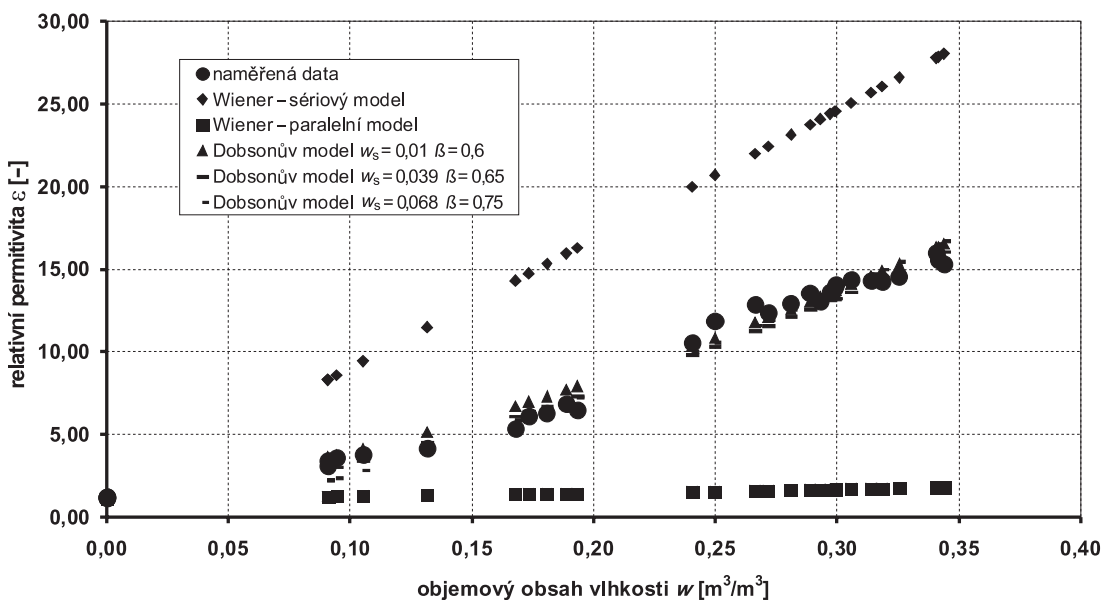
Závislost relativní permitivity na vlhkosti, stanovená směšovacími vztahy Boettchera a Rayleigha, je zřejmá z obr. 5. Obě metody prokázaly, že jsou pro ověřovaný materiál nevhodné, patrně pro absenci volných parametrů, které by zohlednily specifické vlastnosti jednotlivých materiálů.

Výsledky získané směšovacími vztahy Poldera a van Santena uvádí obr. 6. Je zjevné, že nejlepší shody s experimentálními daty bylo dosaženo pomocí modelu, který předpokládá jehlicovité uspořádání struktury materiálu. Přestože neobsahuje volné parametry, byly výsledky téměř shodné s výsledky získanými aplikací modelů Dobsona a de Loora.

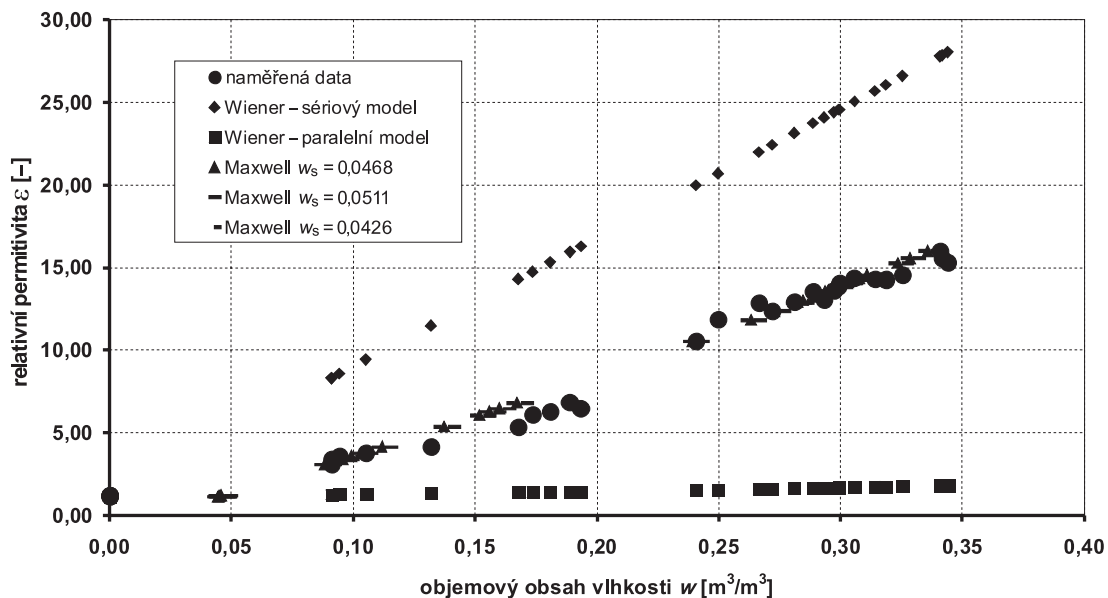
Aplikaci Lichteneckerovy rovnice popisuje obr. 7. Výsledky jsou opět velmi podobné Dobsonovu modelu. Optimalizovaná hodnota parametru  $k$ , která popisuje specifickou mikrogeometrii (topologii) zkoumaného materiálu, odpovídá přibližně empirickému parametru  $\alpha$  v Dobsonově modelu. Tento výsledek pouze ověřil správnost našich výpočtů, neboť Dobsonův model byl částečně odvozen na základě Lichteneckerovy rovnice. Nepatrně lepší shodu Dobsonova modelu s experimentálními výsledky, proti výsledkům Lichteneckerovy rovnice, připisujeme druhému volnému parametru v Dobsonově modelu, tj. obsahu vázané vlhkosti.

### Závěr

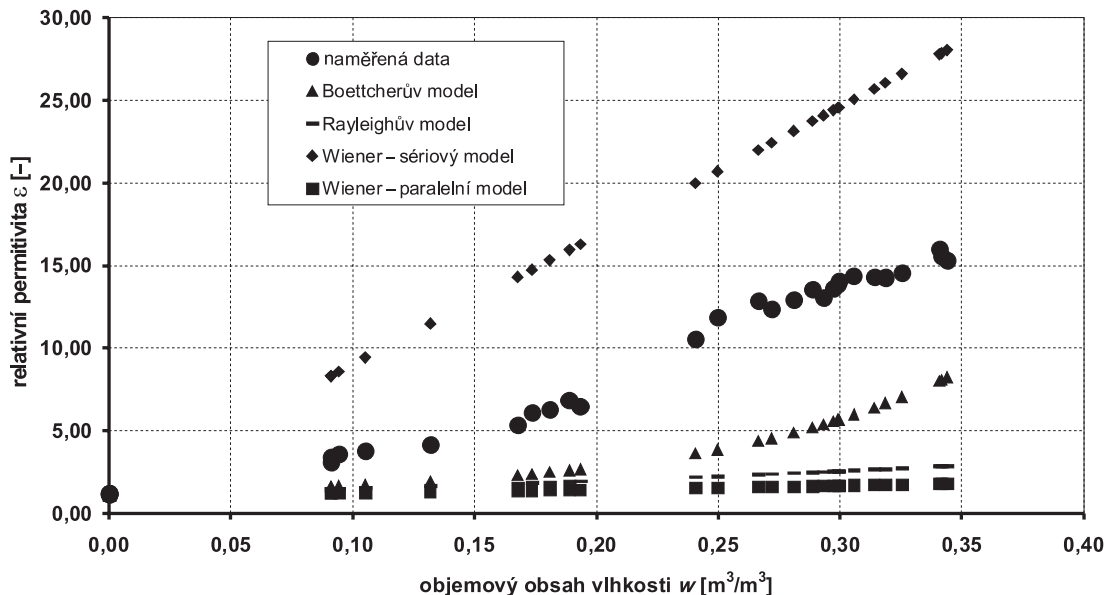
Experiment a výpočty prezentované v tomto článku můžeme považovat za další krok k aplikaci metody TDR při mo-



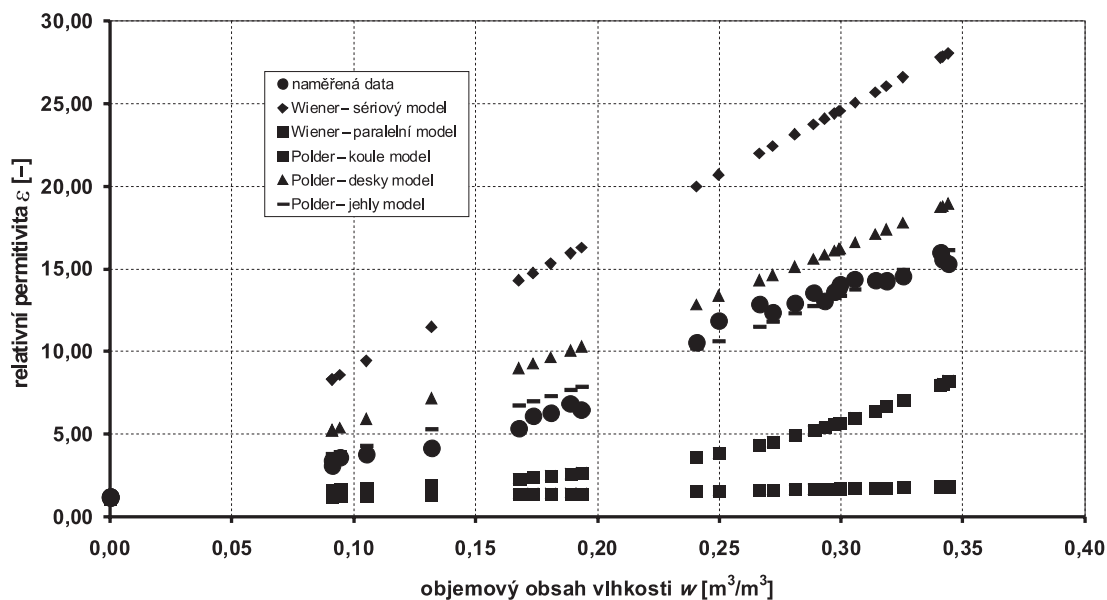
Obr. 3. Závislost relativní permitivity na vlhkosti stanovená Dobsonovým čtyřfázovým modelem



Obr. 4. Závislost relativní permitivity na vlhkosti vypočtená modelem de Loora



Obr. 5. Závislost relativní permittivity na vlhkosti vypočtená směšovacími vztahy Boettchera a Rayleigha

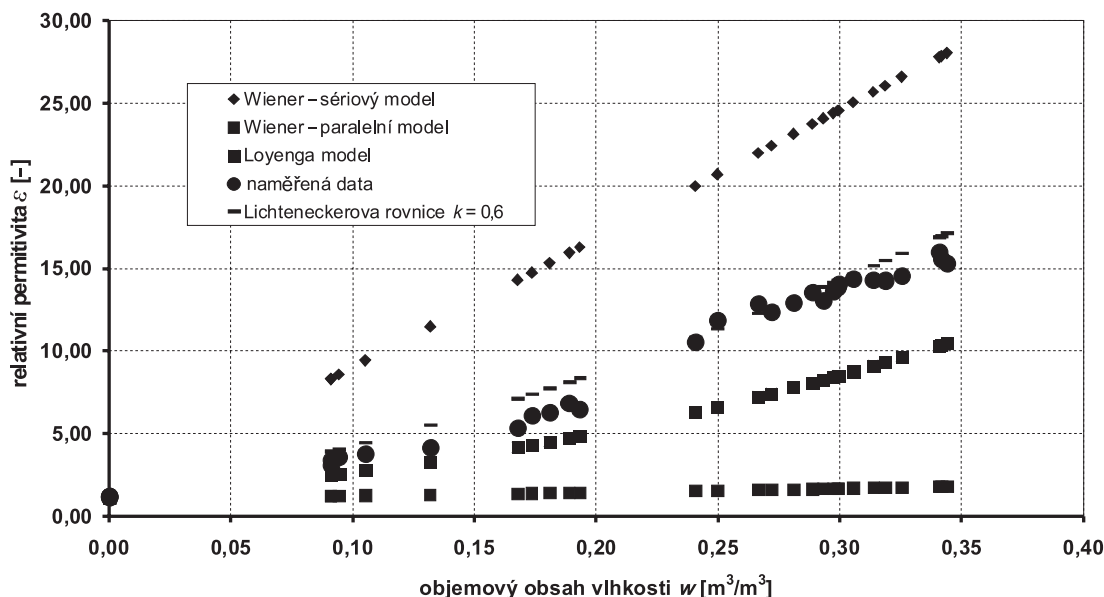


Obr. 6. Závislost relativní permittivity na vlhkosti vypočtená směšovacími vztahy Poldera a van Santena

nitorování obsahu vlhkosti ve stavebních materiálech. Hlavním přínosem je zjištění, že metody používané pro výpočet obsahu vlhkosti z relativní permittivity změřené v půdních vědách nejsou pro stavební materiály všeobecně aplikovatelné. Některé z ověřovaných metod je však možné po empirické kalibraci pro stavební materiály použít. Jako nejvhodnější se jeví modely Dobsona a Maxwella de Loora, které zavádějí obsah vázané vody  $\theta_{bw}$  jako volný parametr. Domníváme se tedy, že obsah vázané vody je kritickým faktorem při aplikaci homogenizačních principů při kalibraci metody TDR pro stavební materiály, které jsou proti většině půd značně hygroskopické. Je však nezbytné brát v potaz, že jsme se v práci zabývali pouze jedním typem stavebního materiálu. Z tohoto důvodu není možné získané výsledky gene-

ralizovat pro všechny typy stavebních materiálů. V současné době již probíhá měření na dalších běžných stavebních materiálech, díky kterým bude možné rozšířit platnost výše uvedených modelů na ostatní typy. Uvažujeme také o aplikaci dielektrických směšovacích modelů na bázi spektrální dielektrické funkce a funkce rozdělení objemové hmotnosti.

Článek vznikl ve spolupráci s Technical University of Lublin. Výzkum byl částečně podporován výzkumným záměrem MŠMT ČR č. MSM 684 077 00 31 a částečně projektem KONTAKT MŠMT ČR č. CZ – 2 v rámci česko-polské bilaterální spolupráce.



Obr. 7. Závislost relativní permitivity na vlhkosti stanovená pomocí Lichteneckerovy rovnice

## Literatura

- [1] Nielsen, A.: Gamma-Ray Attenuation Used for Measuring the Moisture Content and Homogeneity of Porous Concrete. *Building Science* 7, 1972, pp. 257–263.
- [2] Kumaran, M. K. – Bomberg, M.: A Gamma-Spectrometer for Determination of Density Distribution and Moisture Distribution in Building Materials. [Proceedings], International Symposium on Moisture and Humidity, 1985, Washington DC, pp. 485–490.
- [3] Descamp, F.: Continuum and Discrete Modelling of Isothermal Water and Air Transfer in Porous Media. [PhD-Thesis], KU Leuven, 1997.
- [4] Gummerson, F. J. – Hall, C. – Hoff, W. D. – Hawkes, R. – Holland, G. N. – Moore, W. S.: Unsaturated Water Flow within Porous Materials Observed by NMR Imaging. *Nature* 281:56-57, 1979.
- [5] Pel, L.: Moisture Transport in Porous Building Materials. [PhD-Thesis], TU/e, Eindhoven, 1995.
- [6] Roels, S. – Vandersteen, K. – Carmeliet, J.: Measuring and Simulating Moisture Uptake in a Fractured Porous Medium. *Advances in Water Resources* 26, 2003, pp. 237–246.
- [7] Semerák, P. – Černý, R.: Kapacitní metoda pro měření vlhkosti stavebních materiálů. *Stavební obzor*, 6, 1997, č. 4, s. 102–103.
- [8] Pavlík, Z. – Fiala, L. – Černý, R. – Sobczuk, H. – Suchorab, Z.: Sledování průběhu nasákavosti porézních stavebních materiálů metodou TDR. *Stavební obzor*, 14, 2005, č. 6, s. 167–171.
- [9] Pavlík, Z. – Jiříčková, M. – Černý, R. – Sobczuk, H. – Suchorab, Z.: Determination of Moisture Diffusivity Using the Time Domain Reflectometry (TDR) Method. *Journal of Building Physics*, 2006, Vol. 30, No. 1, pp. 59–70.
- [10] Easy Test – Soil Water Monitoring Device brochure 2000. Easy Test Ltd., Lublin.
- [11] Jiříčková, M.: Application of TDR Microprobes, Minitensiometry and Minihygrometry to the Determination of Moisture Transport and Moisture Storage Parameters of Building Materials. Prague: Czech Technical University, 2004, 102 p.
- [12] Topp, G. C. – Davis, J. L. – Annan, A. P.: Electromagnetic Determination of Soil Water Content: Measurements in Coaxial Transmission Lines. *Water Resources Research*, 1980, Vol. 16, pp. 574–582.
- [13] Malicki, M. A. – Plagge, R. – Roth, C.H.: Improving the Calibration of Dielectric TDR Soil Moisture Determination Taking into Account the Solid Soil. *European Journal of Soil Science*, 1996, Vol. 47, pp. 357–366.
- [14] Aghaei, A. – van der Zanden, A. J. J. – Hendriks, N.A.: TDR Technique for Measuring the Moisture Content in Brick. *Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Conference on Electromagnetic Wave Interaction with Water and Moist Substances*, Weimar 2005, Ed. Klaus Kupfer, pp. 302–307.
- [15] Lord Rayleigh: On the Influence of Obstacles Arranged in Rectangular Order Upon the Properties of the Medium. *Philos. Mag.*, 1892, No. 6, Vol. 34, pp. 481–502.
- [16] Dobson, M. C. – Ulaby, F. T. – Hallikainen, M. T. – El-Rayes, M. A.: Microwave Dielectric Behavior of Wet Soil. Part II: Dielectric Mixing Models. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, Vol. GE-23, 1985, pp. 35–46.
- [17] Looor, G. P.: Dielectric Properties of Heterogeneous Mixtures Containing Water. *J. Microwave Power*, Vol. 3, pp. 67–70, 1968.
- [18] Boettcher, C. J. F.: *Theory of Electric Polarization*. New York, Elsevier 1952.
- [19] Polder, D. – van Santen, J. H.: The Effective Permeability of Mixtures of Solids. *Physica*, 1946, Vol. 12, pp. 257–271.
- [20] Wiener, O.: Die Theorie des Mischkörpers für das Feld der stationären Stromung," *Abhandlungen der Mathematischen-Physischen Klasse der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften*, 1912, Vol. 32, s. 509-604.
- [21] Lichtenecker, K.: Die Dielektrizitätskonstante Naturlicher und Kunstlicher Mischkörper. *Physikalische Zeitschrift*, 1926, Vol. 27, s. 115–158.
- [22] Looyenga, H.: Dielectric Constants of Mixtures. *Physica*, 1965, Vol. 31, pp. 401–406.

**Pavlík, Z. – Fiala, L. – Černý, R. – Sobczuk, H. – Suchorab, Z.: Application of Homogenization Principles in the Calibration of the TDR Method**

This paper outlines the problem of the calibration of the TDR ("Time Domain Reflectometry") method used for the measurement of moisture content omogenization techniques, an analysis of the experimentally determined calibration curve is performed, which serves as a criterion for the assessment of suitability and applicability of the particular models in the measurement of moisture content of porous building materials.

Pavlík, Z. – Fiala, L. – Černý, R. – Sobczuk, H. –  
– Suchorab, Z.: Anwendung der Homogenisierungs-  
prinzipien bei der Kalibrierung des TDR-Verfahrens

Im Artikel wird das Problem der Kalibrierung des TDR-Verfahrens (Time Domain Reflectometry) für die Messung des Feuchtegehalts von Baustoffen sowohl mit der standardmäßigen gravimetrischen Methode, als auch mit der empirischen Methode und mit Methoden, die auf dielektrischen Mischmodellen basieren, die aufgrund der Homogenisierungsprinzipien abgeleitet sind, behandelt. Die Analyse einer experimentell bestimmten Kalibrierungskurve dient als Kriterium zur Beurteilung der Eignung und Anwendbarkeit der einzelnen Modelle.

## Stavební obzor na CD

Ročníky

2002, 2003, 2004, 2005, 2006

ve formátu pdf si lze objednat u distributora,  
popř. v redakci našeho časopisu

Cena:

1 ročník na CD  
včetně krabičky a přebalu ..... 400 Kč  
poštovné + balné (dobírka) ..... 100 Kč

Objednávky:

Ing. Milan Gattringer, MG DTP, Borovanská 3388,  
143 00 Praha 4, tel./fax: 241 770 220,  
e-mail: mgdtp@volny.cz

## • zprávy

### Zvířata v ZOO zahřívá voda z nitra Země

Unikátní a ekologicky šetrné vytápění pomocí geotermální energie nahradilo v ústecké zoologické zahradě dodávky tepla z dálkového parovodu. Ve dvou etapách byly vybudovány venkovní rozvody geotermální vody, výměňkové stanice tepla, rekonstruovány vnitřní rozvody ústředního topení a staré radiátory nahrazeny novými. Voda o teplotě 32 °C je odebírána z vrtu hlubokého 515 m, který se nachází v areálu zahrady.



Podle původního návrhu se voda měla přivádět do jednotlivých stanic tepelných čerpadel, ale protože má specifické chemické složení, může tepelné čerpadlo zanést, a tím jej vyřadit z provozu. Bylo tedy třeba najít jiné řešení. Voda z vrtu je primárním okruhem vedena přes deskové výměníky, v nichž předá teplo vodě v sekundárním okruhu. Ta následně putuje přes kaskádovitě řazená tepelná čerpadla, kde je dále ohřívána podle aktuální potřeby. Zvolené řešení umožní tepelným čerpadlům pracovat v optimálním režimu. Kaskádové zapojení lze dobře regulovat, což snižuje požadavky na velikost akumulčních nádrží v kotelnách a prodlužuje životnost kompresorů. Voda proudí ve speciálním izolovaném potrubí uloženém do země.

Teplota výstupní vody je regulována podle počasí. Systém měření a regulace vyhodnocuje venkovní teplotu, té přizpůsobuje momentální potřebu teploty a množství vody v systému a spíná potřebný počet čerpadel. Maximální teplota vody v systému je 55 °C. Tepelnými čerpadly ji lze regulovat až do venkovní teploty -6 °C. Při velkém poklesu teploty může být jako doplňkový zdroj připojen elektrický kotel.

Stavební práce na systému vytápění provedlo sdružení dodavatelů pod vedením společnosti Skanska CZ během sedmácti měsíců. Investorem projektu byla Zoologická zahrada Ústí nad Labem, přičemž část finančních prostředků poskytl Státní fond životního prostředí.

Zoologická zahrada v Ústí nad Labem je umístěna v přírodním prostředí na svahu Mariánské hory. Předchůdcem byla ptačí rezervace, kterou v těchto místech od roku 1908 buďoval významný ústecký podnikatel a milovník přírody pan Heinrich Lumpe. Soukromá rezervace, zpřístupněná pro veřejnost roku 1914, sloužila jako útočiště ústeckého i přelétavého ptactva. Rezervace měla rovněž vést návštěvníky k poznání a lásce k přírodě. Kromě úkrytů pro ptactvo zde nechal postupně vybudovat systém kaskád a vodopádů, jezírko, pohádkovou jeskyni, Trpasličí hrad, růžovou zahradu s pohádkovými výjevy a další dobové atrakce. Rezervaci obohatil také o stovky jehličnatých a listnatých stromů, okrasných keřů a vzácných rostlin, založil srncí oboru a z dovezených zkamenělých kmenů instaloval kamenný les. Rezervace, nazývaná po svém zakladateli Lumpepark, získala brzy velký vzhlas i v zahraničí – ročně ji navštěvovalo až 50 tis. návštěvníků z celé Evropy. Po druhé světové válce byla přeměněna na zookoutek, který se postupně utvářel v dnešní zoologickou zahradu rozmístěnou na ploše 26 ha. Vybudovány zde byly pavilony šelem a exotária a velké výběhy pro nosorožce, žirafy, slony, zebry a antilopy.

Tisková informace



# Tepelné vlastnosti kompozitního materiálu za vysokých teplot

Ing. Lucie ZUDA  
prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.  
ČVUT – Fakulta stavební, Praha

Ing. Patrik BAYER, Ph. D.  
Ing. Pavel ROVNANÍK, Ph. D.  
VUT – Fakulta stavební, Brno

V článku je prezentováno ověřování tepelných vlastností materiálu na bázi alkalicky aktivované strusky s elektroporcelánovým plnivem a expandovaným vermikulitem za vysokých teplot. Studovanými veličinami jsou součinitel teplotní vodivosti, měrná tepelná kapacita, součinitel tepelné vodivosti a součinitel teplotní délkové roztažnosti. Všechny parametry jsou určeny v rozmezí od laboratorní teploty do 1 000 °C.

## Úvod

Během životnosti stavební konstrukce mohou nastat ne-standardní situace, kdy je znalost chování alkalicky aktivovaných strusek za vysokých teplot užitečná, např. při zasažení konstrukce požárem (stěny tunelů, šachet atd.). Materiál na bázi alkalicky aktivované strusky může v tomto případě sloužit jako požárně ochranná či tepelně izolační vrstva.

Na vzorcích alkalicky aktivované strusky s elektroporcelánem a expandovaným vermikulitem jako pojiv bylo nutné stanovit vlhkostní a tepelné parametry referenční sady a sad po zatížení vysokými teplotami. V článku jsou prezentovány výsledky experimentů, v nichž byly stanoveny tepelné parametry tohoto materiálu během zatížení vysokými teplotami v rozmezí do 1 000 °C.

## Materiály a vzorky

Pro výrobu vzorků byla použita jemně mletá struska od firmy Kotouč Štramberk. Chemický rozbor je uveden v tab. 1, jemnost mletí v tab. 2. Pro přípravu alkalického aktivátoru byl použit roztok vodního skla. Silikát SiO<sub>2</sub> PORTIL-A dodala firma Cognis Iberia, elektroporcelán firma P-D Refractories CZ. Jeho pórovitost je 0,3 %, nasákavost 0,1 %, objemová hmotnost 2 350 kgm<sup>-3</sup>. Chemické složení uvádí tab. 3,

Tab. 1. Chemické složení strusky [%]

SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	Cl	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
38,6	0,52	7,22	38,77	12,9	0,5	0,06	0,21	0,38	0,36

Tab. 2. Jemnost mletí strusky

Zbytek na sítu [% hm.]		Měrný povrch [cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> ]
0,045 mm	0,090 mm	
12,4	1,9	3 920,00

jemnost mletí tab. 4. Expandovaný vermikulit dodala firma Minko. Chemický rozbor je v tab. 5, kde je také uvedena chemicky vázaná voda, u které při teplotách nad a pod 105 °C dochází k uvolnění. Jeho pH je 7, hustota surového vermikulitu je 2 600 kgm<sup>-3</sup>, sypaná hmotnost expandovaného vermikulitu 75–130 kgm<sup>-3</sup>, tvrdost 1,5–3,0 Mohs, teplota sintrování 1 260 °C, teplota tavení 1 315 °C, žáruvzdornost do 1 100 °C, měrná tepelná kapacita 800 J/kgK.

Tab. 3. Chemické složení elektroporcelánu [%]

SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>
48,6	0,8	45,4	0,3	0,2	1	2,9	0,7

Tab. 4. Jemnost mletí elektroporcelánu

Velikost oka [mm]	4	2,5	1	0,5	0,25	0,125	0,09	0,063	0,045
souhrnný zbytek na sítu [%]	frakce 0-1	–	–	0,69	45,24	70,76	89,98	93,4	98,99
	frakce 1-3	–	4,12	78,30	99,57	99,94	99,94	100	98,98
	frakce 3-6	69,31	95,52	100	99,98	99,99	100	–	–

Tab. 5. Chemické složení vermikulitu [%]

SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	Cl	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	FeO
35-41	6-9,5	6-9,5	2-6	21,5-25,5	0,3	0-0,5	0,8	3-6	0,02	0,6-1,4	1,17

S	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	F	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Li <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O (+105 °C)	H <sub>2</sub> O (-105 °C)
0,18	0,2-2	0,2-0,8	0,01-0,15	0,03	5,18	6,02

Tab. 6. Složení směsi pro výrobu vzorků

Elektroporcelán [g]			Vermikulit	Struska	Silikát	Záměsová voda [ml]
frakce 0-1	frakce 3-4	frakce 3-6				
315	315	315	44	450	90	235

Při výrobě vzorků (tab. 6) bylo nejprve nutné smístit silikát s vodou na roztok, a poté ho zamíchat do homogenizované směsi strusky s elektroporcelánem a vermikulitem. Aby se předešlo tvorbě pórů, byla směs nalita do 2/3 výšky forem, vibrována 3 s, následně doplněna a opět 3 s vibrována. Hotové vzorky byly zbaveny forem po 24 hodinách a uloženy na dalších 27 dní do vodní lázně. Pro měření tepel-

ných parametrů byly použity vzorky:

- součinitel teplotní vodivosti  
3 vzorky 71 x 71 x 71 mm, ve kterých byl zabudován teplotní senzor složený ze šesti termočlánků chromel-alumel podél osy vzorku;
- měrná tepelná kapacita  
3 vzorky 71 x 71 x 71 mm;
- součinitel teplotní délkové roztažnosti  
2 vzorky 40 x 40 x 100 mm.

### Experimentální metody

■ **Součinitel teplotní vodivosti** byl určen metodou dvojnásobné integrace na základě teplotních profilů zjištěných při jednostranném ohřevu [1]. Tato metoda je založena na aplikaci inverzní úlohy vedení tepla, která vychází z rovnice vedení tepla ve tvaru

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( a \frac{\partial T}{\partial x} \right), \quad (1)$$

kde  $T$  je teplota,  $a$  [ $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ ] součinitel teplotní vodivosti.

Při řešení inverzní úlohy se předpokládá, že  $T(t)$  a  $T(x)$  jsou monotónní funkce a konstantní teplota  $\tau = T(x, t)$ . Pak musí existovat vzájemně jednoznačné parametrizace  $x = x_0(\tau, t)$ ,  $t = t_0(\tau, x)$ , kde  $x_0$  a  $t_0$  jsou monotónní funkce. Využijeme-li toho, pak integrací rovnice vedení tepla (1) podle  $x$  a  $t$  dostaneme

$$\int_{t_1}^{t_2} \int_{x_0(\tau, t_1)}^{x_0(\tau, t_2)} \frac{\partial T}{\partial t}(x, t) dx dt = a(\tau) \int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial T}{\partial x}(x_0(\tau, t), t) dt + \int_{t_1}^{t_2} \frac{q(0, t)}{\rho(\tau)c(\tau)} dt \quad (2)$$

a odtud po řadě algebraických úprav [1] součinitel teplotní vodivosti v závislosti na teplotě

$$a(\tau) = \frac{1}{\int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial T}{\partial x}(x_0(\tau, t)) dt} \left( \int_0^{x_0(\tau, t_2)} T(x, t_2) dx - \int_0^{x_0(\tau, t_1)} T(x, t_1) dx - \tau [x_0(\tau, t_2) - x_0(\tau, t_1)] - \int_0^1 [T(x, t_2) - T(x, t_1)] dx \right). \quad (3)$$

Určení teplotních profilů ve vzorku potřebných pro aplikaci řešení inverzní úlohy vedení tepla ve tvaru (3) je založeno na využití speciálně upravené pece. Vzorek je v kontaktu s prostředím pece pouze jedním čelem. Boční strany jsou tepelně izolovány, čímž je zajištěno jednorozměrné vedení tepla. Pec má dvojí dvířka – plná udržují konstantní teplotu, druhá jsou opatřena otvorem. Vzorek se vloží do dvířek a vzniklé mezery se utěsní tepelně izolačním materiálem. Po dosažení požadované teploty se dvířka vymění a vzorek se vystaví jednostrannému ohřevu. Teplotní senzory podél osy vzorku (termočlánky chromel-alumel) umožňují zaznamenávat teplotní pole. Z křivek  $T(x, t)$  se vybere sada 8 až 10, které jsou pak použity k výpočtu součinitele teplotní vodivosti  $a$ .

■ **Měrná tepelná kapacita**  $c$  [ $\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ] byla určována v závislosti na teplotě. Do neadiabatického směšovacího kalorimetru s kalibrovanými tepelnými ztrátami [2] naplněného

vodou se vhodí vzorek vyhřátý na požadovanou teplotu. Známe-li počáteční teplotu vody v kalorimetru a konečnou teplotu vody po vyrovnání v kalorimetru včetně oprav na tepelné ztráty, získáme změnu entalpie vzhledem k jisté referenční hodnotě. Sadou měření pro různé teplotní zatěžovací stavy vzorku získáme entalpii odpovídající příslušným teplotám. Tyto hodnoty můžeme pak vynést do grafické závislosti specifické entalpie  $h$  [ $\text{Jkg}^{-1}$ ] jako funkce teploty  $T$  [K]. Regresní analýzou této bodové zadané funkce získáme spojitou funkci  $h(T)$  a pomocí definičního vztahu pro měrnou tepelnou kapacitu

$$c(T) = \frac{\partial h}{\partial T} \quad (4)$$

dostaneme funkci  $c(T)$  jako první derivaci analyticky vyjádřené spojitě funkce specifické entalpie  $h$  podle teploty  $T$ .

■ **Součinitel tepelné vodivosti**  $\lambda$  [ $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ] byl pro každou teplotu určen na základě znalosti měrné tepelné kapacity  $c$  hustoty materiálu  $\rho$  [ $\text{kgm}^{-3}$ ] a součinitele teplotní vodivosti  $a$  [ $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ ] podle rovnice

$$\lambda = a \cdot c \cdot \rho. \quad (5)$$

■ **Teplotní roztažnost materiálu** rozumíme změnu rozměrů tělesa z něj zhotoveného se změnou teploty za stálého tlaku [3]. Podle toho, zda uvažujeme změnu délkových rozměrů, nebo objemu, mluvíme o roztažnosti délkové, nebo objemové. Obvykle je součinitel teplotní délkové roztažnosti  $\alpha$  [ $\text{K}^{-1}$ ] definován pomocí vztahu

$$dl = l_0 \cdot \alpha \cdot dT, \quad (6)$$

kde  $l_0$  [m] je počáteční délka vzorku při teplotě  $T_0$ ,  $dl$  je prodloužení vzorku při změně teploty o  $dT$ .

■ Pro zjišťování **součinitele délkové teplotní roztažnosti** porézních materiálů za vysokých teplot byla vyvinuta metoda [4] založená na komparativním principu. Základem zařízení je speciálně upravená pec. Otvor pro vložení materiálu z horní strany pece je válcovitý. Konstrukce pece umožňuje měřit současně dva vzorky svisle vedle sebe. Ze středu víka kónického tvaru jsou vyvedeny čtyři termočlánky různé délky směřující do středu pece. Další dva jsou umístěny uvnitř pece a sledují teplotu v její dolní a horní části. Všech šest termočlánků je napojeno na záznamovou jednotku. Úzkými otvory ve víku procházejí dvě identické keramické tyčinky pro detekci délkových změn v prostoru mimo pec. Údaje digitálních úchylkoměrů s přesností  $\pm 1 \mu\text{m}$  kontinuálně registruje záznamová jednotka.

Navržený princip měření teplotní délkové roztažnosti je založen na sledování dvou různých materiálů současně. Jedním z nich je standardní materiál se známým průběhem  $\alpha$  v závislosti na teplotě. U druhého materiálu tuto závislost zjišťujeme. Teplotní pole v peci není homogenní, protože dochází k tepelným ztrátám u stěn a víka. Proto se pro výpočet  $\alpha$  uvažuje průměrná teplota, vypočtená na základě údajů ze šesti termočlánků. Za vhodný standardní materiál je možno považovat nekorodující a stabilní kovy se známým průběhem teplotní délkové roztažnosti. Vzhledem k rozměrům

pece je nevhodnějším vzorkem váleček Ø 2 až 3 cm, délky 10–12 cm. Měření probíhá v rozsahu od  $T_0$  do  $T$ . Pec je spuštěna při běžné teplotě  $T_0$ . V této chvíli má vzorek počáteční délku  $l_0$ . Teplota v peci se nechá ustálit a na měřicím zařízení se odečítá hodnota  $\Delta l$ , udávající celkový přírůstek délky vzorku a tyčinky. Její odečítání trvá do ustálení hodnoty. Ustálená hodnota se bere pro výpočet  $\alpha$  pro danou teplotu  $T_i$  měřeného materiálu. Pro výpočet součinitele teplotní délkové roztažnosti za vysokých teplot je rovnice (6) upravena podle metody [4] do tvaru

$$\Delta l(T_i) = \Delta l_m(T_i) - \Delta l_s(T_i) + l_{o,s} \int_{T_0}^{T_i} \alpha_s(T) dT, \quad (7)$$

kde  $\Delta l_m$ ,  $\Delta l_s$  jsou konečné délkové změny materiálu a standardu,  $l_{o,s}$  je počáteční délka standardu a  $\alpha_s$  známý součinitel délkové teplotní roztažnosti pro standard. Odpovídající hodnota pro relativní prodloužení může být vyjádřena tvarem

$$\varepsilon(T_i) = \frac{\Delta l(T_i)}{l_{o,m}}, \quad (8)$$

kde  $l_{o,m}$  je počáteční délka materiálu. Součinitel teplotní délkové roztažnosti je pak určen na základě relativního prodloužení podle vztahu

$$\alpha(T) = \frac{d\varepsilon(T)}{dT}. \quad (9)$$

Při experimentu byl vzorek na počátku měření vystaven vlivu laboratorního prostředí s teplotou 25 °C a relativní vlhkostí 50 %. Dále byl postupně zatěžován na vyšší teplotu podle zatěžovacího stavu, při níž zůstal 5 hodin, kdy se předpokládalo ustálení.

**Výsledky a diskuze**

Hodnoty objemové hmotnosti  $\rho$  a otevřené pórovitosti v závislosti na teplotě, určené běžnou termogravimetrickou metodou a v případě pórovitosti pomocí vakuové nasákavosti, jsou uvedeny v tab. 7. Je patrné, že při zvyšování teplot do 1 000 °C docházelo k relativně malému poklesu objemové hmotnosti asi o 5 %. S tím koresponduje i mírný nárůst otevřené pórovitosti. Avšak pro vzorky zatěžované na 1 200 °C objemová hmotnost vzrostla asi o 10 % proti referenční sadě, hustota matrice mírně klesla a u otevřené pórovitosti došlo k poklesu až o 35 % proti referenční sadě.

Tab. 7. Objemová hmotnost a otevřená pórovitost v závislosti na teplotě

Parametr	Zatěžovací stav [°C]						
	25	200	400	600	800	1 000	1 200
objemová hmotnost [kgm <sup>-3</sup> ]	1 918	1 944	1 946	1 878	1 857	1 856	2 102
otevřená pórovitost [m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ]	0,30	0,30	0,29	0,30	0,32	0,32	0,20

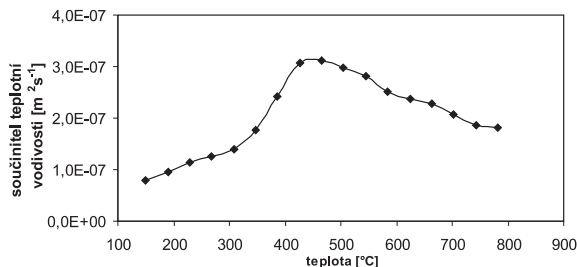
Pro přehled uvádíme v tab. 8 hodnoty mechanických vlastností v závislosti na teplotním zatížení. Mechanické vlast-

nosti materiálu se postupně zhoršují až do 800 °C, což je způsobeno částečným odvodněním mezi 100 až 600 °C a rozkládáním matrice nad 600 °C. Při zatížení nad 800 °C dochází k mírnému nárůstu vlivem vytváření nové krystalické fáze a při 1 200 °C dojde k několikanásobnému zvýšení způsobenému vytvořením nových keramických vazeb.

Tab. 8. Porovnání mechanických vlastností v závislosti na teplotním zatížení

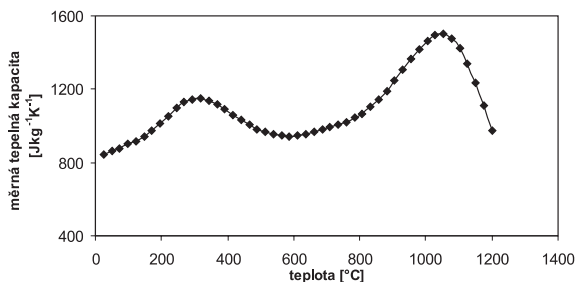
Zatěžovací stav [°C]	Pevnost [MPa]	
	v tahu za ohybu	v tlaku
25	3,3	22,6
200	2,9	21,2
400	2,7	18,4
600	2,4	14,2
800	2,2	7,9
1 000	2,5	10,1
1 200	11,6	29,2

Závislost součinitele teplotní vodivosti na teplotě je uvedena na obr. 1. Je zřejmé, že součinitel teplotní vodivosti se mezi 150 a 400 °C nejprve zvýší, pak nastane pokles. Pravděpodobným důvodem je, že použitá metoda měření je dynamická.



Obr. 1. Součinitel teplotní vodivosti v závislosti na teplotě

Nejde tedy o klasický součinitel teplotní vodivosti definovaný pouze pomocí vedení tepla, ale o zobecněný, který vzhledem k významným teplotním gradientům ve vzorku zahrnuje i vliv proudění a záření a vzhledem k chemickým reakcím probíhajícím v materiálu za vyšších teplot i energetické vlivy těchto reakcí.

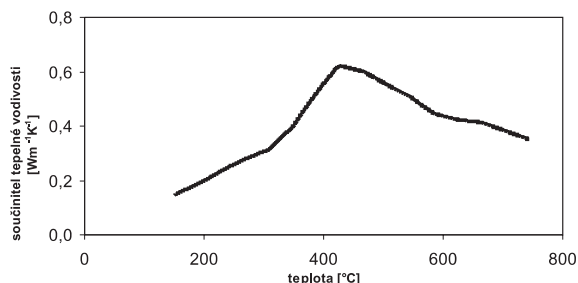


Obr. 2. Měrná tepelná kapacita v závislosti na teplotě

Závislost měrné tepelné kapacity na teplotě je vidět z obr. 2. Funkce  $c(T)$  dosahuje prvního lokálního maxima okolo 300 °C, pak dojde k poklesu až do 600 °C, a poté začne poměrně rychle růst až do 1 000 °C. Vznik lokálního maxi-

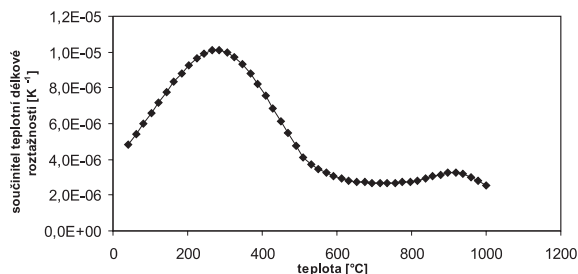
ma kolem 300 °C je možno připsat chemickým reakcím v materiálu v tomto rozsahu teplot, kdy se vlastně mění jeho složení. Nárůst v oblasti vyšších teplot je pravděpodobně způsoben krystalizací akermanitu, k němuž dochází při teplotách vyšších než 800 °C.

Průběh součinitele tepelné vodivosti v závislosti na teplotě, vypočítaný na základě součinitele teplotní vodivosti, měrné tepelné kapacity a objemové hmotnosti, je znázorněn na obr. 3. Je zřejmé, že funkce  $\lambda(T)$  v podstatě sleduje průběh funkce  $a(T)$ .



Obr. 3. Součinitel tepelné vodivosti v závislosti na teplotě

Výsledky měření součinitele teplotní délkové roztažnosti  $\alpha$  jsou patrné z obr. 4. Největšího nárůstu dosahuje mezi 200 až 400 °C, pak dochází k prudkému poklesu až do 600 °C, dále je průběh téměř konstantní do 800 °C a další, tentokrát dosti nevýrazné maximum, je okolo 900 °C.



Obr. 4. Součinitel teplotní délkové roztažnosti v závislosti na teplotě

Tyto změny poměrně dobře korespondují se změnami objemové hmotnosti a pórovitosti v tab. 7 i se změnami měrné tepelné kapacity na obr. 2 a odrážejí vliv změn struktury způsobených chemickými reakcemi v oblasti vyšších teplot.

## Závěr

V článku byla analyzována měrná tepelná kapacita, součinitel teplotní délkové roztažnosti a součinitele teplotní a tepelné vodivosti kompozitního materiálu na bázi alkalicky aktivované strusky s elektroporcelánem jako plnivem a expandovaným vermikulitem. Měření probíhalo za teplot do 1 000 °C. Součinitele teplotní i tepelné vodivosti materiálu při zvýšení teploty nad 400 °C klesají, podobně jako součinitel teplotní délkové roztažnosti, kde pokles začíná zhruba na 300 °C. To je pro stavební materiál namáhaný vysokými teplotami pozitivní jev. Výsledky experimentů ukázaly, že materiál má dobrý potenciál pro aplikace k ochraně konstrukcí před působením teplot do 1 000 °C. Měření probíhalo za teplot 25 až 1 000 °C, vyšší nebylo možné se stávající technikou zjišťovat, protože 1 200 °C je hraniční teplota, při které dochází k poruchám přístrojů i materiálu.

Článek vznikl za podpory projektu č. 103/04/0139 GA ČR.

## Literatura

- [1] Černý, R. – Toman, J.: Determination of Temperature- and Moisture-Dependent Thermal Conductivity by Solving the Inverse Problem of Heat Conduction. Proc. of International Symposium on Moisture Problems in Building Walls, V. P. de Freitas, V. Abrantes (eds.), Univ. of Porto, Porto 1995, pp. 299–308.
- [2] Toman, J. – Černý, R.: High Temperature Measurement of the Specific Heat of Building Materials. High Temperatures-High Pressures, 25, 1994, pp. 643–647.
- [3] Horák, Z.: Praktická fyzika. Praha, SNTL 1958.
- [4] Toman, J. – Koudelová, P. – Černý, R.: A Measuring Method for the Determination of Linear Thermal Expansion of Porous Materials at High Temperatures. High Temp.-High Press, 31, 1999, pp. 595–600.

Zuda, L. – Černý, R. – Bayer, P. – Rovnaník, P.: Thermal Properties of a Composite Material with Slag Binder and Vermiculite at High Temperatures

This article describes measurement of thermal properties of a material on the basis of alkali activated slag with electrical porcelain and expanded vermiculite aggregates at high temperatures. The studied parameters are the thermal diffusivity, specific heat capacity, thermal conductivity and linear thermal expansion coefficient which are determined in the temperature range from the laboratory temperature up to 1000 °C.

Zuda, L. – Černý, R. – Bayer, P. – Rovnaník, P.: Wärmetechnische Eigenschaften eines Kompositmaterials bei hohen Temperaturen

Im Artikel wird die Prüfung der wärmetechnischen Eigenschaften eines Materials auf der Basis von alkalisch aktivierter Schlacke mit Elektroporzellanfüller und expandiertem Vermikulit bei hohen Temperaturen vorgestellt. Untersuchte Größen sind die Temperaturleitfähigkeit, die spezifische Wärmekapazität, die Wärmeleitfähigkeit und der lineare Wärmeausdehnungskoeffizient. Alle Parameter werden in der Spanne von der Labortemperatur bis zu 1 000 °C bestimmt.

**FAST VŠB TU Ostrava**  
**ÚTAM AV ČR Praha**  
**Inženýrská akademie ČR**  
 za podpory  
**CIDEAS, SPS, ČSSI a ČKAIT**  
 pořádají

konferenci

**SPOLEHLIVOST KONSTRUKCÍ**

**12. dubna 2007 v Ostravě**

[www.sbra-anthill.com](http://www.sbra-anthill.com)

## Ověřování vlastností totálních stanic TOPCON GPT-2006 – část 2

Ing. Martin ŠTRONER, Ph. D.  
Ing. Jitka SUCHÁ, Ph. D.  
doc. Ing. Jiří POSPÍŠIL, CSc.  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

V této části článku je popsáno realizované experimentální pole, podrobně popsány měřické postupy, konkrétní realizace a závěrečné hodnocení výsledků určení vodorovných směrů včetně statistického ověřování. Dále jsou zde porovnány výsledky měření jednotlivými přístroji Topcon GPT-2006 a výrazně přesnějším přístrojem Leica TC 1800.

### Pole pro experiment

Pro navrhovaný experiment bylo nutno navrhnout a realizovat pole bodů, které poslouží ke změření dostatečného počtu geometrických parametrů pro posouzení přesnosti přístrojů. Vzhledem k tomu, že přístroje jsou využívány pro výuku téměř nepřetržitě během semestru, a také vzhledem k jejich počtu, bylo ověřovací pole navrženo v místnosti studijní laboratoře tak, aby bylo možné měřit bez nutnosti transportu přístrojů a pomůcek v krátké době. Splnění této podmínky však znamenalo měřit pouze na kratší vzdálenosti.

### Konfigurace a úprava bodů pole

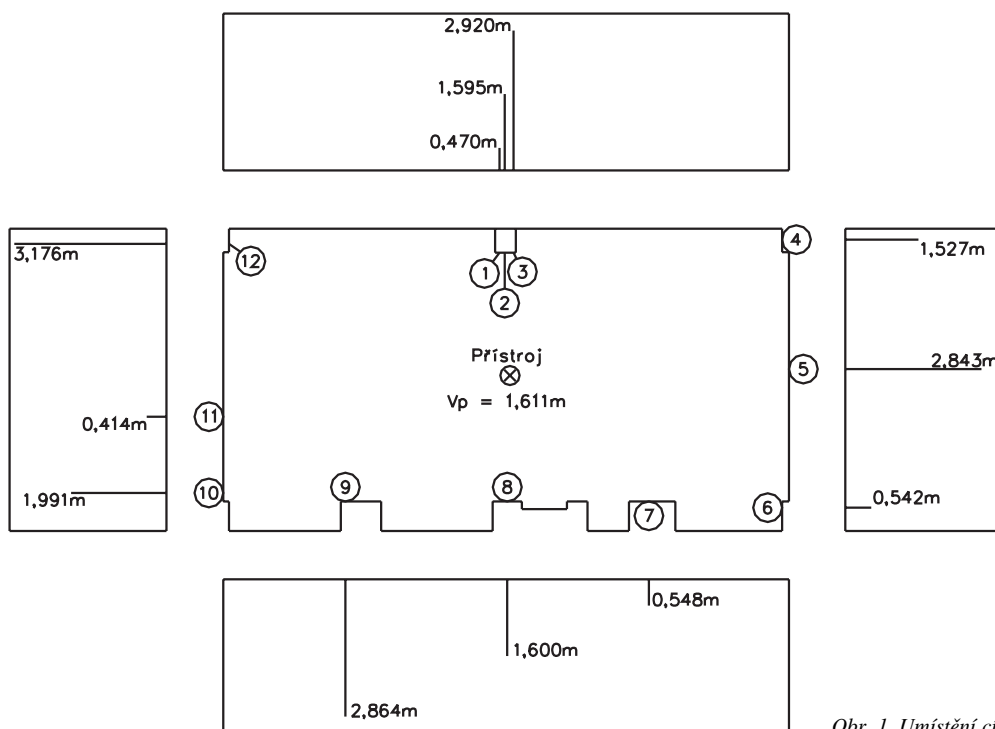
Na základě předchozího experimentu byl vybrán typ a konkrétní úprava cílových terčů pro stabilizaci bodů zkušební pole. Po uvážení možností trvalé stabilizace v prosto-

rách jinak běžně využívané laboratoře (učebny) byl zvolen způsob, kdy papírové terče z laserové tiskárny byly nalepeny přímo na vyhlazenou plošku stěny učebny.

Bylo stabilizováno celkem dvanáct bodů přibližně ve třech výškových úrovních. Uspořádání a rozměry jsou znázorněny na obr. 1, na středním obrázku je půdorysná situace, boční a vrchní obrázky zobrazují bokorys a nárys. Délka laboratoře je 12 m, šířka 6 m a výška 3,3 m. Jednotlivé stabilizované body jsou označeny číslem v kroužku (1, 2, ..., 12), umístění stanoviska měření, označené křížkem v kroužku, je přibližně uprostřed laboratoře.

### Postavení přístroje

Do betonu pod podlahou byly zavrtány a zalepeny matice, ke kterým byl přišroubován pevný ocelový trojramenný kříž. K němu byly přišroubovány botky noh dřevěného stativu (pevné nevysouvací nohy). K hlavě stativu byla upínacím šroubem upevněna trojnožka, která byla před prvním měřením zhorizontována. Poté byly na trojnožku u stavěcích šroubů nalepeny štítky s ryskami, které koincidovaly s ryskami narýsovanými na stavěcích šroubech. To zajišťovalo možnost snadného zjištění změny horizontace (případně potvrzení či vyvrácení podezření na základě neurovnané trubcové libely přístroje) a uvedení do původního stavu. Tato stabilizace dává záruku neměnnosti umístění přístrojů během ověřování, ale zároveň umožňuje kompletní demontáž stanoviska po měření, což je nutné při celodenním využívání



Obr. 1. Umístění cílů a přístroje

učebny. Umístění přístrojů v další etapě nelze považovat za totožné, toto však pro prováděný experiment není nutné.



Obr. 2. Úprava postavení přístroje



Obr. 3. Detail spodní části přístroje



Obr. 4. Detail upevnění noh stativu

### Postup měření

Pro určení charakteristik přesnosti totálních stanic Topcon GPT-2006 (jednotlivě i celého souboru všech dvanácti přístrojů) byly zvoleny následující měřické postupy:

- pro určení momentální přesnosti cílení měřiče bylo vždy před každým souborem měření provedeno padesátkrát opakované cílení na stejný cíl a zaregistrována hodnota vodorovného a zenitového úhlu. Vzhledem k menší přesnosti použitého dálkoměru se nepředpokládá vliv cílení na měřené délky;
- pro určení přesnosti odečítání naměřených hodnot přístrojem bylo padesátkrát provedeno opakované registrování vodorovného a zenitového úhlu na jeden bod bez přecílování současně se zaměřením délky;
- padesátkrát bylo provedeno opakované registrování vodorovného směru a zenitového úhlu na jeden bod bez měření délky a přecílování;
- měření osnovy vodorovných směrů ve třech skupinách se současným měřením zenitových úhlů a šikmých délek pomocí bezhranolového dálkoměru (včetně registrace).

Je důležité doplnit, že měření osnovy vodorovných směrů se současným měřením zenitových úhlů a šikmých délek spolu s měřením pro určení přesnosti cílení probíhalo vždy bez přerušení. Měření jedním přístrojem trvalo přibližně tři hodiny. Celkem bylo pro dvanáct přístrojů provedeno 1 464 cílení a měření.

Pro porovnání bylo totožné měření provedeno s přesnějším přístrojem Leica TC 1800, s výjimkou měření délek. Přístroj nemá bezhranolový dálkoměr a pro ověření by přesnost nebyla dostatečná. Délky byly proto měřeny na odraznou fólii nalepenou na kovový štítek tloušťky 1 mm přikládaný na cíl, a výpočty pak provedeny s délkami redukovanými na tloušťku štítku. Pro zajištění totožnosti cíle bylo přístrojem zacíleno na bod, poté byl přiložen štítek s fólií tak, aby její střed licoval se záměrným křížem, a následně byla změřena délka. Vzhledem k větší pracnosti byly délky přístrojem Leica měřeny pouze dvakrát, v první a ve druhé poloze dalekohledu (tedy pouze v jedné skupině).

### Vodorovné směry

Pro hodnocení byly z výsledků měření vypočteny směrodatné odchylky  $\sigma_\varphi$  charakterizující vnitřní přesnost jednotlivých totálních stanic Topcon GPT-2006 (TS) i kontrolního přístroje Leica TC 1800. Byly rovněž vypočteny směrodatné odchylky vodorovného směru v jedné skupině z opakovaného cílení a odečtení  $\sigma_{\varphi_{co}}$  a jen z opakovaného odečtení  $\sigma_{\varphi_0}$  na bod č. 5, popř.  $\sigma_{\varphi_{od}}$  – z opakovaného odečtení úhlů za současného měření délek. Dále byly vypočteny směrodatné odchylky charakterizující přesnost jednotlivých totálních stanic Topcon, určené z výsledků měření konkrétního přístroje vzhledem k průměru vypočtenému z výsledků měření všech totálních stanic  $\sigma_{\varphi_{TS}}$ . Všechny směrodatné odchylky byly počítány podle vzorce

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}}, v_i = l_p - l_i, l_p = \frac{\sum l_i}{n}, \quad (1)$$

kde  $l_i$  jsou naměřené hodnoty,  $n$  je počet měření,  $l_p$  je průměrná hodnota,  $v_i$  jsou opravy měření.

Také byly porovnány výsledky měření jednotlivých totálních stanic Topcon proti Leice a z nich určeny směrodatné odchylky  $\sigma_{\varphi TSL}$  podle vzorce

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{n}}, \quad \varepsilon_i = l_T - l_i, \quad (2)$$

kde  $l_i$  jsou naměřené hodnoty,  $n$  počet měření,  $l_T$  je hodnota považovaná za správnou (zde zjištěná přístrojem s vyšší přesností),  $\varepsilon_i$  jsou pak chyby. Konkrétní číselné hodnoty jsou uvedeny v tab. 1, kde symbolem  $\varphi$  je uvažovaný redukovaný směr měřený v obou polohách dalekohledu. Vnitřní přesnost  $\sigma_{\varphi}$  přístrojů Topcon kolísá, přesto zdaleka nedosahuje nominální hodnoty 1,8 mgon, kterou uvádí výrobce.

Tab. 1. Směrodatné odchylky měření vodorovných směrů

TS	$\sigma_{\varphi o}$	$\sigma_{\varphi od}$	$\sigma_{\varphi co}$	$\sigma_{\varphi}$	$\sigma_{\varphi TS}$	$\sigma_{\varphi TSL}$
	[mgon]					
1.	0,12	0,12	0,31	0,2	0,83	2,01
2.	0,09	0,12	0,3	0,32	0,94	2,36
3.	0,12	0,11	0,28	0,34	1,25	2,65
4.	0,1	0,11	0,29	0,2	0,74	1,81
5.	0,11	0,1	0,41	0,23	0,72	1,99
6.	0,13	0,11	0,34	0,38	0,43	1,96
7.	0,11	0,1	0,24	0,32	0,92	1,11
8.	0,11	0,08	0,35	0,2	0,61	1,45
9.	0,1	0,11	0,2	0,31	0,67	1,36
10.	0,09	0,13	0,28	0,19	0,97	0,98
11.	0,11	0,11	0,24	0,17	0,55	1,51
12.	0,09	0,1	0,36	0,28	0,65	1,71
Leica	0,16	0,08	0,48	0,25	–	–

Je vhodné doplnit, že průměrná vnitřní přesnost, získaná jako kvadratický průměr pro měření směru v jedné skupině pro totální stanici Topcon, je  $\sigma_{\varphi \varnothing} = 0,27$  mgon. Průměrná přesnost charakterizující přesnost jedné totální stanice Topcon proti průměru ze všech totálních stanic je  $\sigma_{\varphi TSO} = 0,80$  mgon. Průměrná přesnost charakterizující přesnost všech totálních stanic Topcon proti přístroji Leica je  $\sigma_{\varphi TSO} = 1,80$  mgon.

### Statistické ověřování výsledků

Cílem bylo určit, zda jednotlivé totální stanice patří z hlediska přesnosti měření vodorovných směrů do základního souboru s normálním rozdělením o směrodatné odchylce odpovídající údajům výrobce. Byly proto určeny hodnoty výběrových směrodatných odchylek  $\sigma_{\varphi TSL}$  (tab. 1) z porovnání výsledků měření jednotlivými přístroji Topcon proti etalonu, za který jsou považovány výsledky z měření prováděných výrazně přesnějším přístrojem Leica. Dále je známa směrodatná odchylka daná výrobcem  $\sigma_{\varphi \text{zákl.}} = 1,8$  mgon. Nulová hypotéza měla potom tvar:  $\sigma_{\varphi TSL} = \sigma_{\varphi \text{zákl.}}$ . Počet nadbytečných veličin měl velikost  $n' = 22$  (11 vodorovných úhlů ve dvou skupinách) a ověření bylo provedeno jako oboustranné. Ověřována je hodnota  $\tau_1$ , pro kterou platí

$$\tau_1 = \frac{\sigma_{\varphi TSL}}{\sigma_{\varphi \text{zákl.}}} \quad (3)$$

Tabulka 2 obsahuje kritické hodnoty  $\tau_{\alpha}$  pro hladinu významnosti  $\alpha = P(\tau > \tau_{\alpha})$  a tab. 3 jednotlivé hodnoty  $\tau_1$ . Jestliže  $\tau_1$  překračuje kritickou hranici  $\tau_{\alpha}$ , znamená to, že měření v daném souboru neodpovídají přesností základní směrodatné odchylce  $\sigma_{\varphi \text{zákl.}}$ , tj. měření byla provedena méně kvalitním přístrojem nebo nedostatečně pečlivě.

Tab. 2. Kritické hodnoty  $\tau_{\alpha}$  pro  $n' = 22$

$\alpha$	0,1	0,05	0,01
$\tau_{\alpha}$	1,18	1,24	1,35

Tab. 3. Ověřované hodnoty  $\tau_1$

TC	1	2	3	4	5	6
$\tau_1$	1,12	1,31	1,47	1,01	1,11	1,09
TC	7	8	9	10	11	12
$\tau_1$	0,62	0,81	0,76	0,54	0,84	0,95

Při použití rizika  $\alpha = 0,01$  překročí testovací kritérium pouze hodnota  $\tau_1$  totální stanice č. 3, z čehož vyplývá, že deklarovaná přesnost výrobcem není splněna u totální stanice Topcon č. 3. U ostatních jedenácti totálních stanic je přesnost splněna. Při riziku  $\alpha = 0,05$  překročí kritérium pouze hodnoty  $\tau_1$  totální stanice č. 2 a č. 3. Připustíme-li ještě vyšší riziko  $\alpha = 0,10$ , překročí kritérium opět pouze hodnoty  $\tau_1$  totálních stanic č. 2 a č. 3. Lze se tedy domnívat, že totální stanice Topcon č. 2 a č. 3 vybočují ze souboru. U ostatních nezamítáme nulovou hypotézu.

### Závěr

Měření a ověřování vodorovných směrů ukázalo, že nominální přesnost byla s pravděpodobností 0,99 splněna v případě jedenácti přístrojů a pouze pro jednu totální stanici došlo na základě statistického testování k zamítnutí nulové hypotézy, tj. není splněn předpoklad, že směrodatná odchylka měření totální stanice odpovídá směrodatné odchylce uváděné výrobcem.

Určit jednoznačně příčinu menší přesnosti měření u jedné totální stanice je obtížné. Vzhledem k tomu, že veškerá měření prováděl jeden měřič v laboratorních podmínkách s náhodným pořadím ověřovaných stanic, lze se domnívat, že překročení testovacího kritéria u tohoto přístroje nastalo v důsledku hrubšího neodborného zacházení s přístrojem studenty v rámci výuky předmětu Stavební geodézie. Za školní rok se na jedné totální stanici vystřídá až 140 studentů.

**Článek byl zpracován v rámci záměru VZ 1 - CEZ MSM 684 077 000 1 „Spolehlivost, optimalizace a trvanlivost stavebních materiálů a konstrukcí“, dílčí část „Geodetické monitorování k zajištění spolehlivosti staveb“.**

### Literatura

- [1] Firemní literatura k přístroji Topcon GPT-2006.
- [2] Firemní literatura k přístroji Leica TC 1800.
- [3] Böhm, J. – Radouch, V. – Hampacher, M.: Teorie chyb a vyrovnávací počet. Praha, Geodetický a kartografický podnik 1990.
- [4] Štroner, M. – Suchá, J. – Pospíšil, J.: Ověřování vlastností totálních stanic TOPCON GPT-2006 – část 1. Stavební obzor, **16**, 2007, č. 2, s. 45–48.

Štroner, M. – Suchá, J. – Pospíšil, J.: Verification of Properties of TOPCON GPT-2006 Total Stations – Part II

This part of the paper describes the test field made, it details the measuring methods selected, specific measurements, as well as the final evaluation of the outcomes of the determination of horizontal directions, including statistical verification. Further, it compares the measurement results gained in measurements using individual Topcon GPT – 2006 devices with a substantially more accurate Leica TC 1800 apparatus.

Štroner, M. – Suchá, J. – Pospíšil, J.: Prüfung der Eigenschaften von Totalstationen TOPCON GPT-2006 – Teil 2

In diesem Teil des Artikels wird ein realisiertes Versuchsfeld beschrieben. Ausführlich werden die gewählten Messverfahren, die konkreten Realisierungen und die Abschlussbewertung der Ergebnisse der Bestimmung der waagerechten statistischen Prüfung beschrieben. Des Weiteren werden hier die Ergebnisse der Messungen mit den einzelnen Geräten der Topcon GPT – 2006 und mit dem erheblich genaueren Gerät Leica TC 1800 verglichen.

Murtinger, K. – Beranovský, J.

**Energie z biomasy**

Aktuálním tématem využívání energie ze dřeva, rostlin a organických zbytků ze zemědělství a lesnictví se zabývá populárně naučná kniha, která je nejen představením tradičního, a zároveň velmi perspektivního zdroje energie, ale snaží se být především praktickým návodem, jak jej využít k vytápění domu, výrobě tepla a elektřiny nebo v dopravě. Kromě toho se zaměřuje na úspory energie a provozních nákladů, a může tak být vhodnou inspirací, jak šetřit nejen zdroji, ale také penězi. Zabývá se také možnou kombinací biomasy s dalšími zdroji energie tak, aby výsledný efekt byl optimální z hlediska ekonomického i ekologického. Knihu, určenou široké veřejnosti, vydalo nakladatelství ERA ve spolupráci s Centrem pro obnovitelné zdroje a úspory energie EkoWATT.

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

## • zprávy

### Administrativní budova Gamma



BB CENTRUM

Gamma je největším objektem z dosud postavených budov BB Centra v pražské Michli. Nachází se za budovou Beta a sportovním a obchodním centrem Brumlovka, které je v současnosti ve výstavbě. Dotváří doposud chybějící jižní nároží komplexu a sousedí přímo s radiálou 5. května, což jí zajišťuje vynikající viditelnost. Členitý tvar budovy vytváří neopakovatelný dojem z každé její strany. S ulicí Vyskočilovou, po jejíž obou stranách se areál budov rozkládá, je propojena pěší zónou s rozsáhlou parkovou zelení.



Velikosti objektu s deseti nadzemními a třemi podzemními podlažími odpovídá i určitá složitost ve tvaru a prostorech, aby měřítko objektu bylo příjemné v kontextu okolí i pro své uživatele. To umožnilo navrhnout více než šestnáct druhů fasád. U administrativní budovy tohoto standardu není problém zajistit moderními pláště absolutní ochranu

vnitřních prostor kanceláří, Gamma však bere ohled na své okolí a řeší možný odraz hluku od svých plášťů. Výsledkem hledání architekta ve spolupráci s experty na akustiku bylo vytvoření zvukově pohltivé fasády, půdorysně zakřivené, členěné do jednotlivých šupin, a současně velmi individuální a zajímavé architektonické formy. Autorem Gammy, stejně jako většiny budov v BB Centru, je Ing. arch. Jan Aulík ze Studia A.

Pozice Gammy přímo u ulice 5. května ovlivnila i základní dispoziční koncept domu při vytváření systému různě chráněných venkovních i vnitřních prostor. Rozlehlá vnitřní dvorana nabízí parkové plochy s posezením a vodní plochou v naprostém odstínění od hluku z ulice. Zeleň hraje důležitou roli v konceptu celého objektu. Další zelené plochy jsou na střešní terase nižšího z obou objektů.

Prosklenému atriu dominují panoramatické výtahy, jednácí místnosti zasahující do atria přes dvě nadzemní podlaží a štíhlé lávky spojující obě části budovy. Kromě hlavní recepce jsou zde oddychové plochy s živými stromy, vstup do gastronomického provozu a espresso. V prostoru atria, aby byly v rovnováze velké prosklené plochy s teplejšími materiály, jsou použity přírodní materiály – kámen na podlahu a dřevo na obklady.

Objekt Gamma je projektován obdobně jako ostatní budovy BB Centra ve standardu vyspělé administrativní budovy s příslušnou kvalitou osvětlení, nuceného větrání a chlazením vnitřního prostředí. Pronájem společnosti Telefónica O2 Czech Republic se stal jednou z největších realitních transakcí minulého roku.

*Tisková informace*



# Subpixelové měření v blízké fotogrammetrii

Ing. Petr KALVODA  
 Ing. Miroslava SUCHÁ  
 Ing. Leoš BRKL  
 Ing. Jiří VONDRÁK, Ph. D.  
 VUT – Fakulta stavební  
 Brno

Digitální zpracování obrazu umožňuje zlepšení kvality snímku, automatizace měření snímkových souřadnic a dosažení subpixelové přesnosti. Prvním krokem při řešení problematiky subpixelového měření bylo vytvoření aplikace pro určování středů symetrických terčů. Celé zpracování je realizováno v prostředí matematického programu MATLAB. Pro subpixelové určení byl převzat známý algoritmus. Článek shrnuje dosavadní zkušenosti s tvorbou aplikace a ověřování dosažených výsledků.

## Úvod

Ve fotogrammetrii často řešíme problém, jak dosáhnout přesnosti, která by byla srovnatelná s geodetickými metodami. Výsledná přesnost je ovlivněna měřítkem snímku, parametry kamery, konfigurací snímků, přesností určení vřícovacích bodů, a samozřejmě přesností určení snímkových souřadnic [3].

## Popis projektu

Cílem projektu subpixelového měření je vyvinout aplikaci, ve které by bylo možné měřit snímkové souřadnice se subpixelovou přesností [3]. Jako nejvhodnější se jeví použití programového balíku MATLAB [6] s využitím toolboxu Image Processing. MATLAB ukládá snímky jako dvojrozměrná pole (tj. matice), jejichž každý prvek odpovídá konkrétnímu pixelu ve zpracovávaném snímku (obr. 1).

## Vývoj aplikace

V prostředí MATLAB bylo vytvořeno grafické uživatelské prostředí (GUI), ve kterém je možné provádět vlastní měření. Bylo třeba vyřešit:

- načtení a zobrazení snímku;
- označení oblasti pro vyhledávání a vytvoření submatic původního snímku. Souřadnice rohů označené oblasti se zobrazují v levém sloupci (obr. 2);
- naprogramování jednotlivých algoritmů pro vyhledávání středu a jeho aplikace na submaticích;
- výstup souřadnic do textového souboru, který bude možné dále zpracovávat.

## Subpixelové určení polohy terčů

Několik metod pro určení středu objektu na snímku bylo popsáno v práci [3]. Mezi nejpoužívanější patří jistě metoda těžiště a metoda gradientu. Lze jimi dosáhnout přesnosti až 1/30 pixelu, minimální velikost signálu je 5 pixelů. Nevýhodou metody těžiště je nutnost manuálního nastavení prahu [3].

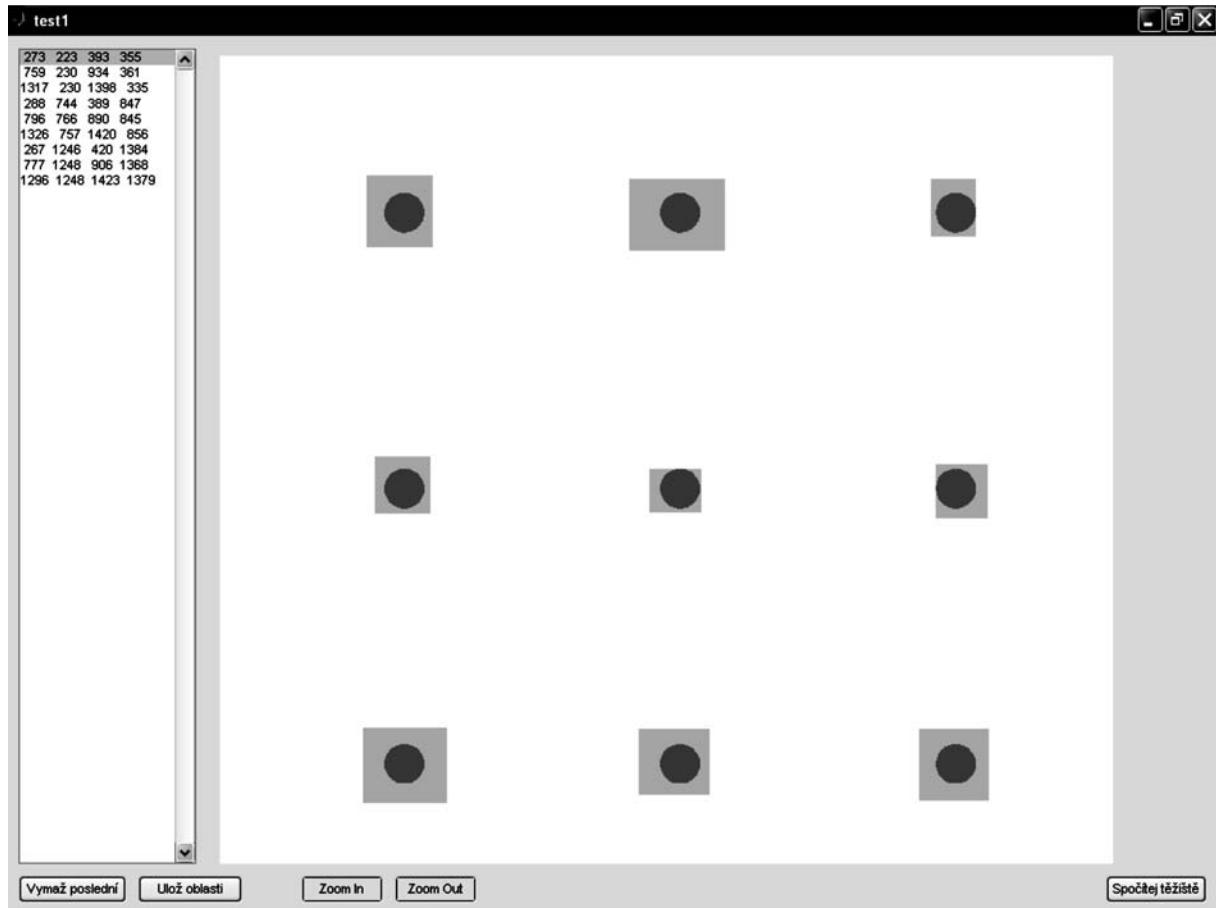
## Metoda těžiště celé plochy terče

$$r_M = \frac{\sum_{i=1}^n (r_i T_i g_i)}{\sum_{i=1}^n (T_i g_i)}, \quad c_M = \frac{\sum_{i=1}^n (c_i T_i g_i)}{\sum_{i=1}^n (T_i g_i)},$$

$$\text{kde } T_i = \begin{cases} \rightarrow 0 & \text{pro } g_i \leq t \\ \rightarrow 1 & \text{pro } g_i \geq t \end{cases},$$



Obr. 1. Návrh projektu subpixelového měření snímkových souřadnic



Obr. 2. Ukázka vytvořeného GUI

$t$  je zvolená prahová hodnota,  $n$  je počet pixelů v rámci vyhledávací oblasti,  $g_i$  jsou stupně šedi (intenzity) a  $r_p$ ,  $c_i$  jsou snímkové souřadnice.

#### Metoda těžiště hranových pixelů (metoda gradientu)

Zahrnuje do výpočtu pouze pixely, ve kterých dochází ke změně stupňů šedi. Podstata spočívá ve výpočtu rozdílů stupňů šedi  $\Delta g$  mezi sousedními pixely, tzn. váhy jsou úměrné těmto rozdílům. Postup výpočtu je zřejmý ze vzorců

$$r_M = \frac{\sum_{i=1}^n r_i \nabla^2(g_i)_r}{\sum_{i=1}^n \nabla^2(g_i)_r}, \quad c_M = \frac{\sum_{i=1}^n c_i \nabla^2(g_i)_c}{\sum_{i=1}^n \nabla^2(g_i)_c},$$

kde  $\nabla(g_i)_r = \frac{\Delta g_{rj}}{\Delta r_j}$  a  $\nabla(g_i)_c = \frac{\Delta g_{cj}}{\Delta c_j}$  jsou obrazové gradienty.

V první fázi zpracování byl vytvořen M-file pro výpočet středu měřické značky (pomocí gradientu). Bylo rozhodnuto, že metoda gradientu bude kombinována s hranovými operátory [8] Robertse, Sobela, Cannyho, Prewitta, Zerocrosse.

#### Ověřování na značce $\varnothing$ 75 pixelů

V programu Microstation bylo vytvořeno devět kruhových značek, které byly převedeny do rastrové podoby o velikosti 75 pixelů pro simulaci reálného vyhledávání středu

terčů. U těchto značek jsou přesně známy souřadnice středu, proto bylo možné určit střední souřadnicové chyby jednotlivých měření. V prostředí MATLAB byly určeny středy těchto značek postupně pro jednotlivé stupně šedi –  $g : 0, 100, 200, 250$ . Pro výpočet byla použita metoda gradientu v kombinaci s jednotlivými hranovými operátory. Cílem tohoto dílčího experimentu bylo zjistit vliv stupňů šedi značky na jednotlivé operátory (tab. 1).

Tab. 1. Vliv stupňů šedi značky na jednotlivé operátory

g	$m_0$ [px]			
	0	100	200	250
gradient	0,017	0,017	0,017	0,017
grad + Roberts	0,017	0,017	0,017	0,017
grad + Sobel	0,146	0,167	0,111	0,123
grad + Canny	0,026	0,026	0,026	0,026
grad + Prewitt	0,067	0,067	0,142	0,163
grad + Zerocross	0,018	0,018	2,119	5,385

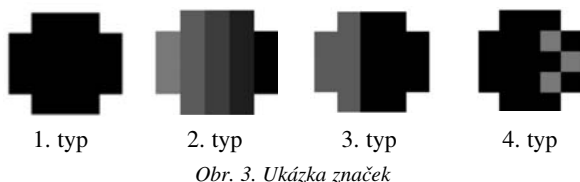
Převedením z \*.dgn na \*.tif došlo k deformaci jednotlivých značek, tzn. značky nejsou symetrické. Střední chyby 0,017 pixelu při použití gradientu jsou způsobeny pravděpodobně touto deformací. Odchytky ostatních středních chyb od této hodnoty jsou způsobeny jednotlivými operátory.

V návaznosti na výsledky bylo rozhodnuto o ověření na ideálním příkladu, a proto byly vytvořeny značky se zaručenou symetrií. Pro ověření jednotlivých operátorů byla zvolena minimální velikost značky požadovaná pro metodu gradientu.

**Ověřování na ideálním příkladu**

**Značka Ø 5 pixelů**

V praxi jistě nebudou mít terče stejnou barvu po celém povrchu. Díky nerovnoměrnému osvětlení může mít část značky na snímku různé stupně šedi nebo může obsahovat pouze několik světlejších pixelů. To může podstatně ovlivnit výsledky. Proto byly simulovány kruhové značky Ø 5 pixelů s různými stupni šedi (obr. 3).



**Výpočet středu značek a jejich porovnání**

Pomocí aplikace vytvořené v prostředí MATLAB byly určeny středy těchto značek postupně, pouze s použitím gradientu samotného, a pak v kombinaci s jednotlivými hranovými operátory. Za referenční hodnotu lze považovat výpočet středu 1. typu značky pomocí samotného gradientu. S těmito souřadnicemi jsou porovnáni ostatní (tab. 2).

Tab. 2. Výpočet středu 1. typu značky

Značka 1-9	g : 0 [px]									
	grad/Roberts		grad/Sobel		grad/Canny		grad/Prewitt		grad/Zerocros	
	$\delta y$	$\delta x$	$\delta y$	$\delta x$	$\delta y$	$\delta x$	$\delta y$	$\delta x$	$\delta y$	$\delta x$
Ø	0,500	0,500	-0,100	-0,100	0,000	0,000	-0,100	-0,100	-0,180	0,253

Tab. 3. Výpočet středu 2. typu značky

Značka 1-9	g : 120-90-60-30-0 [px]									
	grad 1/grad 2		grad 1/Roberts		grad 1/Sobel		grad 1/Canny		grad 1/Prewitt	
	$\delta y$	$\delta x$	$\delta y$	$\delta x$	$\delta y$	$\delta x$	$\delta y$	$\delta x$	$\delta y$	$\delta x$
Ø	0,000	-1,003	0,500	0,500	0,000	-0,125	0,000	-0,125	0,000	-0,125

Tab. 4. Výpočet středu 3. typu značky

Značka 1-9	g : 120-0 [px]									
	grad 1/grad 3		grad 1/Roberts		grad 1/Sobel		grad 1/Canny		grad 1/Prewitt	
	$\delta y$	$\delta x$	$\delta y$	$\delta x$	$\delta y$	$\delta x$	$\delta y$	$\delta x$	$\delta y$	$\delta x$
Ø	0,000	-0,933	0,500	0,643	0,000	-0,333	0,000	-0,375	0,000	-0,333

Tab. 5. Výpočet středu 4. typu značky

Značka 1-9	g : 120-0 [px]									
	grad 1/grad 4		grad 1/Roberts		grad 1/Sobel		grad 1/Canny		grad 1/Prewitt	
	$\delta y$	$\delta x$	$\delta y$	$\delta x$	$\delta y$	$\delta x$	$\delta y$	$\delta x$	$\delta y$	$\delta x$
Ø	0,000	0,056	0,500	0,500	0,050	-0,125	0,000	0,000	0,000	-0,077

Z výsledků je evidentní systematický posun ve výsledcích získaných s hranovým operátorem Zerocrosse, proto je z dalších výpočtů vyloučen. Určení středu pomocí Cannyho operátoru je shodné s výpočtem, který využívá pouze samotný gradient.

Z tabulky 3 je zřejmé, že změna stupňů šedi má vliv jak na výpočet pomocí gradientu samotného, tak na výpočet pomocí gradientu v kombinaci s některými hranovými operátory. Podobně jako pro 1. typ značky je u Robertsova operátoru systematický posun 0,5 pixelu i pro typ značky 2. To je způsobeno velikostí masky 2 x 2 [8], což má za následek změnu velikostí filtrovaného obrazu o 1 pixel proti obrazu původnímu (všechny pixely nového obrazu jsou posunuty o hodnotu 0,5 pixelu vůči pixelům obrazu původního). U třetího typu značky se stále projevuje systematický posun u Robertsova operátoru, v tomto případě však již není přesně 0,5 pixelu (tab. 4).

Z výsledků vyplývá, že nejstálejší je Robertsův a Cannyho operátor. Otázkou zůstává, zda to platí pro všechny stupně šedi. Proto bylo navrženo grafické ověřování jednotlivých hranových operátorů (tab. 5).

**Grafické ověřování hranových operátorů**

Cílem je, aby nalezené a vytažené hrany co nejméně zobrazovaly skutečnost a obraz byl symetrický. Na značkách na obr. 3 byly měněny stupně šedi postupně od 30 do 120.

- Výsledky vyhledávání hran pro 2. typ značky a rozhraní g 120-90-60-30-0.

Robertsův operátor



Sobelův operátor



**Cannyho operátor****Prewittův operátor**

V tomto případě nejlepší výsledky poskytuje Robertsův operátor. Při experimentech jsme zjistili, že pro tento operátor je nutná vyhledávací oblast 9 pixelů okolo značky.

● Výsledky vyhledávání hran pro 3. typ značky s postupnou změnou šedi. Sledovalo se, jak se mění určení hran pomocí jednotlivých operátorů.

	<b>Robertsův</b>		
rozhraní $g$ :	0/0 – 60/0	70/0 – 100/0	110/0 – 20/0
	<b>Sobelův</b>		
rozhraní $g$ :	1/0 – 60/0	90/0	120/0
	<b>Cannyho</b>		
rozhraní $g$ :	0/0 – 110/0	120/0	
	<b>Prewittův</b>		
rozhraní $g$ :	1/0 – 60/0	90/0	120/0

Jako nestabilnější se jeví Cannyho operátor. Obraz značky je deformován až při  $g = 120$ . Pro tento operátor stačí malá vyhledávací oblast, tzn. 2 pixely od značky. Robertsův operátor deformuje obraz od  $g = 70$ , a navíc je třeba označit oblast 7 pixelů okolo značky.

Při ověřování vyhledávání hran pro 4. typ značky byla opět měněna intenzita pixelů postupně na 30, 60, 90, 100, 110, 120. Zde nejlepší výsledky poskytuje Cannyho operátor. Správně detekuje hranu až do  $g = 130$  s vyhledávací oblastí 2 pixely okolo značky. Robertsův operátor detekuje správně hranu do  $g = 120$ , ale s vyhledávací oblastí 11 pixelů od značky. Vliv velikosti značky na požadovanou velikost vyhledávací oblasti bude předmětem dalšího ověřování.

**Závěr**

Byla vytvořena aplikace v prostředí MATLAB pro měření snímkových souřadnic. Cílem experimentu bylo navrhnout a ověřit nejvhodnější metodu pro určení středu značek – terčů a najít cestu pro další využití v praxi. Nejtálejší vý-

sledky podával Cannyho operátor a jako kvalitní se zdál také Robertsův. Dobré výsledky Cannyho operátoru jsou dány jeho parametry, tj. šířkou Gaussovy masky (3 x 3) a horním a dolním prahem [8]. Hlavní nevýhodou Robertsova operátoru je vysoká citlivost k šumu [9] zaviněná užitím malé masky (2 x 2) [2]. Vývoj aplikace a diskutované zkoušky jsou prvními kroky k vytvoření vlastní aplikace pro přesné měření. Pro další ověřování budou užity v první řadě větší značky (několik desítek pixelů), následně skutečné snímky.

**Literatura**

- [1] Dušek, F.: Matlab a Simulink. Univerzita Pardubice, 2000.
- [2] Sojka, E.: Digitální zpracování a analýza obrazů. Vysoká škola báňská-TU Ostrava, 2000, s.133.
- [3] Luhmann, T.: Nahbereichs – photogrammetrie. Heidelberg, Wichmann Verlag 2000.
- [4] Kager, H. – Rottensteiner, F. – Kerschner, M. – Stadler, P.: Orpheus 3.2.1. – User Manual. Vienna University of Technology, 2002.
- [5] Eos Systems INC., PhotoModeler Pro – User Manual. Vancouver 2000. <http://www.photomodeler.com/>
- [6] The Mathworks, Getting Started with Matlab. [http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/pdf\\_doc/matlab/getstart.pdf](http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/pdf_doc/matlab/getstart.pdf)
- [7] Kropatsch, W. – Bischof, H.: Digital Image Analysis. Vienna, University of Technology, 2001.
- [8] The Mathworks, Image Processing Toolbox USER'S Guide, 1999.
- [9] Bartoněk, D.: Vybrané kapitoly z počítačové grafiky. VUT v Brně, 2002.
- [10] Hanzl, V. – Sukup, K.: Fotogrammetrie I. VUT v Brně, 2002.

---

Kalvoda, P. – Suchá, M. – Brkl, L. – Vondrák, J.: Subpixel Measurement in Close-Range Photogrammetry

Digital image processing provides options to enhance the image, to automate measurements of the points and locate targets with subpixel precision. The main idea has been to create an application for the determination of the centers of the symmetric targets. The whole processing has been run by the MATLAB professional university mathematical pack. The known algorithms for subpixel location were applied and consequently, the results were compared.

---

Kalvoda, P. – Suchá, M. – Brkl, L. – Vondrák, J.: Subpixelmessung in der Nahfotogrammetrie

Die digitale Verarbeitung eines Bildes ermöglicht eine Verbesserung der Qualität der Aufnahme, die Automatisierung der Messung der Aufnahmekoordinaten und die Erzielung einer Subpixelgenauigkeit. Der erste Schritt bei der Lösung der Problematik der Subpixelmessung war die Schaffung einer Applikation für die Bestimmung der Mitten symmetrischer Zielscheiben. Die ganze Verarbeitung wird in der Umgebung des mathematischen Programms MATLAB realisiert. Für die Subpixelbestimmung wurde ein bekannter Algorithmus übernommen. Der Artikel fasst die bisherigen Erfahrungen mit der Schaffung der Applikation und der Prüfung der erzielten Ergebnisse zusammen.

---

## • Fakulta stavební



### Podzemní výukové středisko Josef

Historie štol Josefa je spjata s těžbou zlata ve zlatonosném jílovském pásmu. V době vrcholného rozvoje středověké těžby se v okolí pracovalo v 500 dolech. Štola se začala razit až v roce 1981 v rámci obnovy průzkumu celé ložiskové oblasti a průzkum byl ukončen v roce 1991. Cílená těžba zde nebyla nikdy zahájena, neboť by došlo k devastaci cenné přírodní lokality.



Zdejší rudní revír patří z hlediska zásob zlata k nejbohatším v Evropě. Podle odhadů ukrývají místní ložiska až 130 t tohoto drahého kovu. Zlatonosné zrudnění je soustředěno do křemenných žil a žilníků. Místní zlato dosahuje sice vysoké ryzosti, ale je většinou velmi jemnozrnné. Také jeho průměrný obsah v hornině není vysoký (2 g/t). Díky tomu ložisko Mokrsko zůstalo ve středověku stranou zájmu horníků a jeho potenciál byl plně rozpoznán až v osmdesátých letech dvacátého století, kdy se začalo vážně uvažovat o obnově těžby.

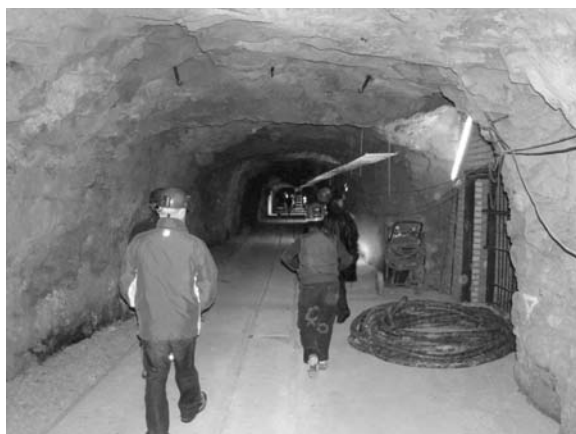


Největší koncentrace kovu jsou soustředěny v hloubkách do 300 m pod povrchem. Zlato by tedy muselo být dobýváno povrchově, což by znamenalo citelné a nevratné zásahy do okolní krajiny. Pro jeho separaci by navíc bylo nutné použít ekologicky riskantní metodu kyanidového loužení. Proto ke komerční těžbě zlata na Psích horách v blízké budoucnosti nedojde.

Záměr Fakulty stavební ČVUT vybudovat zde výukové středisko byl inspirován obdobnými univerzitními pracovišti v USA i Evropě. Podzemní pracoviště provozovaná vysokými školami zajišťují vysokou úroveň praktické přípravy studentů v reálných podmínkách, rozvíjení experimentální činnosti a napomáhají užší spolupráci vysokoškolských pracovišť s praxí. Pro svou činnost využije z celého systému vyražených štol pouze nepatrnou část, přičemž oblast zlato-

nosných žil nebude narušena. Hlavní náplní tohoto multidisciplinárního pracoviště bude:

- 1 až 3 denní výukové bloky v oblasti podzemních staveb, mechaniky hornin, materiálového zkušebnictví, inženýrské geologie, geodézie a mapování;
- specializovaná výuka a kurzy v oblasti obsluhy strojních zařízení, destruktivních prací, ventilace či bezpečnostního tréninku studentů;
- experimentální vědeckovýzkumná činnost v oblastech materiálového inženýrství, geotechniky, geologie a hydrologie;
- specializovaný trénink a školení zaměstnanců stavebních firem (obsluha moderních stavebních zařízení, technologie stříkaných betonů, svorníková výstroj a kotvení, školení z bezpečnosti práce apod.).



Díky podpoře Ministerstva životního prostředí ČR jako majitele podzemního díla, obce Chotilsko a společnosti Metrostav, která zprovozní část pro potřebu výuky na své náklady, se Fakultě stavební ČVUT podařilo v letech 2004 až 2005 vyřešit a splnit podmínky nutné pro jeho zprovoznění. Oficiální otevření je plánováno na červen. Výuka studentů podle nových studijních plánů bude zahájena v září 2007. Postupně bude opravena i stávající budova pro administrativní servis, ubytovací kapacity, dílny a povrchové laboratoře. Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem, státním rozpočtem České republiky a rozpočtem Hlavního města Prahy.

*Tisková informace*

## • bienále



### INDUSTRIÁLNÍ STOPY 2007

17. – 23. září 2007



Výzkumné centrum průmyslového dědictví ČVUT v Praze a Kolegium pro technické památky ČSSI a ČKAIT pořádá ve spolupráci s Českým národním komitétem ICOMOS, Národním památkovým ústavem, Národním technickým muzeem a Akademií múzických umění v Praze v rámci oslav k 300. výročí založení ČVUT již čtvrté bienále Industriální stopy.

Na přípravě a zajištění doprovodných akcí se podílí řada dalších organizací a institucí v jednotlivých městech, podpořil je i Visegradský fond. Záštitu převzali předseda Senátu České republiky a prezident Hospodářské komory České republiky.

Bienále představuje platformu pro výměnu názorů mezi odborníky různých profesí i pro publikování a popularizaci tématu v širší veřejnosti. Smyslem doprovodných konferencí, výstav a kulturních akcí je ukázat možnosti a úskalí nového využití industriálních staveb a areálů, ale v jejich kontextu také formulování obecnějších témat památkové péče, architektonické tvorby a umění, způsobu života.

Tradičním místem doprovodné konference je unikátní objekt bývalé čistírny odpadních vod, další akce budou probíhat v historickém centru Prahy i v nově využitých industriálních objektech na předměstí Kladna, Liberce a Ostravy. Konference bude probíhat v češtině a angličtině. Přednesené referáty budou publikovány ve sborníku.

### Průmyslové dědictví kulturním potenciálem udržitelného rozvoje

mezinárodní konference

#### Témata:

- *Proměna hodnotových kritérií: kultura, ekonomika a politika. Areály a objekty zaniklého průmyslu jako krystalizační ohniska dalšího urbanistického rozvoje, udržitelného rozvoje krajiny a sídel (shoda i konflikt zájmů různých profesí).*
- *Smysl a váha institucí (vládních, nevládních, vysokých škol, zájmových skupin), jejich role a limity při identifikaci, vyhodnocení, novém využití /adaptive re-use/ a prosazení záchrany průmyslového dědictví.*
- *Integrace v rámci Evropské unie – propojení kulturních industriálních cest. (Kompatibilita evidence a vyhodnocování objektů průmyslového dědictví jako cílů alternativní turistiky; informační systémy a databáze pro vznikající projekty.)*
- *Průmyslové dědictví prostorem k sebereflexi, místem pro tvorbu a nový umělecký zážitek.*

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



### Fórum českého stavebnictví 2007

#### Konference o zadávání veřejných stavebních zakázek v zemích EU

27. – 28. března 2007

Svaz podnikatelů ve stavebnictví v ČR a poradenská společnost INCOMA Consult přicházejí pod záštitou mezinárodní asociace FIEC s dvoudenním odborným projektem, který se koncem března uskuteční v konferenčních prostorách hotelu President v Praze. Nabídne informace o vývoji českého stavebnictví v kontextu evropského trhu, trendech rezidenční výstavby a dopravní infrastruktury i pohled špičkové zahraniční stavební společnosti. Hlavním tématem druhého dne bude konference FIEC o zadávání veřejných stavebních zakázek za účasti zástupců členských států EU.

[www.construction21.cz](http://www.construction21.cz)

## • dizertace



### Řízení jakosti na stavbách a technologická rizika jakosti

Ing. Jaroslav Berka

Dizertace se týká aktuálního tématu a obsahuje příklady z praxe. Vytčený cíl, týkající se racionální zakázky z hlediska cen a nákladů i kalkulace rizika, byl splněn.

### Metodika výpočtu potenciálních povodňových škod

Ing. Martin Brůža

Práce obsahuje metodiku výpočtu povodňových škod na stavebních objektech, infrastruktuře a zemědělství. Ověřování probíhalo na sedmi lokalitách, kde se porovnávaly škody předpokládané podle dizertace se skutečnými.

## • zprávy

### Obnova Fürstenberské zahrady



Dlouho očekávaná rekonstrukce známé zahrady pod Pražským hradem, která je kvůli svému stavu již několik let nepřístupná, byla zahájena v září. Název získala zahrada v roce 1822, kdy byla i se sousedním palácem ve vlastnictví rodu Fürstenberků. Její historie však sahá až do třináctého století, kdy zde byly vinice a podle dochovaných materiálů v minulosti patřila k nejkrásnějším místům v metropoli.

Rozkládá se mezi Valdštejnskou ulicí a Starými zámeckými schody, kde bude v budoucnu vchod. Rozsáhlou obnovou projde především ta část, která se nachází v mírném svahu. Opraven bude vyhlídkový pavilon, kde bude moderní sociální zařízení a občerstvení, a další dva pavilony, které se v zahradě nacházejí. Rekonstruovány budou rovněž veškeré opěrné zdi. Pro údržbu zahrady budou vybudovány dva nové objekty, vzniknou také dvě oranžerie. Samozřejmostí jsou konečné terénní a sadové úpravy. Celková rozloha opravované části je 6 800 m<sup>2</sup>. Projekt v hodnotě 165 mil. Kč realizuje společnost Skanska CZ do konce roku 2007. O investiční náklady se podělilo Hlavní město Praha a Evropská unie. Projektantem obnovy je architektonický atelier Mepro.

*Tisková informace*

## • dizertace



### Vliv teploty na vybrané vlastnosti betonu

*Ing. Tomáš Zadražil*

Dizertace prokazuje, že vlivem teploty klesá pevnost betonu v důsledku rozkladu hydrosilikátů na původní složky alit a belit. Vliv má též rostoucí poréznost. Je předložena hypotéza vysvětlující zpevnění betonu o stáří 90 dnů při teplotách mezi 200 a 400 °C.

### Experimentální měření dotvarování a smršťování vláknobetonů

*Ing. Dušan Šňůra*

V práci je předložen originální model výpočtu objemových změn, který je přínosem pro rozvoj vláknobetonů v praxi. Teoreticky odvozené a experimentálně ověřené hodnoty lze použít při návrhu těchto konstrukcí.

### Predikce mechanicko-fyzikálních vlastností hurdiskových stropů

*Ing. Pavel Rubáš*

Dizertace je příspěvkem k problematice havárií hurdiskových stropů, jejichž příčina dosud není jednoznačně objasněna. Jde o první systematický pokus o zjištění těchto příčin.

ABF – Nadace pro rozvoj architektury a stavitelství  
Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR  
Svaz podnikatelů ve stavebnictví ČR  
ECONOMIA, a. s., časopis Stavitel

vyhlašují 15. ročník veřejné neanonymní soutěže



STAVBA ROKU  
2007

Cílem soutěže, vypsané na podporu kvalitní a komplexní realizace stavebního díla, je seznámit nejširší odbornou i laickou veřejnost s úrovní českého stavitelství a architektury. Soutěž je určena pro stavby realizované na území České republiky bez ohledu na státní příslušnost projektanta, architekta stavby a místo registrace realizátorských firem. Mohou být přihlášena stavební díla ze všech oborů dokončená a uvedená do provozu nebo zkolaudovaná v období od června předcházejícího roku do května 2007. Přihlášku včetně dokumentace je nutno doručit nejpozději do 31. května 2007 na adresu Nadace ABF.

Na ocenění porota nominuje nejvýše patnáct staveb, z nichž bude vybráno nejvýše pět bez rozlišení pořadí. Vypisovatelé a partneři mohou doporučit stavby pro vyhlášení dalších cen:

- Nadace ABF za IT dům,
- Ministerstva průmyslu a obchodu České republiky za nejlepší stavbu financovanou z veřejných prostředků,
- Svazu podnikatelů ve stavebnictví v České republice za nejlepší stavební podnikatelský záměr,
- časopisu Stavitel za nejlepší stavební architektonický detail,
- primátora Hlavního města Prahy za nejprínosnější stavbu v rozvoji města,
- Státního fondu rozvoje bydlení za nejlepší stavbu určenou k bydlení,
- veřejnosti organizovanou prostřednictvím tisku a internetu,
- poroty.

Nominace budou vyhlášeny v září a výsledky vyhlášeny na slavnostním Večeru českého stavitelství a architektury. Partnerem soutěže je Státní fond rozvoje bydlení a Hlavní město Praha.

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

## • dizertace



### **Ocelobetonové integrované mosty**

*Ing. Filip Roller*

Práce se zabývá řešením integrovaného mostu, který nemá ložiska a mostní závěry a jehož horní stavba spolupůsobí s opěrami i zeminou za opěrami. Dizertant vyřešil složitou otázku interakce a pro použití v praxi celý problém naprogramoval do uživatelsky přátelského softwaru.

### **Objemové změny betonu ve fázi tuhnutí**

*Ing. Jiří Litoš*

Dizertace se týká chování betonu v počátečním období tvrdnutí, kdy dochází ke vzniku trhlin, které se negativně projevují v konstrukcích. Autor navrhl nový způsob měření počátečního smršťování a technicky dopracoval funkční zařízení, na kterém lze měření provádět.

### **Aplikace geografických informačních systémů ve veřejné správě**

*Ing. Jiří Borovský*

V první části práce se řeší využití GIS na úrovni malých sídel. Ve druhé části je navržen model pro jednotné zpracování územně plánovacích podkladů v informačních systémech obcí či měst. V práci ověřené na vybraných obcích Českobudějovického kraje se uvádějí konkrétní náměty pro možnost aplikace databází na úrovni správy pro potřeby územního plánování.

### **Limity využití území v podmínkách udržitelného rozvoje**

*Ing. arch. Marek Janata*

Dizertace porovnává přístup k řešení problematiky určení limitů využití území v ČR a v zahraničí a kriticky upozorňuje na slabá místa současné legislativy. Navrhují se opatření ke zlepšení situace.

### **Ekologické, funkční, urbanistické a architektonické problémy brownfieldů v malých městech**

*Ing. Zuzana Kamerová*

Práce se zabývá využitím brownfields v malých městech. Na základě průzkumu, popisu a hodnocení těchto ploch v pěti sídlech Královéhradeckého kraje vznikla metodika identifikace v území a jejich klasifikace. Autorka navrhla obecné principy pro jejich revitalizaci.

### **K vlivu technologie a lhůty výstavby na náklady a cenu stavební produkce**

*Ing. Václav Pospíchal*

Práce se zabývá aktuálním tématem aplikovatelným v praxi formou šetření nákladů a termínů realizace staveb. Metodický přístup odpovídá současným znalostem v tomto vědním oboru.

## • zprávy



### **na českém trhu stavebních materiálů**

Společnost CEMEX S. A. de C. V., s centrálou v Monterrey v Mexiku, byla založena v roce 1906 a během uplynulých sto let se rozvinula v celosvětového předního výrobce čerstvého betonu, kameniva a cementu. Na jaře roku 2005 koupila britskou společnost RMC Group plc včetně českých dceřiných společností Readymix Bohemia, Transportbeton Morava, Readymix Praha-Malešice a GZ-Sand. Používání různých značek a image těmito společnostmi v minulosti pak sjednotila pod jedinou značku. Kromě České republiky je přítomna ve více než 50 zemích v Americe, Evropě, Africe, na Středním východě a v Asii.



Jako jeden z předních poskytovatelů integrovaných stavebních řešení v České republice provozuje 47 betonáren, 7 šterkoven a cementárnu. Nabízí i speciální výrobky, jako anhydritové potěry, beton vyztužený ocelovými vlákny, samonivelační nebo samozhutňující betony. Investovala do dvou nových betonáren v Sokolově a Mikulově a zvýšila kapacitu cementárny v Dětmovicích.

V listopadu loňského roku se CEMEX Czech Republic zúčastnila XV. ročníku soutěže CEMEX Building Award v Monterrey v Mexiku, kam nominovala obytný dům Poděbrady, kancelářskou budovu Gemo Olomouc a most na silnici I/50 Uherské Hradiště. Tyto projekty, na něž CEMEX dodal beton, byly v Monterrey oceněny. Soutěže se zúčastnilo 62 projektů ze 24 zemí a jako porota bylo nominováno 27 odborníků.

*Tisková informace*



# STAVEBNÍ OBZOR

## ROČNÍK 16 ČÍSLO 04/2007

### Navigace v dokumentu

#### OBSAH

Pavlíková, M. – Mňahončáková, E. – Padevět, P. – Konvalinka, P. – Černý, R. <b>Měření základních parametrů vysokohodnotného betonu s trhlinami</b>	<b>97</b>
Novotný, R. – Pech, P. <b>Zjednodušené řešení roštových základových pasů</b>	<b>101</b>
Čápová, D. – Pospíšilová, P. <b>Komerční investice – kancelářské plochy v Praze</b>	<b>110</b>
Štroner, M. <b>Vývoj softwaru na zpracování mračen bodů PointClouder</b>	<b>113</b>
Zuda, L. – Drchalová, J. – Černý, R. – Bayer, P. – Rovnaník, P. <b>Tepelné, vlhkostní a mechanické vlastnosti kompozitního materiálu zatíženého vysokými teplotami</b>	<b>116</b>
Novotný, M. – Šuhajda, K. <b>Sledování účinnosti mikrovlnného vysoušení pomocí tyčové antény</b>	<b>121</b>

**4 • 2007**

**ročník 16**

# 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

Pavlíková, M. – Mňahončáková, E.  
– Padevěť, P. – Konvalinka, P. –  
Černý, R.

**Měření základních  
parametrů vysokohodnotného  
betonu  
s trhlinami ..... 97**

Novotný, R. – Pech, P.

**Zjednodušené řešení roštových  
základových pasů ..... 101**

Čáповá, D. – Pospíšilová, P.

**Komerční investice –  
kancelářské plochy  
v Praze ..... 110**

Štroner, M.

**Vývoj softwaru  
na zpracování mračen bodů  
PointClouder ..... 113**

Zuda, L. – Drchalová, J. – Černý, R.  
– Bayer, P. – Rovnaník, P.

**Tepelné, vlhkostní  
a mechanické  
vlastnosti  
kompozitního materiálu  
zatíženého  
vysokými  
teplotami ..... 116**

Novotný, M. – Šuhajda, K.

**Sledování účinnosti  
mikrovlnného  
vysoušení pomocí  
tyčové antény ..... 121**

## CONTENTS

Pavlíková, M. – Mňahončáková, E.  
– Padevěť, P. – Konvalinka, P. –  
Černý, R.

**Basic Thermal, Hygric and  
Mechanical Parameters of  
High Performance Concrete  
with Cracks ..... 97**

Novotný, R. – Pech, P.

**Simplified Design of Grillage  
Foundations ..... 101**

Čáповá, D. – Pospíšilová, P.

**Commercial Investments –  
Office Spaces  
in Prague ..... 110**

Štroner, M.

**Development of PointClouder  
Software for Point Clouds  
Processing ..... 113**

Zuda, L. – Drchalová, J. – Černý, R.  
– Bayer, P. – Rovnaník, P.

**Thermal, Hygric and  
Mechanical Properties  
of Composite Material  
with Slag Binder and  
Vermiculite Aggregates  
Exposed to High-  
Temperature Load ..... 116**

Novotný, M. – Šuhajda, K.

**Monitoring of the Efficiency  
of Microwave  
Desiccation with  
the Bar Antenna ..... 121**

## INHALT

Pavlíková, M. – Mňahončáková, E.  
– Padevěť, P. – Konvalinka, P. –  
Černý, R.

**Messung grundlegender  
Parameter hochwertigen  
Betons  
mit Rissen ..... 97**

Novotný, R. – Pech, P.

**Vereinfachte Lösung von  
Fundamentroststreifen .. 101**

Čáповá, D. – Pospíšilová, P.

**Kommerzielle Investitionen –  
Büroflächen  
in Prag ..... 110**

Štroner, M.

**Entwicklung der Software  
PointClouder zur Bearbeitung  
von Punktwolken ..... 113**

Zuda, L. – Drchalová, J. – Černý, R.  
– Bayer, P. – Rovnaník, P.

**Wärmetechnische,  
Feuchtigkeits-  
und mechanische  
Eigenschaften eines  
durch hohe Temperaturen  
belasteten  
Verbundmaterials ..... 116**

Novotný, M. – Šuhajda, K.

**Beobachtung der  
Wirksamkeit einer Mikro-  
wellenaustrocknung mit Hilfe  
einer Stabantenne ..... 121**

## REDAKČNÍ RADA

### Předseda:

prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.

### Místopředseda:

doc. Ing. Alois MATERNA, CSc.

### Členové:

doc. Ing. Pavel HÁNEK, CSc.

doc. Ing. Vladimír JELÍNEK, CSc.

Ing. Jiří KALA, Ph. D.

doc. Ing. J. KORYTÁROVÁ, Ph. D.

Ing. Karel KUBEČKA

Ing. Libor MATĚJKA, CSc., Ph. D.

doc. Ing. Jaroslav NOVÁK, CSc.

doc. Ing. Luděk NOVÁK, CSc.

doc. Ing. Miloslav NOVOTNÝ, CSc.

doc. Ing. Miloslav PAVLÍK, CSc.

prof. Ing. J. PROCHÁZKA, CSc.

Ing. Vlastimil ROJÍK

Ing. Karel SVOBODA

doc. Dr. Ing. Miloslav ŠLEZINGR

Ing. Milan ŠMAK, Ph. D.

Ing. Ludvík VÉBR, CSc.

doc. Ing. Josef VITÁSEK, CSc.

prof. Ing. Jiří WITZANY, DrSc.

Ing. Renata ZDAŘILOVÁ

STAVEBNÍ OBZOR, odborný měsíčník, vydává  
Fakulta stavební ČVUT Praha společně s Fakultou  
stavební VUT Brno, Fakultou stavební VŠB TU  
Ostrava, Českou komorou autorizovaných inženýrů  
a techniků činných ve výstavbě a Českým svazem  
stavebních inženýrů. Řídí redakční rada, vedoucí  
redaktorka Marcela Klímová. Adresa redakce:  
Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel./fax: 224 354 596,  
klimova@fsv.cvut.cz, <http://web.fsv.cvut.cz/obzor>.  
Vychází každý měsíc kromě července a srpna,  
cena za výtisk je 40 Kč včetně DPH (+ poštovné a  
balné). Objednávky odběru i reklamace přijímá  
Ing. Milan Gattringer, MG DTP, Borovanská 3388, 143 00  
Praha 4, tel./fax: 241 770 220, e-mail: [mgdtp@volny.cz](mailto:mgdtp@volny.cz).  
Odběr je možné zrušit až po vyčerpání zaplace-  
ného předplatného. Inzerce adresujte redakci. Tech-  
nická redakce a realizace: Ing. Milan Gattringer. Po-  
dávání novinových zásilek povoleno Ředitelstvím  
pošt Praha, č. j. NP 144/1994, ze dne 21. 10. 1994.  
Do sazby 9. 3. 2007. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

## Měření základních parametrů vysokohodnotného betonu s trhlinami

Ing. Milena PAVLÍKOVÁ, Ph. D.  
Ing. Eva MĚNAHONČÁKOVÁ  
Ing. Pavel PADEVĚT, Ph. D.  
doc. Ing. Petr KONVALINKA, CSc.  
prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

Mechanické, tepelné a vlhkostní parametry vysokohodnotného betonu náležejí ke kritickým parametrům pro navrhování a užívání komplexních spolehlivostních modelů předpovědi životnosti betonových konstrukcí. Většinou se předpokládá, že materiál je kompaktní bez zřejmých trhlin, což však v řadě případů neodpovídá skutečnosti. Hlavním cílem článku je proto zjistit vliv trhlin ve struktuře matrice na vlastnosti vysokohodnotného betonu.

### Úvod

Progresivní vývoj ve výrobě stavebních materiálů vede ke zvyšování jejich kvality a užitečných vlastností. K dosažení nadstandardních parametrů nových materiálů se kromě nových technologií zpracování nejvíce využívá různých přísad a příměsí, které dokáží významně ovlivnit chování jak v jednotlivých fázích přípravy daného materiálu, tak v různém stadiu jeho životnosti. I pro vysokopevnostní a obecně vysokohodnotné betony se využívá nových přísad a příměsí, jako jsou plastifikátory, zpomalovače atd. K posuzování jejich kvality slouží řada metod, které objektivně hodnotí přesně definované fyzikální parametry po stránce kvalitativní i kvantitativní.

V článku [1] byly studovány základní mechanické, tepelné a vlhkostní vlastnosti vysokohodnotného betonu s přísad-

kem křemičitých úletů ve formě vodní suspenze, mikrosiliky, jež byly porovnávány s vlastnostmi betonu bez příměsí. Aby bylo možné rozlišit vliv jednotlivých komponent betonové směsi na jeho kvalitativní vlastnosti, byly dále experimentálně stanoveny mechanické, tepelné a vlhkostní parametry cementové pasty jednak s přídavkem mikrosiliky, jednak bez tohoto přídavku, a betonové směsi s přídavkem a bez přídavku mikrosiliky bez zrn velikosti 8 až 16 mm. Výsledkem bylo zjištění, že mikrosilika v kombinaci s plastifikátorem značně ovlivňuje fyzikální vlastnosti všech typů sledovaných betonů. Především vzrůstá pevnost a dochází i ke značnému ovlivnění vlhkostních a tepelných parametrů [1].

V tomto pokračování jsou prezentována měření tepelných, vlhkostních a mechanických parametrů vysokohodnotného betonu, který byl vystaven tepelnému namáhání. Účelem bylo získat poškozenou strukturu betonu s náhodně distribuovanými trhlinami, která může simulovat stav v tomto materiálu po extrémním zatížení, např. požárem. Betonové směsi byly vyrobeny podle stejných receptur [1], aby bylo možné kvalifikovaně posoudit vliv trhlin na sledované parametry.

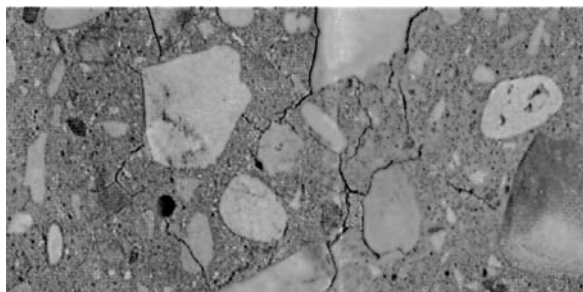
### Materiály

Předmětem experimentu byl vysokohodnotný beton, označený jako BI s přídavkem a BII bez přídavku suspenze křemičitého úletu, tzv. mikrosiliky. Dále byly připraveny záměsi obou betonů ve formě cementové pasty, označené PI a PII, a záměsi bez kameniva zrnitosti 8–16 mm, označené BBI a BBII. Složení cementových záměsí včetně vodního součinitele uvádí *tab. 1*.

Tab. 1. Složení cementových záměsí

Záměs	Složení záměsí [kg]							
	CEMI 52,5 R	SiO <sub>2</sub> suspenze	kamenivo			Woerment FM 794	Lentan VZ 33	vodní součinitel
			0-4	4-8	8-16			
BI	480	72	664	207	995	7,74	2,58	0,36
BII	470	–	668	209	1 001	5,17	2,35	0,33
BBI	480	72	664	1 202	–	7,74	2,58	0,38
BBII	470	–	668	1 210	–	5,17	2,35	0,35
PI	2 346	352	–	–	–	38,00	12,67	0,31
PII	2 348	–	–	–	–	26,00	12,00	0,34

Po namíchání byly záměsi B a BB odlity do standardních forem velikosti 100 x 100 x 400 mm a záměsi P do forem 40 x 40 x 160 mm. Pro každý experiment byly z těchto trámčů nařezány vzorky požadované velikosti. Po 28 dnech vytvrzování byly umístěny do pece a vypáleny při teplotě 600 °C. Toto teplotní zatížení bylo dostatečné pro vznik zřetelných náhodně distribuovaných trhlin, jak je patrné z obr. 1.



Obr. 1. Vysokohodnotný beton BI po teplotním zatížení

### Metody a vzorky

■ Pro stanovení základních termofyzikálních parametrů na vzorcích 60 x 60 x 60 mm byl použit měřicí přístroj ISOMET 2104 [2] řízený mikroprocesorem. Slouží k přímému měření součinitelů tepelné a teplotní vodivosti pevných i sypaných materiálů pomocí sond se zabudovanou pamětí.

■ Měření součinitele difúze vodní páry probíhalo klasickou miskovou 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 [3]. Součinitel vlhkostní vodivosti  $\kappa$  se určoval přibližnou metodou, založenou na měření nasákovosti [4]. Pro zjištění obou parametrů byly použity vzorky 40 x 40 x 20 mm po obvodu vodotěsně a parotěsně izolované epoxidovou pryskyřicí, aby bylo dosaženo jednorozměrného transportu vlhkosti.

■ Pro měření součinitele teplotní délkové roztažnosti  $\alpha$  [K<sup>-1</sup>] za vysokých teplot byla použita metoda navržená v práci [5]. Je založena na komparativním principu měření, kdy se současně proměřují délkové změny standardního vzorku se známou hodnotou součinitele teplotní délkové roztažnosti a vzorku studovaného. Délková změna zkoumaného materiálu byla vypočítána podle rovnice

$$\Delta l(T_i) = \Delta l_m(T_i) - \Delta l_s(T_i) + l_{0,s} \int_{T_0}^{T_i} \alpha_s(T) dT, \quad (1)$$

kde  $\Delta l_m$ ,  $\Delta l_s$  jsou konečné hodnoty délkových změn měřeného vzorku a standardu včetně změny keramických tyčinek (součást měřicího zařízení) [m],  $\Delta l_{s,0}$  je počáteční délka standardu [m] a  $\alpha_s$  je známá hodnota součinitele teplotní délkové roztažnosti standardu [K<sup>-1</sup>]. Odpovídající hodnota relativního prodloužení  $\varepsilon$  [-] byla vypočítána podle rovnice

$$\varepsilon(T_i) = \frac{\Delta l(T_i)}{l_{0,m}}, \quad (2)$$

kde  $l_{0,m}$  je počáteční délka vzorku [m].

Součinitel teplotní délkové roztažnosti  $\alpha(T)$  byl pak vypočítán pomocí vztahu

$$\alpha = \frac{d(l/l_0)}{dT} = \frac{d\varepsilon}{dT}. \quad (3)$$

Vzorky velikosti 40 x 40 x 80-90 mm byly analyzovány v teplotním rozsahu 100 až 600 °C.

■ U zkušebních těles byla ověřována změna pevnosti daného materiálu vlivem vysokých teplot. Pro experiment byly použity vzorky 40 x 40 x 80-90 mm teplotně zatížené při měření délkové teplotní roztažnosti v rozsahu 100 až 600 °C, čímž došlo k narušení struktury materiálu a ke vzniku trhlin. Pevnost zkušebních těles se ověřovala na elektronicky řízeném přístroji DSM 2500 [6].

### Výsledky a diskuze

Měření sledovaných parametrů probíhalo za konstantních podmínek v klimatizované laboratoři při 22±1 °C a relativní vlhkosti 25 až 30 %. Jako počáteční hmotnost byla brána hmotnost vysušeného materiálu. Prezentované výsledky jsou průměrnou hodnotou tří až pěti měření (tab. 2). Vlivem teplotního zatížení a vznikem trhlin došlo u všech vzorků ke zřetelnému poklesu hodnot objemové hmotnosti ve srovnání s hodnotami pro vzorky teplotně nezatížené [1]. Zároveň došlo ke zvýšení hodnot obsahu nasycené vlhkosti až o 30 % a k nárůstu pórovitosti o 3–6 objemových procent pro jednotlivé materiály v porovnání s nezatíženými vzorky.

Tab. 2. Základní materiálové parametry

Materiál	Objemová hmotnost	Hustota matrice	Obsah nasycené vlhkosti	Pórovitost [% objemu]
	[kg m <sup>-3</sup> ]			
BI	2 391	2 856	163	16,30
BII	2 350	2 713	134	13,40
BBI	2 147	2 627	183	18,30
BBII	2 205	2 669	174	17,40
PI	1 942	3 068	367	36,70
PII	2 019	3 088	346	34,60

Hodnoty součinitele tepelné vodivosti a měrné tepelné kapacity jak v suchém stavu, tak v závislosti na vlhkosti shrnuje tab. 3. V porovnání s výsledky dosaženými na neporušených materiálech [1] se vliv trhlin projevil u všech materiálů výrazným snížením součinitele tepelné vodivosti o 20 až 40 %. Tento výsledek je v dobré kvalitativní shodě se zvýšením jejich pórovitosti po zatížení vysokými teplotami. Změny měrné tepelné kapacity v důsledku vzniku trhlin nebyly prokázány, což ovšem souvisí zejména s relativně vysokou chybou měření, která činila ±10 %.

Vlhkostní závislost součinitele tepelné vodivosti (tab. 3) byla poměrně výrazná. U všech materiálů rostla s nárůstem vlhkosti, rozdíl mezi hodnotami v suchém a vodou nasyceném stavu byl až více než 50 % (BBII). Hodnoty měrné tepelné kapacity v závislosti na vlhkosti (tab. 3) byly značně ovlivněny malými rozdíly mezi měrnou tepelnou kapacitou jednotlivých materiálů v suchém stavu, jednak již zmíněnou relativně velkou chybou měření, zřejmý je ovšem trend nárůstu měrné tepelné kapacity s nárůstem vlhkosti.

Tab. 3. Tepelné parametry materiálů v závislosti na vlhkosti

Materiál	Hmotnostní vlhkost [kg <sup>1</sup> kg <sup>-1</sup> ]	Součinitel tepelné vodivosti [Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	Měrná tepelná kapacita [Jkg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]
BI	–	1,133	758
	0,05	1,675	837
	0,07	1,953	926
BII	–	1,433	769
	0,05	1,935	823
	0,06	2,333	900
BBI	–	1,593	553
	0,04	2,415	730
	0,07	2,905	794
BBII	–	1,350	835
	0,04	1,500	832
	0,08	3,018	1027
PI	–	0,510	780
	0,14	0,917	855
	0,20	1,019	950
PII	–	0,414	708
	0,13	0,847	727
	0,20	0,981	871

Výsledky měření transportních parametrů plynné a kapalné vlhkosti shrnují *tab. 4* a *tab. 5*. Získané hodnoty součinitele difúze vodní páry, stejně jako hodnoty faktoru difúzního odporu, se pro všechny materiály lišily poměrně málo, což bylo zřejmě způsobeno významným porušením všech materiálů trhlinami. Vyšších hodnot faktoru difúzního odporu dosáhly (kromě cementové pasty P) materiály s mikrosilikou, což ukazuje příznivý vliv mikrosiliky i po zatížení vysokými teplotami. Porovnání výsledků dosažených pro materiály s trhlinami s hodnotami naměřenými pro neporušené materiály [1] ukázalo, že u materiálů s trhlinami došlo k dramatickému nárůstu hodnot součinitele difúze vodní páry (a odpovídajícímu poklesu faktoru difúzního odporu) pro všechny typy vysokohodnotného betonu, maximální nárůst byl až čtyřicetinasobný proti hodnotě pro vzorek bez trhlin,

Tab. 4. Transportní parametry vodní páry

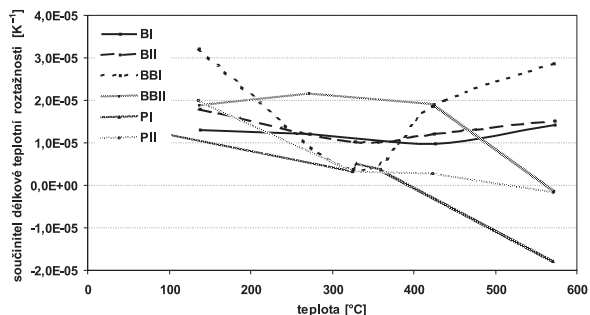
Materiál	Součinitel difúze vodní páry [m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]		Faktor difúzního odporu [-]	
	97-25 % RV	5-97 % RV	97-25 % RV	5-97 % RV
BI	1,48E-06	1,55E-06	15,8	15,4
BII	2,22E-06	1,76E-06	10,4	13,2
BBI	1,73E-06	1,96E-06	13,8	12,3
BBII	2,11E-06	2,23E-06	11,0	10,6
PI	2,29E-06	3,20E-06	10,2	7,2
PII	2,22E-06	1,76E-06	10,4	13,2

Tab. 5. Transportní parametry vody

Materiál	Vlhkostní absorpční koeficient [kgm <sup>-2</sup> s <sup>-1/2</sup> ]	Součinitel vlhkostní vodivosti [m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]
BI	4,84E-02	9,20E-08
BII	4,23E-02	1,10E-07
BBI	8,08E-02	2,50E-07
BBII	6,21E-02	2,00E-07
PI	2,77E-01	5,50E-07
PII	1,59E-01	2,00E-07

a to v případě cementové pasty PI. Součinitel vlhkostní vodivosti materiálů s trhlinami se v porovnání se základními materiály bez trhlin zvýšil o jeden až dva řády, což je ještě vyšší nárůst než u součinitele difúze vodní páry. Relativně nejnižší hodnoty součinitele vlhkostní vodivosti dosáhl vysokohodnotný beton BI, ale u ostatních materiálů se vliv mikrosiliky příznivě neprojevil. Pravděpodobným důvodem pro velmi vysoký nárůst součinitele vlhkostní vodivosti je vznik preferenčních cest pro proudění vody makrotrhlinami. Na adsorpci vodní páry neměl vznik trhlin po teplotním namáhání téměř žádný vliv. Naměřené výsledky zde neuvádíme s odkazem na práci [1].

Závislost součinitele teplotní délkové roztažnosti studovaných materiálů na teplotě ukazuje *obr. 2*. Vzorky byly temperovány při zvolené teplotě po dobu jedné hodiny, aby bylo

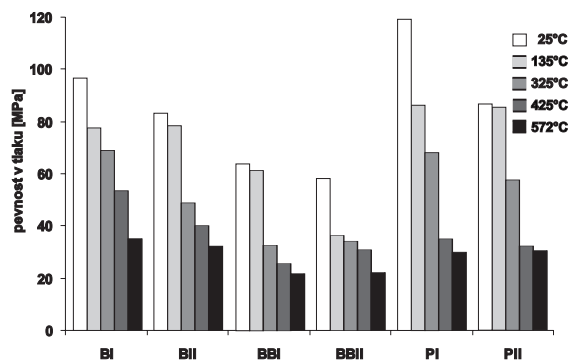


Obr. 2. Součinitel délkové teplotní roztažnosti v závislosti na teplotě

dosaženo rovnováhy mezi jejich teplotou a prostředím v peci. Součinitel teplotní délkové roztažnosti materiálů BI a BII pomalu klesal až do teploty kolem 350 °C, kdy začal pozvolna vzrůstat. Jeho hodnota však v celém rozsahu teplot zůstávala blízka hodnotě určené za normální teploty. U materiálu BBI došlo nejprve k prudkému poklesu součinitele teplotní délkové roztažnosti až do 350 °C, a poté k jeho rychlému nárůstu. U materiálu BBII kolísala součinitel délkové teplotní roztažnosti kolem střední hodnoty až do 450 °C, pak klesal k nule a při 550 °C se dostal až do záporných hodnot. Součinitel teplotní délkové roztažnosti u cementových past klesal k nule již při 400 °C pro PI a při 520 °C pro PII, a poté v obou případech klesal výrazně do záporných hodnot. Pravděpodobným důvodem je degradace materiálu rozkladem Ca(OH)<sub>2</sub>, k němuž dochází při 460 až 480 °C, což zhruba odpovídá naměřeným hodnotám. Porušení po vystavení vysokým teplotám se tedy projevilo nejvýraznějším způsobem u cementových past, kde se nemohl uplatnit příznivý účinek

křemičitého kameniva, které je ve studovaném teplotním rozsahu stabilní.

Pevnost v tlaku ověřovaných materiálů zatížených vysokými teplotami ukazuje obr. 3. Je zřejmé, že pro základní směs s křemičitými úlety dosáhla nejvyšší pevnosti cemen-



Obr. 3. Pevnost v tlaku po teplotním namáhání

tová pasta PI, nejnižší cementová malta BBII. Pevnost v tlaku všech materiálů kromě BBII byla v základním stavu vyšší než 60 MPa. Beton je tedy skutečně možno klasifikovat jako vysokopevnostní. Po teplotním zatížení došlo u všech materiálů k poklesu pevnosti v tlaku, a to až o 80 %. To je způsobeno makroskopickými trhlinami, kterými se snadno šíří zátěžové napětí. Vliv mikrosiliky se ovšem po zatížení vysokými teplotami na pevnosti výrazně neprojevil. Materiály s mikrosilikou i bez ní dosahovaly velice blízkých hodnot pevnosti. Neočekávaným prvkem jsou vyšší hodnoty dosažené pro cementovou pastu než pro základní betonovou směs až do teplotního zatížení na 325 °C. To bylo způsobeno pravděpodobně nestandardním rozměrem vzorků (40 x 40 x 80 mm). Lze předpokládat, že na větších zkušebních tělesech by pevnost betonů BI a BII byla vyšší, protože by se omezil vliv nehomogenit.

## Závěr

Experimenty prokázaly významný vliv trhlin ve struktuře zejména na pevnost v tlaku a na transportní parametry tepla a vlhkosti vysokohodnotných betonů. Nejpodstatnějším výsledkem je zjištění, že vznikem trhlin došlo u všech sledovaných materiálů k výraznému snížení pevnosti (až o 80 %) a významnému zhoršení odolnosti vůči průniku jak plynné, tak kapalné vlhkosti (až o dva řády), a to bez ohledu na přítomnost křemičitých úletů.

Článek vznikl za podpory výzkumného záměru MŠ MTMSM:6840770031.

## Literatura

- [1] Jiříčková, M. – Mňahončáková, E. – Padevět, P. – Černý, R.: Základní mechanické, tepelné a vlhkostní parametry vysokohodnotného betonu. *Stavební obzor*, 14, 2005, č. 5, s. 144–149.
- [2] Applied Precision – ISOMET. [Uživatelská příručka], Bratislava, 1999.
- [3] ČSN 72 7031 Měření součinitele difúze vodní páry stavebních materiálů metodou bez teplotního spádu. ČSN, 2001.
- [4] Kumaran, M. K.: Moisture Diffusivity of Building Materials from Water Absorption Measurements. IEA Annex 24 Report T3-CA -94/01, Ottawa, 1994.

[5] Toman, J. – Koudelová, P. – Černý, R.: A Measuring Method for the Determination of Linear Thermal Expansion of Porous Materials at High Temperatures. *High Temperatures – High Pressures* 31, 1999, pp. 595–600.

[6] SAF 301 – Uživatelský manuál ke zkušebnímu stroji DSM 2500. Inova Praha, 1996.

Pavlíková, M. – Mňahončáková, E. – Padevět, P. – Konvalinka, P. – Černý, R.: Basic Thermal, Hygric and Mechanical Parameters of High Performance Concrete with Cracks

Mechanical, thermal and hygric properties of high performance concrete belong to critical parameters in design and application of complex reliability based models for service life prediction of concrete structures. However, mostly it is supposed that the material is compact, without any significant cracks, which is not always true. Therefore, the main aim of this paper is to determine the effect of cracks in the structure of the matrix on the properties of high performance concrete.

Pavlíková, M. – Mňahončáková, E. – Padevět, P. – Konvalinka, P. – Černý, R.: Messung grundlegender Parameter hochwertigen Betons mit Rissen

Die mechanischen, wärmetechnischen und Feuchtigkeitsparameter hochwertigen Betons gehören zu den kritischen Parametern für das Entwerfen und die Anwendung komplexer Zuverlässigkeitsmodelle zur Vorhersage der Lebensdauer von Betonkonstruktionen. Meistens wird vorausgesetzt, dass das Material kompakt, ohne offensichtliche Risse ist, was jedoch in einer Reihe von Fällen nicht der Wirklichkeit entspricht. Es war deshalb das hauptsächliche Ziel, den Einfluss von Rissen in der Struktur der Matrice auf die Eigenschaften des hochwertigen Betons festzustellen.

Davidová, J. – Topenčík, M.

## KONCESNÍ ZÁKON komentář

Nakladatelství ARCH, 2007, 216 s., 285 Kč

Koncesní zákon je zcela novou právní úpravou, která se zabývá spoluprací subjektů ze soukromého a veřejného sektoru, jejímž cílem je především dlouhodobá spolupráce v oblasti poskytování služeb, přičemž v mnoha případech může být předpokladem poskytování služeb zhotovení nebo provozování díla, tedy i stavby. Koncesní zákon je v převážné míře procesní normou, která upravuje postup veřejného subjektu při uzavírání koncesní smlouvy.

Komentář ke koncesnímu zákonu si klade za cíl seznámit čtenáře bližším způsobem s koncesním zákonem a s příslušnými pasážemi zákona o veřejných zakázkách, které se při uzavírání koncesní smlouvy užijí obdobně. Cílem je taktéž odstranit nejasnosti problematických míst koncesního zákona a zákona o veřejných zakázkách a nabídnout možné přístupy k nejednoznačným pasážím.

# Zjednodušené řešení roštových základových pasů

prof. Ing. Radimír NOVOTNÝ, DrSc.

prof. Ing. Pavel PECH, CSc.

ČZU – Fakulta lesnická a environmentální  
Praha

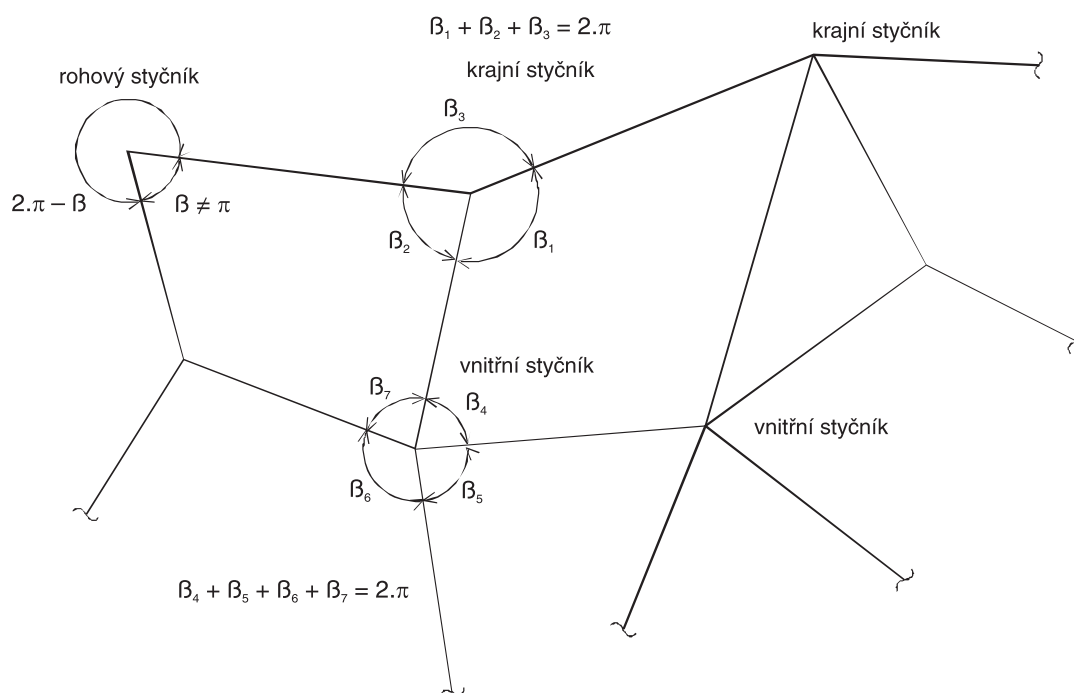
Článek ukazuje zjednodušený (z teoretického hlediska nicméně „uspokojivě akceptovatelný“) přístup k řešení horizontálních roštových základových pasů. Podává návod, jak za určitých předpokladů distribuovat svislé zatížení ze sloupů působících ve styčnicích roštu do jeho jednotlivých horizontálních prutů (pasů).

## 1. Úvod

Při zakládání skeletových konstrukčních systémů (převážně jako prostorově působících rámců se srovnatelným rozpětím v obou směrech) se obvykle uplatňují patky z prostého nebo železobetonu. Výhodnost použití takovýchto patek je však podmíněna jejich poněkud „soliterním postavením“ neboli relativně velkou vzájemnou odlehlostí. Budou-li totiž nosné sloupce situovány vesměs po menších vzdálenostech (s modulem pod 4 až 5 m, zejména pak v případech více zatížených sloupů a při málo únosných zemínách), nebude již aplikování základových patek z prováděcích důvodů vhodné, a to jednak pro jejich potřebnou (relativně větší) rozměrnost a jednak vzhledem k jejich vyšší četnosti dané právě nevelkou distancí jimi podpíraných sloupů, kdy již bývá při zakládání třeba odebrat v podstatě veškerou zeminu nad úrovní základové spáry celého půdorysu objektu. Tehdy, vyloučíme-li zpravidla nákladné zakládání na pilotách a problematické zakládání na „obrácených“ lokálně podporo-

vaných železobetonových deskách (silně exponované sloupové pruhy a náročnost z hlediska protlačení pod sloupce si žádá aplikování relativně tlustých desek, takže, vzhledem k jejich celoplošnému uplatnění, jde rovněž často o drahou metodu zakládání), se ukazují jako nejekonomičtější železobetonové monolitické základové rošty s tuhými styčnicí, když obyčejné základové pasy (zatížené osamělými silami ze sloupů) již k bezpečnému roznesení zatížení do základové půdy nemusí postačovat. Uplatnění základových roštů bývá zpravidla podmíněno nevelkým zahloubením jejich základové spáry pod úroveň okolního terénu; při hlubším zakládání (nad 3 až 4 m) se však ukazuje aplikování základových desek často jako nezbytnost.

Předpokládané horizontální přímé pruhy (pasy) základového roštu se paprskovitě sbíhají do tuhého styčnicku (uzlového bodu), do něhož se zároveň opírá i vertikální sloup nosného systému. Budeme přitom uvažovat, že svislou silou je zatížen každý styčnick roštu a že roštový prut bude vždy spojnicí dvou sousedních uzlů, takže případně vykonzolované pasy v krajích základového roštu nebudou považovány za samostatné (standardní) roštové pruhy. Ačkoli roštové styčnicku bývají většinou uspořádány do **pravidelného pravoúhelného rastru**, takže roštové pasy jsou v navzájem ortogonálním postavení – a ty budeme mít na mysli především – lze obecněji uvažovat i izogonality pasů s tím, že jejich minimální počet je „dva“, je-li úhel  $\beta$ , který spolu svírají, různý od  $\pi$  – případ **rohového styčnicku**. U **krajního styčnicku** je minimální počet pasů „tři“; v případě **vnitřního styčnicku** se v něm sbíhají také minimálně tři pasy (obvykle nejméně čtyři), přičemž součet všech úhlů, které spolu sousední pasy v každém styčnicku svírají, je právě  $2\pi$  (obr. 1).



Obr. 1. Definice tuhých styčnicků (uzlů) obecného základového roštu



Obecná izogonalita roštových pasů podle obr. 1 je v praxi obvykle vzácná, nicméně někdy vynucená, a to netradičním půdorysem zakládaného objektu i jeho vnitřní dispozicí. Pokud bychom tedy předpokládali i navzájem izogonálně postavené pasy, omezíme se spíše na pravidelný rastr sestrojený ze stejných kosodélníků. Takovéto půdorysné uspořádání sloupů (které ovšem obr. 1 nezobrazuje) pak definuje pravidelnou izogonalitu o dvou lineárních osnovách (regulech) uvažovaného rastru. (Všeobecně vzato, u vnitřních styčniců, viz též obr. 1, je vhodné žádat, aby velikost úhlů, které spolu pasy svírají, byla srovnatelná, neboli  $\beta_4 \approx \beta_5 \approx \beta_6 \approx \beta_7$ , atd. Máme totiž za to, že splnění tohoto požadavku lépe umožní rovnoměrnější využití pasů stýkajících se v uvažovaném styčnicu. Tato podmínka je ovšem vzhledem k definici „klasického“ roštu nespílitelná u rohového styčnicu a všech krajních styčniců zároveň).

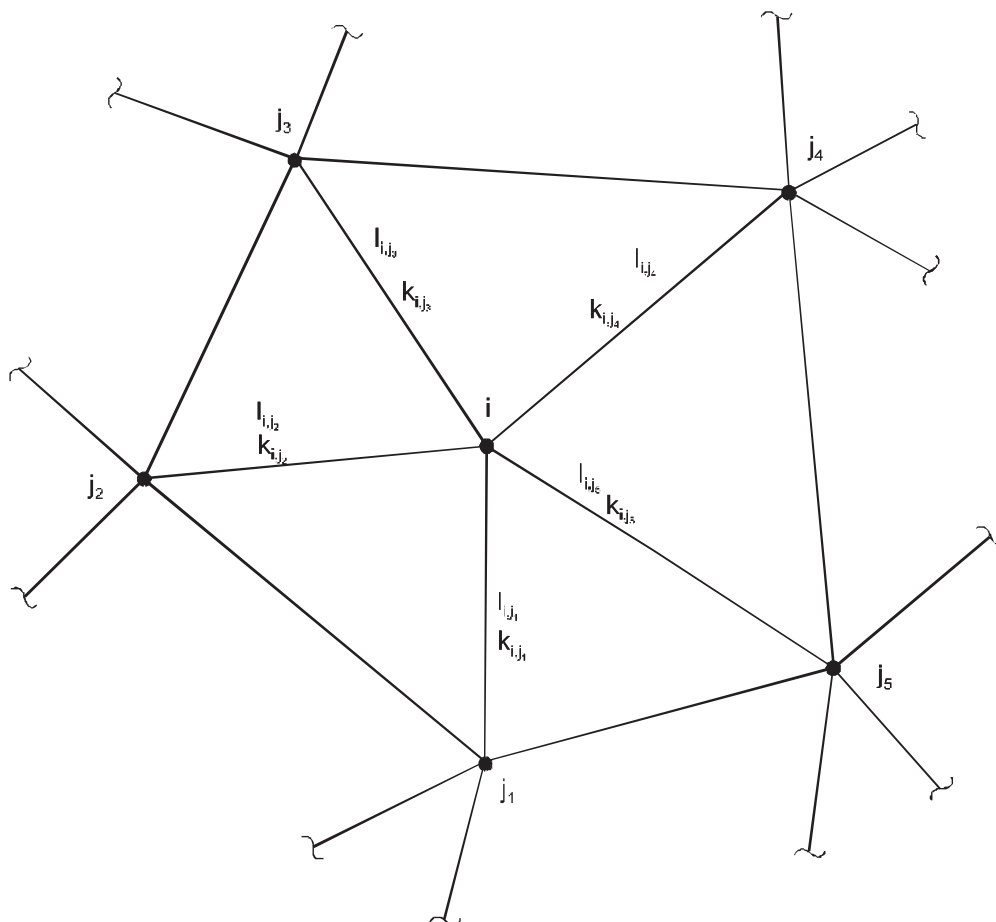
Příčný profil roštových prutů bývá obdélný, anebo ještě výhodněji, ve tvaru obráceného písmene „T“ při roznášecím úhlu (měřeno od vodorovné úrovně) kolem  $\pi/4$ , přičemž zpravidla se navrhuje jednotlivé pasy **stálého průřezu po celé své délce**. Většinou se volí i **výška všech pasů** základového roštu **stálá** (prováděcí důvody), a ta bývá **osminou až šestinou** teoretického rozpětí (vzdáleností mezi odpovídajícími roštovými uzly), zatímco při uplatnění obyčejného základového pasu zatíženého osaměle působícími sloupy by se volila jeho průřezová výška asi sedminou až pětinou teoretického rozpětí, tedy o něco více než u roštu. Tato doporučení jsou vhodná zejména při uplatnění železobetonového roštu, je neobyčejně pracné. Jde vlastně o zvláštní

Přesné statické řešení základové roštové konstrukce – byť i „jen“ za ideálních předpokladů (zejména fyzikálně materiálová linearita), je neobyčejně pracné. Jde vlastně o zvláštní

případ prostorového rámu, který je v pružné interakci s přenášeným svrchním prostorovým skeletem. V našem případě jde navíc o rošt na podloží, jehož poddajnost by bylo třeba nějak modelovat (např. winklerovsky, popř. podle Pasternaka, Gibsona, Žemočikna), který je nadto (zpravidla zcela) zahrouben do zeminy, takže je do značné míry omezena i podélná torze roštových pasů, atd. Je evidentní, že analytické řešení zohledňující všechna tato hlediska bude sotva schůdné. Uvedená okolnost, jakož i relativní četnost uplatňování základových roštových konstrukcí v praxi, se stala podnětem k pokusu navrhnout jejich zjednodušené (tedy přibližné) řešení s možností rychlých aplikací v praxi, dávajících „přijatelné“ výsledky.

## 2. Základový vodorovný rošt obecného geometrického tvaru

Předpokládáme základový horizontální rošt sestávající z konečného počtu styčniců (uzlů), z nichž v každém se stýkají minimálně dva roštové pruty (pasy) v navzájem obecném postavení, přičemž v každém roštovém styčnicu působí prostřednictvím sloupu svislé břemeno známé velikosti. (Ve skutečnosti jde o velikosti stanovitelné pouze s „dostatečnou“ přesností ze zatěžujících ploch, přičemž ohybové momenty ve vetknutích svislých sloupů do roštových styčniců zanedbáváme.) Uvažujme přitom, že jakost podloží je stálá pro všechny roštové pasy. Označme uvažovaný styčnic pismenem  $i$  a sousední styčnic pismeny  $j_1, j_2, \dots, j_k, \dots, j_{n-1}, j_n$ . Nechť  $P_i$  je velikost svislé síly v  $i$ -tém uzlu a nechť teoretické délky roštových prutů jsou  $l_{ij_1}, l_{ij_2}, \dots, l_{ij_k}, \dots, l_{ij_{n-1}}, l_{ij_n}$  (obr. 2).



Obr. 2. Schéma k označení základového horizontálního roštu obecného geometrického tvaru

Označíme-li (nyní již stručně)  $J_{i,j_k}$  jako moment setrvačnosti příčného průřezu roštového pasu délky  $l_{i,j_k}$ , který je stálý pro celý prut, a  $E_{i,j_k}$  jako konstantní Youngův modul pružnosti příslušný pro  $l_{i,j_k}$ , vyjádříme (symetrickou) tuhost uvažovaného pasu jako  $k_{i,j_k} = \frac{E_{i,j_k} \cdot J_{i,j_k}}{l_{i,j_k}}$ .

Protože platí  $l_{i,j_k} = l_{j_k,i}$ ,  $J_{i,j_k} = J_{j_k,i}$ , a ovšem i  $E_{i,j_k} = E_{j_k,i}$ , je také  $k_{i,j_k} = k_{j_k,i}$ , přičemž  $k = 1, 2, \dots, n-1, n$ , kde  $n$  označuje počet styčníků (uzlů) sousedících se styčnickem  $i$ .

Předpokládejme nyní, že vertikální síla  $P_i$  se roznese vždy jen do  $k$ -tému styčnicku přilehlé poloviny délky pasu  $l_{i,j_k}$  odpovídajícím podílem  $P_{i,j_k}$ , takže platí

$$P_i = P_{i,j_1} + P_{i,j_2} + \dots + P_{i,j_k} + \dots + P_{i,j_{n-1}} + P_{i,j_n} \quad (1)$$

Jestliže bude  $q_{i,j_k}$  [N/m] plná rovnoměrně spojitá reakce rozložená (konstantní měrou) vždy po přilehlé délce  $1/2 \cdot l_{i,j_k}$  pasu k  $i$ -tému styčnicku, můžeme vyjádřit

$$P_{i,j_k} = \frac{1}{2} \cdot q_{i,j_k} \cdot l_{i,j_k} \quad (2)$$

Zbývá formulovat „rozumný“ a co možná nejjednodušší předpoklad o rozdělení sil  $P_{i,j_k}$  do přilehlých pasů. Za tímto účelem (hypoteticky) předpokládejme, že se síly  $P_{i,j_k}$  budou konstituovat podle poměru symetrických tuhostí odpovídajících pasů, neboli uplatňme tuto podmínku jako

$$\frac{P_{i,j_1}}{k_{i,j_1}} = \frac{P_{i,j_2}}{k_{i,j_2}} = \dots = \frac{P_{i,j_k}}{k_{i,j_k}} = \dots = \frac{P_{i,j_{n-1}}}{k_{i,j_{n-1}}} = \frac{P_{i,j_n}}{k_{i,j_n}} \quad (3)$$

Upozorníme předem, že „lákavý“ předpoklad (3) je třeba prozatím brát s jistou opatrností a že bude dále podrobně verifikován a podroben diskuzi. Spojením podmínky (1) silové

rovnováhy ve styčnicku s předpoklady (2) a (3) po určitých úpravách dojdeme ke vztahům

$$q_{i,j_k} = \frac{2 \cdot P_i}{l_{i,j_k} \left[ \frac{k_{i,j_1}}{k_{i,j_k}} + \frac{k_{i,j_2}}{k_{i,j_k}} + \dots + \frac{k_{i,j_{k-1}}}{k_{i,j_k}} + 1 + \frac{k_{i,j_{k+1}}}{k_{i,j_k}} + \dots + \frac{k_{i,j_n}}{k_{i,j_k}} \right]} \quad (4)$$

Z rovnice (4) plyne pro  $E_{i,j_k} = E = \text{konst.}$  výraz

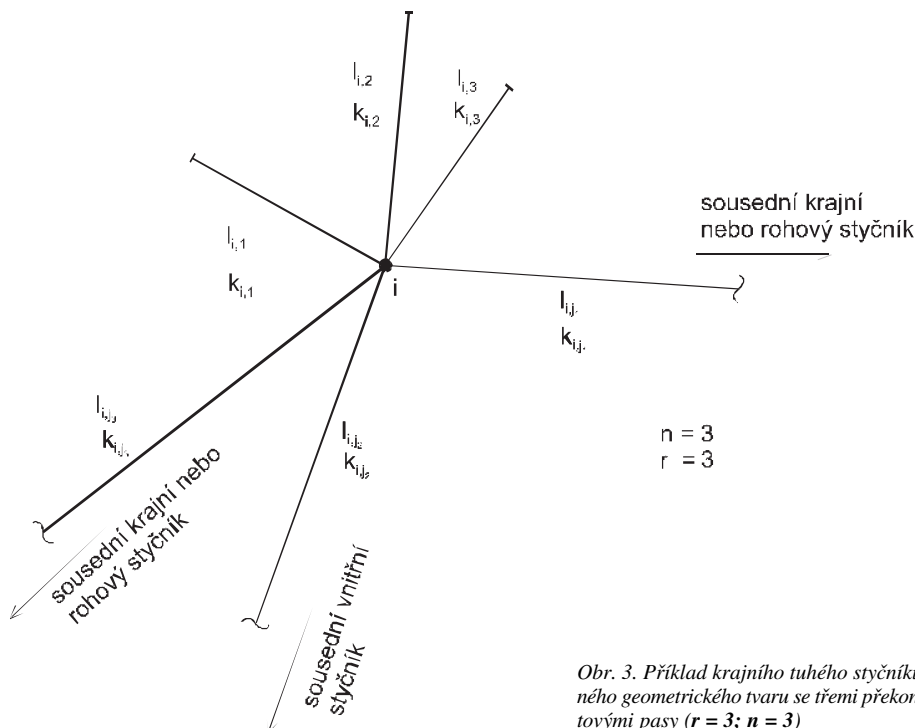
$$q_{i,j_k} = \frac{2 \cdot P_i}{l_{i,j_k} \left[ \frac{J_{i,j_1} \cdot l_{i,j_k}}{J_{i,j_k} \cdot l_{i,j_1}} + \frac{J_{i,j_2} \cdot l_{i,j_k}}{J_{i,j_k} \cdot l_{i,j_2}} + \dots + \frac{J_{i,j_{k-1}} \cdot l_{i,j_k}}{J_{i,j_k} \cdot l_{i,j_{k-1}}} + 1 + \frac{J_{i,j_{k+1}} \cdot l_{i,j_k}}{J_{i,j_k} \cdot l_{i,j_{k+1}}} + \dots + \frac{J_{i,j_n} \cdot l_{i,j_k}}{J_{i,j_k} \cdot l_{i,j_n}} \right]} \quad (4a)$$

Poznamenejme, že obecně  $P_{i,j_k} \neq P_{j_k,i}$ , a proto také  $q_{i,j_k} \neq q_{j_k,i}$ . Rovněž všeobecně  $q_{i,j_k} \neq q_{i,j_s}$ ;  $s = 1, 2, \dots, n-1, n$ .

Všimněme si, že odvození posledních vzorců nebylo závislé na „geometrii“ základového roštu. Uvedené vztahy (4) a (4a) [zaregistruj jejich strukturování!] jsou proto za určitých omezení použitelné pro „rozumné“ obecné roštové pasy, tím spíše pak pro předpokládané rošty s navzájem ortogonálně, popř. i pravidelně izogonálně postavenými vodorovnými pruty, u nichž se budou v rohovém styčnicku sbíhat právě dva pasy, v krajním styčnicku právě tři, a pokud jde o vnitřní styčnick, budou se do něj sbíhat právě čtyři pasy.

### 3. Základový vodorovný rošt obecného geometrického tvaru s překonzolovanými pasy

Předchozí oddíl nepředpokládal vykonzolované pruty z krajních a rohových styčnicků neboli neuvažoval pasy, které by přesahovaly konturu klasicky pojímaných roštů. Ponechme nadále v platnosti zavedené předpoklady i značení a zaměříme se nyní na  $i$ -tý tuhý styčnick, který je jen buď rohový, anebo jen krajním uzlem, takže se v něm sbíhá  $n$  prutů, ale navíc i  $r$  překonzolovaných krakorců (obr. 3).



Obr. 3. Příklad krajního tuhého styčnicku horizontálního roštu obecného geometrického tvaru se třemi překonzolovanými pasy a třemi roštovými pasy ( $r = 3$ ;  $n = 3$ )

Zatímco vyjádření tuhosti výše definovaných roštových pasů nečiní principiální potíže (viz druhý oddíl), je vystižení tuhosti vykonzoloovaných pasů poněkud problematické, nicméně nutné; statická schémata obou uvedených skupin takovýchto nosných roštových prvků jsou naprosto odlišná, takže, pokud jde o konzolové pasy, nelze jejich symetrické tuhosti automaticky brát jako  $k_{i,m} = \frac{E_{i,m} \cdot J_{i,m}}{l_{i,m}}$ , alespoň ni-

koli pro „velká“ vyložení. (Deformační metoda nepočítá s tuhostí konzolových prutů vetknutých do tuhých styčniců, nýbrž prostřednictvím těchto prutů zatěžuje uvažované styčnice ohybovým momentem jako vnější zobecněnou silou). Uvážíme-li však, že (hlavně vzhledem k zahloubení roštu do zeminy) se budou roštové styčnice chovat prakticky jako (téměř) dokonalá vetknutí pro všechny pruty do nich upnuté, pak za kritérium tuhosti překonzolovaného pasu se nabízí vzít snadno odvoditelný vertikální průhyb jeho volného konce, neboli bude-li mít určitý roštový pas ve svém středu stejný průhyb jako maximální průhyb odpovídajícího vyložení pasu mimo konturu roštu při stejném zatížení obou (předpokládáme plná rovnoměrně spojité, popř. realisticky situovaná plná spojité „trojúhelníková“ zatížení), pak budeme oba roštové prvky co do jejich tuhosti považovat za „srovnatelné“. Tato podmínka tedy žádá, aby vykonzolování činilo nejvýše 0,38násobku, resp. 0,39násobku rozpětí odpovídajícího roštového pasu (v běžné technické praxi se tento násobek uplatňuje nižší hodnotou – kolem 0,25 až 0,33). Zdá se tedy, že „přijatelně“ malé vykonzolování pasu také opravňuje aplikovat pro výpočet jeho symetrické tuhosti vzorec

$$k_{i,m} = \frac{E_{i,m} \cdot J_{i,m}}{l_{i,m}} \text{ s „malou“ chybou, } (m = 1, 2, \dots, r), \text{ zatímco}$$

co při větším vyložení pasu jeho tuhost rychle klesá, takže uvedené vztahy již použít nelze.

Vzhledem k předpokladům bude nyní třeba doplnit rovnici (1) o  $r$  členů

$$P_{i,m} = q_{i,m} \cdot l_{i,m} \quad (2a)$$

(opět přibližně předpokládáme konstantní spojitou reakci v celém vyložení pasu), takže zapíšeme

$$P_i = P_{i,j_1} + P_{i,j_2} + \dots + P_{i,j_k} + \dots + P_{i,j_{n-1}} + P_{i,j_n} + P_{i,1} + P_{i,2} + \dots + P_{i,m} + \dots + P_{i,r-1} + P_{i,r} \quad (1a)$$

a analogicky vzhledem k rovnici (3) „opatrně“ přijmeme také

$$\frac{P_{i,j_1}}{k_{i,j_1}} = \frac{P_{i,j_2}}{k_{i,j_2}} = \dots = \frac{P_{i,j_k}}{k_{i,j_k}} = \dots = \frac{P_{i,j_{n-1}}}{k_{i,j_{n-1}}} = \frac{P_{i,j_n}}{k_{i,j_n}} = \frac{P_{i,1}}{k_{i,1}} = \frac{P_{i,2}}{k_{i,2}} = \dots = \frac{P_{i,m}}{k_{i,m}} = \dots = \frac{P_{i,r-1}}{k_{i,r-1}} = \frac{P_{i,r}}{k_{i,r}} \quad (3a)$$

s tím, že rovnici je třeba rovněž podrobit analýze s příslušným omezením (viz též čtvrtý oddíl). Spojením vzorců (1a), (2), (2a), (3a) celkem snadno dojdeme pro regulární roštové pasy ke vztahu

$$q_{i,j_k} = \frac{2 \cdot P_i}{l_{i,j_k} \left[ \frac{k_{i,j_1} + k_{i,j_2} + \dots + k_{i,j_{n-1}} + 1 + k_{i,j_n}}{k_{i,j_1} k_{i,j_2} + \dots + k_{i,j_{n-1}} k_{i,j_n}} + \frac{k_{i,1} + k_{i,2} + \dots + k_{i,m} + \dots + k_{i,r}}{k_{i,1} k_{i,2} + \dots + k_{i,m} k_{i,r}} \right]} \quad (4b)$$

a pro vykonzolované pasy pak  $k$

$$q_{i,m} = \frac{P_i}{l_{i,m} \left[ \frac{k_{i,j_1} + k_{i,j_2} + \dots + k_{i,j_k} + \dots + k_{i,j_{n-1}} + k_{i,1} + k_{i,2} + \dots + k_{i,m-1} + 1 + k_{i,m+1} + \dots + k_{i,r}}{k_{i,m} k_{i,j_1} + \dots + k_{i,m} k_{i,j_{n-1}}} + \frac{k_{i,1} + k_{i,2} + \dots + k_{i,m-1} + 1 + k_{i,m+1} + \dots + k_{i,r}}{k_{i,m} k_{i,1} + \dots + k_{i,m} k_{i,r}} \right]} \quad (4c)$$

Opět pro  $E_{i,j_k} = E_{i,m} = E$  dostaneme z (4a) a (4b) vztahy

$$q_{i,j_k} = \frac{2 \cdot P_i}{l_{i,j_k} \left[ \frac{J_{i,j_1} \cdot l_{i,j_k} + \dots + J_{i,j_{k-1}} \cdot l_{i,j_k} + 1 + J_{i,j_{k+1}} \cdot l_{i,j_k} + \dots}{J_{i,j_k} \cdot l_{i,j_1} + \dots + J_{i,j_k} \cdot l_{i,j_{k-1}}} + \frac{J_{i,j_n} \cdot l_{i,j_k} + J_{i,1} \cdot l_{i,j_k} + \dots + J_{i,r} \cdot l_{i,j_k}}{J_{i,j_k} \cdot l_{i,j_n} + J_{i,1} \cdot l_{i,1} + \dots + J_{i,r} \cdot l_{i,r}} \right]} \quad (4d)$$

a

$$q_{i,m} = \frac{P_i}{l_{i,m} \left[ \frac{J_{i,j_1} \cdot l_{i,m} + \dots + J_{i,j_n} \cdot l_{i,m} + J_{i,1} \cdot l_{i,m} + \dots + J_{i,m-1} \cdot l_{i,m} + \dots + J_{i,m+1} \cdot l_{i,m} + \dots + J_{i,r} \cdot l_{i,m}}{J_{i,m} \cdot l_{i,j_1} + \dots + J_{i,m} \cdot l_{i,j_n}} + \frac{J_{i,m+1} \cdot l_{i,m} + \dots + J_{i,r} \cdot l_{i,m}}{J_{i,m} \cdot l_{i,m+1} + \dots + J_{i,m} \cdot l_{i,r}} \right]} \quad (4e)$$

Vzorce (4b), (4c), (4d), (4e) [viz jejich strukturování!] jsou (za uvažovaných předpokladů) „obecné“ a platí (s určitými omezeními) i pro rošty, jejichž regulární pasy i pasy „překonzolované“ jsou v navzájem ortogonálním, resp. pravidelně izogonálním postavení. Tehdy v rohovém uzlu počítáme se dvěma pasy regulárními a dvěma pasy vyloženími, které jsou vlastně prodloužením pasů regulárních (standardních) mimo konturu klasického roštu. Analogicky, u krajního uzlu půjde o tři pruty regulární a jedno vyložení.

Podobně, jak bylo zmíněno v úvodu, budeme pokládat u „obecně izogonálních“ roštů za výhodné, když budou i u rohových a krajních roštových styčniců úhly, které spolu svírají sousední pasy (regulární i „vykonzolované“), přibližně stejně velké.

#### 4. Vymezení platnosti vztahů. Distribuce kontaktních napětí.

Ve dvou předchozích oddílech byly odvozeny vzorce, které distribuují styčnicovou sílu plně a rovnoměrně spojitě do poloviny délek přilehlých regulárních roštových pasů, případně též do celých délek přilehlých vykonzoloovaných roštových pasů „přiměřených“ vyložení. Podle očekávání přitom přenesou větší díl styčnicové síly tužší pasy než pasy poddajnější. Numericky ověřované příklady základových roštů uplatněných v praxi však ukazují, že již poměrně malá vzájemná rozdílnost v (symetrické) tuhosti pasů může být příčinou velkého rozdílu ve velikosti plných rovnoměrně spojitých reakcí v nich, neboli že tužší roštové pasy mohou být podle vztahů (4), (4a), (4b), (4c), (4d), (4e) relativně neúměrně (nerealisticky) přetěžovány na úkor pasů poddajnějších. Tuhost má však při daném modulu pružnosti dva zdroje a při numerické analýze se ukázalo být velmi podstatným,

zda je rozdílnost způsobena více rozdílností jejich délek, anebo spíše diferencí v momentech setrvačnosti jejich příčných průřezů. Bude-li např.  $l_{i,j_k} < l_{i,j_s}$ , ale zároveň  $J_{i,j_k} > J_{i,j_s}$ ,

dochází skutečně k „divergenci“  $\frac{k_{i,j_k}}{k_{i,j_s}} < \frac{q_{i,j_k}}{q_{i,j_s}} > 1$ , a to tím více,

čím více se liší  $k_{i,j_k}$  od  $k_{i,j_s}$ . Bude-li však  $l_{i,j_k} = l_{i,j_s}$ , a zároveň  $\frac{J_{i,j_k}}{J_{i,j_s}} = \frac{k_{i,j_k}}{k_{i,j_s}} = n$ , bude platit i  $\frac{q_{i,j_k}}{q_{i,j_s}} = n$ , což je ovšem „přijatelnější“ výsledek. Konečně, pro  $l_{i,j_k} > l_{i,j_s}$ , a zároveň  $J_{i,j_k} > J_{i,j_s}$ , může nastat  $q_{i,j_k} \leq q_{i,j_s}$  i  $q_{i,j_s} \geq q_{i,j_k}$  (jde o poměrně „neostré“ nerovnosti), popř. lze dosáhnout vhodným poměrem v momentech setrvačnosti určité „přijatelné“ srovnatelnosti  $q_{i,j_k} \approx q_{i,j_s}$ . Obdobné výsledky platí i pro základové rošty s vyloženými pasy. Ukazuje se tedy, že předpoklady (3), resp. (3a), nemají univerzální platnost. Je však nicméně vidět, že předložené řešení dává dobré výsledky pro **stejně dlouhé pasy** (anebo alespoň pro pasy, které se vzájemnou délkou **neliší více než o 20 až 25 %**) při „rozumných“ diferencích v momentech setrvačnosti (řekněme  $J_{i,j_k}/J_{i,j_s} \approx 1$  až 2). Lze rovněž doporučit, aby „poněkud“ delšímu roštovému pasu byl přiřazen větší moment setrvačnosti, než je tomu u pasu kratšího. Nejspolehlivější výsledek ovšem dávají stejně dlouhé roštové pasy o stejných průřezových charakteristikách, kdy např. místo (3) postačí prostě vzít  $P_{i,j_1} = P_{i,j_2} = \dots = P_{i,j_{n-1}} = P_{i,j_n}$ , atd. Například pro předpokládaný základový rošt vytvořený ze stejných obdélníků (pravidelný ortogonální rastr), kdy ve vnitřním roštovém styčnicku bude  $l_{i,j_1} = l_{i,j_3} \neq l_{i,j_2} = l_{i,j_4}$ , a zároveň

$$J_{i,j_1} = J_{i,j_3} \neq J_{i,j_2} = J_{i,j_4}, \text{ vychází vztah } \frac{q_{i,j_1}}{q_{i,j_2}} : \frac{k_{i,j_1}}{k_{i,j_2}} = \frac{l_{i,j_2}}{l_{i,j_1}},$$

apod. V každém případě, „přijatelnost“ řešení je mnohem více ovlivněna rozdílností v délkách roštových pasů než diferencí v jejich momentech setrvačnosti průřezů.

Jakkoli jsou však roštové pasy relativně mohutnými nosníky, je jejich tuhost přeci jen zpravidla „malá“ na to, aby bylo možné akceptovat konstantně rozloženou reakci v nich, jak to předpokládá naznačený přibližný výpočet. Ve skutečnosti dojde ke zvětšení spojitých reakcí v pasech v blízkém okolí uvažovaného styčnicku, zatímco mimo tuto oblast je naopak třeba počítat s jejich určitým zmenšením. Jinými

slovy, v intervalu  $\left\langle 0; \frac{1}{2} \cdot l_{i,j_k} \right\rangle$  je zapotřebí místo konstantní reakce  $q_{i,j_k}$  uvažovat spojitou nerostoucí reakci  $f_{i,j_k}$  tak, aby pro regulární roštový pas platilo

$$P_{i,j_k} = \frac{1}{2} \cdot q_{i,j_k} \cdot l_{i,j_k} = \int_0^{\frac{l_{i,j_k}}{2}} f_{i,j_k}(x) dx. \quad (2b)$$

Podobně, pro vykonzolovaný roštový pas v celém intervalu  $\langle 0; l_{i,m} \rangle$  bude platit pro odpovídající spojitou nerostoucí reakci  $f_{i,m}$  vztah

$$P_{i,m} = q_{i,m} \cdot l_{i,m} = \int_0^{l_{i,m}} f_{i,m}(x) \cdot dx. \quad (2c)$$

Poznamenejme, že počátek každé kartézské soustavy souřadnic  $\{0; x\}$  je volen vždy v uvažovaném uzlu ( $n$  voleb) a  $x$  se od něj postupně „měří“ podél každého uvažovaného prutu. Těmito postupnými lokálními označeními bylo možné se vyhnout složitému indexování pro rozlišení všech možných voleb systémů kartézských souřadnic.

O „přesném“ průběhu obou funkcí není sice nic známo, nicméně (kromě již řečeného) lze předpokládat jejich maxima v počátku jejich definičních oborů a minima v jejich koncích. Podobně lze očekávat, že i jejich první derivace budou na obou koncích jejich definičních oborů nulové. Obecně však bude platit  $f_{i,j_k}(x=0) \neq f_{i,j_s}(x=0) \neq f_{i,m}(x=0)$  a také  $f_{i,j_k}\left(x = \frac{l_{i,j_k}}{2}\right) \neq f_{i,j_s}\left(x = \frac{l_{i,j_k}}{2}\right)$ . (Tyto zřejmé „nedostatky“

(totiž nespojitosti) vyplývají ze zavedených zjednodušujících předpokladů a nemohou mít vzhledem k předpokládané „plochosti“ předmětných funkcí podstatnější význam). Protože však (nejednoznačné) hledání funkcí  $f_{i,j_k}$  a  $f_{i,m}$  s předestřenými vlastnostmi by nepochybně vedlo ke komplikovaným vztahům (a bylo by řešením beztak jen přibližným), je možné spojit se s následujícími zjednodušeními.

Pokud jde o regulární roštový pas, orientujme se podle obr. 4, v němž je v intervalu  $\left\langle 0; \frac{1}{2} \cdot l_{i,j_k} \right\rangle$  reakce  $f_{i,j_k}$  nahrazena dvěma

po částech konstantními funkcemi, a to v intervalu  $\left\langle 0; \lambda_{i,j_k} \cdot \frac{l_{i,j_k}}{2} \right\rangle$  funkcí  ${}^1f_{i,j_k}$  a v intervalu  $\left\langle \lambda_{i,j_k} \cdot \frac{l_{i,j_k}}{2}; \frac{l_{i,j_k}}{2} \right\rangle$  funkcí

${}^2f_{i,j_k}$ . Součinitel  $\lambda_{i,j_k} \in (0,1)$  je nutno empiricky volit jednak podle tuhosti předmětného pasu a jednak s ohledem na poddajnost podloží. Rovněž „podílový“ koeficient  $\kappa_{i,j_k} \in (0,1)$ , který determinuje část síly  $P_{i,j_k}$  ke konstantnímu rozložení veli-

kosti  $f_{i,j_k} = \kappa_{i,j_k} \cdot q_{i,j_k}$  po celém intervalu  $\left\langle 0; \frac{1}{2} \cdot l_{i,j_k} \right\rangle$ , je třeba

zvolit podle zkušenosti. Všeobecně vzato, tužší regulární roštové pasy a poddajnější podloží vedou spíše k relativně větším koeficientům  $\lambda_{i,j_k}$  i větším součinitelům  $\kappa_{i,j_k}$  při malé vzájemné rozdílnosti  ${}^1f_{i,j_k}$  a  ${}^2f_{i,j_k}$ , a naopak, přičemž se ukazuje, že na kontaktní síly má větší vliv spíše jakost podloží než tuhost roštového pasu. S přihlédnutím ke vztahu (2b) a schématu na obr. 4 lze nyní zapsat pro  $i$ -tý uzel podmínku rovnováhy

$$P_{i,j_k} = \kappa_{i,j_k} \cdot P_{i,j_k} + (1 - \kappa_{i,j_k}) \cdot P_{i,j_k} = \kappa_{i,j_k} \cdot \frac{1}{2} \cdot q_{i,j_k} \cdot l_{i,j_k} + \lambda_{i,j_k} \cdot \frac{l_{i,j_k}}{2} \cdot \Delta q_{i,j_k}. \quad (5)$$

Z této rovnice (pouhým porovnáním druhých členů) ihned dostaneme

$$\Delta q_{i,j_k} = \frac{2 \cdot P_{i,j_k} \cdot (1 - \kappa_{i,j_k})}{\lambda_{i,j_k} \cdot l_{i,j_k}} \quad (6)$$

neboli vzhledem k rovnici (2) poměrně jednoduchý dvojeparametrový vzorec pro „přidatné“ kontaktní napětí

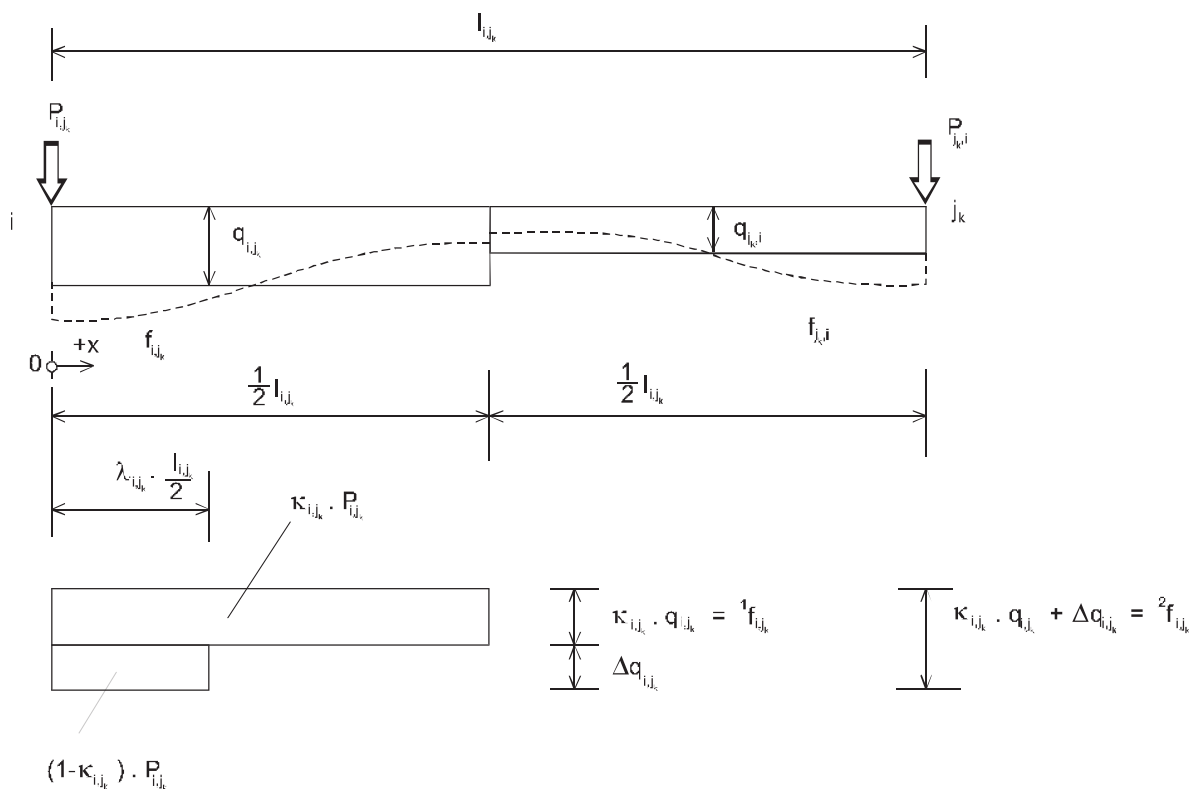
$$\Delta q_{i,j_k} = \frac{1 - \kappa_{i,j_k}}{\lambda_{i,j_k}} \cdot q_{i,j_k}. \quad (6a)$$

Vzhledem k obr. 4 a vztahu (6a) plyne

$${}^2f_{i,j_k} = {}^1f_{i,j_k} + \Delta q_{i,j_k} = \left[ \kappa_{i,j_k} + \frac{1 - \kappa_{i,j_k}}{\lambda_{i,j_k}} \right] \cdot q_{i,j_k} \geq {}^1f_{i,j_k} \quad (7)$$

a

$$\frac{{}^2f_{i,j_k}}{{}^1f_{i,j_k}} = 1 + \frac{1 - \kappa_{i,j_k}}{\lambda_{i,j_k} \cdot \kappa_{i,j_k}} \geq 1. \quad (8)$$



Obr. 4. Distribuce kontaktních sil pod regulárním roštovým pasem

Položíme-li  $\frac{{}^2f_{i,j_k}}{{}^1f_{i,j_k}} = c$ , plyne z (8)

$$\kappa_{i,j_k} = \frac{1}{\lambda_{i,j_k} \cdot (c-1) + 1} \quad (9)$$

Z poznatků uvedených v tomto oddílu a z reálných geometrických proporcí roštových pasů zmíněných v prvním oddílu příspěvku – v podélném směru pasu uvažujeme roznášecí úhel od vodorovné mezi 30 a 45° – vyplývají i realistické odhady pro „první“ volbu koeficientu  $\lambda_{i,j_k}$ , totiž  $\kappa_{i,j_k} \in \langle \lambda_{i,j_k, \min} \approx 0,25; \lambda_{i,j_k, \max} \approx 0,57 \rangle$ , přičemž jeho „střední hodnota“ může činit cca  $\lambda_{i,j_k, \Phi} \approx 0,40$ . Uvážíme-li dále, že

„rozumný“ násobek může být  $c \leq 3$ , plyne ze vzorce (9) tab. 1, která slaďuje vztahy mezi parametry  $\lambda_{i,j_k}$ ,  $\kappa_{i,j_k}$  a  $c$ .

Je vidět, že pro všechna  $c$  je nárůst  $\lambda_{i,j_k}$  vždy doprovázen poklesem  $\kappa_{i,j_k}$ , přičemž vyšší hodnoty součinitele  $c$  odpovídají spíše měkčím pasům na velmi nepoddajném podloží.

V případě vykonzolovaných roštových pasů se budeme orientovat podle obr. 5, v němž jsou definovány i funkce kontaktního napětí  ${}^1f_{i,m}$  a  ${}^2f_{i,m}$ . Podmínka rovnováhy pro vyložený roštový pas délky  $l_{i,m}$  je

$$P_{i,m} = \kappa_{i,m} \cdot P_{i,m} + (1 - \kappa_{i,m}) \cdot P_{i,m} = \kappa_{i,m} \cdot q_{i,m} \cdot l_{i,m} + \lambda_{i,m} \cdot l_{i,m} \cdot \Delta q_{i,m}, \quad (5a)$$

z něhož plyne pro „přidatné“ kontaktní napětí

$$\Delta q_{i,m} = \frac{1 - \kappa_{i,m}}{\lambda_{i,m}} \cdot q_{i,m}, \quad (6c)$$

Tab. 1. Orientační souvztáznost parametrů  $\lambda_{i,j_k}$ ,  $\kappa_{i,j_k}$  a  $c$ 

C	$\lambda_{i,j_k, \min} / \kappa_{i,j_k}$	$\lambda_{i,j_k, \Phi} / \kappa_{i,j_k}$	$\lambda_{i,j_k, \max} / \kappa_{i,j_k}$
1,0	0,00	0,00	0,00
	1,0000	1,0000	1,0000
1,5	0,25	0,40	0,57
	0,8889	0,8333	0,7782
2,0	0,25	0,40	0,57
	0,8000	0,7143	0,6369
2,5	0,25	0,40	0,57
	0,7273	0,6250	0,5391
3,0	0,25	0,40	0,57
	0,6667	0,5556	0,4673

a také vzorce

$${}^2f_{i,m} = {}^1f_{i,m} + \Delta q_{i,m} = \left[ \kappa_{i,m} + \frac{1 - \kappa_{i,m}}{\lambda_{i,m}} \right] \cdot q_{i,m} \geq {}^1f_{i,m}, \quad (7a)$$

$$\frac{{}^2f_{i,m}}{{}^1f_{i,m}} = 1 + \frac{1 - \kappa_{i,m}}{\lambda_{i,m} \cdot \kappa_{i,m}} \geq 1 \quad (8a)$$

a

$$\kappa_{i,m} = \frac{1}{\lambda_{i,m} \cdot (c-1) + 1}, \quad (9a)$$

kde  $\frac{{}^2f_{i,m}}{{}^1f_{i,m}} = c$ .

Pokud jde o vzájemnou souvztažnost parametrů  $\lambda_{i,m}$ ,  $\kappa_{i,m}$  a  $c$ , platí pro ně tatáž vztahová závislost jako pro koeficienty  $\lambda_{i,j_k}$ ,  $\kappa_{i,j_k}$  a  $c$ . Je pro ně proto možné uplatnit také *tab. 1*.

Bude-li nyní v každém roštovém prutu známa velikost kontaktních reakcí  ${}^1f_{i,j_k}$ ,  ${}^2f_{i,j_k}$ ,  ${}^1f_{j_k,i}$ ,  ${}^2f_{j_k,i}$ ,  ${}^1f_{i,m}$  a  ${}^2f_{i,m}$  [N·m<sup>-1</sup>], pak lze stanovit i (přibližnou) velikost odpovídajících kontaktních napětí [N·m<sup>-2</sup>], jako

$${}^1\sigma_{i,j_k} = \frac{{}^1f_{i,j_k}}{b_{i,j_k}}; {}^2\sigma_{i,j_k} = \frac{{}^2f_{i,j_k}}{b_{i,j_k}}; {}^1\sigma_{j_k,i} = \frac{{}^1f_{j_k,i}}{b_{i,j_k}}; {}^2\sigma_{j_k,i} = \frac{{}^2f_{j_k,i}}{b_{i,j_k}};$$

$${}^1\sigma_{i,m} = \frac{{}^1f_{i,m}}{b_{i,m}}; {}^2\sigma_{i,m} = \frac{{}^2f_{i,m}}{b_{i,m}}, \quad (10)$$

kde  $b_{i,j_k} = b_{j_k,i}$ , resp.  $b_{i,m}$ , je šířka jednotlivých roštových pasů (standardních, resp. vyložených).

### 5. Několik poznámek k uplatnění kontaktních napětí pod roštovými pasy

V textu již byl podán podrobný návod, jak k daným svislým silám  $P_i$ , působícím v každém styčnicku horizontálního základového roštu, přiřadit ke každému jeho standardnímu prutu délky  $l_{i,j_k}$  spojité reakce  $q_{i,j_k}$ ,  $q_{j_k,i}$ , jejichž velikost je vždy konstantní v rozsahu  $1/2 \cdot l_{i,j_k}$ . Takovýto postup vlastně vycházel z „podílových“ vertikálních sil na konci každého prutu, a sice ve styčnicku  $i$  se silou  $P_{i,j_k}$  a ve styčnicku  $j_k$  se silou  $P_{j_k,i}$  s tím, že v každém vnitřním styčnicku musí platit

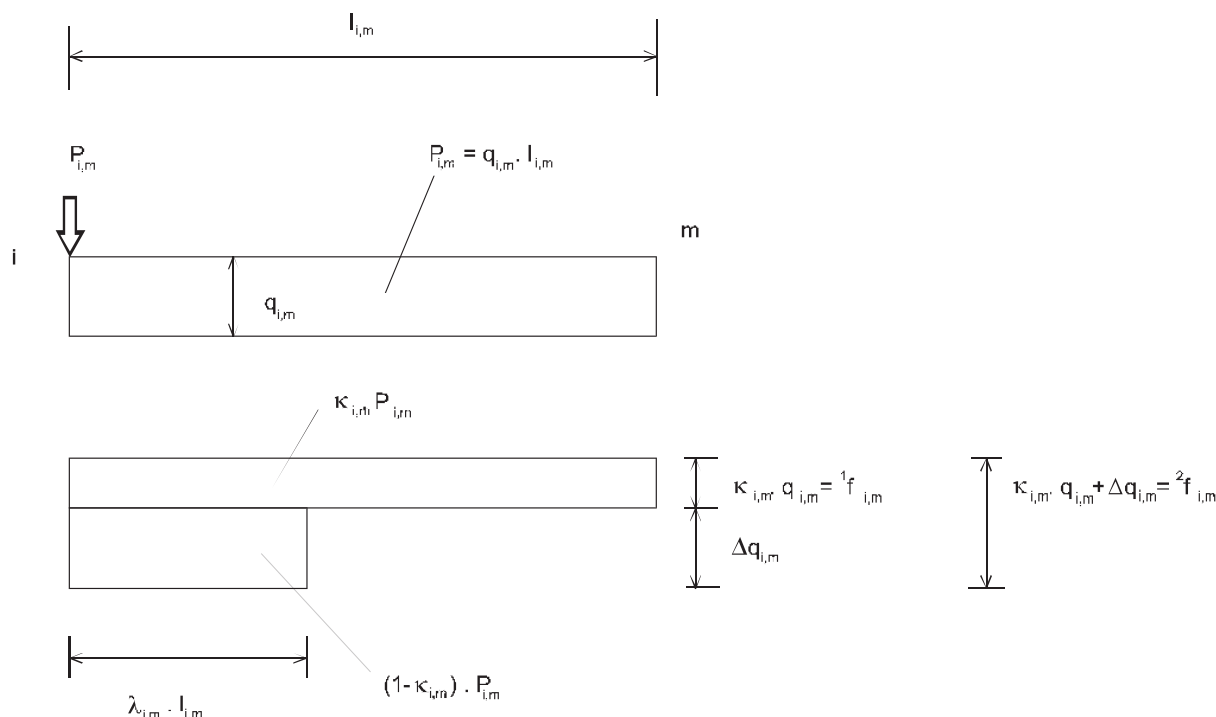
$$\sum_{k=1}^n P_{i,j_k} = P_i.$$

Tato idealizace (respektující samozřejmě podmínky rovnováhy i rozdílnost tuhosti jednotlivých roštových pasů) byla posléze „zpřesněna“ nahrazením  $q_{i,j_k}$  dvojicí konstantních funkcí  ${}^1f_{i,j_k}$  a  ${}^2f_{i,j_k}$ , zatímco  $q_{j_k,i}$  bylo nahrazeno dvojicí konstant  ${}^1f_{j_k,i}$  a  ${}^2f_{j_k,i}$ .

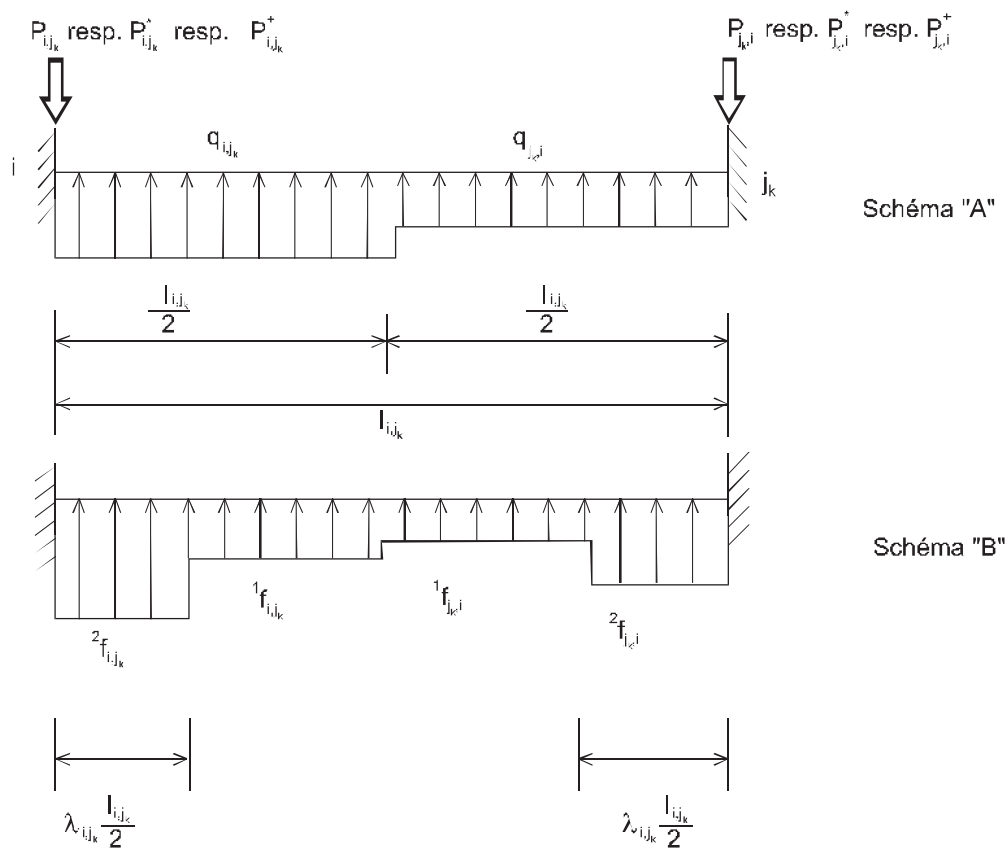
Vzhledem k vysvětleným předpokladům je možné již přistoupit ke statickému řešení jednotlivých pasů ze schémat na *obr. 6*; jde vlastně o řešení oboustranně vetknutých nosníků. Statickému schématu „A“ však odpovídají reakce  $P_{i,j_k}^* \neq P_{i,j_k}$  a  $P_{j_k,i}^* \neq P_{j_k,i}$ , přičemž tyto disproporce činí za „standardních“ okolností až asi 7 až 12 % a jsou tím menší, čím méně se liší  $q_{i,j_k}$  od  $q_{j_k,i}$ . Zpřesněnému statickému schématu „B“ odpovídají reakce  $P_{i,j_k}^+ \rightarrow P_{i,j_k}$  a  $P_{j_k,i}^+ \rightarrow P_{j_k,i}$ . Naznačená konvergence je tím výraznější, čím se koeficienty  $\kappa_{i,j_k} = \kappa_{j_k,i}$  a  $\lambda_{i,j_k} = \lambda_{j_k,i}$  a stávají menšími. V každém případě jsou posouvající síly v blízkém okolí středu rozpětí roštových pasů nulové.

Poznamenejme konečně, že statické schéma „A“ vede k poněkud většímu namáhání roštového pasu (ohybovými momenty), než je tomu u statického schématu „B“. Naproti tomu je však patrně  ${}^2f_{i,j_k} \geq q_{i,j_k}$  a  ${}^2f_{j_k,i} \geq q_{j_k,i}$  se souhlasnými důsledky pro velikost kontaktních napětí, viz též vzorec (10).

V případě vykonzolovaných roštových pasů (vycházejících z krajních nebo rohových styčnicků ven z kontury klasic-



Obr. 5. Distribuce kontaktních sil pod vykonzolovaným roštovým pasem



Obr. 6. Skica ke statickým schématům standardních roštových pasů

ky pojatého roštu) platí pro každý takový uzel analogický bilanční vztah  $P_i = \sum_{k=1}^n P_{i,j_k} + \sum_{m=1}^r P_{i,m}$ , ale pro příslušné „podflové“ síly platí  $P_{i,m} = P_{i,m}^* = P_{i,m}^+$  (uplatňujeme obdobné označení jako u standardních roštových pasů), takže tyto již nejsou co do své velikosti závislé na  ${}^1f_{i,m}$  ani na  ${}^2f_{i,m}$ . Vyšetření vnitřních sil vyložených pasů je pak dáno prostým řešením „obrácené“ konzoly zatížené reakcemi  ${}^1f_{i,m}$  a  ${}^2f_{i,m}$ . Poznamenejme, že uplatnění vyložených pasů je příznivým opatřením jak z hlediska snížení odpovídajících kontaktních napětí, tak z hlediska omezení případných natočení krajních regulárních pasů roštu podél longitudinálních os.

Při detailním řešení standardního roštového pasu (obr. 6), resp. vyloženého roštového pasu (obr. 5), je možné uvážit určitá zkrácení délek  $l_{i,j_k}$ , resp.  $l_{i,m}$ , která vyplývají z rozměrnosti odpovídajících návazných příčné (zpravidla kolmo) k nim postaveným pasům, což vede k menšímu namáhání předmětných konstrukčních prvků.

## 6. Závěr

Autory předložené zjednodušené řešení základových roštových konstrukcí je velice jednoduché a názorné. Je založeno „jen“ na podmínkách rovnováhy a na respektování (nevelkých) rozdílů v tuhosti jednotlivých roštových pasů (a to bez ohledu na celkové geometrické uspořádání roštu) – tedy na základních principech mechaniky, poněvadž to v přijatelné míře umožňují reálné fyzikální okolnosti a uvedené předpoklady. Jakkoli tedy nevytváří žádný složitý a originálně definovaný fyzikální model problému (který by byl z analytického hlediska pravděpodobně beztak neschůdný, v lepším případě nesmírně pracný), jde o řešení původní i v praxi

(za respektování odůvodněných omezení) osvědčené. Původnost postupu tkví zejména ve způsobu distribuování kontaktních reakcí pod pasy roštu i v jejich „zprůsňení“ po částech spojitými konstantními funkcemi.

Jde samozřejmě o řešení přibližné, jehož reálnost (totožná míra „přesnosti“) ve finále spočívá na zkušenosti statika, kterou pisatelé, dá-li se to tak říci, parametrizovali s přípojnými doporučeními. „Logický nedostatek“, který je patrný zejména v „přiznaných“ nespojitostech v kontaktních napětích, není z hlediska vystižení podstaty problému a jeho vyřešení vůbec podstatný. Diskontinuita v jinak spojitých reakcích je „nepěkná“ toliko z „kosmetického hlediska“, není však na závadu ani pro odhad extrémních kontaktních napětí, natož pak pro dobré vystižení vnitřních sil v roštových pasech. (Nestejně ohybové momenty ve vteknutí jednotlivých pasů do styčníku (uzlu) jsou důsledkem uvažovaných předpokladů a je možné je vyrovnat např. zprůměrováním, anebo (kvůli bezpečnosti) akceptovat největší z nich). Poznamenejme, že vystihuje-li podmíněná rovnice (2) realitu velmi dobře, je třeba brát hypotetický vztah (3) s určitou opatrností, která tak definuje jeho omezení na začátku čtvrtého oddílu příspěvku.

Uvedený postup nezohledňoval provázanost tuhosti základového roštu s tuhostí prostorového skeletu jím přenášeným. Nebyl rovněž zohledněn vliv základového roštu jako půdorysného celku určitého tvaru na zatlačení jednotlivých roštových pasů (více se do podloží zpravidla zatlačí vnitřní pasy) a na jejich namáhání (exponovanější bývají obvykle pasy krajní). Upozorníme přitom, že případné uplatnění ztužujících stěn v přenášeném prostorovém skeletu (což naznačené řešení nepředpokládalo) by mohlo také poměrně významně ovlivnit rozložení reakcí pod pasy i jejich zatlačení do podloží.

Navržené řešení se může stát jakýmsi návodem, jak postupovat i při jiné „schůdné“ distribuci kontaktních napětí – např. lineárním, bilineárním, lichoběžným či jiným způsobem. V každém případě doporučený postup umožňuje rychle a bez nutnosti využití výpočetní techniky stanovit přibližné rozložení reakcí i vnitřních sil v pasech, a to třeba i opakovaně, pro získání požadovaných praktických výsledků ke vzájemnému porovnání a verifikacím nebo vhodnějšímu návrhu roštové základové konstrukce pro dané požadavky.

#### Literatura

- [1] Bažant, Z.: Metody zakládání staveb. Praha, Academia 1973.
- [2] Bažant, Z.: Zakládání staveb. Praha, SNTL/SVTL 1967.
- [3] Gorbunov-Posadov, M. I.: Výpočet konstrukcí na pružném podkladu. Praha, SNTL 1957.
- [4] Chobot, K. – Drahoňovský, Z. – Hájek, V. – Novotný, H.: Statika stavebních konstrukcí III. Praha, SNTL/Alfa 1985.

#### Novotný, R. – Pech, P.: Simplified Design of Grillage Foundations

This paper shows a simplified (from the theoretical perspective in a fairly acceptable manner) approach to the design of horizontal grillage foundations. It provides advice on how to distribute the vertical load from the columns acting in the grillage joints into the separate horizontal bars (strips).

#### Novotný, R. – Pech, P.: Vereinfachte Lösung von Fundamentroststreifen

Der Artikel zeigt ein vereinfachtes (vom theoretischen Gesichtspunkt nichtsdestoweniger „zufrieden stellend akzeptierbares“) Herangehen an die Lösung horizontaler Fundamentroststreifen auf. Er gibt eine Anleitung, wie man unter bestimmten Voraussetzungen die vertikale Belastung aus Stützen, die in den Knotenpunkten des Rostes wirken, in seine einzelnen horizontalen Stäbe (Streifen) verteilen kann.

## •projekty

### Classic 7 Business Park

Prostory bývalého parního mlýna, budoucího Business Parku Classic 7, se nacházejí v pražských Holešovicích mezi ulicemi Jankovcovou a U Uranie. Původní areál, navržený architektem Bohumilem Hypšmanem, se rozkládal na území o rozloze cca 0,6 ha. Součástí komplexu byly mlýnice se skladištěm, mísírnou a čistírnou, obilné silo, strojovna a kotelná s uhelným silem. Výstavba byla zahájena v roce 1909, v roce 1911 byl pozemek rozšířen na 1,45 ha a bylo rozhodnuto o stavbě administrativní budovy. Ve stejném roce byla postavena hospodářská budova a železobetonové skladiště.



Classic 7 Business Park bude postaven během dvou fází. Předpokládané dokončení první fáze, ve které vznikne přibližně 16 tis. m<sup>2</sup> pronajímatelné podlahové plochy, 75 nadzemních a 135 podzemních parkovacích míst, je plánováno na první čtvrtletí 2008. Druhá etapa předpokládá vytvoření 26 tis. m<sup>2</sup> čisté pronajímatelné podlahové plochy s 230 podzemními parkovacími místy. Zahájení výstavby pro druhou fázi se očekává na podzim 2007, dokončení pak do červen-

ce 2009. Využitím nejnovějších stavebních technologií bude industriální architektura z počátku dvacátého století rekonstruována pro potřeby moderního člověka. Projekt nenabídne jen kancelářské prostory, ale též park s fontánou, restauraci s kavárnou a řadu dalších služeb pro nájemníky.



Složitého architektonického úkolu se chopilo architektonické studio CMC architects, vedoucím projektu je David R. Chisholm, jenž má za sebou mnoho úspěšných realizací. V ČR je to například rezidenční projekt Korunní dvůr nebo kancelářský komplex The Park na Chodově. Podle jeho slov projde stavba celkovou rekonstrukcí, neboť je ve špatném stavu. Snahou je však respektovat industriální ráz, zachovat cenné prvky této kulturní památky a ve spolupráci s památkáři ji unikátně skloubit s novými potřebami. Stavebních prací se ujme společnost PORR. Projektovým managerem je firma EC Harris, investorem společnost NOFIM CZ, která je akciovou společností s majetkovou účastí mezinárodních investičních a developerských firem AFI Europe a Illuminus Group.

*Tisková informace*



## Komerční investice – kancelářské plochy v Praze

Ing. Dana ČÁPOVÁ  
Ing. Petra POSPÍŠILOVÁ  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

**Praha jako významné komerční centrum Evropy a trh v sektoru administrativních prostor na území Hl. m. Prahy (moderních kancelářských projektů i prostor ve staré zástavbě) byl podroben analýze mimo jiné z hlediska nabídky a neobsazenosti ploch.**

Česká republika je stále častěji považována za stabilní investiční prostředí. V uplynulých letech sílil zájem zahraničních investičních fondů a společností o nákup plně pronajatých kancelářských nemovitostí jako předmětu investic. Aby byla nemovitost pro investory lákavá, musí se nacházet na odpovídajícím místě, mít odpovídající kvalitu, a hlavně musí být zcela nebo z velké části pronajaty významným mezinárodním řetězcům na základě dlouhodobých nájemních smluv. Dlouhodobá nájemní smlouva je uzavírána na pět až deset let.

Na trhu převládají zahraniční investoři, zejména z Rakouska, Německa a Velké Británie. Můžeme však sledovat i postupný nárůst domácích fondů, které investují do českých nemovitostí. Veřejně publikované výnosy pro jednotlivé druhy nemovitostí jsou uvedeny v tab. 1 [1].

Tab. 1. Porovnání meziročních nejvyšších výnosů na trhu nemovitostí v ČR

Nemovitost	2004	2005
	[%]	
kanceláře	7,75	6,75
maloobchodní prostory	8,25	7,5
skladové prostory	9,25	8,0
hotely	9,50	8,0

Na počátku devadesátých let poptávka po kvalitních kancelářích značně převyšovala nabídku. Tato situace se nejdříve řešila přestavěním rezidenčních prostor v centru města. Nájemní však byly značně nadhodnoceny, přestože kanceláře postrádaly flexibilitu a požadovaný standard, případně nadstandard. Posléze se začaly stavět objekty, které již základní kritéria moderní kanceláře splňují. Stavěly a stavějí se nová kancelářská centra. Současným trendem realitního trhu je stěhování se firem z města na periferie, z kamenných domů do nových administrativních budov, z malých kanceláří pro několik osob do velkoplošných. Kanceláře nižšího standardu než A a B (hlavně ve staré zástavbě) prožívají v současné době útlum. Přetlak nekvalitní a nekomfortní nabídky nad poptávkou tlačí ceny pronájmu výrazně dolů, zvyšuje fluktuaci nájemců a celkovou neobsazenost, což následně snižuje i konkurenceschopnost, tedy pronajmatelnost objektu faktem, že není dosahováno potřebných výnosů k financování oprav a rekonstrukcí a zvyšování kvality nabízených kanceláří.

V současnosti nevznikají pouze jednotlivé kancelářské budovy, ale často celá kancelářská centra. Základní charakteristikou je složení z několika na sobě nezávislých kancelářských budov, které se dají propojit na úrovni jednotlivých podlaží. Součástí komplexu musí být parková úprava, terasy na střeších objektů, interní zahrady, vodní plochy, neboť to vše navozuje atmosféru příjemného pracovního prostředí. V komplexu si najdou své místo i různé služby ve formě restaurací, pošt, kopírovacích služeb, čistíren a možnosti pro využití volného času, jako jsou fitness centra. Významná administrativní centra mohou v budoucnu lákat i rezidenční výstavbu, která se může stát součástí komplexu.

Kancelářská centra se snaží získat a udržet image úspěšného produktu a dobré adresy. Významným kritériem k dosažení úspěšnosti patří obsazenost, resp. neobsazenost. Čím menší je míra neobsazenosti budovy, tím žádanější je, neboť firmy vědí, že jen těžko zapůsobí na obchodní partnery dlouhodobým sídlením v poloprázdne budově. Míra neobsazenosti je kritériem nejen pro nájemníky, ale také pro investory. Na cenu nájemného má největší vliv nabídka na trhu. S rostoucí nabídkou klesají nájemní, a tedy i příjmy majitelů administrativních objektů a návratnost investice.

Tab. 2. Spekulativní plánovaná výstavba

Projekt	Kapacita [m <sup>2</sup> ]	Dokončení [čtvrtletí/rok]	Nájemné [EUR/m <sup>2</sup> /měsíc]
Vyšehrad Victoria	5 000	1/2007	15,00-16,00
Trianon	18 500	1/2008	15,00-16,00
Kolben Business Park	20 000	1/2007	8,00
E - Gate Evropská	20 815	2/2007	15,00-15,50
CITY Tower	41 550	2/2007	13,00-19,00
CITY Element	6 540	1/2008	14,50
CITY Court	18 703	4/2007	15,00-15,50
CITY Deco	16 284	1/2008	14,00-14,50
Oasis Florenc	15 021	3/2007	17,00-17,50
Copa Center Národní	17 000	1/2008	není k dispozici
Komplex Opatov Centrum	28 000	1/2007	14,00-15,00
Palladium	19 500	3/2007	není k dispozici
Gemmini	33 400	4/2007	15,00
Vysočanská brána	10 506	1/2009	12,80-15,30
Amazon Court	17 500	4/2008	18,50-19,00
Corso II	12 500	2/2008	není k dispozici
Churchill Square	32 000	4/2011	není k dispozici
Office Plaza	18 000	1/2009	14,00-14,50
Smíchov Station Development	není k dispozici	není k dispozici	není k dispozici
<b>Celkem 350 819 m<sup>2</sup></b>			

V tabulce 2 jsou uvedeny kancelářské plochy na území Hl. m. Prahy, které budou uvedeny na trh jako spekulativní v průběhu příštích pěti let. Pokud porovnáme kapacity kancelářských ploch, zjišťujeme, že developeři v Praze v současné době stavějí převážně na spekulativní bázi.

Pražské realitní kanceláře, investoři a developeři zastávají názor, že poptávka po kancelářích je silná a v následujících letech bude stoupat. Je možné plně obsadit všechny plochy, které jsou na trhu k dispozici? Jaká je současná neobsazenost? Tedy, kolik je z celkové nabídky kancelářských prostor v Praze volných? Pro odpověď na tyto otázky byl proveden průzkum nabízených prostor na území hlavního města, který po dobu jednoho roku ve tříměsíčních intervalech sledoval nabídku kancelářských ploch na trhu. Internet není zcela věrohodný zdroj, ale stále častěji jej využívají profesionálové, kteří jsou i největšími hráči na realitním poli. Část inzerovaných nabídek byla v období průzkumu osobně prověřena. Ve zkoumaném objemu se může vyskytnout malé procento dat, jež k datu sběru nebyla zcela aktuální, např. z důvodu, že realitní kancelář nemusí stáhnout z internetové inzerce nabídku v ten samý den, ve který daný prostor pronajme. V každém měření byl zkoumán přibližně stejný počet nabízených kanceláří, tzn. 80 až 90 objektů. Některé z nabídek se objevily ve všech čtyřech měřeních. Nabídky byly členěny na moderní a starou zástavbu z důvodu velké odlišnosti v jejich kvalitě a lokalitě nabízených kancelářských prostor.

**Objem zkoumaných dat**

Vzorek moderních kancelářských prostor – celková analyzovaná kapacita – pronajaté i volné plochy ve zkoumaných objektech moderních kancelářských vzorků je 540 000 m<sup>2</sup>. Podle průzkumu trhu, který provádí Prague Research Forum, bylo v Praze ke konci prvního pololetí 2006 celkem 1 900 000 m<sup>2</sup> (přičemž 66 % je nově postavených a 34 % rekonstruovaných). Průzkum byl tedy proveden cca na 30 % z oficiálně stanoveného celkového objemu kancelářských ploch v Praze (tab. 3). Vzorek kancelářských ploch ve staré zástavbě – celková kapacita sledovaného vzorku kancelářských objektů pronajatých i volných ve staré zástavbě – činí 122 830 m<sup>2</sup>.

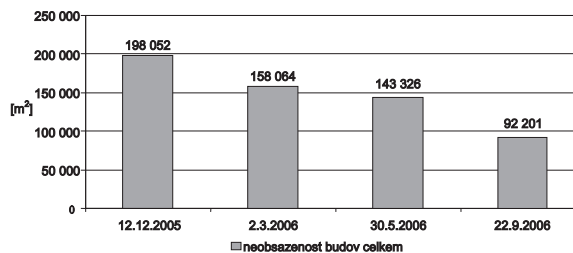
Tab. 3. Porovnání kancelářských prostor na území Hl. m. Prahy

Projekty	Kapacita [m <sup>2</sup> ]
spekulativní plánované	350 819
vázané na předpronájem	33 529
pro konkrétního zájemce	134 800
dokončené	544 648
<b>administrativní celkem</b>	<b>1 063 796</b>

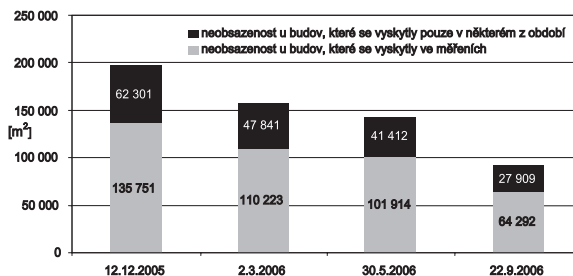
**Nabídka na trhu**

Nabídkou kanceláří se rozumí počet volných metrů čtverečních, který je k dispozici potenciálním nájemcům. Podle obr. 1, který znázorňuje celkovou nabídku na trhu (moderní kancelářské prostory i prostory ve staré zástavbě) v jednotlivých obdobích měření, lze říci, že objem nabízených prostor v čase klesá. Tedy kanceláře se pronajímají. Podle údajů v obr. 2 lze říci, že objem nabídky na trhu v průběhu sledovaného období klesá, tedy zájem o kanceláře stoupá. U budov,

kteří se vyskytly ve všech čtyřech měřeních, klesl objem volných prostorů o 53 %, tedy ze 135 751 na 64 292 m<sup>2</sup>.

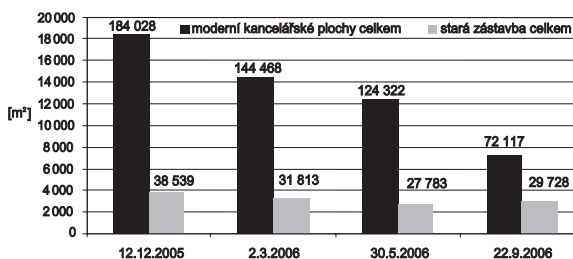


Obr. 1. Celková nabídka na trhu v jednotlivých obdobích

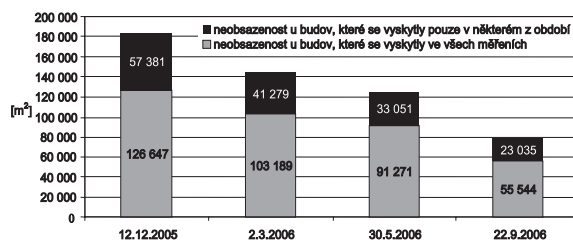


Obr. 2. Celková nabídka na trhu rozdělená podle výskytu budov

Poměr nabízených kancelářských ploch v moderní zástavbě ku plochám ve staré zástavbě znázorňují obr. 3 a obr. 4. Je vidět, že z celkového objemu zkoumaných dat je 70 až 80 % nabízených ploch v moderních administrativních budovách a zbývajících 20 až 30 % ve staré zástavbě. Poměr mezi moderní a starou zástavbou ukazuje klesající neobsazenost v moderních kancelářských budovách a stabilní až mírně rostoucí neobsazenost ve staré zástavbě.



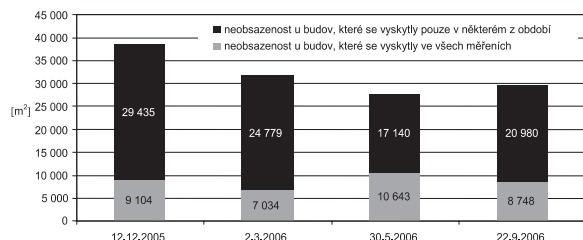
Obr. 3. Celková nabídka na trhu rozdělená na budovy v moderní a ve staré zástavbě



Obr. 4. Nabídka moderních kanceláří podle výskytu budov

Nabídka moderních kanceláří má klesající trend. U budov, které se vyskytly ve všech čtyřech měřeních, klesl objem volných prostorů o 56 % během necelého roku. Klesá i objem volných prostor, které se nevyskytly ve všech čtyřech obdobích. V září 2006 přibýlo na trhu pouze 23 035 m<sup>2</sup> moderních kancelářských prostor proti 57 381 m<sup>2</sup> v prosinci 2005.

Volné prostory ve staré zástavbě uvádí obr. 5. Lze říci, že jejich objem od začátku měření v prosinci 2005 mírně klesal až do léta 2006, kdy jich začalo opět přibývat. Podle analýzy situace na trhu lze očekávat růst nabídky kancelářských prostor ve staré zástavbě.



Obr. 5. Nabídka kanceláří ve staré zástavbě podle výskytu budov

### Trend neobsazenosti

Pojem neobsazenost, neboli volné plochy k dispozici, se vyjadřuje v procentech a představuje poměr volných ploch k celkovému objemu ploch daného objektu. Z naší provedené průzkumu vyplývá (tab. 4), že u moderních kancelářských prostor neobsazenost klesá, tedy zájem o nové kanceláře roste, nové kanceláře se pronajímají. Proti tomu zájem o staré kanceláře je malý, trend má oscilující tendence. Lze tedy předpokládat, že převážná část poptávky bude směřovat k novým administrativním projektům díky rostoucím požadavkům na kvalitu, technické vybavení a zabezpečení budov.

potvrzuje se tedy předpoklad, že firmy opouštějí kanceláře ve staré zástavbě a stěhují se do nových administrativních center.

Tab. 4. Neobsazenost v jednotlivých měřeních

Neobsazenost	12.12.2005	2.3.2006	30.5.2006	22.9.2006
	[%]			
moderní kancelářské prostory	42	34	30	19
stará zástavba	37	29	43	35

Znatelný nárůst poptávky po kancelářích mimo historické centrum města bude pravděpodobně pokračovat. Po ostatních lokalitách je tento trend posilován snahou nájemníků (potenciálních zájemců) zajistit dobrou dopravní dostupnost, dostatek parkovacích stání, větší podlažní plochu v jednotlivých podlažích s flexibilním uspořádáním příček, moderní technické vybavení a celkově nižší nájemné a poplatky za služby spojené s užíváním kanceláří. Kanceláře nižšího standardu prožívají v současné době útlum. Přetlak nekvalitní, nekomfortní nabídky nad poptávkou tlačí ceny pronájmů výrazně dolů, zvyšuje fluktuaci nájemců a celkovou neobsazenost starších objektů, což následně snižuje i konkurenceschopnost, tedy pronajimatelnost objektu faktem, že není dosahováno potřebných výnosů k financování oprav a rekonstrukcí a zvyšování kvality takto nabízených kanceláří i objektu jako investice.

### Literatura

[1] CB Richard Ellis – Prague Research Forum Report, 2005.

Čápková, D. – Pospíšilová, P.: Commercial Investments – Office Spaces in Prague

Prague, as an important commercial centre of Europe, and the market in the sector of office spaces on the territory of the Capital of Prague (modern office projects and spaces in old buildings) were subjected to an analysis, among others, from the perspective of the offer and non-occupancy of spaces.

Čápková, D. – Pospíšilová, P.: Kommerzielle Investitionen – Büroflächen in Prag

Prag als bedeutendes kommerzielles Zentrum Europas und der Markt im Sektor von Büroräumen auf dem Gebiet der Hauptstadt Prag (moderne Büroprojekte und der Raum in der Altbausubstanz) wurden einer Analyse unter anderem vom Gesichtspunkt des Angebots und des Leerstands von Flächen unterzogen.



## SD 2007

mezinárodní konference k otázkám udržitelného rozvoje regionů

24. – 25. května 2007, ČVUT Praha

Cílem mezinárodní konference je výměna poznatků a přístupů k řešení problematiky udržitelného rozvoje regionů. Náplní programu bude hledání vazeb mezi limity ekonomickými, sociálními a limity životního prostředí regionů. Dalším cílem je upozornit na problémy, jež by mohly ohrozit přechod regionů na strategie respektující udržitelný rozvoj. Snahou je formulovat opatření, jak těmto hrozbám předejít nebo zmírnit jejich dopad, a efektivně řešit případné důsledky.

[www.sd2007.cz](http://www.sd2007.cz)

# Vývoj softwaru na zpracování mračen bodů PointClouder

Ing. Martin ŠTRONER, Ph. D.  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

Článek prezentuje vývoj softwaru pro zpracování a analýzu mračen bodů pozemního laserového skenování a předpokládané další cíle.

## Úvod

Laserové skenovací systémy umožňují bezkontaktní určování prostorových souřadnic, např. pro libovolné terény, ale také pro trojrozměrné (3D) modelování a vizualizaci složitých staveb a konstrukcí, interiérů a různých prostor s mimořádnou rychlostí, přesností, komplexností a bezpečností. Slabým místem jejich efektivního a exaktního využití je doposud používaný software pro zpracování dat. Bez softwaru, který efektivně zpracovává měřená data a umožňuje jejich analýzu včetně výpočtů přesnosti, je zpracování jistým způsobem nepřesné a jeho výsledek problematický. V rámci grantového projektu „Zpracování a analýza produktů hromadného sběru 3D dat terestrickými skenovacími systémy“ je vyvíjen software, který umožní nezávislé zpracování produktů měření laserových skenovacích systémů.

## Funkční moduly programu

Program je vyvíjen v objektově orientovaném programovacím jazyce Borland Delphi. Pro zobrazování prostoru je využito rozhraní OpenGL (Open Graphics Library, [1], [2]), což je standard specifikující multiplatformní rozhraní (API – Application Programming Interface) pro tvorbu aplikací počítačové grafiky. Používá se při tvorbě programů CAD, aplikací virtuální reality, vizualizací a počítačových her. V OpenGL se nepoužívá objektově orientované programování, jednotlivá primitiva jsou definována pomocí vrcholů, kdy každý z nich definuje bod, koncový bod hrany nebo vrchol mnohoúhelníku. Každý vrchol má přiřazena data (obsahující souřadnice umístění bodu, barvy, normály a texturovací souřadnice). Rozhraní OpenGL je založeno na architektuře klient/server – program (klient) vydává příkazy, které grafický adaptér (server) vykonává. Množství zobrazovaných objektů (bodů, úseček, trojúhelníků atd.) vyžaduje, aby implementace byla pokud možno hardwarová, tj. v grafické kartě počítače.

## Jádro programu

V současné době je zpracováno základní objektové jádro programu pro správu, zobrazování a manipulaci s body a mračny bodů. Záznam každého bodu obsahuje (kromě jiných údajů) prostorové souřadnice  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , hodnotu intenzity přijatého signálu, barvu (složenou z hodnot červené, modré a zelené), příznak viditelnosti a příznak výběru. Body jsou organizovány do samostatných pojmenovaných paměťových prostorů (bufferů) podle výběru uživatele. Zobrazení a úpravy probíhají vždy pouze v aktivním bufferu. Lze načíst data

z různých souborů do oddělených prostorů, kopírovat či přesouvat je mezi nimi, vytvářet další buffery jako odkládací pro zrychlení a zefektivnění práce programu. Data lze do bufferů načítat v této fázi vývoje z textového souboru v podobě souřadnic  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  nebo v podobě souřadnic  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  a intenzity přijatého signálu. Ukládat data do textového souboru lze ve stejných formátech. Při uložení dat do binárního souboru se ukládají nejen souřadnice a intenzita, ale také kompletní vlastnosti bodu včetně viditelnosti a informace, zda je bod vybrán. Funkce jsou dostupné z formuláře *Repository*.

Jak již bylo zmíněno, jednou z vlastností bodů je jeho barva. Pro usnadnění a zvýšení přehlednosti při práci je v některých případech účelné vybrané body vhodně obarvit, což program umožňuje. Barvy lze rovněž generovat z intenzity a z čísel bodů. Další možností zpřehlednění situace je skrytí nepotřebných nebo překážejících bodů, které však nezmenší objem zpracovávaných dat. Jsou tak pro většinu základních operací s body k dispozici dvě výběrové množiny – neviditelné body a vybrané body.

Program se po spuštění a načtení dat skládá z hlavního formuláře programu, který umožňuje spuštění dalších palet s funkcemi, a z okna zobrazujícího zpracovávaná data. Ovládací prvky programu jsou v této fázi vývoje seskupeny do palet *Pohledy*, *Výběr*, *Viditelnost*, *Barvy bodů*, *Hlášení*, *Repository*, *Nastavení*, *Funkce*, *SingleBody*.

## Ovládání pohledů

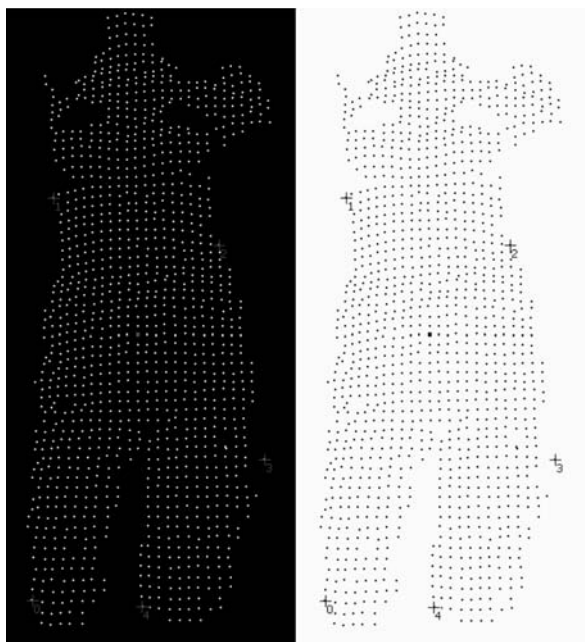
Základem zobrazení bodů je určení stanoviska pozorovatele (bod pohledu) a cílového bodu. Ten je vždy ve středu okna, pro usnadnění orientace je vykreslen výrazným červeným bodem. Souřadnice těchto dvou bodů spolu s určením vektoru směru vzhůru definují zobrazení. Změny zobrazení, resp. posuny a pootočení, jsou realizovány změnami těchto dvou bodů. Jsou k dispozici tři manipulace pro změny pohledu – otočení pohledu okolo cílového bodu, otočení pohledu okolo bodu pohledu, přiblížení/oddálení bodu pohledu od cílového bodu. Otáčení bodu pohledu se děje stiskem pravého tlačítka myši, složka pohybu vlevo/vpravo mění směrník pohledu, složka pohybu nahoru/dolů mění zenitový úhel. Otáčení cílového bodu probíhá stejným způsobem, navíc se současným stiskem klávesy *Ctrl*. Přiblížení/oddálení lze provést otočením kolečka myši. Přidržením klávesy *Shift* lze použít nižší rychlost otáčení nebo pohybu, obě hodnoty otáčení a obě hodnoty posunutí lze nastavit ve formuláři *Nastavení*.

Jako cílový bod lze vybrat konkrétní bod mračna nastavením kurzoru a stiskem prostředního tlačítka myši (kolečka). Toto ovládání (kromě výběru cílového bodu) je také dostupné prostřednictvím tlačítek na paletě *Pohledy*.

## Výběr bodů, viditelnost

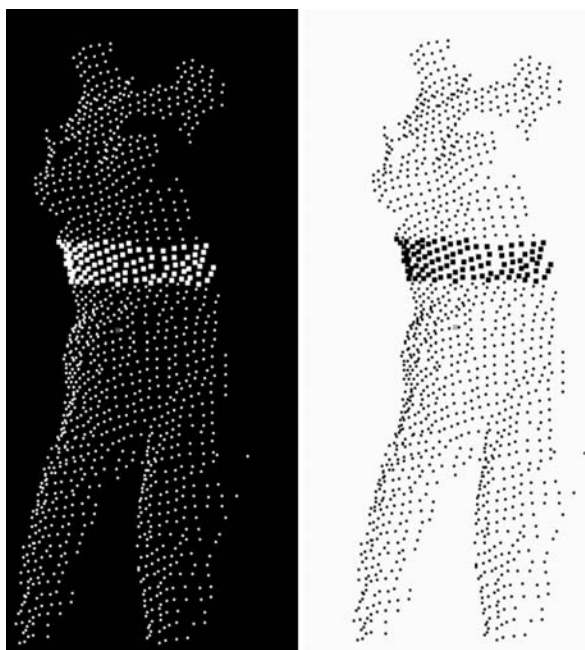
Výběr bodů je možný dvěma způsoby – hromadně (multi mod) a s definovaným pořadím (single mod). Výběr s definovaným pořadím (*obr. 1*) je vhodný např. pro výpočty transformačního klíče, každý bod je označen křížkem a číslem. Ve zvláštním formuláři je možné body mazat a zaměňovat.

Po definovaném výběru se jednotlivé body vybírají stiskem levého tlačítka myši.



Obr. 1. Výběr s definovaným pořadím

Hromadný výběr (obr. 2) se provádí v multi modu, při stisknutí levém tlačítku myši se vybírané body tažením zarámují do obdélníku. Body lze také vybírat jednotlivě stiskem levého tlačítka myši, kliknutím se označení bodu zruší. Označením se bod vizuálně odliší zvětšením. K dispozici jsou další povely na paletě *Výběr*. Lze zvolit nastavení *Nový*, *Přidat*, *Odebrat*, *Invertovat*. Nový pracuje tak, že před vybráním nové množiny bodů jsou již vybrané body odznačeny. *Přidat* zajistí, aby nový výběr byl přidán ke stávajícímu, *Odebrat* zruší označení nově vybraných bodů, *Invertovat* dosud nevybrané označí a již vybrané odznačí. Samostatnými tlačítky lze *Zrušit vše*, *Vybrat vše* a *Invertovat vše*.



Obr. 2. Hromadný výběr

Pro dočasné skrytí bodů jsou k dispozici funkce na paletě *Viditelnost*. Lze skrýt body *Vybrané* nebo *Nevybrané*, zobrazení všech skrytých bodů se provede tlačítkem *Zobrazit skryté*.

### Funkce

Do systému jsou implementovány jednoduché funkce pro získání informací o jednotlivých bodech (výpis pořadového čísla bodu, souřadnic a intenzity), o mračnu bodů v aktivním bufferu (název, počet bodů celkem, počet vybraných bodů, počet viditelných bodů, maximální a minimální souřadnice v mračnu). Dále je možno vypočítat pro dva označené body šikmou, vodorovnou délku a převýšení, zenitový úhel a směrnik. Informace jsou zobrazovány v okně *Hlášení*.

### Možnosti nastavení

Formulář *Nastavení* umožňuje definovat základní ovládací program. Lze volit krok v úhlu pro otáčení pohledu (malý, velký), krok v délce pro přibližování/oddalování (malý, velký), velikost zobrazovaných bodů, velikost vybraných bodů, barvu výběrového obdélníku. Dále také maximální vzdálenost vybíraného bodu od označeného (není vhodné, aby bylo pro označení/odznačení jednoho bodu nutno kliknout přesně, ale vybírá se nejbližší bod, a to tehdy, pokud není dále, než je maximální vzdálenost). Lze také nastavit barvu, velikost křížku a velikost písma pro označení bodů vybraných v single modu. Všechna tato nastavení se ukládají do inicializačního souboru.

### Vyvíjené funkce a moduly

Prezentované prvky implementované do programu bude nutné doplnit funkcemi, které využijí doposud připravené grafické a datové rozhraní a umožní zpracování měření laserového skeneru jak ve směru prokládání geometrickými primitivami, resp. jejich částmi, tak ve směru zpracování opírajícího se o trojúhelníkové sítě.

### Virtual Laser Scanner

Pro ověřování algoritmů pro zpracování mračen bodů byla v řešení grantového projektu vyvinuta knihovna Virtual Laser Scanner (VLS) [3], umožňující simulovat měření laserovým skenerem na povrch roviny, koule, rotačního válce a kužele, eliptického válce a kužele v obecné poloze se simulací chyb měření a nastavování směru laserového skeneru. Princip simulace měření spočívá v generování jednotlivých směrů měření ze stanoviska skeneru definovaných směrem a zenitovým úhlem vysílaného měřicího svazku paprsků, a následně výpočet souřadnic průsečíku takto definované přímky s matematicky definovanou plochou. Výsledkem je vygenerované mračno bodů.

### SPATFIG

Dále bude do programu začleněna samostatně vyvíjená knihovna tříd SPATFIG (Spatial Figure – prostorový útvar) [4], [5]. Jde o knihovnu tříd a funkcí zabezpečujících ortogonální prokládání geometrických útvarů v prostoru (přímka, rovina, kružnice, koule, válec, jehlan atd.) podle metody nejmenších čtverců. V knihovně jsou řešeny odhady směrodatných odchylek vyrovnaných neznámých koeficientů, jejich kovarianční matice a jsou uvažovány kovarianční matice měření. Knihovna je napsána v jazyce C++ a je šířena pod veřejnou licencí GNU GPL (GNU – General Public Licence, blíže např. [www.gnu.org/licenses/gpl-faq.cs.html](http://www.gnu.org/licenses/gpl-faq.cs.html)).

**Další funkce**

Kromě uvedených knihoven bude další vývoj programu směřovat také ke zpracování měření s využitím trojúhelníkových sítí. Předpokládá se implementace algoritmů pro generování trojúhelníkových sítí zachovávajících podmínku Delauneyovy triangulace a dalších souvisejících problémů včetně algoritmů zjemňování polí bodů se zachováním přesnosti následně aproximace tělesa generováním trojúhelníkové sítě.

**Závěr**

V článku je stručně popsán současný stav vývoje programu pro zpracování mračen bodů ve verzi 0.7, kdy je funkční základní databázové a grafické jádro, a nastíněny cíle jeho dalšího vývoje. Program pracuje na notebooku s dvoujádrovým procesorem Intel Core Duo s frekvencí 1,66 GHz, 1 GB paměti RAM a integrovanou grafickou kartou Intel GMA 950 tak, že lze pracovat s 1 miliónem bodů bez problémů. Vývoj bude pokračovat nejen doplňováním funkcí, ale také doplněním externě modifikovatelné lokalizace do libovolného jazyka.

Článek byl zpracován v rámci projektu č. 103/06/0094 GA ČR "Zpracování a analýza produktů hromadného sběru 3D dat terestrickými skenovacími systémy".

**Literatura**

[1] Shreiner, D.: OpenGL Reference Manual. Addison-Wesley Professional, 1999

- [2] Shreiner, D. – Woo, M. – Neider, J. – Davis, T.: The Official Guide to Learning OpenGL, Version 1.1. Addison-Wesley Professional, 1997.
- [3] Štroner, M.: Virtuální laserový skener. Stavební obzor, **15**, 2006, č. 6, s. 187–190.
- [4] Koska, B. – Pospíšil, J. – Štroner, M.: The Result Presentation of the Development of Laser and Optic Rotating Scanner LORS and Introduction of Public Library of Classes and Functions SPATFIG. In: Optical 3-D Measurement Techniques VII, Volume I. TU Vienna, 2005, pp. 63–73.
- [5] Koska, B.: Veřejná knihovna tříd a funkcí SPATFIG k ortogonálnímu prokládání obecných geometrických útvarů mračnem bodů. In: Aktuální problémy fotogrammetrie a DPZ 2005. ČVUT Praha, s. 29–33.
- [6] Gallier, J.: Geometric Methods and Applications: For Computer Science and Engineering. Springer Verlag 2001.

---

**Štroner, M.: Development of PointClouder Software for Point Clouds Processing**

This paper describes the development of a software package for the processing and analyzing of point clouds produced by terrestrial laser scanning, as well as further anticipated goals.

---

**Štroner, M.: Entwicklung der Software PointClouder zur Bearbeitung von Punktwolken**

Der Artikel stellt die Entwicklung einer Software für die Bearbeitung und Analyse von Punktwolken des terrestrischen Laserscannens und die vorgesehenen weiteren Ziele vor.

## POROTHERM 2007

V devátém ročníku veřejné anonymní architektonické soutěže pro architekty, projektanty a studenty bylo vyhlášeno téma

**„Energeticky úsporný rodinný dům z jednovrstvého zdiva POROTHERM“**

Účelem a posláním soutěže je inspirovat tvorbu kvalitních projektů rodinných domů, jejichž jednovrstvé zdivo je realizováno z kompletního cihlového systému POROTHERM. Vyhlašovatel soutěže má na mysli projekty, které v architektonickém, projektovém a dispozičním řešení maximálně využívají možnosti, které tento systém nabízí. Projekty domů technicky vyspělých, materiálově kvalitních, energeticky úsporných, estetických, cenově přijatelných jak z hlediska výstavby, tak i z hlediska užívání. Projekty domů, pro něž je charakterická vysoká úroveň pohody bydlení.

Ve třetím ročníku přehlídkové neanonymní jednokolové soutěže se budou o ceny ucházet

**„Realizované stavby z cihlového systému POROTHERM“**

bez rozlišení účelu využití a jejich typologického zařazení. Předmětem soutěže jsou stavby lokalizované na území České republiky postavené z cihlového systému POROTHERM a dokončené do 20. května 2007, kromě staveb v této soutěži již oceněných.

Soutěž se koná pod záštitou ministra pro místní rozvoj a ministra průmyslu a obchodu, partnerem je Státní fond rozvoje bydlení, mediálními partnery Vydavatelství Springer Media CZ a JAGA MEDIA, dalšími partnery Česká komora architektů, Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků, Český svaz stavebních inženýrů, Fakulta architektury a Fakulta stavební ČVUT v Praze a Obec architektů.

[www.wienerberger.cz](http://www.wienerberger.cz)  
[www.komunikace-profit.cz](http://www.komunikace-profit.cz)

# Tepelné, vlhkostní a mechanické vlastnosti kompozitního materiálu zatíženého vysokými teplotami

Ing. Lucie ZUDA  
RNDr. Jaroslava DRCHALOVÁ, CSc.  
prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.  
ČVUT – Fakulta stavební, Praha

Ing. Patrik BAYER, Ph. D.  
Ing. Pavel ROVNANÍK, Ph. D.  
VUT – Fakulta stavební, Brno

V článku jsou prezentovány základní tepelné, vlhkostní a mechanické vlastnosti materiálu na bázi alkalicky aktivované strusky s elektroporcelánovým plnivem a expandovaným vermikulitem po zatížení vysokými teplotami zjištěné za pokojové teploty. Parametry jsou porovnány s výsledky referenčního měření na témž materiálu bez zatížení.

## Úvod

Alkalicky aktivované kompozitní materiály mají v praxi mnoho příznivých vlastností, např. vysokou pevnost, korozi-vzdornost, odolnost proti tepelnému namáhání. Tyto materiály se dají vyrábět z druhotných surovin a činí tak stavební průmysl méně závislým na přírodních zdrojích [1]. Kolektiv autorů tohoto článku se systematicky zabývá již několik let materiály na bázi alkalicky aktivované strusky. První část výzkumných prací byla zaměřena na studium materiálu, u něhož byl jako plnivo použit písek [2], [3]. Ve druhé fázi výzkumu byl jako plnivo použit elektroporcelán, který je odpadem při výrobě elektroporcelánových pojistek [4], [5]. Ve třetí fázi byl pro lepší odolnost proti teplotnímu namáhání k elektroporcelánovému plnivu přidán expandovaný vermikulit. Tento materiál, který patří do skupiny fylosilikátů nebo šupinkových silikátů, se vzhledově podobá slíďe. Je snadno tvarově přizpůsobivý, zároveň je tepelně stabilní.

Tento článek představuje první část experimentálních prací provedených na kompozitním materiálu na bázi alkalicky aktivované strusky s elektroporcelánem a vermikulitem jako plnivy. Konkrétně jde o měření tepelných, vlhkostních a mechanických parametrů jednak referenční sady, jednak vzorků materiálu po zatížení vysokými teplotami. Teplotně zatěžovacími stavy jsou 200, 400, 600, 800, 1 000 a 1 200 °C.

## Materiál a vzorky

Při výrobě vzorků se postupovalo způsobem uvedeným v práci [8]. Pro měření na každý zatěžovací stav byly použity vzorky:

- součinitel vlhkostní vodivosti pomocí sorpčního experimentu, otevřená pórovitost a objemová hmotnost  
3 vzorky 50 x 50 x 23 mm;
- součinitel vlhkostní vodivosti pomocí kapacitní metody  
3 vzorky 20 x 40 x 300 mm;

- součinitel difúzního odporu vodní páry  
3 vzorky o průměru 108 mm a tloušťce 10–22 mm;
- součinitel tepelné vodivosti a objemová měrná tepelná kapacita  
3 vzorky 70 x 70 x 70 mm;
- pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku  
3 vzorky 40 x 40 x 160 mm.

## Experimentální metody

■ Pro stanovení průměrného součinitele vlhkostní vodivosti byl použit experiment, založený na kapilárním sání vody z volné hladiny do vzorku ve vertikální poloze. Vzorek, izolovaný proti vodě na čtyřech stěnách pláště, byl umístěn pomocí kovové konstrukce nad nádobu s vodou tak, aby jeho spodní čelo bylo ponořeno 2 mm pod hladinou. Konstrukce byla položena na vahách propojených s počítačem, umožňujících automatickou registraci dat. Závislost množství vody ve vzorku na odmocnině z času od počátku měření byla pak využita ke stanovení koeficientu absorpce vody, který je roven směrnici její lineární části. Pro výpočet průměrné hodnoty součinitele vlhkostní vodivosti  $\kappa$  [ $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ ] byla použita rovnice

$$\kappa \approx \left( \frac{A}{w_c} \right)^2, \quad (1)$$

kde  $A$  je koeficient absorpce vody [ $\text{kgm}^{-2}\text{s}^{-1/2}$ ],  $w_c$  nasycená vlhkost [ $\text{kgm}^{-3}$ ].

Vzorky byly ponechány volně v laboratorním prostředí až do ustálení konstantní hmotnosti. Měření se provádělo při teplotě 25 °C a relativní vlhkosti vzduchu 30 %.

■ Pro stanovení součinitele vlhkostní vodivosti na základě vlhkostních profilů byla použita jedna z běžně používaných nestacionárních metod, Matanova metoda [6]. Jako všechny inverzní metody vychází z jednorozměrného řešení difúzní rovnice (2), která popisuje přenos vlhkosti v kapilárně porézních látkách za izotermních podmínek

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \nabla(\kappa(u)\nabla u). \quad (2)$$

Hmotnostní vlhkost je dána vztahem

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

kde  $m_v$  je hmotnost vlhkého a  $m_s$  suchého vzorku.

Experiment spočívá v určení vlhkostních profilů, tj. vlhkosti podél osy vzorku ve specifikovaných intervalech  $u(x, t)$ . Vzorek ve tvaru tyče (její délka je v porovnání se dvěma ostatními rozměry řádově větší) je na jednom konci napájen vodou, druhý konec je vystaven působení vzduchu stejné relativní vlhkosti, jaká je v jeho pórech na počátku experimentu. Při přenosu vlhkosti pouze v jednom směru je nutné zabránit odpařování vody na zbývajících stěnách vzorku, což je zajištěno parotěsnou a vodotěsnou izolací vzorku po všech stranách kromě čel.

Matanova metoda vychází ze znalosti jedné křivky navlhání a času od počátku experimentu, odpovídajícího této křivce. Využívá Boltzmannovy transformace, kterou je možno použít v případě krátkých časů, kdy se ještě neuplatňuje okrajová podmínka na suchém konci vzorku. Výhoda spočívá v tom, že převádí řešení parciální diferenciální rovnice (2) na řešení obyčejné diferenciální rovnice. Pokud známe rozložení vlhkosti  $u(x)$  v jistém čase  $t$ , můžeme součinitel vlhkostní vodivosti vypočítat ze vztahu

$$\kappa(u(x)) = \frac{1}{2tu'(x)} \int_x^\infty \xi u'(\xi) d\xi, \quad (2)$$

kde  $u'(x)$  je derivace vlhkosti podle prostorové souřadnice.

Vzorky byly ponechány volně v laboratorním prostředí až do ustálení své hmotnosti při teplotě 25 °C a relativní vlhkosti vzduchu 30 %. Při těchto podmínkách probíhalo také měření.

■ Pro měření byla použita jedna ze standardních stacionárních metod – misková metoda (cup) [7]. Součinitel difúze vodní páry  $D$  [m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>] byl vypočten podle rovnice

$$D = \frac{\Delta m \cdot d \cdot R \cdot T}{S \cdot \tau \cdot M \cdot \Delta p_p}, \quad (5)$$

kde  $\Delta m$  je množství vodní páry prošlé vzorkem [kg],  $d$  tloušťka vzorku [m],  $S$  jeho plocha, která je v kontaktu s vodní párou [m<sup>2</sup>],  $\tau$  čas odpovídající hmotnosti prošlé vodní páry  $\Delta m$  [s],  $\Delta p_p$  rozdíl parciálních tlaků v nádobě pod vzorkem a prostředím nad vzorkem [Pa],  $R$  univerzální plynová konstanta [Jmol<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>],  $M$  molární hmotnost vody [kgmol<sup>-1</sup>],  $T$  absolutní teplota [K].

Na základě výpočtu součinitele difúze vodní páry  $D$  [m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>] byl určen faktor difúzního odporu  $\mu$  [-] podle vztahu

$$\mu = \frac{D_a}{D}, \quad (6)$$

kde  $D_a$  je součinitel difúze vodní páry ve vzduchu [m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>]. Součinitel difúzní propustnosti vodní páry  $\delta$  [s] byl pak vypočítán na základě vztahu

$$\delta = D \frac{M}{RT}. \quad (7)$$

Při měření metodou dry cup byla miska se vzorkem naplněna bezvodým práškovým chloridem vápenatým CaCl<sub>2</sub> a umístěna v laboratorním prostředí s průměrnou relativní vlhkostí 30 %. Při měření metodou wet cup byla miska naplněna vodou a umístěna také v laboratorním prostředí s průměrnou relativní vlhkostí 30 %. Hmotnost misky se vzorkem se

ověřovala dvakrát denně po dobu dvou týdnů při teplotě 25 °C. Konstantní úbytek (wet cup) nebo přírůstek (dry cup) byl stanoven z ustálených hodnot lineární regresí.

■ Tepelné vlastnosti byly měřeny přístrojem ISOMET 2104 [8]. Zařízení měří součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  [Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>], měrnou objemovou tepelnou kapacitu  $c_p$  [Jm<sup>-3</sup>K<sup>-1</sup>] a teplotu [°C]. Součinitel teplotní vodivosti  $a$  [m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>] je počítán přístrojem podle vztahu

$$a = \frac{\lambda}{c_p}. \quad (8)$$

Měření se provádělo plošnou sondou na přirozeně vlhkých vzorcích v laboratorním prostředí s teplotou 25 °C a relativní vlhkostí 30 %.

■ Z mechanických vlastností se ověřovala pevnost v tahu za ohybu a v tlaku. Pevnost v tahu za ohybu se zjišťovala v uspořádání klasického třibodového ohybu na měřicím lisu o výkonu 500 kN. Pevnost v tlaku se následně měřila na zlomcích zkušebních tělísek, která zůstala po zkoušce pevnosti třibodovým ohybem. Zkušební trámce byly standardních rozměrů, zkoušky probíhaly a vyhodnocovaly se podle norem.

## Výsledky a diskuze

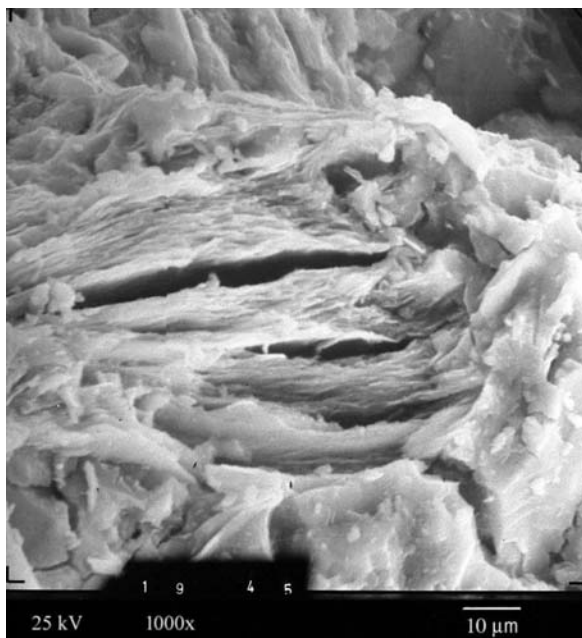
Porovnání základních fyzikálních vlastností mezi referenční sadou 25 °C a sadami zatíženými do 1 200 °C je uvedeno v tab. 1. Je patrné, že při zvyšování teplot do 1 000 °C docházelo jen k relativně malému poklesu objemové hmotnosti asi o 5 %. S tím koresponduje i mírný nárůst otevřené pórovitosti, zatímco hustota matrice se téměř nezměnila. Avšak pro vzorky zatěžované na 1 200 °C objemová hmotnost vzrostla asi o 10 % proti referenční sadě, hustota matrice mírně klesla a u otevřené pórovitosti došlo k poklesu až o 35 % proti referenční sadě. Pro vysvětlení tohoto jevu bylo nutné provést doplňující měření, konkrétně byla použita rtuťová porozimetrie a rastrovací elektronová mikroskopie.

Tab. 1. Základní fyzikální vlastnosti

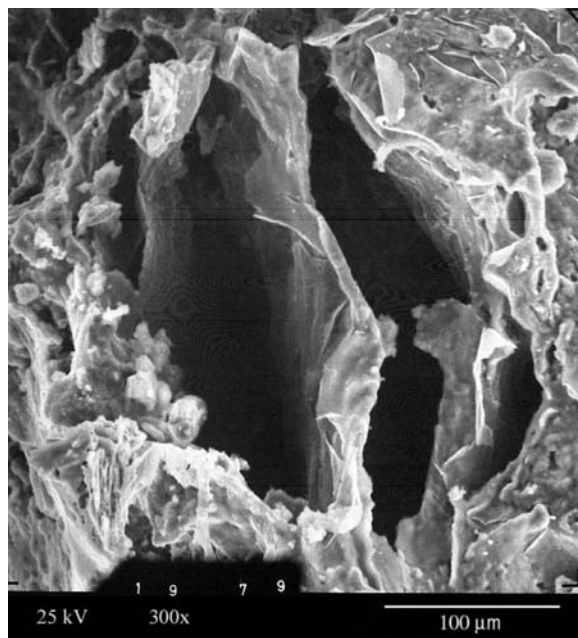
Zatěžovací stav [°C]	Objemová hmotnost	Hustota matrice	Otevřená pórovitost [m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ]
	[kgm <sup>-3</sup> ]		
25	1 918	2 749	0,30
200	1 944	2 787	0,30
400	1 946	2 754	0,29
600	1 878	2 752	0,30
800	1 857	2 713	0,32
1 000	1 856	2 728	0,32
1 200	2 102	2 635	0,20

Struktura kompozitu s vermikulitem zatížená na 100 °C je vidět na obr. 1. Vermikulit má průduchy o šířce několika mikrometrů, ale kontakty mezi maticí a vermikulitem jsou vysoce kompaktní. Při zatížení na 1 000 °C dochází k významnému rozkládání alkalicky aktivované matrice kolem stabilního vermikulitu (obr. 2), při zatížení na 1 200 °C ke

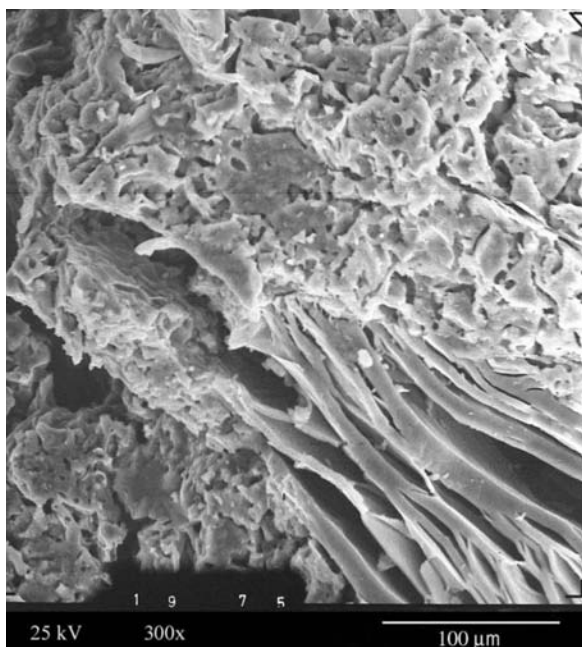




Obr. 1. Kompozit zatížený na 100 °C



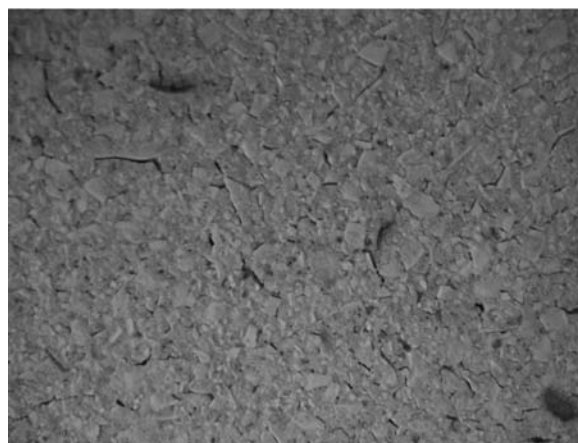
Obr. 3. Kompozit zatížený na 1200 °C



Obr. 2. Kompozit zatížený na 1000 °C



Obr. 4. Kompozit zatížený na 1000 °C



Obr. 5. Kompozit zatížený na 1200 °C

zhroucení struktury, které je způsobeno začátkem slínování (obr. 3). Z obrázků 4 a 5 jsou zřejmé změny mezi teplotami 1000 °C a 1200 °C, které jsou viditelné pouhým okem. Na obr. 4 vzorek nevykazuje větší změnu ve struktuře, zatímco na obr. 5 je vidět velké množství trhlin.

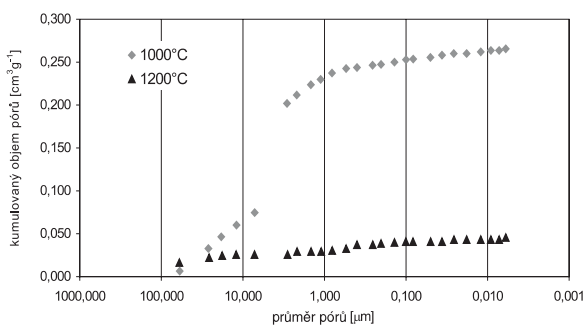
Kumulativní křivky objemu pórů na obr. 6 potvrzují, že mezi zatěžovacími teplotami 1000 a 1200 °C došlo k výraznému poklesu objemu pórů v materiálu, ovšem pokles zjištěný rtuťovou porozimetrií byl výrazně větší než u metody vakuové nasákovosti. U vzorku vystaveného teplotě 1200 °C zcela zmizel pík mezi 1 a 10 μm, ale póry většího poloměru nebyly detekovány (obr. 7). To svědčí o vzniku značného množství trhlin v matici po zatížení na 1200 °C, které není možné pro jejich velikost určit rtuťovou porozimetrií. Tyto výsledky jsou v dobrém souladu s obr. 5.

Porovnání vlhkostních vlastností uvádí tab. 2. Průměrný součinitel vlhkostní vodivosti byl stanoven pomocí sorpčního experimentu. Faktor difúzního odporu vodní páry byl

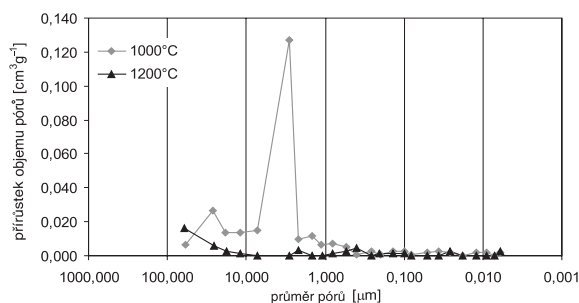
Tab. 2. Porovnání vlhkostních vlastností

Zatěžovací stav [°C]	Faktor difúzního odporu [-]		Průměrný součinitel vlhkostní vodivosti [10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]
	dry cup	wet cup	
25	17	9	0,21
200	17	9	0,28
400	17	9	0,47
600	15	10	0,62
800	10	7	15,66
1 000	10	7	13,62
1 200	23	14	37,50

určen metodou dry cup (mezi prostředím s 5 a 30 % relativní vlhkostí) a metodou wet cup (mezi prostředím s 95 a 30 % relativní vlhkostí). Je patrné, že faktor difúzního odporu vodní páry se zatěžováním vysokými teplotami klesal poměrně rovnoměrně až do 1 000 °C, pro zatěžovací teplotu 1 200 °C naopak více než dvojnásobně vzrostl. Tento výsledek je v dobré kvalitativní shodě s výsledky měření pórovitosti. Pro přenos vodní páry je významný zejména celkový objem pórů a jejich distribuce není tak významná jako u přenosu kapalné vlhkosti. Naopak průměrný součinitel vlhkostní vodivosti zaznamenal nárůst nejprve mezi zatěžovacími teplotami 600 až 800 °C, podruhé mezi 1 000 až 1 200 °C. Vliv celkového objemu pórů se tedy ukázal jako poměrně málo významný pro přenos kapalné vlhkosti. Rozhodujícím faktorem bylo otevření preferenčních cest ve formě poměrně širokých trhlin (obr. 5).

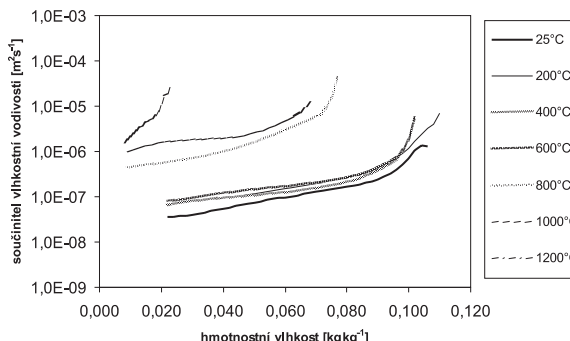


Obr. 6. Kumulovaný objem pórů po vystavení teplotám 1 000 a 1 200 °C



Obr. 7. Přírůstek objemu pórů po vystavení teplotám 1 000 a 1 200 °C

Porovnání součinitele vlhkostní vodivosti  $\kappa$  v závislosti na vlhkosti, určeného na základě vlhkostních profilů Matanovou metodou, je uvedeno na obr. 8. Podobně jako u hodnot průměrného součinitele vlhkostní vodivosti v tab. 2 i zde byl nárůst se zatěžovací teplotou do 600 °C poměrně malý, větší byl pozorován až pro 800 a 1 000 °C, nejvýraznější pak pro 1 200 °C. Obě metody tedy ukázaly velmi dobrou kvalitativní shodu.



Obr. 8. Porovnání součinitele vlhkostní vodivosti pro jednotlivé zatěžovací stavy v závislosti na hmotnostní vlhkosti

Měření měrné tepelné kapacity a součinitele teplotní vodivosti (tab. 3) ukázala, že změny do 1 000 °C jsou poměrně malé, do 10 % u měrné tepelné kapacity a do 20 % u součinitele teplotní vodivosti. Ovšem značný rozdíl nastává při teplotním zatížení nad 1 000 °C, kdy výrazně klesá měrná tepelná kapacita. To je nepochybně projevem změny struktury zaznamenaných na obr. 3 a obr. 5. Nad 1 100 °C se ver-

Tab. 3. Tepelné vlastnosti

Zatěžovací stav [°C]	Součinitel tepelné vodivosti [Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	Měrná tepelná kapacita [Jkg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	Součinitel teplotní vodivosti [10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]
25	1,05	891	0,62
200	1,03	868	0,61
400	0,9	840	0,56
600	0,85	831	0,54
800	0,78	825	0,51
1 000	0,75	836	0,49
1 200	0,72	684	0,66

Tab. 4. Mechanické vlastnosti

Zatěžovací stav [°C]	Pevnost [MPa]	
	v tahu za ohybu	v tlaku
25	3,3	22,6
200	2,9	21,2
400	2,7	18,4
600	2,4	14,2
800	2,2	7,9
1 000	2,5	10,1
1 200	11,6	29,2

mikulit spéká, což vede k nárůstu velkých pórů v řádu 10 až 100  $\mu\text{m}$  a ke změně topologie pórového prostoru. U součinitele tepelné vodivosti byl zjištěn rovnoměrný pokles po celou dobu teplotního zatěžování, rozdíl proti referenční sadě byl cca 30 %. Pokles součinitele tepelné vodivosti za současného poklesu pórovitosti mezi zatěžovacími stavy 1 000  $^{\circ}\text{C}$  a 1 200  $^{\circ}\text{C}$  je pravděpodobně způsoben přítomností průběžných trhlin, které mohou ve změně topologii pórové struktury zvýraznit vliv nízkého součinitele tepelné vodivosti vzduchu.

Mechanické vlastnosti zkoušeného materiálu (*tab. 4*) postupně klesají až do 800  $^{\circ}\text{C}$ , což je způsobeno částečným odvodněním mezi 100 až 600  $^{\circ}\text{C}$  a rozkládáním matrice nad 600  $^{\circ}\text{C}$ . Při zatížení nad 800  $^{\circ}\text{C}$  dochází k mírnému zlepšení mechanických vlastností vytvářením nové krystalické fáze a při 1 200  $^{\circ}\text{C}$  vytvořením nových keramických vazeb v materiálu k několikanásobnému vzrůstu hodnot pevnosti.

### Závěr

Hlavním cílem experimentu bylo studium vlivu vysokých teplot na tepelné, vlhkostní a mechanické parametry kompozitního materiálu se struskovým pojivem a elektroporcelánem a expandovaným vermikulitem jako plnivý. Výsledky ukazují, že materiál vykázal poměrně dobrou odolnost do 1 000  $^{\circ}\text{C}$ . Po zatížení na 1 200  $^{\circ}\text{C}$  došlo k řadě náhlých změn u všech vlastností, a to jak vlhkostních, tak tepelných a mechanických, které byly způsobeny zejména spékáním vermikulitu nad 1 100  $^{\circ}\text{C}$ . Nová struktura s keramickými vazbami se vyznačovala jednak menší pórovitostí, ale současně vznikem výrazných trhlin, které vedly k intenzifikaci přenosu vody. Po zatížení na 1 200  $^{\circ}\text{C}$  došlo, přes vznik trh-

lin, k poměrně významnému nárůstu pevnosti, která přesáhla hodnoty naměřené v referenčním stavu, zejména nárůst pevnosti v tahu za ohybu na téměř čtyřnásobek je pozoruhodný.

**Článek vznikl za podpory projektu č. 103/04/0139 GA ČR.**

### Literatura

- [1] Douglas, E. – Brandštetr, J.: A Preliminary Study on the Alkali Activation of Ground Granulated Blast-Furnace Slag. *Cement and Concrete Research*, 20, 1990, pp. 746–756.
- [2] Zuda, L. – Černý, R. – Rovnaníková, P. – Bayer, P.: Vliv vysokých teplot na vlastnosti kompozitních materiálů se struskovým pojivem – I. část. *Stavební obzor*, 15, 2006, č. 1, s. 17–20.
- [3] Zuda, L. – Černý, R. – Drchalová, J. – Rovnaníková, P. – Bayer, P.: Vliv vysokých teplot na vlastnosti kompozitních materiálů se struskovým pojivem – II. část. *Stavební obzor*, 15, 2006, č. 2, s. 44–49.
- [4] Zuda, L. – Černý, R. – Drchalová, J.: Vlhkostní a tepelné parametry alkalicky aktivované strusky s elektroporcelánem. *Stavební obzor*, 15, 2006, č. 5, s. 134–137.
- [5] Zuda, L. – Černý, R. – Rovnaníková, P. – Rovnaník, P.: Tepelné vlastnosti kompozitního materiálu na bázi alkalicky aktivované strusky s elektroporcelánem za vysokých teplot. *Stavební obzor*, 15, 2006, č. 7, s. 207–210.
- [6] Matano, C.: On the Relation between the Diffusion Coefficient and Concentration of Solid Metals. *Jap. J. Phys.* 8, 1933, pp. 109–113.
- [7] ČSN 72 7031 Měření součinitele difúze vodní páry stavebních materiálů metodou bez teplotního spádu. ČSN, 1974.
- [8] Zuda, L. – Černý, R. – Bayer, P. – Rovnaník, P.: Tepelné vlastnosti kompozitního materiálu za vysokých teplot. *Stavební obzor*, 16, 2007, č. 3, s. 81–84.

Zuda, L. – Drchalová, J. – Černý, R. – Bayer, P. – Rovnaník, P.: Thermal, Hygric and Mechanical Properties of Composite Material with Slag Binder and Vermiculite Aggregates Exposed to High-Temperature Load

This paper presents basic thermal, hygric and mechanical properties of a material based on alkali activated slag with electrical porcelain and expanded vermiculite aggregates measured at room temperature exposed to high-temperature load. The measured parameters are compared with reference data determined for the same material which is not subjected to any loading. The measurements include moisture diffusivity, the water vapour diffusion resistance factor, thermal conductivity, specific heat capacity, bending strength and compressive strength.

Zuda, L. – Drchalová, J. – Černý, R. – Bayer, P. – Rovnaník, P.: Wärmetechnische, Feuchtigkeits- und mechanische Eigenschaften eines durch hohe Temperaturen belasteten Verbundmaterials

Im Artikel werden die bei Zimmertemperatur festgestellten grundlegenden wärmetechnischen, Feuchtigkeits- und mechanischen Eigenschaften eines Materials auf Basis alkalisch aktivierter Schlacke mit Elektroporzellanfüller und expandiertem Vermikulit nach Belastung durch hohe Temperaturen vorgestellt. Die Parameter werden mit den Ergebnissen einer Referenzmessung an einem gleichen Material, das nicht durch hohe Temperaturen belastet wurde, verglichen.

## Den českého stavitelství a architektury

Novou tradici pro stavařskou obec by měl založit **Den českého stavitelství a architektury**, který se poprvé uskuteční **11. října 2007 v Praze**. Pořádá ho SIA – Rada výstavby, která sdružuje nevládní organizace ve stavebnictví. Jejimi členy jsou například Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků, Česká komora architektů, Český svaz stavebních inženýrů, Svaz podnikatelů ve stavebnictví v ČR, Společnost pro stavební právo a další. Součástí svátku stavařů bude řada akcí, například inženýrský den, den otevřených dveří na významných stavbách v republice, na stavebních fakultách, průmyslovkách i na středních odborných školách. Celodenní maraton plný informací a zajímavostí uzavře slavnostní galavečer, kde budou vyhlášeny výsledky prestižních soutěží **Stavba roku 2006, Stavební firma roku 2006** a poprvé bude také uděleno ocenění **Osobnost českého stavitelství**.

# Sledování účinnosti mikrovlnného vysoušení pomocí tyčové antény

doc. Ing. Miloslav NOVOTNÝ, CSc.  
Ing. Karel ŠUHAJDA, Ph. D.  
VUT – Fakulta stavební, Brno

Ing. Oldřich TOMÍČEK  
Esox, spol. s r. o., Brno

Článek popisuje průběh mikrovlnného vysoušení vlhkého zdiva zásuvnou tyčovou anténou na třech typech zdiva. Odvlhčováno bylo zdivo z plných pálených cihel, z novodobých dutinových tvarovek typu Therm a z pórobetonových tvárníc Ytong. Výsledky bylo třeba porovnat a stanovit, pro které zdivo je metoda nejvhodnější. Kritériem byla efektivnost (v podstatě hospodárnost) mikrovlnného odvlhčování zdiva.

## Mikrovlnné záření

Mikrovlny jsou elektromagnetické vlny zaujímající v elektromagnetickém spektru oblast mezi infračerveným zářením a rádiovými vlnami. Jde o oblast frekvencí od 300 MHz do 300 GHz, tedy vysokofrekvenční záření, které se ve volném prostředí šíří od zdroje světelnou rychlostí ve formě vln. To znamená, že se elektrické i magnetické složky vlnění v čase periodicky mění. Předpokládáme sinusový průběh vlnění s určitou délkou vlny a frekvencí určující četnost jejího střídání [4] podle vztahu

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad (1)$$

kde  $\lambda$  je délka vlny [m],  
 $c$  – rychlost šíření vlny,  
 $f$  – frekvence mikrovln [Hz].

Po vstupu mikrovln do jiného materiálu se v závislosti na elektrických vlastnostech materiálu mění jednak rychlost šíření vlny, jednak délka vlny.

Mikrovlny vznikají přeměnou elektrické energie v generátoru, který je tvořen vysokonapěťovými elektronkami. Podle frekvence jde o magnetrony nebo klystrony. Mikrovlnné záření je následně vedené vlnovodem k vyzářovací anténě, jež je přenáší do konstrukce [3].

Prozatím jediným známým účinkem, prokazujícím vliv mikrovln na biologické materiály, je teplo. Interakce mikrovlnného záření s materiálem je dána složením a strukturou materiálu, jeho fyzickým stavem, a samozřejmě frekvencí a výkonem mikrovln [3].

## Vysoušení zdiva

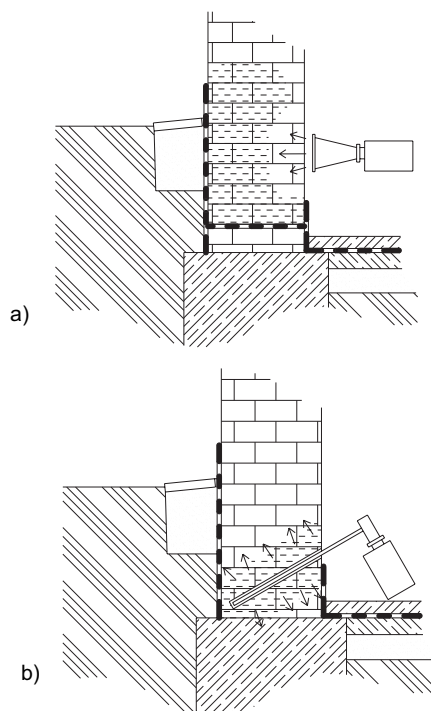
K odstranění vlhkosti ze zdiva prostřednictvím mikrovln se používá frekvence 2 450 MHz, což odpovídá vlnové délce 122 mm. Tato frekvence se ukázala jako velmi vhodná oblast pro ohřev vody založený na elektromagnetické indukci. Zajišťuje ohřívání přímo ve struktuře materiálu, resp. ohřívá

materiál od středu směrem k povrchu. Hlavní výhodou této metody je rychlý a ekonomický ohřev. Mechanismus přeměny mikrovlnné energie na teplo podle [4] je dán vztahem

$$P = 2\pi f \varepsilon \varepsilon'' E^2, \quad (2)$$

kde  $P$  je energie absorbovaná v jednotce objemu [ $\text{Wm}^{-1}$ ],  
 $f$  – frekvence mikrovlnného pole (2 450 MHz),  
 $\varepsilon'$  – permitivita [ $\text{Fm}^{-1}$ ],  
 $\varepsilon''$  – ztrátový faktor v materiálu,  
 $E$  – intenzita lokálního elektrického pole [ $\text{Vm}^{-1}$ ].

**Metoda odstraňování vlhkosti** a s ní spojená likvidace škůdců je založena na mikrovlnném záření, které o frekvenci okolo 2 450 MHz proniká do sanované konstrukce. Zde následně dochází k velmi rychlým změnám polarity molekul a rychlému pohybu molekul volně vázané vody v materiálu. Při tomto pohybu do sebe molekuly narážejí, čímž vzniká tepelná energie. Jejím působením se voda intenzivně mění na vodní páru, která se odpaří z konstrukce. Doba vysoušení jednotlivých konstrukcí závisí na několika faktorech, mezi něž patří druh a tloušťka zdiva, stupeň zavlhčení, a v neposlední řadě také intenzita záření [2].



Obr. 1. Vysoušení zdiva mikrovlnným zářením [4]  
a – trachtýřová anténa, b – zásuvná tyčová anténa

Ve stavební praxi se mikrovlnné vysoušení provádí dvěma způsoby (obr. 1). Jedním je přiložení trachtýřové antény

ke zdivu tak, aby mikrovlny pronikaly do konstrukce. Výhodou této metody je nedestruktivnost, nevýhodou menší efektivnost vlivem odrazů mimo sušené zdivo a samotné odrazy mimo konstrukci. Další možností je využití zásuvné tyčové antény, která se instaluje přímo do průřezu zdiva. Výhodou je vyšší účinnost díky vstupu mikrovlnné energie a možnost vysoušení dutinových materiálů. Nevýhodou je destruktivnost metody způsobená vrtáním otvorů a zamezení šíření záření mimo konstrukci.

### Experiment

Cílem bylo stanovit účinnost vysoušení využívajícího pro přenos mikrovlnného záření do stavebního materiálu tyčovou anténu. Výsledky tří druhů zdiva, a sice plně pálené cihly, pórobetonové tvárnice Ytong a novodobé keramické tvarovky Keratherm, byly následně porovnány (metodou komparace) s teoretickými výsledky podle vztahu pro přibližné předběžné stanovení doby vysoušení daného druhu zdiva. Při experimentu byla uplatněna metoda analogie. K ověřování bylo použito mikrovlnné vysoušecí zařízení s plynulou regulací výkonu (polské firmy Plazmatronika) MWD 2000 GMR 1200 (10 až 1 200 W), zásuvná tyčová anténa, vlhkoměrná souprava Gann Hydromat CM, digitální váhy Kern 572 DS a Sartorius (500 kg).

Pro snadnější manipulaci s materiálem a lepší možnost vážení vzorků bylo zdivo rozloženo na jednotlivé tvarovky, případně pilíčky, a to:

- pilíčky ze tří plných pálených cihel na MVC 2,5 o rozměru 100 x 300 x 300 mm,
- tvarovky Ytong o rozměru 300 x 250 x 600 mm,

- novodobé keramické tvarovky Keratherm 44 P+D (na horním líci opatřené vrstvou MVC simulující ložnou spáru a další nadložní zdivo).

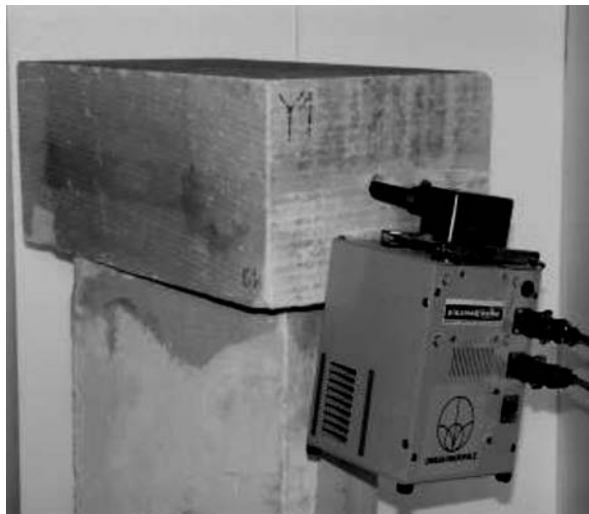
Do všech vzorků byl vyvrtán otvor  $\varnothing$  24 mm a do něj umístěny tyčové antény. Ze tří plně pálených cihel, spojených vápenocementovou maltou, byly vyzděny pilíčky a v nich navrtána vždy střední cihla. Veškeré vzorky byly máčeny v plastovém bazénku po dobu 96 hodin. Po vyjmutí byly pro udržení vlhkosti jednotlivě zabaleny do fólií. Průběh vysoušení zářičem s výkonem 1 200 W znázorňuje obr. 2.

Vysoušení probíhalo vždy v časovém úseku 240 minut, rozděleném na 16 vysoušecích cyklů. Jeden cyklus trval 12 minut vysoušení a 3 minuty byla přestávka. V průběhu experimentu se sledovala:

- hmotnost jednotlivých cihel,
- hmotnostní úbytky v čase sušení,
- hmotnostní vlhkost metodou karbidu vápníku,
- hmotnostní vlhkost gravimetrickou metodou.

Získané hodnoty byly porovnány s výpočtovou simulací pro stanovení účinnosti mikrovlnného záření při vysoušení. Účinnost byla určována samostatně pro jednotlivé druhy materiálů, neboť se dalo předpokládat, že výsledky se budou lišit.

Pojmem hmotnostní úbytky je myšlen pokles hmotnosti sušeného vzorku mezi dvěma zvolenými časy, v našem případě vysoušecími cykly. Lze říci, že jde o hmotnostní úbytky ve stanovených intervalech. Jelikož jsou tyto hmotnostní úbytky způsobeny odpařováním vlhkosti ze vzorků, je možné je považovat za hmotnostní úbytky vlhkosti v čase mikrovlnného vysoušení.



Obr. 2. Vysoušení pomocí zásuvné tyčové antény

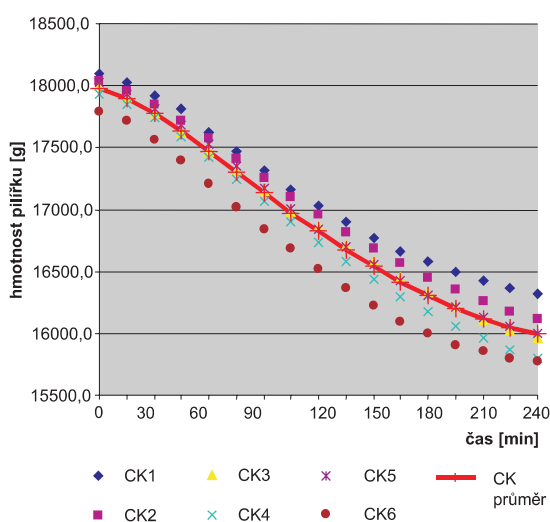
**Výsledky**

Výsledky získané na třech druzích zdiva jsou pro přehlednost členěny podle materiálu, v závěru jsou uvedeny společné výsledky.

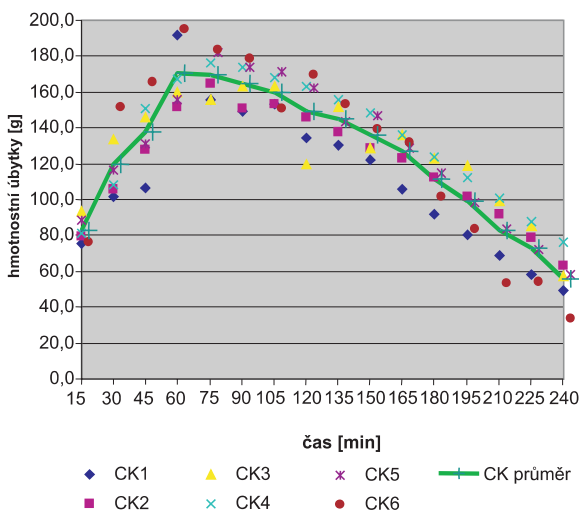
● **Pilířky z plných pálených cihel na MVC 2,5**

Tab. 1. Hmotnostní úbytky vlhkosti pilířků z plných pálených cihel

Vysoušecí cyklus [g]	CK1	CK2	CK3	CK4	CK5	CK6
	1767,5	1847,0	1753,0	1722,5	1806,5	1726,0
<b>úbytek celkem</b>	<b>1776,0</b>	<b>1916,5</b>	<b>2034,0</b>	<b>2131,0</b>	<b>2027,0</b>	<b>2023,5</b>
zbytková vlhkost	8,50	69,50	281,00	408,50	220,50	297,50



Obr. 3. Pokles hmotnosti pilířků z plných pálených cihel v čase vysoušení

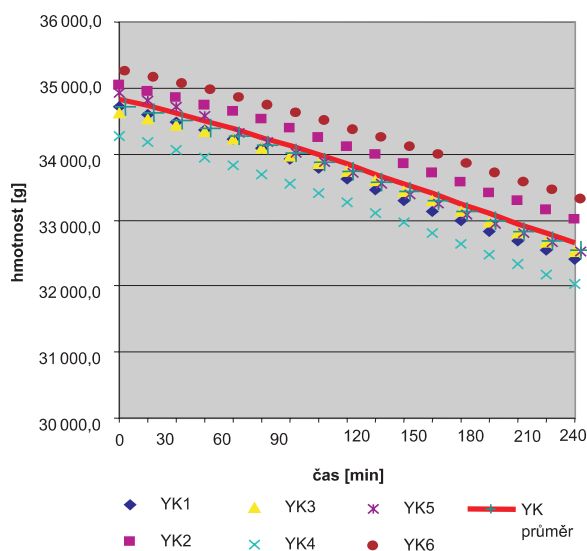


Obr. 4. Úbytky vlhkosti pilířků z plných pálených cihel v čase

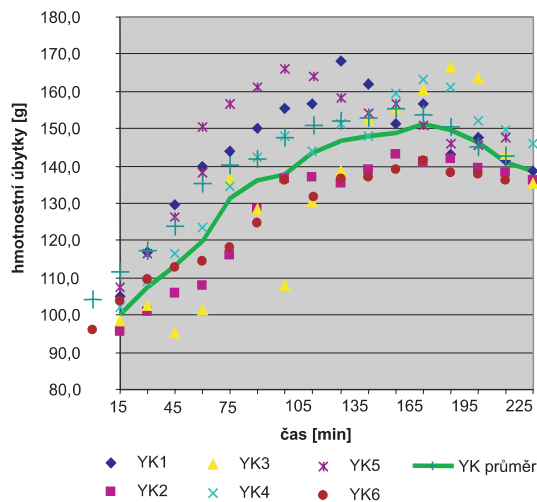
● **Pórobetonové tvárnice Ytong**

Tab. 2. Hmotnostní úbytky vlhkosti tvárníc Ytong

Vysoušecí cyklus [g]	YK1	YK2	YK3	YK4	YK5	YK6
	12584,5	12662,5	12764,0	12088,0	12655,5	13039,0
<b>úbytek hmotnosti celkem</b>	<b>2306,0</b>	<b>2042,5</b>	<b>2116,5</b>	<b>2250,5</b>	<b>2297,0</b>	<b>1947,5</b>
zbytková vlhkost	10278,5	10620,0	10647,5	9837,5	10358,5	11091,5



Obr. 5. Pokles hmotnosti tvárníc Ytong

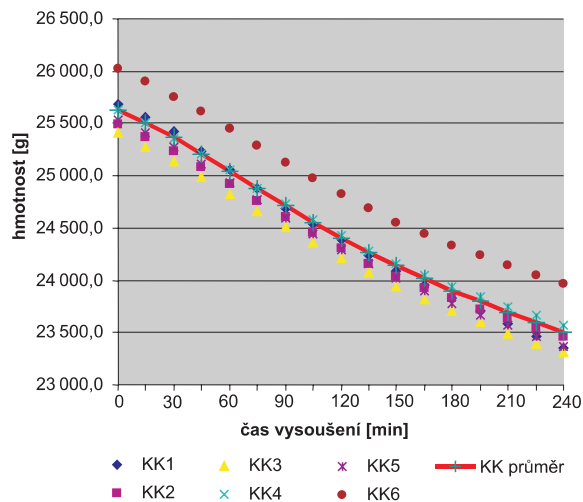


Obr. 6. Úbytky vlhkosti pórobetonových tvárníc Ytong

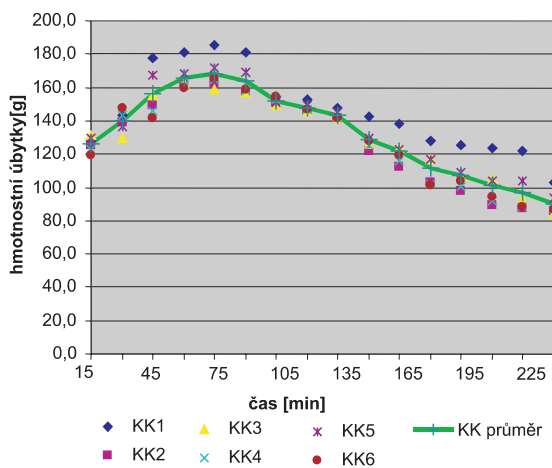
### ● Keramické tvarovky Keratherm

Tab. 3. Vývoj hmotnostních úbytků vlhkosti tvarovek Keratherm

Vysoušecí cyklus [g]	KK1	KK2	KK3	KK4	KK5	KK6
4048,0	3798,5	3525,5	3909,0	3613,5	4241,5	
<b>úbytek hmotnosti celkem</b>	<b>2334,0</b>	<b>2032,5</b>	<b>2087,0</b>	<b>2046,0</b>	<b>2167,0</b>	<b>2058,0</b>
zbytková vlhkost	1714,0	1766,0	1438,5	1863,0	1446,5	2183,5



Obr. 7. Pokles hmotnosti dutinových tvarovek Keratherm



Obr. 8. Úbytky vlhkosti tvarovek Keratherm

V průběhu experimentu se sledovala také hmotnostní vlhkost vzorků. Počáteční rovnovážná vlhkost byla zjištěna metodou karbidu vápnicku, následně byly postupně vlhkostní změny určovány gravimetricky. Zjištěné hodnoty jsou uvedeny v tabulce tab. 4.

Účinnost vysoušení na jednotlivých typech zdiva se určovala matematickou simulací, vycházející z předpokladu rovnosti měrného skupenského tepla varu a skupenského tepla vypařování při teplotě varu kapaliny. Simulace je založena na vztahu měrného skupenského tepla varu rovnajícího se

Tab. 4. Průměrná hmotnostní vlhkost vzorků

Hmotnostní vlhkost [%]	CK	KY	KK
rovnovážná	3,6	2,4	2,9
po vlhčení	14,9	60,6	21,1
úbytek	12,7	10,0	10,0
zbytková	2,3	50,7	11,1

skupenskému teplu vypařování při teplotě varu kapaliny. Z tohoto vztahu je teoreticky možné přibližně stanovit skutečný výkon mikrovlnného vysoušení na daný druh zdiva. Tedy

$$P_v = \frac{l_v \cdot m}{t},$$

kde  $l_v$  je měrné skupenské teplo vypařování vody (17 °C) [MJkg<sup>-1</sup>],

$m$  – hmotnost kapaliny (hmotnostní úbytek) [kg],

$P$  – výkon vysoušecího zařízení (1 200 W) [W],

$t$  – čas vysoušení (720 s) [s].

Úpravou bylo možno přibližně stanovit účinnost vysoušení

$$\eta = \frac{P_v}{P_s} \cdot 100, \quad (4)$$

kde  $P_v$  je výpočtový výkon vysoušení [W],

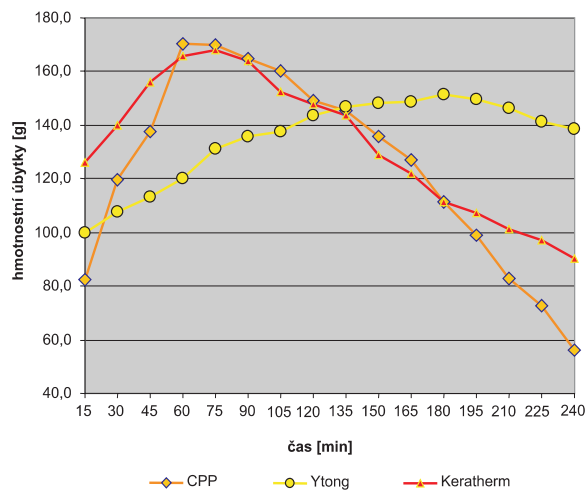
$P_s$  – skutečný výkon vysoušeče (0 až 1 200 W),

$\eta$  – účinnost vysoušení na daném druhu zdiva [%].

Účinnost vysoušecího zařízení byla uspořádána do tab. 5. Pro přehlednost byl pro každý typ zdiva zvolen průměr.

Tab. 5. Průměrná účinnost vysoušení u jednotlivých typech zdiva

Vysoušecí cyklus [%]	CPP	Ytong	Keratherm
	čas [min]		
průměrná účinnost	38,7	42,1	41,4



Obr. 9. Hmotnostní úbytky vlhkosti u jednotlivých typech zdiva

Zjištěné výsledky potvrzují předpoklady vycházející z teoretické analýzy, které udávaly, že mikrovlnné vysoušení pomocí zásuvné tyčové antény je účinné na tyto druhy zdiva. Je možné konstatovat, že účinnost je přibližně stejná u všech třech druhů zdiva. Na jednotlivých grafech je patrný pokles hmotnosti, resp. vlhkosti zdiva.

#### **Zdivo z plných pálených cihel**

- pokles vlhkosti (obr. 3)
  - v počátku vysoušení pozvolný,
  - v průběhu prudší,
  - v konečné fázi (ve zdivu je obsaženo již malé množství hmotnostní vlhkosti) se odvlhčování pozvolna zastavuje a vlhkostní úbytky kolísají okolo nulové hodnoty;
- hmotnostní úbytky (obr. 4)
  - počáteční nárůst je poměrně prudký,
  - v průběhu dosažení maxima,
  - následuje pozvolný pokles,
  - v závěru kolísají okolo nulové hodnoty – jde tedy o přímku.

#### **Pórobetonové tvárnice Ytong s velmi vysokou vlhkostí**

- pokles vlhkosti (obr. 5)
  - v počátku vysoušení velmi pozvolný,
  - v průběhu téměř shodný po celou dobu,
  - konečná fáze není z grafu zřetelná, neboť tvárnice vykazovaly velmi vysokou vlhkost, lze však předpokládat, že při delším vysoušení dojde k pozvolnému zastavení poklesu vlhkosti a úbytky by měly kolísat okolo nulové hodnoty;
- hmotnostní úbytky (obr. 6)
  - počáteční nárůst velmi pozvolný,
  - v průběhu dosažení maxima, které se však příliš neliší od běžných hodnot,
  - následuje velice pozvolný pokles,
  - v závěru by měly kolísat okolo nulové hodnoty (měly by se blížit vodorovné přímce),
  - tvárnice nebyly pro časovou náročnost zcela vysušeny.

#### **Keramické dutinové tvarovky Keratherm**

- pokles vlhkosti (obr. 7)
  - v počátku pozvolný pokles,
  - v průběhu mírně prudší pokles proti počáteční fázi,
  - v závěru křivka kolísá okolo nulové hodnoty;
- hmotnostní úbytky (obr. 8)
  - počáteční nárůst poměrně rychlý,
  - dosažením maxima došlo k pozvolnému kolísání,
  - opět pozvolný pokles,
  - po delší době by došlo ke kolísání okolo nulové hodnoty.

#### **Závěry**

Při porovnání hmotnostních úbytků vlhkosti při mikrovlnném vysoušení všech tří druhů zdiva bylo zjištěno, že nárůst hmotnostních úbytků vlhkosti je podobný u zdiva z plných pálených cihel a tvarovek Keratherm, jejich grafický průběh je téměř shodný, a také maxima byla téměř shodná. U tvárnice Ytong byl nárůst hmotnostních úbytků velmi pozvolný a jejich maxima dosáhla nižších hodnot. Toto porovnání je zachyceno v grafu na obr. 9.

Bylo zjištěno, že účinnost vysoušení využitím zásuvné tyčové antény je přibližně stejná u všech třech druhů zdiva, a proto byla vzata průměrná hodnota. Absolutní účinnost mikrovlnného záření se u jednotlivých druhů zdiva pohybovala přibližně mezi 30 až 60 % (tab. 4, obr. 9). Pro zjištění přesnějších údajů by bylo nutné vysoušet všechny druhy zdiva téměř až do suchého stavu, resp. do rovnovážné vlhkosti (jako u zdiva z plných pálených cihel). Přesto je možné na základě experimentů konstatovat, že mikrovlnné vysoušení je rychlé a poměrně hospodárné a dá se s výhodou použít i pro vysoušení zdiva z dutinových tvarovek.

**Příspěvek vznikl za podpory výzkumného záměru VVZ MSM 0021630511 „Progressivní stavební materiály s využitím druhotných surovin a jejich vliv na životnost konstrukcí“.**

#### **Literatura**

- [1] Šuhajda, K. – Novotný, M. – Tomíček, O.: Sušení zdiva mikrovlnnou tyčovou anténou. [Sborník], Sanace a rekonstrukce staveb 2004, Praha, Reprocentrum 2004.
- [2] Tomíček, O. – Novotný, M. – Šuhajda, K. – Zejda, P.: Využití mikrovlnného záření při předsoušení injektážních vrtů. Střechy, fasády, izolace, **11**, 2004, č. 10.
- [3] Šuhajda, K.: Využití tyčové antény při mikrovlnném předsoušení injektážních vrtů. [Dizertace-teze], VUT Brno, 2004.
- [4] Šuhajda, K.: Sanace vlhkého zdiva staveb – Využití tyčové antény při mikrovlnném předsoušení injektážních vrtů. [Dizertace], VUT Brno, 2006.

---

#### **Novotný, M. – Šuhajda, K.: Monitoring of the Efficiency of Microwave Desiccation with the Bar Antenna**

This article describes the process of an experiment aimed at microwave (MW) desiccation of masonry by the MW bar plug-in antenna applied to various types of brickwork. The experiment was conducted on masonry manufactured from solid bricks, new-age hollow brick form-pieces Therm and from aerated concrete blocks Ytong. The results of this experiment should determine which MW desiccation method is the best for the given material. The criterion for this property was the effectiveness (economy) of MW desiccation represented by massic loss of moisture.

---

#### **Novotný, M. – Šuhajda, K.: Beobachtung der Wirksamkeit einer Mikrowellenaustrocknung mit Hilfe einer Stabantenne**

Der Artikel beschreibt den Verlauf einer Mikrowellenaustrocknung feuchten Mauerwerks mit einer Stabantenne an drei Mauerwerkstypen. Getrocknet wurde Mauerwerk aus Vollmauerziegeln, aus neuzeitlichen Hohlformziegeln vom Typ Therm und aus Ytong-Porenbetonformsteinen. Es war notwendig, die Ergebnisse zu vergleichen und zu bestimmen, für welches Mauerwerk die Methode am günstigsten ist. Kriterium war die Effektivität (im Wesentlichen die Wirtschaftlichkeit) einer Mikrowellenentfeuchtung von Mauerwerk.

---





## Příspěvek s nejlepším využitím pro praxi

Každoroční vědecký seminář Workshop, představující výsledky řešení vědeckých projektů podpořených interními granty ČVUT, je významná akce, která má na půdě univerzity pevné místo. V množství vystavených příspěvků se však ztrácí možnost jakékoli orientace, potažmo zhodnocení významu příspěvků podle určitých kritérií. Workshop tak může plnit pouze funkci souhrnného přehledu, který však nenabízí žádný výstup v podobě uceleného obrazu o výzkumu na univerzitě. Projekt Tripod, jenž vznikl s cílem podpořit zavádění výsledků výzkumu do podnikatelské praxe, se proto v souladu s dlouhodobou strategií univerzity rozhodl uspořádat soutěž o příspěvek s nejlepším využitím pro praxi, která by do workshopu přinesla kritéria originality a aplikovatelnosti, a zároveň jí propůjčila soutěživého ducha.



Do soutěže se mohli přihlásit všichni účastníci vědeckého semináře ČVUT Workshop 2007. Ze 60 příspěvků, které se ke konečnému datu přihlásily, 31 autorů příspěvků vyplnilo dotazník, čímž splnilo podmínky pro účast v soutěži. Organizační výbor provedl předvýběr příspěvků splňujících kritéria soutěže a zvolil 10 kandidátů, kteří měli možnost prezentovat své příspěvky před členy odborné poroty. Hodnotil se netradiční přístup (myšlenka) výsledku řešení a metody použité ke zpracování příspěvku, úroveň rozpracování a míra navázání na využitelnost v praxi. O vítězi rozhodovala desetičlenná porota složená ze zástupců ČVUT, Institutu Svazu průmyslu, Úřadu průmyslového vlastnictví a odborníků z pra-

xe. Slavnostní vyhlášení výsledků proběhlo na semináři „Co mi na ČVUT neřekli, aneb jak jsem začal podnikat“.

Notebook za první místo si odnesl **Lukáš Ferkl** za příspěvek nazvaný „Řízení ventilace v dálničních tunelech“. Tento projekt se může pochlubit dvěma realizacemi na dálnici D8, přičemž o dalším využití se jedná. Na druhém místě, oceněném kapesním počítačem PDA, se umístil **Petr Kolman** s příspěvkem nazvaným „Inteligentní zařízení pro řešení problémů s nespavostí“. S touto poruchou se podle některých průzkumů potýká až 25 % dospělých. Na třetím místě, oceněném vědeckým kalkulátorem, skončil tým **Karla Maiera**, který dodal příspěvek „Simulační model urbanistického rozvoje“. Tato softwarová aplikace umožňuje na základě vstupních dat a v souladu s platnými zákony a předpisy modelovat dopad na prostředí, a tak pomoci úřadům územního plánování. Čtvrté místo, oceněné přehrávačem MP3, obsadil **Marek Záleský** s příspěvkem „Měření 3D deformací uvnitř vysoké opěrné gabionové zdi“. Výsledky tohoto měření, které se provádělo geotechnickou, nikoli obvyklou geodetickou metodou, mají zásadní význam při navrhování bezpečnějších gabionových konstrukcí s delší životností. Cenu za páté místo – také přehrávač MP3 – si odnesla **Klára Štrausová** za příspěvek „Optimalizace dávky koagulantu pomocí umělých neuronových sítí“. Tento projekt by mohl přispět ke zefektivnění čištění odpadních vod.

**tripod** Projekt Tripod vznikl v rámci ČVUT jako souhrn podpůrných aktivit, které vytvářejí optimální podmínky pro spolupráci mezi výzkumnou a podnikovou sférou. Pro vědeckovýzkumná centra na ČVUT, pracovní týmy i jednotlivce, kteří mají zájem ověřit si výsledky svého výzkumu v praxi, zajišťuje podporu, která umožní vyhledání, nabídnutí a realizaci vzájemného kontaktu mezi univerzitním prostředím a podnikatelskou sférou. Cílem projektu je nastartovat vzájemné propojení tvůrčího, výzkumného a technologického potenciálu univerzitního prostředí s potřebami, možnostmi a realitou komerčního světa. Základní filozofií je maximální podpora vědeckých týmů i jednotlivců, kteří mají chuť a schopnosti využít výsledky svých výzkumů v podnikatelské praxi. Na projektu se podílí řada významných pracovišť z jednotlivých fakult ČVUT ve spolupráci s vnějšími partnery, Institutem svazu průmyslu a Úřadem pro ochranu průmyslového vlastnictví. Projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a rozpočtem České republiky.

[www.3pod.cz](http://www.3pod.cz)

Novák, F. – Kliner, J.

## VÝSTAVBA TELEKOMUNIKAČNÍCH SÍTÍ A ZAŘÍZENÍ

Nakladatelství ARCH, Praha 2007, 136 stran

Cílem publikace je usnadnit orientaci v oblasti výstavby sítí a zařízení elektronických komunikací, a pomoci tak investorům, stavebním úřadům, projektantům, stavebníkům a všem, kteří v oblasti projektování, projednávání a realizace působí. Je účelné uvést vazby a souvislosti zákona o elektronických komunikacích a stavebního zákona, a zejména připomenout požadavky, práva a povinnosti, které pro výstavbu těchto zařízení vyplývají z prováděcích předpisů ke stavebnímu zákonu. Současně je nezbytné upozornit na vazby vyplývající z jiných právních předpisů, kterých se výstavba sítí a zařízení elektronických komunikací dotýká.

## ● zprávy

### [www.stavbaserver.cz](http://www.stavbaserver.cz)

Nově vzniklý portál si klade za cíl obsáhnout a odpovědět na všechny otázky v oblasti tak členité, jakou je stavebnictví. Pro osvojení nejmodernějších poznatků v oboru využívá znalosti zkušených odborníků, odborné časopisy i noviny, praktické i teoretické znalosti a mnoho dalších prověřených zdrojů informací. Snažíme se, aby náš stavební server, který se stále rozvíjí, dosahoval ve svém oboru špičkové úroveň. Průběžně monitorujeme stavební trh a výstupy pravidelné analýzy využíváme pro zkvalitnění nabídky a její další rozvoj.

The screenshot shows the homepage of Stavbaserver.cz. At the top, there's a header with the logo and navigation links like 'Nová registrace' and 'Přihlášení'. Below is a main menu with categories: 'Katalog', 'Poptávka', 'Noviny', 'Práce', and 'Aktuality'. The 'Poptávka' section lists various requests like 'Poptávám: Pokládka podlahy'. The 'Noviny' section has a featured article 'Vyznejte se: Nový stavební zákon'. The 'Práce' section mentions 'Sekce práce se připravuje'. The 'Aktuality' section lists dates and topics like '2007-02-13 - Přidán dánek'. On the right, there are several advertisement banners, including one for 'Chraňte si zdraví' and another for 'ČSOB Pojišťovna'. At the bottom, there's a search bar and a grid of service categories like 'Projektční činnost, geodézie', 'Reality', 'Služby', etc.

V současné době je plně v provozu katalog, který obsahuje na 50 000 podnikatelských subjektů. Dále provozujeme stavební noviny a internetovou poptávku a nabídku. Od nového roku začaly fungovat i nové kategorie – trh práce a internetové obchody. Připravujeme mnoho dalších novinek, které pomohou plně se orientovat na stavebním trhu.

Ing. Eduard Vacínek  
Stavbaserver, s. r. o.

The advertisement features a large, stylized black eye graphic in the center. To the left is the logo of 'ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE'. To the right is a logo for '300 ČVUT 1707-2007'. The main text reads 'TECHNIKA OČIMA TECHNIKA'. Below this is a quote: 'Jako profesori medicíny jsou lékaři života lidu, právě tak profesori techniky musí svými radami bdít nad životem průmyslu a svými přednáškami sloužit potřebám země a doby.' followed by 'František Josef rytíř Gerstner'. At the bottom, it says 'Lapidárium Betlémské kape, Betlémské náměstí, Praha 1 • www.cvut.cz'.

# •veletrhy

## Jaro v Budapešti



25. – 28. dubna 2007

### HUNGAROTHERM

mezinárodní odborný veletrh topení, vzduchotechniky, klimatizační a sanitární techniky

8. – 11. května 2007

### ElectroSalon

mezinárodní odborný veletrh elektroniky a automatizace

### mach-tech

mezinárodní odborný veletrh strojírenských technologií a svařovací techniky

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



ABF – Nadace pro rozvoj architektury a stavitelství  
Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR  
Svaz podnikatelů ve stavebnictví ČR  
ECONOMIA, a. s., časopis Stavitel

vyhlašují 15. ročník veřejné neanonymní soutěže



Cílem soutěže, vypsané na podporu kvalitní a komplexní realizace stavebního díla, je seznámit nejširší odbornou i laickou veřejnost s úrovní českého stavitelství a architektury. Soutěž je určena pro stavby realizované na území České republiky bez ohledu na státní příslušnost projektanta, architekta stavby a místo registrace realizátorských firem. Mohou být přihlášena stavební díla ze všech oborů dokončená a uvedená do provozu nebo zkolaudovaná v období od června předcházejícího roku do května 2007. Přihlášku včetně dokumentace je nutno doručit nejpozději do 31. května 2007 na adresu Nadace ABF.

Na ocenění porota nominuje nejvýše patnáct staveb, z nichž bude vybráno nejvýše pět bez rozlišení pořadí. Vypisovatelé a partneři mohou doporučit stavby pro vyhlášení dalších cen:

- Nadace ABF za IT dům,
- Ministerstva průmyslu a obchodu České republiky za nejlepší stavbu financovanou z veřejných prostředků,
- Svazu podnikatelů ve stavebnictví v České republice za nejlepší stavebně podnikatelský záměr,
- časopisu Stavitel za nejlepší stavebně architektonický detail,
- primátora Hlavního města Prahy za nejprínosnější stavbu v rozvoji města,
- Státního fondu rozvoje bydlení za nejlepší stavbu určenou k bydlení,
- veřejnosti organizovanou prostřednictvím tisku a internetu,
- poroty.

Nominace budou vyhlášeny v září a výsledky vyhlášeny na slavnostním Večeru českého stavitelství a architektury. Partnerem soutěže je Státní fond rozvoje bydlení a Hlavní město Praha.

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

# STAVEBNÍ OBZOR

## ROČNÍK 16 ČÍSLO 05/2007

### Navigace v dokumentu

#### OBSAH

Uhrin, M. <b>Výstavba metodou top&amp;down v projektu Palladium Praha</b>	129
Marková, L. – Korytářová, J. <b>Ekonomické aspekty použití nových stavebních hmot s odpady</b>	134
Říha, J. <b>Koncepty EIA/SEA – pouhá „nálepka“, nebo „zbytečná chiméra“ ?</b>	138
Čápová, D. – Bartoňová, K. <b>Ekonomika skladových areálů a logistických center na území Prahy</b>	143
Machotka, R. <b>Lokální kvazigeoid z astronomických měření</b>	146
Štroner, M. – Suchá, J. – Pospíšil, J. <b>Ověřování souboru totálních stanic TOPCON GPT-2006 – část 3</b>	152

' • 2007

ročník 16

# 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**

Uhrin, M.  
**Výstavba metodou top&down  
 v projektu Palladium  
 Praha** ..... 129

Marková, L. – Korytářová, J.  
**Ekonomické aspekty  
 použití nových  
 stavebních hmot  
 s odpady** ..... 134

Říha, J.  
**Koncepty EIA/SEA – pouhá  
 „nálepka“, nebo „zbytečná  
 chiméra“ ?** ..... 138

Čápková, D. – Bartoňová, K.  
**Ekonomika skladových  
 areálů a logistických  
 center na území  
 Prahy** ..... 143

Machotka, R.  
**Lokální kvazigeoid  
 z astronomických  
 měření** ..... 146

Štroner, M. – Suchá, J. – Pospíšil, J.  
**Ověřování souboru  
 totálních stanic  
 TOPCON GPT-2006  
 – část 3** ..... 152

**CONTENTS**

Uhrin, M.  
**Top&Down Construction  
 within Palladium Prague  
 Project** ..... 129

Marková, L. – Korytářová, J.  
**Economic Aspects of  
 Utilization of New Building  
 Materials Made out  
 of Wastes** ..... 134

Říha, J.  
**EIA/SEA Concepts – Mere  
 Label or Chimera to No  
 Avail?** ..... 138

Čápková, D. – Bartoňová, K.  
**Economics of Storage Areas  
 and Logistic Centres  
 on the Territory  
 of Prague** ..... 143

Machotka, R.  
**Local Quasigeoid  
 from Astronomical  
 Measurements** ..... 146

Štroner, M. – Suchá, J. – Pospíšil, J.  
**Verification of the Set  
 of Total Stations  
 TOPCON GPT-2006  
 – Part 3** ..... 152

**INHALT**

Uhrin, M.  
**Bauen mit der Top&down-  
 Methode im Projekt  
 Palladium Prag** ..... 129

Marková, L. – Korytářová, J.  
**Wirtschaftliche Aspekte  
 des Einsatzes n  
 euer Baustoffe  
 mit Abfällen** ..... 134

Říha, J.  
**EIA/SEA-Konzepte – bloßer  
 „Aufkleber“ oder „überflüs-  
 sige Chimäre“ ?** ..... 138

Čápková, D. – Bartoňová, K.  
**Die Wirtschaftlichkeit  
 von Lagerkomplexen und  
 Logistikzentren im Gebiet  
 von Prag** ..... 143

Machotka, R.  
**Lokaler Quasigeoid  
 aus astronomischen  
 Messungen** ..... 146

Štroner, M. – Suchá, J. – Pospíšil, J.  
**Überprüfung einer  
 Gruppierung von  
 Totalstationen TOPCON  
 GPT-2006 – Teil 3** ..... 152

**REDAKČNÍ RADA****Předseda:**

prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.

**Místopředseda:**

doc. Ing. Alois MATERNA, CSc.

**Členové:**

doc. Ing. Pavel HÁNEK, CSc.

doc. Ing. Vladimír JELÍNEK, CSc.

Ing. Jiří KALA, Ph. D.

doc. Ing. J. KORYTÁROVÁ, Ph. D.

Ing. Karel KUBEČKA

Ing. Libor MATĚJKA, CSc., Ph. D.

doc. Ing. Jaroslav NOVÁK, CSc.

doc. Ing. Luděk NOVÁK, CSc.

doc. Ing. Miloslav NOVOTNÝ, CSc.

doc. Ing. Miloslav PAVLÍK, CSc.

prof. Ing. J. PROCHÁZKA, CSc.

Ing. Vlastimil ROJÍK

Ing. Karel SVOBODA

doc. Dr. Ing. Miloslav ŠLEZINGR

Ing. Milan ŠMAK, Ph. D.

Ing. Ludvík VÉBR, CSc.

doc. Ing. Josef VITÁSEK, CSc.

prof. Ing. Jiří WITZANY, DrSc.

Ing. Renata ZDAŘILOVÁ

**STAVEBNÍ OBZOR**, odborný měsíčník, vydává  
 Fakulta stavební ČVUT Praha společně s Fakultou  
 stavební VUT Brno, Fakultou stavební VŠB TU  
 Ostrava, Českou komorou autorizovaných inženýrů  
 a techniků činných ve výstavbě a Českým svazem  
 stavebních inženýrů. Řídí redakční rada, vedoucí  
 redaktorka Marcela Klímová. Adresa redakce:  
 Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel./fax: 224 354 596,  
 klimova@fsv.cvut.cz, http://www.fsv.cvut.cz/obzor.  
 Vychází každý měsíc kromě července a srpna,  
 cena za výtisk je 40 Kč včetně DPH (+ poštovné a  
 balné). Objednávky odběru i reklamace přijímá  
 Ing. Milan Gattringer, MG DTP, Borovanská 3388, 143 00  
 Praha 4, tel./fax: 241 770 220, e-mail: mgdtp@volny.cz.  
 Odběr je možné zrušit až po vyčerpání zaplace-  
 něného předplatného. Inzerce adresujte redakci. Tech-  
 nická redakce a realizace: Ing. Milan Gattringer. Po-  
 dávání novinových zásilek povoleno Ředitelstvím  
 pošt Praha, č. j. NP 144/1994, ze dne 21. 10. 1994.  
 Do sazby 11. 4. 2007. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

## Výstavba metodou „top&down“ v rámci projektu Palladium

Ing. Michal UHRIN

TOPGEO Brno, spol. s r. o.

Článek popisuje uplatnění metody top&down při výstavbě hlavní budovy multifunkčního komplexu Palladium, situovaného ve složitých podmínkách historického centra Prahy. Popis je veden z hlediska dodavatele konstrukcí speciálního zakládání. Pojednán je jak postup provádění, tak některá projekční hlediska.

### Úvod

Výstavba multifunkčního komplexu Palladium v Praze, probíhající v současné době, je mimo jiných hledisek velmi zajímavá z pohledu speciálního zakládání staveb. Tento článek, popisující technické řešení a některé zkušenosti získané při výstavbě dodavatelem konstrukcí speciálního zakládání, je zaměřen na jednu z méně obvyklých technologií – na výstavbu systémem top&down. Metoda nebyla v České republice použita poprvé, avšak její uplatnění je stále spíše výjimečné a vzhledem k rozsahu stavby a komplikovanosti omezujících podmínek si zaslouží pozornost. Popis je omezen pouze na zakládání a nezasahuje do oblastí výstavby a statiky „horní stavby“, na které má metoda top&down také vliv. Pojednáno je jak provádění stavby, tak některá projekční hlediska.

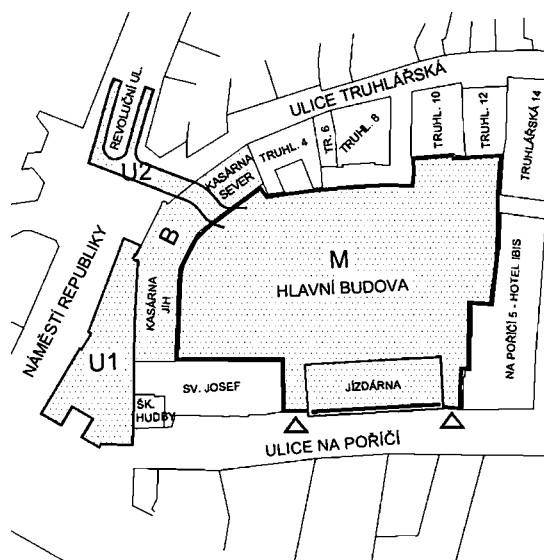
### Stavba a staveniště

Podstatou projektu je výstavba multifunkčního komerčního komplexu v historickém centru Prahy, převážně v areálu bývalých kasáren Jiřího z Poděbrad. Stavbu lze vymezit ulicemi Na Poříčí, náměstím Republiky a Truhlářskou ulicí. Komplex Palladium bude nabízet parkovací stání (3 nejnížší podlaží), maloobchodní a restaurační prostory (5 podlaží) a kancelářské prostory (3 podlaží). Hrubá plocha stavby je cca 115 000 m<sup>2</sup>, plocha pozemku cca 13 000 m<sup>2</sup>. Celek se skládá ze čtyř pododdílů – M (hlavní budova), B (kasárna), U1 (napojení na metro) a U2 (rampy). Šrafovaná plocha na obr. 1 vyznačuje rozsah projektu Palladium. Metoda top&down byla použita při výstavbě hlavní budovy.

Hlavní budova vyplňuje prostor dvora bývalých kasáren. Z jihu přiléhá k chodníku ulice Na Poříčí a k budově kostela sv. Josefa. Budova jízdárny, přiléhající k ulici Na Poříčí, byla při výstavbě zachována a vyvěšena na stropě nad prvním podzemním podlažím hlavní budovy. Ze západu je hlavní budova ohraničena historickou budovou kasáren. Jejich jižní křídlo a střední část byly v rámci projektu podchyceny na mi-

kropilotových bárkách a sloupech tryskové injektáže a prohloubeny až na úroveň druhého podzemního podlaží hlavní budovy. Pod základy severního křídla probíhá „tunel“ automobilových ramp U2 a napojuje se do parkovacích prostor třetího podzemního podlaží hlavní budovy. Ze severu je hlavní budova vymezena domy č. 4 až č. 14 v Truhlářské ulici. Z východu je ohraničena novostavbou hotelu IBIS.

Nosnou konstrukcí hlavní budovy tvoří monolitický železobetonový skelet. Její suterén se skládá z pěti podzemních podlaží, což vedlo k nutnosti zajistit výkop stavební jámy o maximální hloubce až 22 m.



Obr. 1. Podorysné schéma staveniště

M – hlavní budova, B – kasárna, U1 – napojení na metro, U2 – rampy

Před započítím prací probíhaly na staveništi demoliční práce a rozsáhlý archeologický průzkum, které zanechaly terén rozdělený na dvě pracovní plošiny. Souběžně s výstavbou pažicí konstrukce probíhala výstavba sousedního hotelu IBIS, díky které na staveništi vznikla další pracovní plošina. Na staveništi vedly pouze dva vjezdy, oba z ulice Na Poříčí, během výstavby hotelu však bylo možné používat pouze jeden.

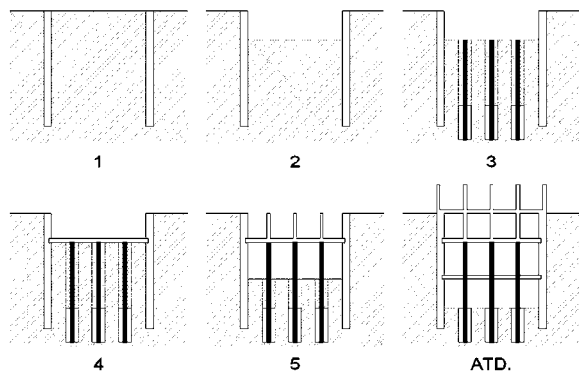
### Geologické poměry

Svrchní vrstvu o mocnosti 3 až 7 m tvoří navážky písčité hlíny (hlinitého písku) s kameny, sutí, cihlami a kusy historického zdiva. Následuje vrstva středně ulehlých až ulehlých terasových písků o mocnosti 1 až 5 m. Další vrstvou jsou

velmi ulehle terasové šterky o mocnosti 7 až 10 m. V úrovni šterků, v hloubce 11 až 12 m pod stávajícím terénem, se nachází souvislá hladina podzemní vody. Pod šterky je již skalní podloží tvořené ordovickými prachovitými břidlicemi, jejichž povrch je v hloubce zhruba 16 m pod terénem. Svrchní zvětralá vrstva břidlic má mocnost 1 až 3 m. Následují zdravé břidlice s prostou tlakovou pevností 15 až 50 MPa (průměrně 30 MPa) a velkou (hlouběji střední) hustotou puklin.

### Metoda top&down

Anglický termín **top&down construction** lze do češtiny převést zhruba jako **výstavba nahoru-dolů**. Tento systém má umožnit, aby horní a spodní stavba probíhaly od určitého okamžiku současně, čímž se dosáhne výrazné časové úspory. (obr. 2) Lze tedy nahlédnout, že jde o metodu výhodnou obzvláště u vícepatrových budov s hlubokou stavební jámou (pro několik podzemních podlaží). Další výhodou metody je, že při výstavbě pažicí konstrukce pro zajištění stavební jámy není potřeba použít zemní kotvy, což může být užitečné v městské zástavbě s podzemními překážkami pro kotvení (kanalizace, kolektory, metro apod.) nebo v případě zákalu kotvení pod sousední budovy nebo pozemky. Vypuštěním zemních kotev se také zkrátí doba výstavby.



Obr. 2. Etapy výstavby metodou top&down

### Etapy výstavby

❶ Ze základní pracovní plošiny se po obvodu stavby zhotoví pažicí konstrukce. V nejčastějším případě půjde o trvalou konstrukci, která bude sloužit jako svíslá nosná suterénní stěna. Taková stěna musí být schopná přenést svíslé zatížení od horní stavby do základové půdy jako prvek hlubinného zakládání.

❷ Terén se odtěží na úroveň prvního rozpěrného stropu. Hloubka je omezena únosností zatím nerozepřené pažicí konstrukce a také mírou možné deformace, která je zvláště důležitá, pokud se za koronou pažicí konstrukce nacházejí sousední budovy. Její nadměrná deformace může vyvolat částečné rozvolnění základové půdy, a tím nerovnoměrné sedání základů těchto budov s možnými negativními dopady na jejich nosnou konstrukci.

❸ Z nové pracovní plošiny se zhotoví piloty s hlavou hluboko pod její úrovní. Do pilot se osadí „montážní sloup“ s hlavou dosahující až po pracovní plošinu. Je nutné dbát na přesné provedení pilot, a hlavně na přesné osazení montážních sloupů. Pata montážních sloupů musí být upravena pro bezpečný přenos svíslých sil do piloty.

❹ Vybetonuje se první rozpěrný strop zapuštěný do pažicí konstrukce a podepřený montážními sloupy. Pro napojení stropu na montážní sloupy je třeba zkonstruovat zvláštní detail. Tento strop rozpírá pažicí konstrukci. Na vhodném místě (např. budoucího atria) je třeba vynechat dostatečný otvor pro těžbu zeminy. Strop proto musí být ve vybraných oblastech dimenzován na zatížení pojezdem těžebních a dopravních mechanismů.

❺ Po zatvrdnutí rozpěrného stropu lze připraveným otvorem začít těžít zeminu. Zároveň je možné zahájit horní stavbu. Napojení sloupů na první rozpěrný strop, a potažmo také montážní sloupy, je třeba řešit zvláštním konstrukčním detailem.

❻ V rámci spodní stavby pokračuje těžba zeminy, betonáž dalších rozpěrných stropů nebo základové desky a úprava montážních sloupů na definitivní. Plynule pokračuje výstavba horní stavby. Zvýšenou pozornost je nutné věnovat koordinaci procesů probíhajících naráz.

Dimenze montážních sloupů jsou dány jejich svíslým zatížením, které závisí, mimo jiné, na modulových vzdálenostech a na počtu podlaží a rychlosti výstavby horní stavby, a jejich vzpěrnou délkou, která závisí na vzdálenosti rozpěrných stropů. Snížení modulové rozteče sloupů nebo volba většího počtu rozpěrných stropů (ne každý strop musí sloužit jako rozpěrný) sice vede k úspoře dimenze montážních sloupů, avšak podstatně ztíží zemní práce, a tím vede ke zdražení a zpomalení výstavby.

Podle informací autora byla metoda top&down v ČR použita kromě projektu PALLADIUM také jinými dodavateli konstrukcí speciálního zakládání na třech dalších stavbách – poprvé při výstavbě pobočky České národní banky v Brně, dále při rekonstrukci hotelu Kriváň a výstavbě budovy Myšák Gallery v Praze. V tomto výčtu není brána v úvahu výstavba inženýrských staveb metodou cut&cover, resp. cover & cut, která je založena na podobných principech, avšak není zcela totožná.

### Top&down na Palladiu

Situace v rámci projektu Palladium byla ztížena složitou geometrií stavby a staveniště, vnějšími vztahy a požadavkem na výrazné omezení deformací podzemní stěny, aby bylo minimalizováno nebezpečí poškození sousedních objektů.

### Pažicí konstrukce

Byla navržena a provedena jako trvalá monolitická železobetonová podzemní (milánská) stěna nominální tloušťky 800 mm. Hloubila se hydraulickým drpákem a hydraulickou frézou klasicky pod ochranou bentonitové suspenze. Maximální hloubka podzemní stěny byla 24,8 m, minimální 11 m. Rozdíl v hloubce byl způsoben tím, že hlava podzemní stěny byla ukončena ve třech různých výškových úrovních, v závislosti na vnějších geometrických vazbách (poloze základů sousedních budov, resp. poloze paty sloupů tryskové injektáže tyto základy podchycujících, poloze rozpěrných stropů, úrovní pracovních plošin, napojení na jižní křídlo kasáren, napojení rampy U2 z Revoluční ulice apod.). Úroveň paty podzemní stěny byla dána délkou zahloubení pod úroveň nejhlubšího výkopu, která se pohybovala od 2,5 do 4,5 m. Zde je nutno poznamenat, že pata pažicí stěny probíhala celou délkou v břidlicích zatříděných jako R3 podle ČSN 73 1001 [1]. Podzemní stěna byla rozepřena dvěma až čtyřmi monolitickými železobetonovými stropy vnitřní stavby. Svíslá vzdálenost rozpěrných stropů byla od 5,2 do 6,4 m. Pro omezení deformací byla podzemní stěna v průbě-



hu některých fází výstavby podepřena zemními lavicemi ponechanými po jejím obvodu až do aktivace rozpěrných stropů situovaných nad nimi. Deformace podzemní stěny se v průběhu stavby kontrolovaly v šesti inklinometrických výpažnicích. Měření probíhala v návaznosti na základní stadia výstavby. Největší průhyb podzemní stěny byl 6 mm. Nejprísnější kritérium, které musel projektant při dimenzování výztuže splnit, byla mezní šířka ohybových trhlin, která vedla k velmi vysokému vyztužení podzemních stěn. Omezení šířky trhlin na 0,1 mm požadoval investor jako součást opatření pro zajištění vodotěsnosti. Vzhledem k posoupnosti budování (tím i zatěžovacích stavů) byla podzemní stěna zatížena ohybovými momenty postupně na vnitřním i vnějším povrchu, a to v podstatě po celé délce. Výztuž proto musela být z nedostatku prostoru pro stykování přesahem v mnoha případech stykována tupým svarem na plnou únosnost, což vyžadovalo práci svářeče se státní zkouškou.



Obr. 3. Práce drapáku ve stísněném prostoru uvnitř budovy jízďárny

### Pracovní úrovně

Ze tří základních pracovních plošin se po částech betonovaly tři základní rozpěrné stropy, čímž bylo poměrně jednoduché schéma metody top&down podstatně ztíženo. Práce dále komplikovaly zemní lavice ponechané podél částí obvodu podzemní stěny (nutné pro omezení deformace), které bránily betonáži stropu pod nimi, protože je bylo možné odtěžit až po aktivaci rozpěrného stropu nad nimi. Zhotovování pilot a montážních sloupů bylo třeba do detailu sladit s betonováním jednotlivých pracovních úseků rozpěrných stropů, aby bylo možné zhotovit všechny piloty, a poté odstranit pilotážní soupravu ze stavby. Zmíněným postupem se částečně redukovala úspora času charakteristická pro metodu top&down. Nicméně pro podepření podzemní stěny nebylo nutné použít zemní kotvy.

### Piloty a montážní sloupy

Vrty pro piloty a montážní sloupy byly  $\varnothing$  1 500 mm (pažené po břidlici), resp.  $\varnothing$  1 360 mm (skalním vrtákem, nepažené skrze břidlici). Piloty byly tudíž  $\varnothing$  1 360 mm a délky 4 až 6 m, vždy celou délkou zahroubené do břidlice třídy R3. Výztuž pilot byla navržena se zesíleným omotem proti rozštěpení od svislého zatížení z montážního sloupu. Piloty musely přenést plně zatížení montážního stadia plus část dodatečného zatížení definitivního stadia stavby. Zbylá část

dodatečného zatížení definitivního stadia byla přenesena základovou deskou. Míru spolupůsobení základové desky určil projektant na základě dvojrozměrných modelů detailu „hornina-pilota-deska-sloup“ metodou konečných prvků. Montážní sloupy byly z profilů HD400-187, HD400-288, HD400-422 a HD400-463 s patami opatřenými roznašecími prvky (ocelovými trny nebo příčně navařenými úhelníky) pro přenesení koncentrovaného zatížení ze sloupu do piloty. Do pilot se osazovaly následovně:

- zhotovení vrtu, osazení armokoše;
- zavěšení montážního sloupu na jeřáb, osazení do vrtu, ustálení ve vertikální poloze, centrace (nalezení správné půdorysné polohy), kontrola svislosti, pevné usazení na dno piloty. Vzhledem k velké hmotnosti ocelových profilů bylo relativně snadné ustálit zavěšený sloup ve svislé poloze a centrovat jej v pilotě;
- přivaření hlavy sloupu ocelovou konstrukcí k výpažnici;
- betonáž piloty;
- zásyp vrtu;
- po zatvrdnutí betonu odstranění fixační konstrukce a odpažení.



Obr. 4. Sloup profilu HD uchycený k hlavě výpažnice

Délka sloupů byla 11 až 22 m. Protože na stavbu nebylo možné přepravit kusy delší než 12 m, bylo nutné tyto masivní profily ve stísněných podmínkách stykovat svařováním.

### Zemní práce

Rychlost zemních prací je nepřímo úměrná stísněnosti podmínek pro těžbu a dopravu výkopku. Stísněnost pro těžbu je dána svislou vzdáleností mezi rozpěrnými deskami a modulovou roztečí sloupů. Tyto rozměry byly na předmětné stavbě přijatelné. Odvoz výkopku byl možný otvory v rozpěrných strozech a dále po stropních deskách. Vzhledem k hloubce výkopu bylo nutné v posledních stadiích těžby zhotovit speciální rampu pro překonání výškového rozdílu. Rychlost zemních prací byla omezena i možnostmi odvozu zeminy z centra Prahy a komplikovanou koordinací s ostatními probíhajícími procesy.

### Závěr

Metoda top&down může vést k významnému zkrácení výstavby. Při jejím použití není nutné podpírat pažící kon-



Obr. 5. Těžba pod prvním rozpěrným stropem

strukci zemi kotvami. Metoda je účinná zejména u rozsáhlých staveb s mnoha podlažními a s hlubokou stavební jámou. Je velmi citlivá na stísněnost staveniště, logistiku stavby a koordinaci současně probíhajících stavebních procesů.

Projektu PALLADIUM se zúčastnilo mnoho společností, vzhledem k předmětu článku jsou však uvedeny pouze nejdůležitější.

**Investor:** Euro-Property Fund, spol. s r. o.

**Developer:** European Property Development, spol. s r. o.

**Generální dodavatel:** Strabag, a. s.

**Hlavní subdodavatel zakládání:** TOPGEO Brno, spol. s r. o.

**Trysková injektáž, mikropilotové bárky, podchycování základů:** Keller – speciální zakládání, spol. s r. o.

**Zemní práce:** APB-Plzeň

**Realizační projekt pro zakládání:** VPÚ DECO Praha, a. s., TOPGEO Brno, spol. s r. o., Keller – speciální zakládání, spol. s r. o.

**Inklinometrická měření deformací:** Ing. Luděk Novosád

**Inženýrsko-geologický průzkum:** PÚDIS, a. s.



Obr. 6. Práce na úrovni základové desky

#### Literatura

- [1] ČSN 73 1001 Základová půda pod plošnými základy. ČSN, 1988.
- [2] Zpráva o výsledcích podrobného geotechnického průzkumu pro objekt náměstí Republiky č. 1, Praha 1, č. p. 640 a 641. PÚDIS, a. s., květen 2002.
- [3] Realizační projektová dokumentace pažicí konstrukce a pilotového založení Hlavní budovy projektu Palladium Praha, VPÚ DECO Praha, a. s., a TOPGEO Brno, spol. s r. o., 2005.

**Uhrin, M.: Top&Down Construction within Palladium Prague Project**

This article describes the use of the TOP&DOWN method in the construction of the Main Building of a project situated in complicated conditions of the historical centre of Prague. The description is made from the point of view of the sub-contractor of special foundations. Both the construction and some structural design issues are discussed.

**Uhrin, M.: Bauen mit der Top&down-Methode im Projekt PALLADIUM Prag**

Der Artikel beschreibt die Anwendung der Methode Top&down beim Bau des Hauptgebäudes eines unter schwierigen Bedingungen des historischen Prager Zentrums angesiedelten Multifunktionskomplexes. Die Beschreibung wird aus der Sicht des Auftragnehmers der Konstruktionen der Spezialgründung geführt. Behandelt werden sowohl das Ausführungsverfahren, als auch einige Planungsgesichtspunkte.



  
**PALLADIUM**  
[www.palladiumpraha.cz](http://www.palladiumpraha.cz)



## Ekonomické aspekty použití nových stavebních hmot s odpady

doc. Ing. Leonora MARKOVÁ, Ph. D.  
doc. Ing. Jana KORYTÁROVÁ, Ph. D.

VUT – Fakulta stavební  
Brno

Článek se zabývá ekonomickými dopady využívání stavebních materiálů vyrobených z druhotných surovin, zejména kvalitou, životností a ekonomickou efektivností substituce materiálů při výstavbě a rekonstrukci budov pro bydlení.

mohou být dražší než materiály z přírodních zdrojů. Spotřebitel nakupuje materiál za ceny, které hodnotí z hlediska vlastní užitečnosti, a často jej nezajímá celospolečenský užitek. Promítnutí celospolečenského užítu do ceny materiálu je v zájmu celé společnosti. Užitečnost pro uživatele lze stanovit podle vztahu

$$U = \frac{\text{efekt z využívání stavebního díla [Kč]}}{\text{náklady na životní cyklus [Kč]}}, \quad (1)$$

kde efektem z využívání stavebního díla jsou přínosy dosažené uživatelem a náklady na životní cyklus je oceněna hodnota pořízení stavebního díla, ocenění nákladů na jeho udržování a ocenění nákladů z titulu nedisponibility.

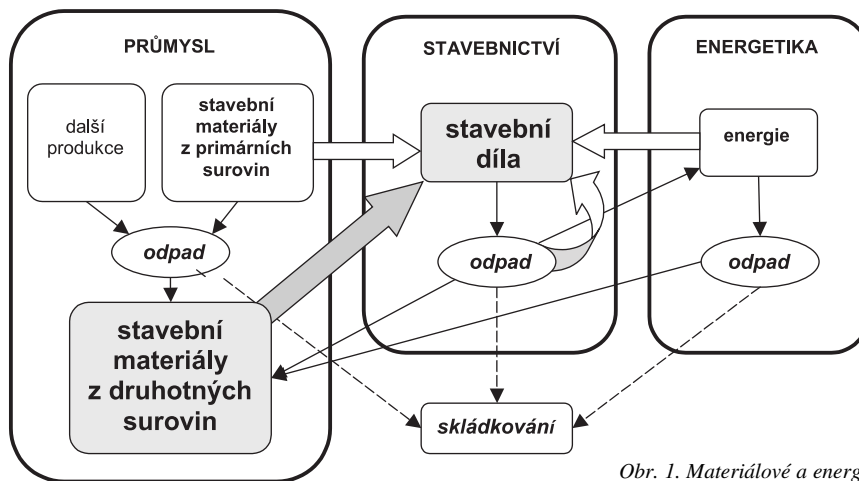
Vliv na životní prostředí (ŽP) popisuje vztah

$$\text{ŽP} = CE \text{ výrobce materiálu} + CE \text{ zhotovitele} + CE \text{ uživatele}, \quad (2)$$

kde  $CE$  je celkový efekt [Kč].

### Úvod

Využívání stavebních materiálů vyrobených z druhotných surovin má velký vliv na životní prostředí. Vstupní surovinou pro stavební výrobu se za určitých okolností může stát odpad. Stavební výroba je schopna přímo použít větší část vlastních odpadů, je schopna však využít i odpady dalších odvětví národního hospodářství, zejména z průmyslové výroby a energetiky (obr. 1). Výroba stavebních hmot z dru-



Obr. 1. Materiálové a energetické vstupy do stavebnictví

hotných surovin má environmentální efekt pro společnost, jejich použití však musí mít i efekt technický a ekonomický. Mohou ovlivnit technické parametry a užité vlastnosti stavebních konstrukcí, a následně kvalitu, hodnotu a životnost stavebních děl. Provedený výzkum byl zaměřen na sledování vlivu materiálů vyrobených z odpadů zejména na kvalitu, ekonomickou životnost a ekonomickou efektivnost při výstavbě a rekonstrukcích budov pro bydlení.

### Vztah materiálu a stavebního díla

Tento vztah lze charakterizovat rámcovými kritérii podle obr. 2. Podmiňuje dosažení základních rámcových kritérií stavebního díla a ovlivňuje další kritéria v průběhu jeho životního cyklu. Stavební materiály z druhotných surovin



Obr. 2. Rámcová kritéria pro vztah stavebního materiálu a stavebního díla

### Náklady životního cyklu budovy

Cílem dílčí části výzkumu bylo definování vlivu stavebních materiálů vyrobených z odpadů na ekonomickou efektivnost vložených investic v budov k bydlení. Pro sledování ekonomické efektivnosti byl zvolen ukazatel nákladů životního cyklu budovy, který lze formulovat vztahem (3). Pro výpočet jednotlivých druhů nákladů je dále využita metoda budoucích diskontovaných nákladů (4).

$$LCC = C_T + C_P + C_A, \quad (3)$$

kde  $LCC$  jsou náklady životního cyklu (Life Cycle Costs),

- $C_T$  – náklady související s technickými parametry budovy,
- $C_P$  – náklady provozní,
- $C_A$  – náklady administrativní.

Substituce stavebních materiálů má vliv zejména na náklady související s technickými parametry budovy, proto je dále podrobněji rozepsána pouze tato skupina nákladů. Životní cyklus stavebního díla se skládá ze čtyř navazujících fází – předinvestiční, investiční (realizační), provozní a likvidační. Náklady související s technickými parametry budovy se vyskytují ve fázi realizační jako investiční, tj. náklady na zpracování prováděcí projektové dokumentace, na pořízení stálých aktiv, popř. ostatní náklady. Ve fázi provozní jde o náklady:

- na opravy a udržování budovy;
- na opravy poruch vzniklých užíváním budovy (závislé na typu a způsobu jejího užívání);
- na údržbu konstrukčních prvků pro zachování její plné funkčnosti (nátěry dřevěných, kovových či jiných konstrukčních prvků, čištění komínů či údržbu dalších konstrukčních prvků);
- na modernizaci;
- na stavební úpravy, jimiž se při zachování vnějšího půdorysného a výškového ohraničení objektu provádějí zásahy do stavebních konstrukcí pro zajištění původ-

ních funkčních vlastností konstrukce omezených vlivem opotřebení;

- zpravidla jednorázové, způsobené opotřebením konstrukce, predikce nákladů možná při znalosti přibližné životnosti hlavních konstrukčních prvků;
- na rekonstrukci;
- na stavební úpravy, při kterých se nahrazují stávající části objektu modernějšími a zvyšuje se vybavenost a použitelnost objektu (z účetního hlediska nejde o náklady, ale o technické zhodnocení, predikce je možná při znalosti plánu rozvoje budovy či změny užívání budovy);
- na likvidaci budovy ve fázi likvidační.

Výpočet nákladů souvisejících s technickými parametry budovy lze provést podle vztahu

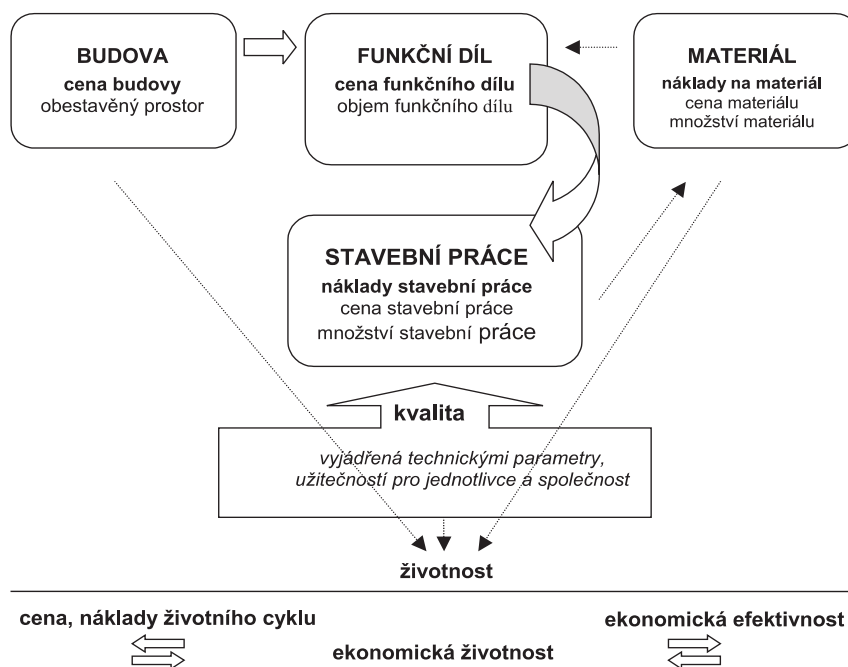
$$C_T = \sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^t \frac{C_{Tj}}{(1+r)^i}, \quad (4)$$

kde  $C_{Tj}$  je výše nákladů  $j$ -té kategorie souvisejících s technickými parametry budovy v roce hodnocení  $i$ ,

- $n$  – životní cyklus budovy v letech,
- $t$  – počet kategorií nákladů souvisejících s technickými parametry budovy,
- $r$  – diskontní sazba (časová hodnota peněz).

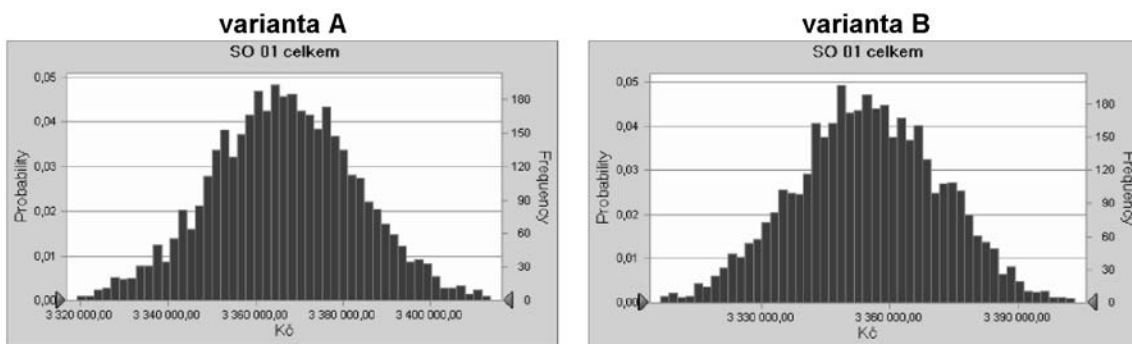
### Vliv substituce materiálů na výši investičního nákladu

Bylo provedeno další třídění nákladů, jehož základním prvkem byl funkční díl budovy. Mezi jednotlivými prvky platí ekonomicko-matematické vztahy. Podíl funkčního dílu na budově je stanoven v peněžních jednotkách. Každý funkční díl obsahuje informace o nákladech ve všech fázích životního cyklu (obr. 3). Zkoumal se zejména náklad na sta-



Obr. 3. Vztah mezi jednotlivými prvky systému v životním cyklu budovy

Tab. 1. Simulace za celý objekt



Statistika	Vypočtené hodnoty			
	varianta A		varianta B	
	Kč	€	Kč	€
Number of Trials	4 000	4 000	4 000	4 000
Mean	3 366 465	118 340	3 354 736	117 938
Median	3 366 319	118 345	3 354 538	117 931
Standard Deviation	16 877	593	17 283	608
Minimum	3 304 640	116 176	3 291 553	115 716
Maximum	3 423 166	120 343	3 417 528	120 145
Range Width	118 526	4 167	125 975	4 429

vební materiály. U vybraných materiálů z přírodních zdrojů byla provedena jejich substituce materiálem z druhotných surovin. Vliv substituce na investiční náklad byl zjišťován metodou Monte Carlo. Výpočet investičního nákladu je proveden ve variantě A pro betony a malty z přírodních zdrojů a variantě B pro betony a malty z recyklátů.

Výsledky umožňují stanovit investiční náklady s určením jejich pravděpodobnosti. Porovnání výsledků nevykazuje velké rozdíly. Důležité je sledovat dílčí hodnoty substituovaných materiálů a posuzovat jejich vliv na výslednou hodnotu (tab. 2).

### Vyhodnocení

V rámci případové studie byl stanoven první z nákladů pro výpočet ekonomické efektivity náhrady stavebních materiálů vyrobených z přírodních surovin materiály z druhotných surovin. Byla provedena substituce betonů, malt, tepelných izolací a krytiny. Studie byla řešena v programu Crystal Ball, který využívá metodu Monte Carlo k simulaci propočtů v rámci definovaného modelu. V našem případě je model definován jako životní cyklus stavby a při výpočtu

nákladů životního cyklu stavby je program Crystal Ball využit pro zohlednění nejistoty při stanovení veličin vstupujících do výpočtu nákladů životního cyklu (zejména ceny materiálů) a promítnutí těchto veličin do konečného výsledku.

### Závěr

Má-li být využívání druhotných surovin k výrobě materiálů pro stavební konstrukce efektivní, užitečné a racionální, je třeba soustředit pozornost na výzkum a vývoj nových metodik a postupů, které umožní určení a vyhodnocení optimálních podmínek s ohledem na dosud nedefinovaná kritéria podmiňující ekonomickou životnost staveb.

**Příspěvek vznikl za podpory VVZ MSM 0021630511 „Progressivní stavební materiály s využitím druhotných surovin a jejich vliv na životnost konstrukcí“.**

### Literatura

- [1] Marková, L.: Vliv substituce materiálů na cenu stavebního díla. [Sborník], seminář „Influence of Material Substitution on a Price of a Building“, VUT v Brně, 2005, s. 69–71.

Tab. 2. Simulace pro substituované materiály [Kč]

Ukazatel	Mean		Standard Deviation		Range Width	
	varianta					
	A	B	A	B	A	B
objekt celkem	3 366 465	3 354 736	16 877	17 283	118 526	125 975
beton	192 940	192 841	8 327	8 453	48 506	47 438
malta	35 393	35 483	3 881	3 842	28 865	29 129
omítky	29 913	33 523	1 895	3 357	11 760	24 925

- [2] Marková, L.: Prices of Structural Works and Production Costs (eds. Syed M. Ahmed, Irtishad Ahmad, John-Paris Pantouvakis, Šalmaj Azhar, Juan Zheng). In: International Conference on Construction in the 21st Century, National Technical University of Athens, and International University of Miami, 2005.
- [3] Marková, L. – Korytářová, J. – Hanák, T.: Economic Lifetime of a Building. In: International Conference „Organization, Technology and Management in Construction“, University of Zagreb, 2006. pp. 35–39.
- [4] Marková, L. – Hromádka, V.: Materials of Building from Secondary Raw Materials and their Influence onto an Economic Lifetime of Building. In: International Congress on Advances in Civil Engineering, Yıldız Technical University of Istanbul, 2006, pp. 427–526.
- [5] Ehlen, A. M.: Life-Cycle Cost of New Construction Materials. Journal of Infrastruktura System, 12/1997.
- [6] ČSN EN ISO 14001 Systémy environmentálního managementu – Požadavky s návodem pro použití. ČSN, 2005.
- [7] ČSN EN ISO 14043 Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Interpretace životního cyklu. ČSN, 2001.

**Marková, L. – Korytářová, J.: Economic Aspects of Utilization of New Building Materials Made out of Wastes – Calculation of Investment Costs of a Building**

This paper deals with economic impacts of utilization of building materials made out of secondary raw materials. The mentioned problem is solved in the frame of the research project “Progressive Building Materials with Utilization of Secondary Raw Materials and their Impact on Structures Durability”. The described part of the project monitors mainly the quality, the lifetime and the economic efficiency of the material substitution in the construction and reconstruction of buildings for living.

**Marková, L. – Korytářová, J.: Wirtschaftliche Aspekte des Einsatzes neuer Baustoffe mit Abfällen – Berechnung der Investitionskosten eines Bauwerks**

Der Artikel befasst sich mit den wirtschaftlichen Folgen des Einsatzes von Baumaterialien, die aus Sekundärrohstoffen hergestellt sind. Betrachtet werden insbesondere die Qualität, Lebensdauer und wirtschaftliche Effektivität der Substitution von Materialien beim Bau und der Sanierung von Wohngebäuden.

**CESB 07**

**CESB 07 PRAGUE**  
International Conference  
Central Europe towards Sustainable Building

**Central Europe towards Sustainable Building**  
**Udržitelná výstavba budov ve střední Evropě**

Pořadatel:  
CSBS iiSBE Czech  
[www.substance.cz/cesb07](http://www.substance.cz/cesb07)  
[www.cbsservis.cz](http://www.cbsservis.cz)

**Konference CESB 07**  
**PRAHA 2007**  
24. a 25. září 2007  
Stavební fakulta ČVUT v Praze  
Praha 6  
Thákurova 7  
Česká republika

300 let  
Konference se koná u příležitosti oslav 300 let od založení Českého vysokého učení technického v Praze

## Den stavitelství a architektury

Novou tradici pro stavařskou obec by měl založit **Den stavitelství a architektury**, který se poprvé uskuteční **13. října 2007 v Praze**. Pořádá ho SIA – Rada výstavby, která sdružuje nevládní organizace ve stavebnictví. Jejími členy jsou například Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků, Česká komora architektů, Český svaz stavebních inženýrů, Svaz podnikatelů ve stavebnictví v ČR, Společnost pro stavební právo a další.

Součástí svátku stavařů bude řada akcí, například inženýrský den, den otevřených dveří na významných stavbách v republice, na stavebních fakultách, průmyslovkách i na středních odborných školách. Celodenní maraton plný informací a zajímavostí uzavře slavnostní galavečer, kde budou vyhlášeny výsledky prestižních soutěží **Stavba roku 2006**, **Stavební firma roku 2006** a poprvé bude také uděleno ocenění **Osobnost českého stavitelství**.

## Koncepty EIA/SEA – pouhá „nálepka“, nebo „zbytečná chiméra“?

prof. Ing. Josef ŘÍHA, DrSc.  
 ČVUT – Fakulta stavební  
 Praha

Článek volně navazuje na téma uveřejněné v tomto časopise v č. 9/2003, kde bylo analyzováno selhání konceptu udržitelného rozvoje. Jako jeden z klíčových nástrojů pro dosažení udržitelného rozvoje byla koncipována metodologie posuzování vlivů na životní prostředí jednak na projektové úrovni (EIA), jednak na strategické úrovni (SEA). Poznatky z posledního období prokazují silnou podrážděnost v řadách aktérů této problematiky, kterou způsobují teoretické nedostatky konceptu a vývoj postmoderní společnosti. Hlubší pozornost je věnována důsledkům absence systémového přístupu a vějíře scénářů.

Motto:

*Quod cibus est aliis, aliis est atrum venenum.  
 Co jednomu prospívá, druhému škodí.*

latinské přísloví

### Nepříznivé zkušenosti

Koncept EIA vznikl v šedesátých letech minulého století v době převládajících společenských tlaků, a to rostoucího zájmu společnosti, důrazu na racionální, vědecké a objektivní rozhodování v oblasti životního prostředí a požadavku na účast veřejnosti v tomto rozhodování. Koncept EIA splňuje tyto tři požadavky, přičemž klíčovou roli představuje vědecký systémový přístup k rozhodovacímu procesu.

Po dlouhou dobu byl proces EIA pokládán za potenciální nástroj pro udržitelný rozvoj. V roce 1969 podle NEPA bylo stanoveno, že jeho cílem je *podpořit úsilí zabránit nebo eliminovat škody na životním prostředí a biosféry*. Odstavec č. 102 NEPA požadoval, aby federální úřady USA *sjednotily systematický, interdisciplinární přístup, který zajistí, aby v rozhodovacím procesu byly současně nekvantifikované hodnoty životního prostředí souběžně uváženy s hodnotami ekonomickými a technickými*. Naděje byly soustředěny na vědecký a objektivní přístup, kde se očekávala aplikace axiomatické teorie kardinálního užitku MUT a multikriteriální rozhodovací analýzy. Z počátku vytyčené teoretické zásady a relevantní postupy pro posuzování byly záhy zmírněny, změněny až opuštěny, kvantitativní metody nahradily metody kvalitativní. Způsobily to příčiny objektivní i subjektivní.

Koncept EIA se od okamžiku svého zrodu amébovitě rozšířil do většiny zemí v podobě „virové infekce“ prostřednictvím institucionálních struktur [2]. Paradigma bylo hodnoceno jako „jedno z hlavních politických inovací 20. století“; postupně se stalo součástí národních a nadnárodních legislativních struktur; např. posouzení vyžaduje administrativní nařízení EK pro využívání finančních operací strukturálních

fondů EU pro regionální operační programy na období 2007–2013, bez kterého nelze získat dotaci.

Nicméně v současné době společnost postupně ztrácí víru k osobě vzdělaného „experta“, ve vědu a technologie, odmítá přijímat možný či žádaný „racionální model“. V rozporu s tím metodologie EIA/SEA setrvává na systémovém a vědeckém přístupu hodnocení, což nový způsob myšlení společnosti opouští. Současná *společnost rizika* je charakterizována řadou klíčových faktorů v přímé souvislosti s hlavními rysy postmoderní společnosti. Mění se způsob myšlení. Glosovanež to je:

- rostoucí individualismus;
- jazyk vědy a techniky vylučuje účast veřejnosti a další podporu možného rozhodování;
- roste závislost na vědě a technice, což prezentují rizika životního prostředí, které jednotlivec nemůže řídit;
- globální rizika životního prostředí nerespektují individuální majetek;
- vědecké poznatky rizika životního prostředí se mění s „bezpečnou“ úrovní expozice množství chemických látek a emisí;
- stát není schopen zaručit bezpečnost;
- vědecká predikce a názory expertů jsou chybné.

Počáteční okouzlení z očekávaných možností EIA již v roce 1991 výrazně zpochybnil S. Holtz [8], podle kterého je tento koncept ve své podstatě omezen; především je procesem analýzy a kritiky, a nikoli procesem tvůrčím; je ovládan systémem pravidel, předpisů a norem; nedoceňuje emoce a myšlení v souvislostech. Negativní stránky procesu EIA byly postupně vnímány silněji a kritika eskalovala na nejvyšší možné úrovni v roce 2003, kdy J. F. Benson [1] v prestižním periodiku IAPA formou kulatého stolu rozpoutal rozsáhlou *diskuzi k samé podstatě, smysluplnosti a další existenci konceptu posuzování vlivů na životní prostředí*.

Nejnovější vědecké práce, viz např. N. Cordula [3], prokazují (na celostátním vzorku Německa) *nulový příspěvek procesu EIA k udržitelnému rozvoji*, a to navzdory potenciálním možnostem dobré myšlenky. Slabé stránky dosavadní praxe se v plné míře týkají legislativy a uzancí přijatých členskými zeměmi EU. Slabá místa jsou podle [1] na úseku:

- účasti veřejnosti;
- variantního řešení;
- řešení nejistoty;
- kumulativních efektů;
- hodnocení systémů ve spojení s určováním významnosti;
- rozhodovacího procesu;
- monitoringu a auditingu.

T. B. Fischer [7] na pražské mezinárodní konferenci SEA v roce 2005 zdůraznil, že proces SEA musí být daleko pružnější, otevřený komunikaci a více orientován ve prospěch možného dosažení konsensu zúčastněných subjektů; pro uvedené nedostatky je strategické posuzování označeno za „zbytečnou chiméru“ (*useless chimera*). Jako katastrofální byla diskutována absence paradigmatu „PPP“, tj. schopnost myšlení



v souvislostech a neznalost alternativního řešení (generování vějíře reálných scénářů – variant).

Nepříznivý obraz doplňují dosavadní zkušenosti, které shromáždily a formulovaly nevládní organizace (Hnutí Duha, Calla, Přátelé přírody, Děti Země) a které převzal dokument ELS [5] jako zprávu o analýze a implementaci směrnice EK do praxe ČR. Na internetu v angličtině a na četných příkladech je systematicky demonstrována obecná neschopnost domácích subjektů a kompetentních úřadů, jejich nízká odborná úroveň, poskytování neúplných a zastaralých informací, arogance variantního řešení, uplatňování „salámové metody“ u liniových staveb, absence přeshraničního posuzování, nezáměr a nedostatečný kontakt s veřejností. Z díkce a obsahu prezentovaného dokumentu získává světová veřejnost dojem, že odborné zázemí v ČR v časovém horizontu 2006 je na úrovni „raného úsvitu dějin“. Nulový přínos SEA k vizi UR prokazuje vlastní šokující poznatek autora z celostátní kauzy SEA ROP [16] v roce 2006, kde se „systém stal tak nepřehlédlným, že lze i krást“ [12]. Zdá se, že nashromážděné negativní zkušenosti představují přelomovou událost v neprospěch konceptu EIA/SEA.

### Nepochopení významu variantního řešení a alternativních scénářů

Význam variantního řešení tkví v tom, že vypracování jakéhokoli projektu či záměru ve variantách vede zpracovatele k dynamickému chápání potenciálního impaktu jako proměnné veličiny, která citlivě reaguje na změnu podnětu. Vede k chápání problému v širších souvislostech a umožňuje hlubší pohled na proces rozhodování. Principiálně mění model myšlení.

Naopak, sebelépe zdůvodněné jednoznačné (jednovariantní) řešení zobrazuje impakt jako konstantní veličinu. Zcela je potlačena výhoda možného uplatnění principu náhradní hodnoty (Trade-Off). Jestliže právní předpis neukládá povinnost zpracovat záměr ve variantách, potom je principiálně potlačena možnost uplatnění inteligence člověka jako subjektu, který vstupuje do procesu hodnocení.

Požadavek na variantní řešení tvoří klíčový problém procesu EIA. Je třeba zdůraznit, že řešení každého záměru v různých variantách tvoří základní a prapůvodní stavební kámen procesu EIA – jeho popření znamená negovat myšlenku EIA v jeho podstatě. Od samotného počátku myšlenky EIA, tj. od vydání zákona NEPA v USA v roce 1969, jsou varianty pokládány za „srdce“ posuzování vlivů na životní prostředí. *Bez variantního řešení nelze nalézt optimální řešení!*

Konsensus velké části odborníků spočívá v konstatování, že především nedodržování zásad variantního řešení v průběhu celého postupu řešení je jedním z důvodů selhání v neprospěch udržitelného rozvoje [1], [3], [4], [5], [6], [8], [9], [12], [15]. Naopak, o dobrých zkušenostech včetně domácí praxe bylo referováno již dříve.

Tvorba variant, generování scénářů a jejich kvalitativní či kvantitativní posuzování (skórování) u vedoucích zemí dosáhlo silně sofistikované úrovně. Domácí legislativa a legislativa EU v této oblasti fatálně zaostala. Za variantní řešení se obecně pokládá jakékoli vyhovující řešení pro splnění zadaného cíle, tj.:

- variantní druh činnosti, např. volba dovozu místo domácí výroby;
- různá lokalizace stavebního místa a vedení dopravní trasy;
- různé technologické procesy;
- různý časový plán realizace;

- záměna surovin;
- různé řešení zneškodňování odpadů, emisí apod.

Generování variant je chápáno jako *tvůrčí model myšlení*.

Důraz na variantní řešení v procesu EIA pravděpodobně poprvé vyslovil prezident Carter, když v roce 1977 požádal Státní radu pro kvalitu životního prostředí USCEQ [14] o vypracování předpisů pro překonání četných problémů spojených s procesem EIA. Doslova se vyslovil v tom smyslu, aby „... byly omezeny kancelářské práce a hromadění extrémního množství podkladových dat, zvýšena pozornost variantám řešení a skutečným cílům životního prostředí ...“. Zákonný požadavek v USA [NEPA 102(E)] stanoví „studovat, vyvinout a popsat vhodné varianty pro libovolný návrh doporučené činnosti, který zahrnuje neřešené konflikty týkající se variantního využívání dostupných zdrojů“. Předpis uvažuje čtyři typy variant:

- A – různý hospodářský přístup (např. plány hospodaření se zdroji Resource Management Plans, analýza regionální nebo programová);
- B – různé využívání dostupných zdrojů přírody;
- C – dílčí části projektu (např. segment dopravní sítě, komponentu projektu apod.);
  - různé systémy (např. různý způsob zvolený pro dosažení navrhovaného celkového nebo dílčího cíle, tzv. systémová varianta);
  - různé časové relace a lokalizace (např. časová varianta);
- D – zmírňující opatření.

Členění je uváděno s vědomím, že typy variant se velmi často prolínají, překrývají a hranice mezi nimi jsou mlhavé. V příslušném manuálu jsou varianty podrobně charakterizovány, specifikovány a vysvětleny. Tím se pomáhá proponentovi a zúčastněným subjektům v rozhodovacím procesu. Varianty se mohou měnit v rozmezí od maximální prospěšnosti pro přírodní prostředí (např. ekologicky optimální, superiorní, varianta z hlediska ochrany životního prostředí (*BPEO – Best Practicable Environmental Option*)) až po maximální technicko-ekonomické využití člověkem. V souladu s plánem RMP musí tým řešitelů prozkoumat variantu nulovou typu „no-action“ a všechny odůvodněné varianty, které vyplynuly z předcházejícího procesu analýzy životního prostředí. Další varianty musí být prozkoumány na základě podnětu veřejnosti, posuzovatelů nebo výsledku analýzy.

Zvláštní ustanovení se v USA týká určování *preferované varianty*. Obecně již v návrhu dokumentu EIS má být na vládní úrovni federální agenturou označena preferovaná varianta. Obdobně v konečném znění dokumentu EIS má být tato varianta označena i v případech, kdy ji jiný zákon omezuje či zakazuje. Označená preferovaná varianta má být totožná s nejvíce přijatelnou variantou z hlediska životního prostředí (*Environmentally Preferable Alternative*). Principiálně má být odvozena z cílů, které zahrnuje zákon na ochranu životního prostředí NEPA.

Zpráva ERL [6] již v roce 1981 doporučila holandské administrativě, aby vedle varianty typu „no-action“ a optimální varianty z hlediska ochrany životního prostředí byly zvažovány kategorie variant označené jako varianty vyžadované, činnosti, lokalizace, výrobních procesů, programové, varianty nároků na vstupy včetně surovin, pro kontrolu a řízení zbytkového znečištění včetně zmírňujících opatření. Uvedené typy variant mohou být posuzovány ve vztahu ke svým nákladům, proveditelnosti a konfliktům s minulou či budoucí politikou nebo rozhodováním.

Důraz na vějíř scénářů a varianty trvale zdůrazňují nadnárodní dokumenty. Aktuálně to je např. pokyn pro hodnocení

soustavy NATURA 2000 EC [4] a dokument OECD z roku 2006 OECD [9] v podobě uživatelské příručky „dobré praxe SEA“. Podle [4] se doporučuje uvažovat nulovou variantu, variantu umístění nebo trasy, rozsahu nebo velikosti, prostředků k dosažení plánovaných cílů (např. požadavků na řízení), metod výstavby (např. bezhlučná), metod provozu, metod likvidace po skončení doby životnosti projektu, načarování a návrhů na harmonogram (např. sezónní práce).

Z metodiky NATURA zřetelně vyplývá upřednostnění rizikové bezpečnosti jako nového prvku pro rozhodování. K tomuto účelu se zdůrazňuje a definuje *veřejný zájem*, který musí převažovat. Za naléhavé důvody převažujícího veřejného zájmu lze považovat (za podmínky, že pro to existují podklady) tyto projekty nebo plány:

- u nichž existuje prokazatelná veřejná nebo environmentální potřeba;
- specificky zaměřené na zlepšení veřejného zdraví a/nebo veřejné bezpečnosti;
- specificky zaměřené na záchranu lidských životů a majetku.

Nejčastěji jsou pro koncept EIA/SEA diskutovány a uplatněny následující scénáře (varianty, alternativy).

● **Nulová varianta pasivní**, tj. varianta bez projektu (*no-action, do-nothing, no-go, no-build*), ve smyslu varianty bez záměru (projektu), posuzuje důsledky absence záměru z hlediska impaktu (nerealizovaného projektu) na životní prostředí a společnost k současnému nebo vzdálenému časovému horizontu. Ve většině případů znamená posouzení současného stavu. V určitých případech to je ohodnocení kvality přírodního (krajinného) prostředí bez antropogenního zásahu. Hlavním cílem má být určení pevného referenčního bodu pro ostatní varianty.

V souladu s tímto požadavkem (a se zvláštním zřetelem na dopravní investice) má varianta bez projektu význam:

- pro udržování existujících zařízení a služeb při studiu území a koridorů. Údržba je limitována na aktivity, které nezvyšují kapacitu nebo nezlepší úroveň a nezamýšlí zajistit budoucí požadavky na dopravu;
- pro dokončení a podporu dříve předložených projektů při pokračujícím studiu území a koridorů. Tyto studie odkazují na zpracované projekty, které jsou ve stavbě nebo těsně před zahájením realizace v blízké budoucnosti, tzn. které budou v provozu v období, které je předmětem úvah. Definování (popis) posuzované sítě je nezbytné pro předpověď nároků na cestování a dopravu a analýzu impaktů na životní prostředí v širším území;
- pro kontinuitu stávající dopravní politiky. Zahrnuje financování např. silniční sítě a míst pro parkování, subvence hromadné dopravy apod.

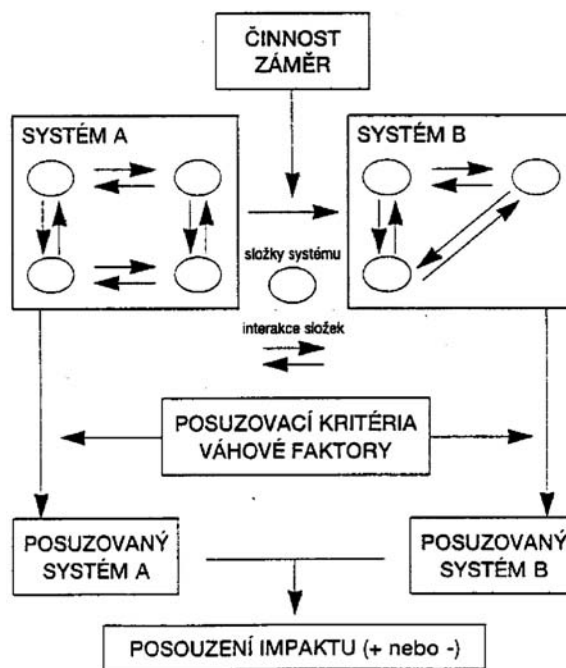
● **Varianta nulová typu „no-build“** je často používána jako referenční úroveň pro posouzení ostatních variant. V tomto případě relativní impakty dalších variant jsou vyjádřeny jako změny vůči základnímu případu. Jestliže všechny varianty byly posouzeny tak, že mají záporné chování vůči srovnávací základně, potom by rozhodnutí mělo být takové, že není přijata žádná z nich a zůstává *status quo*, tzn. „nic nestavět“. Alternativně by pro další hlubší posouzení mohla být vybrána varianta, která se příliš neliší od varianty nulové a která by mohla uvážit budoucí pravděpodobné demografické změny a změny v infrastruktuře.

● **Nulová varianta aktivní** (*active zero-variant, zero-plus*) představuje základní účelové (tvrdé) řešení, ve kterém není brán ohled na možnost preventivních, kompenzačních

či zmírňujících opatření. Neuvažuje (zanedbává, ignoruje) vedlejší technické, ekonomické či socioekologické nepříznivé vlivy. Cílem této varianty je:

- formulovat počáteční stav interakcí v krajině po realizaci projektu;
- zanedbat druhotné vlivy na životní prostředí;
- vytvořit počáteční rámec informací pro komplikovanější varianty;
- naznačit potřebu výhodných technologií, organizačních či správních změn, a tím odhalit možnost vyvolání úsporu v oblasti investic.

V některých případech však vypracování varianty bez projektu **není nutné** (zdůvodnitelné). Jsou to případy, kdy rozvojová aktivita byla vyvolána příkazem na základě předcházejícího politického nebo legislativního rozhodnutí (rozhodnutí vlády nebo parlamentu). Na *obrázku 1* je podán grafický důkaz, že bez povinného popisu současného stavu (nulového řešení) nelze definovat předpokládaný impakt, tj. změnu vlivem pro-



Obr. 1. Posouzení impaktu dvou scénářů na úrovni systémů A a B (projektu či strategického záměru)

jektu. Uvedené schéma představuje princip *analýzy predikce impaktu* na podkladě systémového přístupu. Jestliže **model A** představuje nulové řešení, potom model predikce impaktu simuluje nový **system B** po realizaci projektu (záměru) s novými činiteli (prvky systému ●) a novými vzájemnými vztahy (interakcemi ↔). *Oba systémy jsou posouzeny použitím stejných kritérií a závěr spočívá v kvantitativním vyjádření pozitivních a negativních impaktů.* Uvedené schéma potvrzuje ve světové praxi EBIA/SEA převážně *povinné hodnocení nulové varianty* záměru. V zahraniční praxi se dále používají v různé kombinaci:

- **ekologicky optimální** (superiorní) **varianta** z hlediska ochrany životního prostředí *Best Practicable Environmental Option* v podobě minimálních negativně působících ekologických impaktů nebo **varianta ekologicky přijatelná** (*Friendly to the Environment*);

- **ekonomicky optimální** (superiorní), tj. varianta preferovaná proponentem (navrhovatelem, investorem, stavebníkem), umožňující maximální zisk, viz analýza nákladů a užitek *Cost-Benefit Analysis*;
- **varianta hypotetická** slouží k ujasnění referenční úrovně hodnocení, kterým je nejčastěji původní (současný) stav nebo stav, který se vyvine bez jakékoliv činnosti, mezní nebo cílový stav, popř. ideální stav;
- **varianty zmírňující, minimální** (*Do-Minimum*), **prokračujících trendů** (*Continue Present Programme*) aj.;
- **varianty pesimistické a optimistické** se požadují pro vyjádření nejistoty vyplývající z možných změn předpokládaných podmínek a změn vnějšího prostředí projektu. V mezích intervalu pesimistické a optimistické varianty se mají uvést nezbytné reakce (strategie adaptace) na tyto změny;
- **soubor technicky a ekonomicky reálných variant.**

Tab. 1. Technicky a ekonomicky zaměnitelné reálné varianty (větší scénářů)

Varianty projektů
<b>a) podle způsobu dosažení stanovených cílů</b>
– zaměnitelnost produkce (různě užitné hodnoty uspokojující stejnou potřebu)
– dovoz, investiční účást v druhé zemi
– vlastní výzkum, vývoj nebo nákup licencí
– změna v dělbě práce v oboru či odvětví (včetně nákladů spojených s případnou delimitací)
– mezinárodní dělba práce (včetně nákladů na zvýšení produkce vývozního ekvivalentu)
– zvýšení směnnosti (a jiné formy vyššího využití stávajících kapacit jako zlepšení organizace výroby a práce)
– změna struktury výrobního programu
– rekonstrukce a modernizace stávajících výrobních fondů
– nová výstavba
<b>b) podle umístění stavby</b>
– vlastní lokalizace stavby
– dopravní spojení s odběrateli a dodavateli
– pracovní síly (zdroje, doprava, ubytování, služby, životní prostředí)
– zábor půdy
– energie, voda, popř. další vstupy
– odpady, tuhé a plynné exhalace
– jiné ovlivnění životního prostředí
– další specifické aspekty související s územím, základací podmínky stavby, seizmicita
<b>c) podle řešení stavby</b>
– použitá technologie
– technické řešení
– stavební řešení
– substituce pracovních sil, paliv a energie, surovin a materiálů, dovozů
– použité druhy technologického paliva a energie
– výroba ze zaměnitelných surovin a materiálů
– různá velikost výrobních kapacit (v tomto případě se kritériální funkce porovnávacích nákladů pro různé varianty vyjádří v poměru na jednotku výroby nebo kapacity)
– výrobní postupy a technologie vedoucí ke zvýšené kvalitě výrobků
<b>d) podle postupu výstavby</b>
– časová posloupnost realizace souboru staveb
– rozdělení stavby na etapy
– doba a průběh vlastní výstavby
– náběh kapacit (včetně nevyužití dokončených kapacit)
– doba záběhu, ověřování, zkušebního provozu
– vlastní vývoj a výzkum nebo nákup licence

V domácí praxi se v pragmatickém vývoji (podle směrnice bývalého FMTIR č. 17/1981 o hodnocení efektivnosti investic) povinně vypracovávala u nové výstavby **varianta rekonstrukce** dosavadních kapacit ve smyslu porovnatelné efektivnosti výrobních investic. V tržním hospodářství toto může přicházet v úvahu u investic s finanční účastí státu pro určení hypotetické referenční úrovně.

Jako *zaměnitelné varianty* lze podle druhu rozlišovat *čtyři základní kategorie*, tj. podle způsobu dosažení výrobních cílů, podle umístění stavby, různým řešením stavby a podle postupu výstavby (tab. 1).

### Pravděpodobný vývoj

Teoretici „rizikové společnosti“ (*Risikogesellschaft*) vnímají ekologickou krizi konce dvacátého století jako globální problém tzv. civilizace vysokých ohrožení, jenž odhaluje selhání všech hlavních institucionálních sfér. Někteří experti tvrdí, že ohrožení je definováno byrokratickými systémy administrace, nikoli sférou veřejné politiky. Nastává legalizace ohrožení života, tzv. *technokraticko-byrokratická „organizovaná neodpovědnost“*.

Lze konstatovat, že epistemologická bariéra obsahu SEA/EIA není a nemůže být překročena; byrokratický koncept lze označit za dožívající fosilii minulého století. Slabé stránky procesu posuzování vlivů na životní prostředí nadále převládají. V rozporu s počátečními představami je koncept EIA pokládán za překonaný, zastaralý a omezený; v porovnání s možnostmi moderní techniky územního a prostorového plánování ztrácí pro odborníky na zajímavosti; význam pro finální rozhodování je minimální; jde o pouhou „nálepku“ [13], nebo „zbytečnou chiméru“ [7]. Nezájem domácí veřejnosti aktuálně potvrzuje pamflet Zeleného kruhu [6], ve kterém jsou za hlavní příčiny označeny systémové chyby v zákoně, obecnost a obsáhlost dokumentace, nedostatečná znalost procedury SEA i u odborné veřejnosti. Zároveň se připomíná, že MŽP až dosud všechny podané dokumenty SEA v ČR schvaluje, aniž by uplatnilo evidované námítky veřejnosti.

Nepříznivý stav prohlubuje nedbání principů variantního řešení a pomocných nástrojů multikritériální analýzy, což vyplývá z nedostatečné inteligence, nepochopení a pohodlnosti. Až extrémní rozsah zmarnění vynakládaných prostředků pokládá J. F. Benson [1] za rozhodný důvod pro změnu myšlení v rámci členských zemí EU; koncepty EIA/SEA doporučuje nahradit, suplovat a směřovat více do oblasti udržitelného prostorového plánování (*Sustainable Spatial Planning*). Současně naznačuje hlavní rysy této činnosti. Byrokratický koncept by měl být napříště usměrněn diferencovaně podle konkrétního účelu.

Za zcela nový fenomén lze pokládat posuzování odolnosti komplexních systémů, které jsou daleko za hranicemi stability (*Systems Far from Equilibrium*). Jestliže pro systém v dynamické rovnováze je cílem výchylku vrátit do původního rovnovážného stavu (viz představa homeostáze), tak tento požadavek pro případ soustavy v silně nerovnovážném stavu je logický. Řešení spočívá v zajištění pružnosti z hlediska funkce systému, struktury, procesů. Důraz je kladen na možnost volby, generování scénářů, omezení míry nejistoty. Uvádí se význam indikátorů odolnosti. Je zřejmé, že naznačený problém řešení systémů v nerovnovážném stavu je mimo hranice možností konceptu EIA/SEA. V té souvislosti N. Powell [10] zdůrazňuje, že nastala doba pro „základní koncepční přehodnocení odolnosti“, které je prováděno ve smyslu posuzování *Impact Assessment*.

V teoretické oblasti [11] půjde o řešení vnitřních vzájemných závislostí subsystémů (Input-Output Model for Interdependent Infrastructure) a zvýšenou bezpečnost kritické infrastruktury v podobě konceptu *System of Systems*.

Jednou z možností je sféra prostorového územního plánování, kde moderní technologie nabízejí uplatnění principu EIA/SEA jako jednoho z pomocných pracovních nástrojů. Stejně tak lze doufat, že současný byrokratický rozměr bude redukován a usměrněn do dílčích oblastí ochranných aktivit (diferencovaný způsob aplikace). Budoucnost významně zarámují uznávané priority hédonisticky orientované liberální společnosti.

#### Zkratky

BAT	Best Available Technology Principle
BPEO	Best Practicable Environmental Option
EC	European Commission
EIA	Environmental Impact Analysis/Assessment
IA	Impact Assessment
IAPA	Impact Assessment and Project Appraisal
NEPA	National Environmental Policy Act (USA)
NIMBY	Not in my Backyard
PP	Precautionary Principle
PPP	Policies-Plans-Programmes
RMP	Resource Management Plans
ROP	Regionální operační program
SEA	Strategic Environmental Assessment
SOS	System of Systems
UN	United Nations
UR	udržitelný rozvoj
VA	vícekritériální analýza

Článek vznikl za podpory projektu č. IAA711680701 GA AV ČR „Bezpečnostní rizika v procesu posuzování vlivu na životní prostředí“.

#### Literatura

- [1] Benson, J. F.: What is the Alternative? Impact Assessment Tools and Sustainable Planning. In: Impact Assessment and Project Appraisal. Vol. 21, No. 4, December 2003, pp. 261–266.
- [2] Bond, A.: Let's not be Rational about this: Response to Benson. In: Impact Assessment and Project Appraisal. Vol. 21, No. 4, December 2003, p. 266–269.
- [3] Cordula, N.: An Evaluation of the Effectiveness of Environmental Impact Assessment in Promoting Sustainable Development (Case Study Germany). Thesis of the Degree of Master of Science. University of East Anglia, Norwich, August 2004, 86 pp. [www.uea.ac.uk/env/all/teaching/eiaams/pdf\\_dissertations/2004/Nieslony\\_Cordula.pdf](http://www.uea.ac.uk/env/all/teaching/eiaams/pdf_dissertations/2004/Nieslony_Cordula.pdf).
- [4] EC: Hodnocení plánů a projektů významně ovlivňujících lokality soustavy NATURA 2000. Metodická příručka. (Assessment of Plans and Projects Significantly Affecting Natura 2000 Sites – Methodological Guidance on the Provisions of Article 6(3) and (4) of the Habitats Directive 92/43/EEC). In: Edice PLANETA 2004. Překlad MŽP, 48 s, [www.nature.cz/publik\\_syst2/files16/hodnoceni\\_planu\\_a\\_projektu.pdf](http://www.nature.cz/publik_syst2/files16/hodnoceni_planu_a_projektu.pdf)
- [5] ELS: Analysis of the Transposition and Implementation of EC Directives Concerning Environmental Impact Assessment. Environmental Law Service, January 2006. [http://aa.ecn.cz/img\\_upload/409344c5b28b1bd833ef56a4fcd168d/EC\\_Directive\\_EIA\\_eng.pdf](http://aa.ecn.cz/img_upload/409344c5b28b1bd833ef56a4fcd168d/EC_Directive_EIA_eng.pdf)
- [6] ERL: Milieu-Effectraportage. Studies and Methodologies, Scoping and Guidelines. Environmental Resources Limited, Vol. 1, 2, 3, London, 1981.
- [7] Fischer, T. B.: Rationality and SEA Effective Tiering – Useful Concept or Useless Chimera? In: Proc. IAIA Conference on SEA, Prague 2005, Workshop E2 'SEA Theory and Research'. The University of Liverpool, 08.09.2005.
- [8] Holtz, S.: Environmental and Sustainable Development: Exploring the Relationship. In: IUCN/UNEP/WWF: Caring for the Earth. A Strategy for Sustainable Living. Gland, Switzerland, 1991, 24 p.
- [9] OECD: Applying Strategic Environmental Assessment. Good Practice Guidance for Development Co-Operation. The OECD Development Assistance Committee (DAC), pp. 164. [www.oecd.org/dataoecd/4/21/37353858.pdf](http://www.oecd.org/dataoecd/4/21/37353858.pdf)
- [10] Powell, N.: Re-Conceptualising Resilience for Impact Assessment in Conditions of Systemic Uncertainty. In: Proceedings from the 3rd Nordic EIA/SEA Conference, 22.-23. November 1999, pp. 163–174. [www.nordregio.se/Files/r003powell.pdf](http://www.nordregio.se/Files/r003powell.pdf)
- [11] Rinaldi, S. M.: Modeling and Simulating Critical Infrastructures and Their Interdependencies. In: Proceedings of the 37th Hawaii International Conference on System Sciences – 2004. Sandia National Laboratories. Sandia. [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs\\_all.jsp?arnumber=1265180](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=1265180)
- [12] Říha, J.: Regionální operační programy a nepřehlédlné posuzování – skvěle prodejná virtualita. In: Stavební právo, č. 4, s. 31–44.
- [13] Theodórsdóttir, Á. H.: EIA – More than a label? In: Proceedings from the 3rd Nordic EIA/SEA Conference, 22.-23. November 1999, pp. 211–214. [www.nordregio.se/Files/r003Theodorsdottir.pdf](http://www.nordregio.se/Files/r003Theodorsdottir.pdf)
- [14] USCEQ: Regulation for National Environmental Policy Act (NEPA). U. S. Council on Environmental Quality, Washington, D. C.
- [15] Weston, J.: EIA in a Risk Society. In: Journal of Environmental Planning and Management. Vol. 47, No. 2/ March 2004, pp. 313–325.
- [16] Pěchotová, B.: V bludišti euromiliard – Proč Česko čerpá z Bruselu tak málo peněz a proč je celý systém tak nepřehlédlný, že lze i krást. In: DNES, 13. října 2006, s. A12.

#### Říha, J.: EIA/SEA Concepts – Mere Label or Chimera to No Avail?

This paper continues the topic addressed in 9/2003 of this journal, where failure of the sustainable development concept was subjected to analysis. As a key tool in the process of sustainable development attainment, the methodology of Environmental Impact Assessment (EIA) at design level, and Strategic Environmental Assessment (SEA) at strategic level were developed. The knowledge gained recently has revealed strong dissatisfaction among those involved in the process caused by theoretical insufficiency of the concept and postmodern society development. The consequences of the absence of a systematic approach and a range of scenarios are highlighted.

#### Říha, J.: EIA/SEA-Konzepte – bloßer „Aufkleber“ oder „überflüssige Chimäre“?

Der Artikel knüpft frei an das in Nr. 9/2003 dieser Zeitschrift veröffentlichte Thema an, wo das Versagen des Konzeptes der nachhaltigen Entwicklung analysiert wurde. Als eins der entscheidenden Instrumente für die Erzielung einer nachhaltigen Entwicklung wurde die Methodologie zur Beurteilung der Einflüsse auf die Umwelt einerseits auf Planungsebene (EIA) und andererseits auf strategischer Ebene (SEA) konzipiert. Die Erkenntnisse aus dem letzten Zeitraum weisen eine starke Gereiztheit in den Reihen der Akteure dieser Problematik nach, welche die theoretischen Mängel des Konzeptes und die Entwicklung der postmodernen Gesellschaft verursachen. Größere Aufmerksamkeit wird den Folgen des Fehlens eines Systemzugriffs und dem Fächer von Szenarien gewidmet.

## Ekonomika skladových areálů a logistických center na území Prahy

Ing. Dana ČÁPOVÁ, Ph. D.  
Ing. Kristýna BARTOŇOVÁ  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

Nabídka ploch, a tím i neobsazenost logistických a skladových areálů, na území Hl. m. Prahy a okolí byla sledována po dobu jednoho roku. Výsledky analýzy mohou být podkladem pro rozhodování investorů v této komoditě.

### Úvodem

Během roku 2006 byla analyzována skutečná nabídka existujících i nově budovaných skladových ploch a areálů logistických center v ČR. Důkladný průzkum na území Prahy byl proveden sledováním nabídky na veřejně přístupných internetových stránkách. Jak ukazuje *tab. 1*, k termínu měření (10/2006) byly výměry neobsazených skladovacích ploch podle webových stránek realitních kanceláří 89 208 m<sup>2</sup>. Lze tvrdit, že neobsazenost skladovacích ploch v Praze a okolí se podle zjištěných údajů pohybuje kolem 7 %, což je více, než se běžně uvádí.

Tab. 1. Logistické areály v okolí Prahy

Logistický areál	Kapacita	Volné prostory
	[m <sup>2</sup> ]	
Airport Logistics Park	56 000	2 150
Wespoint Distribution Park	49 500	–
Tulipán Park	33 000	–
Karlovarská Business Park	60 000	7 500
Technocom	60 000	634
Zličín Business Park	34 000	2 100
Logistický park Rudná	150 000	17 067
Northpoint	140 000	3 000
Green Park Letňany	12 792	5 156
Blue Park	6 614	–
PDC Prague	111 160	8 000
OSPAP	26 000	–
Business Park Průmyslová	32 000	–
Business Park U Továren	28 000	–
Sklady Libuš	2 331	2 331
Business Park Pomořanská	28 000	5 770
Sanitas	40 500	–
Czech International	9 000	–
D1 Logistics Park	185 000	3 500
Southpoint	170 000	32 000
<b>celkem</b>	<b>1 233 897</b>	<b>89 208</b>

### Nájemné

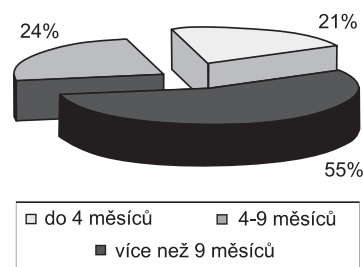
Nájmy velkých logistických areálů nejsou v běžných nabídkách realitních společností často uváděny a také zveřejňovaná výše je nadhodnocena vlivem „odpuštěných“ nájmu. Ceny pronájmu skladových ploch v moderních logistických areálech se pohybují od 4 do 6 € za 1 m<sup>2</sup>/měsíc (110 až 170 Kč), např. Rudná Logistics Park 5,25 € (149 Kč), Utility Park West 6 € (170 Kč). V databázi skladových objektů můžeme vidět rozmanitost nabízených ploch. Na rozdíl od moderních logistických parků nebývají starší objekty označovány třídou, která by hodnotila jejich kvalitu. Jsou zde rozdíly jak v konstrukčním a prostorovém řešení, tak i v nabízených službách.

V porovnání cen není mezi moderními logistickými centry a staršími skladovými areály příliš velký rozdíl. Pokud zájemce o skladové plochy požaduje plochu nad 500 m<sup>2</sup> a není závislý na lokalitě v Praze, spíše si vybere moderní logistický areál. Klienti na lokalitě závislí budou zohledňovat náklady na dopravu do vzdálenějších areálů. Ze serveru Reality mix byly převzaty nabídky pronájmu skladových ploch v období prosinec 2005, květen a září 2006 (*tab. 2*).

Tab. 2. Nabídka skladových ploch v jednotlivých obdobích

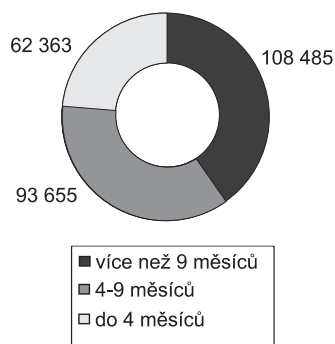
Nabídka			
období	prosinec 2005	květen 2006	říjen 2006
počet	180	193	194
plocha [m <sup>2</sup> ]	162 045	368 075	264 755

Uváděný počet nabídek k pronájmu by se dal označit za stabilní proti nabízenému objemu. Na začátku roku vzrostl počet nabídek pronájmu areálů s větší rozlohou. To je možná dáno tím, že firmy neprodloužily smlouvy na další rok. Do září se objem ploch snížil, i když počet nabídek zůstal téměř nezměněn (*obr. 1*).



Obr. 1. Skladovací plochy podle trvání nabídky (k 10/2006)

Ze 194 nabídek pronájmů skladových ploch v září roku 2006 bylo 46 starších než 4 měsíce a 40 starších než 9 měsíců. Je zajímavé, že ve sledovaném horizontu majitelé snížili cenu pronájmu pouze ve čtyřech nabídkách. Slevy se pohybovaly od 5 do 12 %. O nabízených skladových plochách v říjnu 2006 informuje *obr. 2*.



Obr. 2. Skladovací plochy v nabídce z hlediska času a nabízených kapacit

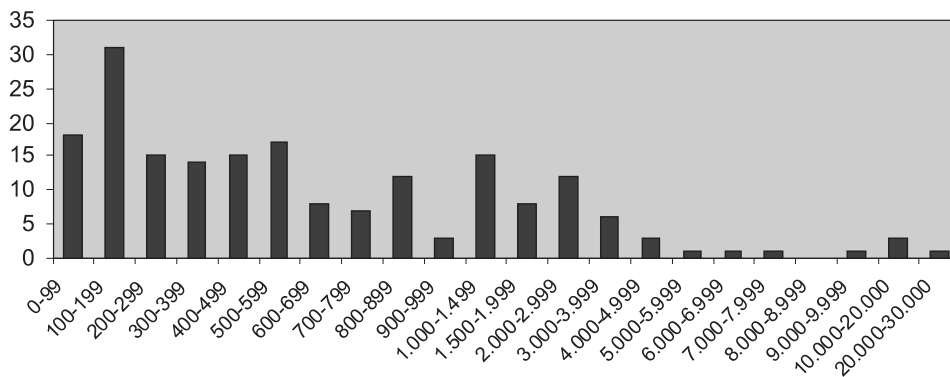
### Nabídka a obsazenost

Z celkového množství nabízených skladových ploch, tj. 264 755 m<sup>2</sup>, bylo 35,4 % starších než čtyři měsíce a 23,5 % starších než devět měsíců. Z průzkumu vyplývá, že nabídka skladových ploch v Praze obsahuje dlouhodobě kolem 50 % ploch do 500 m<sup>2</sup>. Obsazují je většinou české firmy. V moderních logistických areálech činí nejmenší nabízená plocha k pronájmu 500 m<sup>2</sup>. To znamená, že logistické areály skladům této velikosti nekonkurují. Skladových ploch mimo logistické areály nad 2 000 m<sup>2</sup> je velmi málo, z průzkumu zaujímaly pouze 15 % nabídek.

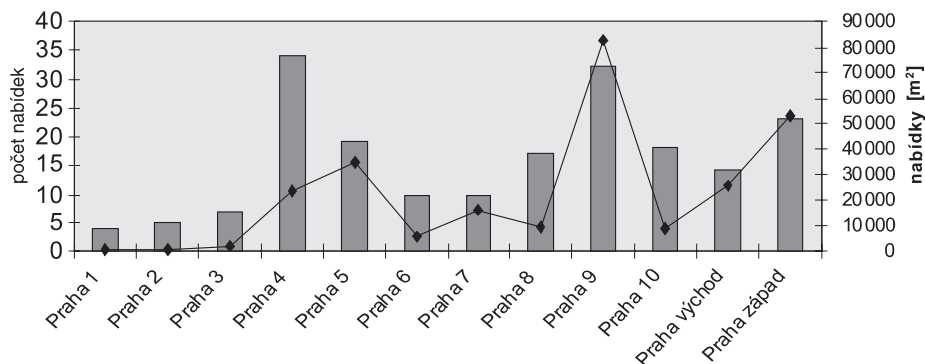
Tab. 3. Skladovací plochy podle lokality

Lokalita	Počet nabídek	Kapacita [m <sup>2</sup> ]
Praha 1	4	912
Praha 2	5	957
Praha 3	7	2 528
Praha 4	34	23 782
Praha 5	19	34 771
Praha 6	10	6 209
Praha 7	10	15 864
Praha 8	17	9 517
Praha 9	32	82 586
Praha 10	18	8 573
Praha-východ	14	26 060
Praha-západ	23	52 996

Můžeme říci, že nejvíce nabízených ploch se nachází v Praze 9, následuje Praha 10, 4 a 5. V obvodech 9 a 10 se nacházejí větší objekty, v obvodech 4 a 5 jsou nabízeny prostory menší rozlohy. Nejvíce pronájmů v moderních logistických areálech se uskutečňuje na západě od Prahy. Ve starších objektech se skladové plochy nacházejí nejvíce ve východní části Prahy. Pro budování nových logistických center



Obr. 3. Skladovací plochy podle velikosti



Obr. 4. Skladovací plochy podle lokality

je zdůrazňována nutnost přístupu do areálu železniční vlečky. Ve stávajících areálech takových nabídek není mnoho.

### Závěr

Průzkum reálně hodnotil situaci na trhu moderních logistických areálů a starších skladových objektů v lokalitě Prahy a okolí. Plochy starších areálů se v současnosti hromadně nesledují. Logistická centra zažívají obrovský boom ve výstavbě nových areálů. Problém v obsazenosti by mohl nastat při hromadnějším odchodu zahraničních investorů a společností, jež tyto služby využívají. Po vstupu České republiky do Evropské unie a otevření hranice volného obchodu se distribuční střediska z Německa a Rakouska začala přesouvat do levnějších lokalit, jako je naše republika. Dočasně levné pracovní síly zatím lákají zahraniční investory, ovšem při zvýšení mezd je reálný předpoklad přesouvání se logistických gigantů do Ruska, Rumunska či Maďarska. Starší skladové objekty do 500 m<sup>2</sup>, které tvoří 50 % volných ploch, nemají v nových logistických areálech konkurenci, větší objekty už ano. Výše nájemného mezi těmito kategoriemi skladových ploch je vyrovnaná. Starší skladové areály upřednostňují české firmy a firmy, které jsou na dané lokalitě závislé. (např. z důvodů nákladů na dopravu). Při zkoumání výnosnosti skladovacích areálů jsme došli k závěru, že údaje uváděné prodejci jsou nadhodnocené a neodpovídají realitě. Výnosnost se bude ještě snižovat díky rostoucí nabídce, která přinese zvýšení míry neobsazenosti a jistě i pokles nájemného. Je pravděpodobné, že starší skladové objekty zůstanou častěji neobsazeny a časem by se z nich mohly stát brownfields.

### Čápová, D. – Bartoňová, K.: Economics of Storage Areas and Logistic Centres on the Territory of Prague

The offer of areas and, at the same time, non-occupancy of logistic and storage areas on the territory of the capital of Prague and its surroundings was monitored over the period of one year. The outcomes of the analysis may become a source material for the decision making of the investors in this commodity.

### Čápová, D. – Bartoňová, K.: Die Wirtschaftlichkeit von Lagerkomplexen und Logistikzentren im Gebiet von Prag

Das Angebot von Flächen und damit auch der Leerstand von Logistik- und Lagerkomplexen im Gebiet der Hauptstadt Prag und der Umgebung wurden ein Jahr lang beobachtet. Die Ergebnisse der Analyse können eine Grundlage für die Entscheidungsfindung von Investoren in diesem Wirtschaftsbereich bilden.

## ● veletrhy

### Ekologické veletrhy Brno

29. – 31. května 2007

Mezinárodní veletrh techniky pro tvorbu a ochranu životního prostředí ENVIBRNO a mezinárodní vodohospodářská výstava VODOVODY – KANALIZACE proběhne za podpory ministerstev zemědělství, životního prostředí a průmyslu a obchodu koncem května v Brně. Stěžejní akcí odborného programu bude třídní mezinárodní konference věnovaná aktuálním tématům. Okruh financování obsáhnou mj. semináře „Účetnictví a reporting udržitelného rozvoje na mikroekonomické a makroekonomické úrovni“ nebo „Možnosti čerpání prostředků z nového Operačního programu životního prostředí na léta 2007 až 2013“. Velký prostor bude věnován odpadovému hospodářství, které patří letos ke zvýrazněným oborům. Diskutována budou témata věnovaná biologicky rozložitelným odpadům, skladování odpadů a další problematika s tímto oborem související. Pro vodohospodáře a související obory je připraven seminář zaměřený na uplatňování směrnice o vodní politice, která má přímou návaznost na problematiku povodí. Dalšími tématy budou například energetická koncepce EU, integrovaný registr znečištění nebo IPPC zaměřený na budoucí vývoj integrované prevence na úrovni EU. Konference se dotkne i aktuálních témat současnosti, jako jsou změna klimatu a Kjótský protokol.

Energetická problematika nabývá na aktuálnosti v souvislosti se snižující se zásobou přírodních surovin a debatou o dopadech na životní prostředí. S tím souvisí i rostoucí význam bezpečnosti v oblasti zabezpečení dodávek a zdrojových oblastí. Program konference „**Bezpečnost energetických zdrojů**“ reflektuje současnou energeticko-bezpečnostní a energeticko-politickou diskuzi.

K doprovodným programům patří i šestý ročník ukázek „**Ochrana před povodněmi**“. Tento evropsky unikátní projekt je vlastně informačním a školicím centrem nejen pro zástupce státní správy a samosprávy, ale také pro majitele nemovitostí v rizikových oblastech. V letošním roce by měly být hlavním tématem dynamické účinky vody.



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

## Lokální kvazigeoid z astronomických měření

Ing. Radovan MACHOTKA, Ph. D.  
VUT – Fakulta stavební  
Brno

V článku je popsána metoda vytvoření modelu kvazigeoidu relativně malého území – o rozloze řádově desítek kilometrů čtverečních. Zdrojem dat jsou astronomické tížnicové odchylky a tížové anomálie, model je vytvářen metodou astronomické nivelace v úpravě pro kvazigeoid. Výhodou představované metody je relativní přesnost modelu – lepší než 1 cm. Technologie tvorby modelu navrhuje na autorem navrženou metodu rychlého měření astronomických tížnicových odchylek s využitím totální stanice.

### Význam pro současnou geodézi

S rozšířením globálních navigačních satelitních systémů (GNSS), a zejména GPS, pro určování prostorové polohy bodů se v geodézii objevil nový problém, a to převodu nivoletovaných nadmořských výšek na výšky elipsoidické, a naopak. Určování výšek metodou GPS je v porovnání s nivelací pohodlné a rychlé, často je však nutné takto určené výšky převést na výšky nadmořské, což je spojeno s degradací jejich přesnosti. Výhody nadmořských výšek pro geodetickou praxi jsou neoddiskutovatelné a přes velký rozvoj kosmické geodézie se nedá předpokládat jejich úplně nahrazení výškami elipsoidickými. Niveláčnické převýšení jsou na rozdíl od elipsoidických měřitelná jednoduchými přístroji. Proto budou mít v praxi vždy velký význam. Například v inženýrské geodézii a v důlním měřičství si nelze ani jiné řešení představit.

Přestože se v poslední době věnuje velké úsilí hledání přesných transformačních vztahů jak globální, tak i lokální platnosti, je výsledek tohoto snažení uspokojivý zatím jen částečně. Větší přesnosti převodu je dosahováno, podle očekávání, u lokálně orientovaných řešení, která se zaměřují jen na konkrétní území. Geodetické veřejnosti jsou tyto výsledky prezentovány převážně v podobě modelů kvazigeoidů. Plocha kvazigeoidu nemá sice fyzikální význam, nicméně umožňuje názornou prezentaci výsledků. Nezanedbatelná je i podobnost se snadno definovatelnou a představitelnou plochou geoidu. Modely kvazigeoidu se v současné geodetické praxi stávají běžnou záležitostí. Požadavky na jejich přesnost jsou pochopitelně různé. Dá se nicméně předpokládat, že se vzrůstající přesností výsledků GNSS se budou zvyšovat i nároky na přesnost těchto modelů.

Problematika využití výsledků GNSS měření se netýká pouze převodu výšek, ale obecně převodu geocentrických souřadnic  $X, Y, Z$ , popř.  $\varphi, \lambda, H$  na geodetické referenční souřadnice  $y, x$  a nadmořskou výšku  $h$ . Komplexní transformační vztah je nutný pro tvorbu prostorových sítí integrovanou metodou za použití různých technologií měření (GNSS, délkové, trigonometrické, niveláčnické, tížové), zejména je-li požadována homogenní a přesná síť velkého rozsahu. Zde nevystačíme s modelem kvazigeoidu. Je nutná komplexní znalost parametrů tížového pole v dané lokalitě, to znamená i hodnotu tíže a tížnicových odchylek.

### Tvorba modelů

Pro tvorbu modelů kvazigeoidu se v současné době u nás používají různé technologie. Výběr závisí na typu dostupných dat, na rozsahu vytvářeného modelu a na požadované přesnosti. Pro modely regionální a lokální se používají technologie, které se často kombinují:

- gravimetrické řešení vychází z pozemních gravimetrických měření v dané lokalitě a jejím okolí. Vliv vzdálených zón je zachycen technikou remove/restore s využitím některého z globálních modelů [1];
- metoda GPS/nivelace vycházející ze znalosti obou výšek (elipsoidických i nadmořských) na diskretních bodech v dané lokalitě. Rozdílem jsou přímo výšky kvazigeoidu [1], [2];
- metoda astronomické, popř. astronomicko-gravimetrické nivelace. Metoda umožňuje přenášet výšku kvazigeoidu mezi blízkými body za předpokladu znalosti tížnicových odchylek. V astronomické nivelaci se používají pouze přímo měřené tížnicové odchylky, v astronomicko-gravimetrické nivelaci i gravimetrické odchylky. Ty slouží ke zpřesnění interpolace astronomických tížnicových odchylek mezi vzdálenými body [3], [4], [5].

Pro tvorbu modelů kvazigeoidu se používaly různé techniky:

- astronomická nivelace (model geoidu), Buchar – rok 1951,
- model VÚGTK, řešení 1975 – astronomicko-gravimetrická nivelace,
- model VÚGTK, řešení 1994 – GPS/nivelace,
- model VÚGTK, řešení 1998 – gravimetrické řešení,
- model CR 2000 – gravimetrické řešení s transformací na hodnoty získané metodou GPS/nivelace (body GEODYN).

Astronomická nivelace byla v osmdesátých letech použita pro tvorbu modelu geoidu v Rakousku se souřadnicemi 564 bodů a digitálním modelem terénu pro určení korekce z hmot nad geoidem [6].

Přesnost modelu kvazigeoidu CR 2000, který je zatím zřejmě nejpřesnějším publikovaným modelem našeho území, je kolem 3 cm (střední kvadratická chyba). Tuto přesnost lze předpokládat na většině území. Problematické jsou okrajové části republiky vzhledem k nutnosti přejímání zahraničních tížových dat [1]. Dále se zde nachází většina českých pohorí, kde je průběh kvazigeoidu podstatně dynamičtější. Určování průběhu kvazigeoidu v horském prostředí je obecně značně obtížnější než v rovinných oblastech. Kromě problémů s dostupností dat a jejich kvalitou se projevuje i obtížně modelovatelný vliv topografie terénu na tížové pole. To je v takovýchto oblastech nehomogenní a způsobuje zvlnění plochy kvazigeoidu.

### Tvorba modelu astronomickou nivelací

U této metody je model kvazigeoidu tvořen na základě zjištěných hodnot odklonu tížnice od normály referenčního elipsoidu (tížnicových odchylek) v jednotlivých bodech lo-



kalitý. Hodnoty tížnicových odchylek se počítají z astronomických a geodetických souřadnic identických bodů podle vztahů

$$\bar{\xi} = \varphi' - \bar{\varphi}, \quad \bar{\eta} = (\lambda' - \bar{\lambda}) \cos \varphi, \quad (1)$$

kde  $\bar{\xi}$  je meridiánová a  $\bar{\eta}$  příčná složka tížnicové odchylky,  $\varphi'$  a  $\lambda'$  jsou astronomické souřadnice,  $\varphi$  je geodetická zeměpisná šířka na elipsoidu a  $\bar{\varphi}$  a  $\bar{\lambda}$  jsou povrchové geodetické souřadnice opravené o vliv zakřivení tížnice podle vztahů

$$\bar{\varphi} = \varphi + \Delta\varphi, \quad \bar{\lambda} = \lambda, \quad (2)$$

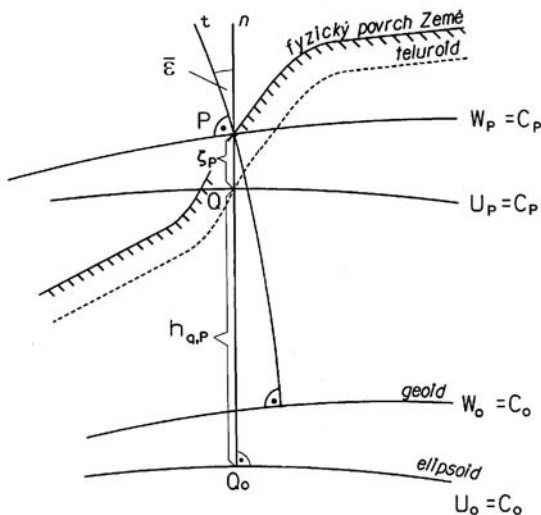
kde  $\Delta\varphi = -0,00017'' h \sin 2\varphi$ ,  $h$  je nadmořská výška [m].

Mezi hodnotami tížnicových odchylek na jednotlivých bodech lze proložit interpolační funkce a jejich integrací získat rozdíl výšek kvazigeoidu mezi jednotlivými body.

Diferenciál výšky kvazigeoidu v azimutu  $\alpha$  je podle [7]

$$d\zeta = -\bar{\varepsilon} ds - \frac{g(P) - \gamma(Q)}{\gamma} dh, \quad (3)$$

kde  $\bar{\varepsilon}$  je složka tížnicové odchylky v daném azimutu,  $ds$  délkový element,  $dh$  element převýšení,  $g(P)$  hodnota skutečného tížového zrychlení v bodě  $P$  na povrchu Země,  $\gamma(Q)$  normální tížové zrychlení v bodě  $Q$  na teluroidu a  $g$  normální tížové zrychlení na povrchu elipsoidu v bodě  $Q_0$  (obr. 1). Znaménko minus je konvenčně dohodnuté.



Obr. 1. Skutečné a normální tížové pole Země

Integrací uvedeného vztahu získáme vztah pro převýšení kvazigeoidu mezi body  $A$  a  $B$ . Výsledkem je křivkový integrál nezávislý na integrační cestě

$$\zeta_B - \zeta_A = - \int_A^B \left[ \bar{\varepsilon} ds + \frac{\Delta g}{\gamma} dh \right], \quad (4)$$

kde  $\Delta g = g(P) - \gamma(Q)$  se nazývá Fayova anomálie (smíšená).

Za předpokladu lineární změny velikosti tížnicové odchylky v azimutu  $\alpha$  i hodnoty tížové anomálie na spojnici  $A - B$  dostaneme obecně používaný vzorec astronomické nivelace

$$\zeta_B - \zeta_A \cong - \frac{\bar{\varepsilon}(A) + \bar{\varepsilon}(B)}{2} s_{A,B} - \frac{\Delta g_A + \Delta g_B}{2\gamma} \Delta h_{A,B}, \quad (5)$$

vyjadřující rozdíl výšky kvazigeoidu  $\zeta$  mezi dvěma blízkými body  $A$  a  $B$ .

Hodnota  $\varepsilon(A) = \bar{\xi}(A) \cos \alpha + \bar{\eta}(A) \sin \alpha$  je průmět tížnicové odchylky na bodu  $A$  do azimutu  $\alpha$ ,  $s_{A,B}$  je vzdálenost bodů  $A$  a  $B$ ,  $\Delta g_A$  je tížová anomálie v bodě  $A$  a  $\Delta h_{A,B}$  je rozdíl normálních výšek bodů  $A$  a  $B$ .

Metoda je vhodná pro malé lokality s velkým převýšením, kde potřebujeme přesné a podrobné údaje o kvazigeoidu a přitom tam lze jen obtížně provádět přesnou nivelaci. Do výpočtu sice vstupují hodnoty nivelačního převýšení  $\Delta h_{A,B}$ , ale slouží jen pro výpočet normálních oprav – stačí přesnost v řádu metrů, takže je lze nahradit převýšeními elipsoidickými.

Přesnost modelu kvazigeoidu značně závisí na vzdálenosti mezi astronomickými body. Obecně se sčítají dva hlavní vlivy, a to chyby měření povrchových tížnicových odchylek  $\bar{\varepsilon}$  a nesplnění předpokladu lineární změny hodnoty tížnicové odchylky mezi sousedními body. Celkově je nutno předpokládat kvadratický nárůst chyb modelu kvazigeoidu s rostoucí vzdáleností mezi astronomickými body.

Metoda astronomické nivelace umožňuje i ve členitém terénu dosáhnout na omezeném území předem zvolené přesnosti modelu kvazigeoidu. Předpokladem je měření tížnicových odchylek s uspokojivým odstraněním systematických chyb. Přesnost lze zlepšovat zvyšováním hustoty bodů s měřeními astronomickými souřadnicemi a zpřesňováním astronomických měření. Reálná mez je kolem 5 mm/10 km. Tato hodnota odpovídá přesnosti nivelace. V kopcovitém terénu výrazně roste pracnost nivelace, její kilometrová přesnost klesá a s ní i použitelnost metody GPS/nivelace. Přesnost astronomické nivelace lze zvýšením hustoty astronomických bodů zachovat.

Další předností metody astronomické (astronomicko-gravimetrické) nivelace je znalost tížnicových odchylek. Ty jsou meziproductem tvorby modelu kvazigeoidu a jejich znalost je nezbytná v případě integrovaného zpracování heterogenních dat (družicová, pozemní).

## Popis metody

K aplikaci astronomické nivelace v praxi je nutné znát tížnicové odchylky. Jak vyplývá ze vztahu (1), počítají se jako rozdíl mezi astronomickými a geodetickými souřadnicemi. Zatímco určování geodetických souřadnic dnes není problém (např. systémem GPS), je u astronomických souřadnic situace opačná. Metoda vyžaduje přesné měření v terénních podmínkách, což je geodetická činnost, která se v posledních letech neprovádí. To byl důvod, proč jsem, v rámci doktorského studia pod vedením prof. Fixela, začal v roce 1998 pracovat na metodě astronomických měření vhodné pro získávání dat k tvorbě modelů kvazigeoidu. V rámci tohoto úkolu byla vyvinuta metoda rychlého měření astronomických souřadnic v terénu a dále metoda zpracování získaných dat s přihlédnutím k jejich korelovatelnosti. Ta je zavíjena osobně-přístrojovou chybou a postihuje pouze zjištěné zeměpisné délky. Pro snazší automatizaci bylo rozhodnuto využít pro astronomická měření přesnou totální stanici.

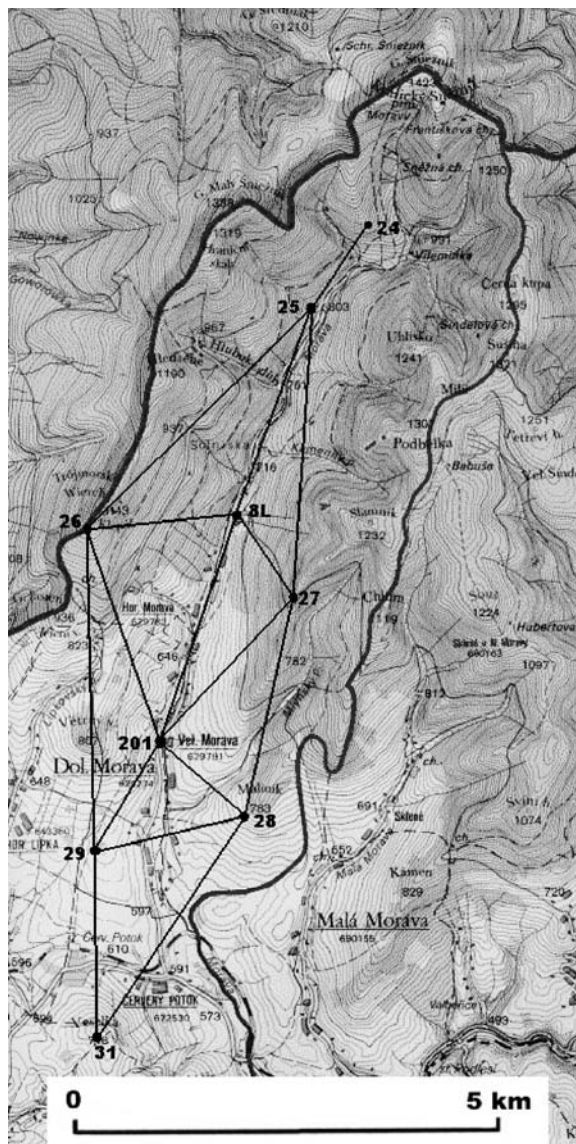
Metodou měření měla být původně metoda stejných výšek. Pro větší pružnost (minimalizaci prostojů) byla posléze upravena tak, aby se rozšířil výběr hvězd použitelných v daný okamžik. Metodu jsem nazval *metoda páru stejně výšky* [8]. Zde jsou uvedeny jen základní informace:

- slouží k určení obou astronomických zeměpisných souřadnic, tzn. zeměpisné šířky a zeměpisné délky;
- měřicím přístrojem je přesná totální stanice. Nevýhoda slabší světelnosti dalekohledu v porovnání se speciálními astronomicko-geodetickými přístroji je řešena výběrem hvězd vyšší svítivosti (magnituda min. 6). Jejich menší počet je úspěšně kompenzován metodou měření. Ta využívá výhody počítačové přípravy i zpracování měření, a proto není vázána na měření hvězd v žádné význačné rovině (místní poledník, I. vertikál, almukantarát). Přístroj musí být vybaven okulárem umožňujícím strmé záměry;
- získaná data jsou ukládána do přenosného počítače, který registruje i přesný čas měření. K navázání na světový čas slouží speciální radiový přijímač pro příjem časového signálu DCF 77, nověji též speciální aparatura GPS s časovým výstupem;
- pro potlačení nežádoucího vlivu refrakce se hvězdy měří v párech. Vybírají se takové dvojice, aby obě hvězdy procházely stejným zenitovým úhlem (almukantarátem) ve vhodném časovém rozmezí po sobě, a to v opačných azimutech.

### Ověřování v lokalitě Sněžník

Metoda měření astronomických souřadnic s návazným zpracováním kvazigeoidu metodou astronomické nivelace byla ověřována v geodynamické síti Sněžník v oblasti masivu Králického Sněžníku. Tato síť byla vybudována ve spolupráci s geodety z Akademia Rolnicza Wroclaw. Dále popisovaná měření proběhla v české části sítě – v údolí řeky Moravy. Síť Sněžník je situována v horském a podhorském prostředí, se všemi aspekty, které z toho vyplývají (velké výškové a klimatické rozdíly, obtížná dostupnost některých bodů, velké tížnicové odchylky atd.). Jde tedy o lokalitu vhodnou k aplikaci astronomické metody tvorby modelu kvazigeoidu. V rámci výzkumných a vzdělávacích projektů zde již proběhla dlouhodobá a opakovaná měření metodou GPS, měření terestrická – přesná nivelace, měření šikmých délek elektronickými dálkoměry, měření zenitových úhlů a také tížová měření [5], z velké části prováděná Ústavem geodézie Fakulty stavební VUT v Brně. Díky získanému množství dat se síť Sněžník hodí pro ověřování nových technologií.

V rámci ověřování astronomické metody tvorby kvazigeoidu bylo v lokalitě astronomicky zaměřeno 9 bodů (obr. 2). Sedm z nich jsou základní body sítě (024KAZA, 025TVDR, 027VYHL, 026KLEP, 028MALI, 029LOMA, 031VESE) stabilizované betonovými pilíři. Zbývající dva body byly zvoleny jako doplňkové pro dosažení vhodné konfigurace sítě. Na těchto bodech (201DMOR a 8L ZIDKA) bylo měřeno ze stavivu. Po dlouhodobém ověřování technologie se měřilo ve dvou etapách. První etapa v květnu 2002 byla částečně pokusná a ze získaných dat byla do pozdějšího zpracování zahrnuta pouze měření na bodech 025TVDR, 028MALI a 029LOMA. Po zpracování získaných poznatků do technologie měření proběhla v září 2002 druhá etapa, během které byly v průběhu tří nocí zaměřeny body 024KAZA, 027VYHL, 026KLEP, 028MALI, 031VESE, 201DMOR a 8L ZIDKA. Bod 028MALI byl změřen v obou etapách pro jejich provázání. Z vyhodnocení této etapy měření vyplynuly následující



Obr. 2. Rozmístění bodů sítě Sněžník

poznatky. Měření každého bodu zabere přibližně dvě hodiny, při započítání času potřebného na přesun, instalaci a opětovné sbalení přístrojů je doba připadající na jeden bod kolem tří hodin. Měření ze stavivu je méně pohodlné, ale kvalita výsledků tím není výrazně ovlivněna. K měření je nutný volný výhled na oblohu bez překážek nad 40° nad horizontem. Na bodech bylo změřeno mezi 7 a 9 hvězdnými páry, což představuje 400 až 500 jednotlivých měření. Prostoje mezi měřeními se podařilo minimalizovat zvolenou metodou tvorby pozorovacího programu. Střední chyba jedné záměry kolísala mezi 1,1 až 1,6 desetiněteřiny. Výsledky měření byly opraveny o pohyb pólu a použity jako jeden ze vstupů pro tvorbu modelu kvazigeoidu.

### Model kvazigeoidu

Kromě astronomických dat vstupovala do zpracování modelu kvazigeoidu i data převzatá z jiných projektů – elipsoidické souřadnice devíti bodů sítě získaných technologií GPS, hodnoty tížového zrychlení na těchto bodech [5] a nadmořské výšky dvou bodů (028MALI, 029LOMA). Nejpr-

Tab. 1. Astronomická nivelace – Sněžník

Směr		Astronomická nivelace	Gravimetrická oprava	Výsledné převýšení $\Delta\zeta$
z bodu	na bod			
0024 KAZA	0025 TVRD	9,4	-16,1	25,5
0025 TVRD	0027 VYHL	5,6	15,6	-10,0
0025 TVRD	8L ZIDKA	12,6	-6,5	19,1
0025 TVRD	0026 KLEP	0,4	24,6	-24,2
0026 KLEP	8L ZIDKA	25,8	-31,1	56,9
0026 KLEP	0201 DMOR	15,8	-36,9	52,6
0026 KLEP	0029 LOMA	15,6	-36,6	52,3
0027 VYHL	0028 MALI	-11,2	-20,7	9,5
0027 VYHL	0201 DMOR	-24,9	-27,7	2,9
0027 VYHL	8L ZIDKA	-13,9	-22,0	8,2
0028 MALI	0031 VESE	23,9	-1,0	24,9
0028 MALI	0029 LOMA	-8,0	-6,4	-1,6
0028 MALI	0201 DMOR	-8,2	-7,0	-1,2
0029 LOMA	0201 DMOR	0,9	-0,7	1,6
0029 LOMA	0031 VESE	26,6	5,5	21,1

ve byly podle vzorce (1) vypočteny tížnicové odchylky. Poté byly body spojeny do trojúhelníkové sítě – kostry (obr. 2). Na každé spojnici byla podle vzorce (5) vypočtena změna výšky (převýšení) kvazigeoidu nad elipsoidem. Výsledné převýšení v každém trojúhelníku by mělo být nulové. Protože tomu tak v důsledku chyb měření a použití zjednodušujícího vzorce (5) nebylo, bylo nutné provést obdobné vyrovnání převýšení, jaké se provádí v nivelacní síti. Výsledkem byly změny výšek kvazigeoidu mezi jednotlivými body kostry. Při znalosti výšky jednoho bodu sítě je potom možné vypočítat výšku bodů ostatních.

Problém je komplikován neznámou hodnotou osobně-přístrojové chyby, která ovlivňuje časové údaje registrované měřičem. Je závislá na osobě měřiče a použitých přístrojích. V prvním přiblížení si ji můžeme představit jako zpožděnou reakci měřiče na úkaz, jehož čas má zaregistrovat. V naměřených datech se projevuje jako posun naměřených časů proti časům správným. Chyba ovlivňuje pouze astronomické délky, tzn. vypočtená převýšení kvazigeoidu ve směru východ-západ. V ideálním případě je na všech měřených bodech stejná. Pro její odstranění se běžně používají navazovací astronomická měření. Pro úsporu času byly vybrány dva body (029LOMA a 028MALI) s podobnou zeměpisnou šířkou (jejich spojnice měla východně-západní směr) a známou nadmořskou výškou. Podle vzorce (5) byla vypočtena změna výšky kvazigeoidu na jejich spojnici. Tato hodnota byla zatížena osobně-přístrojovou chybou. Vzhledem k tomu, že elipsoidické i nadmořské výšky těchto bodů byly známy, mohla být vypočtena změna výšky kvazigeoidu mezi těmito body i podle vzorce

$$\zeta_j - \zeta_i = H_j - h_j - H_i + h_i = H_j - H_i - (h_j - h_i) = \Delta H_{i,j} - \Delta h_{i,j}, \quad (6)$$

kde  $H_i, H_j$  jsou elipsoidické výšky a  $h_i, h_j$  nadmořské výšky bodů. Tato hodnota převýšení kvazigeoidu není osobně-přístrojovou chybou astronomických měření zatížena. Porovnáním obou hodnot byla určena osobně-přístrojová chyba a o ni opraveny astronomické zeměpisné délky. V uvedeném případě byla osobně-přístrojová chyba rovna 2,07". Vypočet převýšení kvazigeoidu a vyrovnání sítě bylo poté provedeno

znovu s definitivními hodnotami (tab. 1, tab. 2). Astronomické navazovací měření bylo tedy nahrazeno velmi přesnou nivelací mezi dvěma vhodnými body sítě.

Tab. 2. Vyrovnané hodnoty převýšení kvazigeoidu  $\Delta\zeta$ 

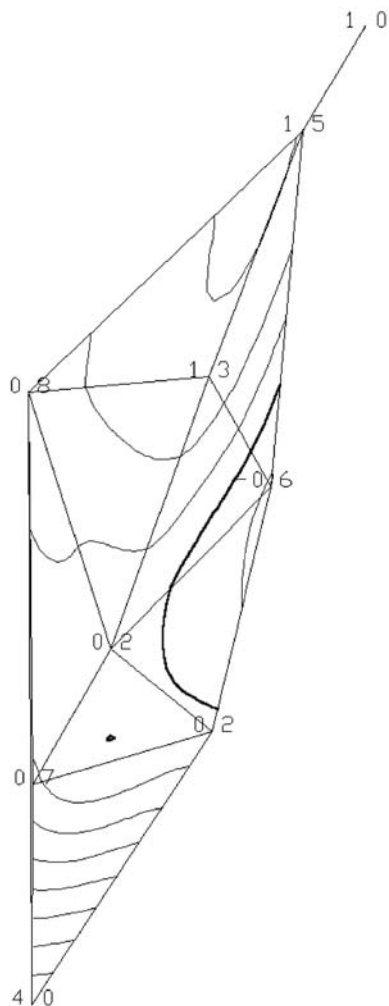
Směr		$\Delta\zeta$ [mm]
z bodu	na bod	
0024 KAZA	0025 TVRD	25,5
0025 TVRD	0027 VYHL	19,3
0025 TVRD	8L ZIDKA	21,4
0025 TVRD	0026 KLEP	-28,8
0026 KLEP	8L ZIDKA	50,2
0026 KLEP	0201 DMOR	52,9
0026 KLEP	0029 LOMA	51,7
0027 VYHL	0028 MALI	5,2
0027 VYHL	0201 DMOR	4,8
0027 VYHL	8L ZIDKA	2,1
0028 MALI	0031 VESE	21,3
0028 MALI	0029 LOMA	-1,6
0028 MALI	0201 DMOR	-0,4
0029 LOMA	0201 DMOR	1,2
0029 LOMA	0031 VESE	22,9

Tato metoda, je-li použita uvážlivě, může nahradit navazovací astronomická měření. Zvolená dvojice bodů nesmí být od sebe příliš vzdálená (v rozsahu 1 až 2 km lze předpokládat lineární změnu tížnicové odchylky), a zároveň by měla ve směru východ-západ přibližně vymezovat měřenou oblast. Metodu lze tedy použít pro síť s malým západně-východním rozsahem (do 2 km), u sítě rozsáhlejších je nutné použít propojovací řetězec astronomických bodů vzájemně vzdálených 1 až 2 km. Po výškovém umístění sítě není problém dopočítat výšku kvazigeoidu na každém z bodů kostry.

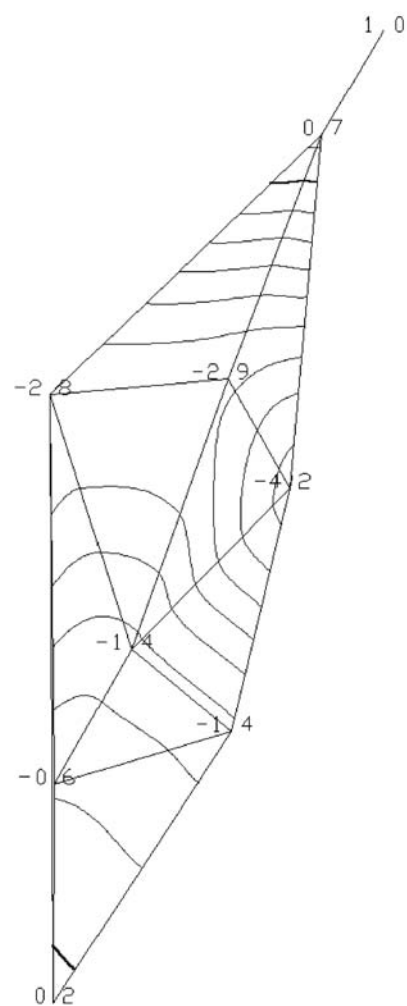
Pro určení průběhu kvazigeoidu i mimo základní body byla použita technologie používaná pro tvorbu digitálního modelu terénu. Izolinie, modelující průběh plochy kvazigeoidu i mimo body kostry, byly získány v programovém systému Atlas. V našem případě byla místo data popisujících skutečný terén vložena data popisující kvazigeoid. To znamená souřadnice bodů kostry a příslušné výšky kvazigeoidu. Vý-

sledné mapky průběhu tížnicových odchylek a výšky kvazigeoidu ve zkoumané lokalitě jsou uvedeny na obr. 3 až obr. 5. Výšky kvazigeoidu získané gravimetricky, astronomickou nivelací a metodou porovnání GPS a nivelace jsou uvedeny v tab. 3. Tato tabulka ukazuje, že shoda výsledků astronomické nivelace a metody porovnání GPS a nivelace je na úrovni 1 cm s výjimkou bodu 8L ZIDKA, kde je zřejmě chybně určena elipsoidická výška (krátká observace GPS). Astronomické souřadnice opravené o osobně-přístrojovou

chybu bylo možné na pěti bodech porovnat s hodnotami naměřenými v letech 1997 a 1998 [5]. VÚGTK Zdiby tehdy použil cirkumzenitál 50/500, osobně-přístrojová chyba byla odstraněna navazovacím měřením na bodu Pecný. Výsledky porovnání jsou uvedeny v tab. 4, kde je vidět výrazně větší shoda v hodnotách zeměpisné šířky než zeměpisné délky. To platí zvláště tehdy, pomineme-li bod 025TVRD, který jako jediný z uvedených se měřil v první etapě.



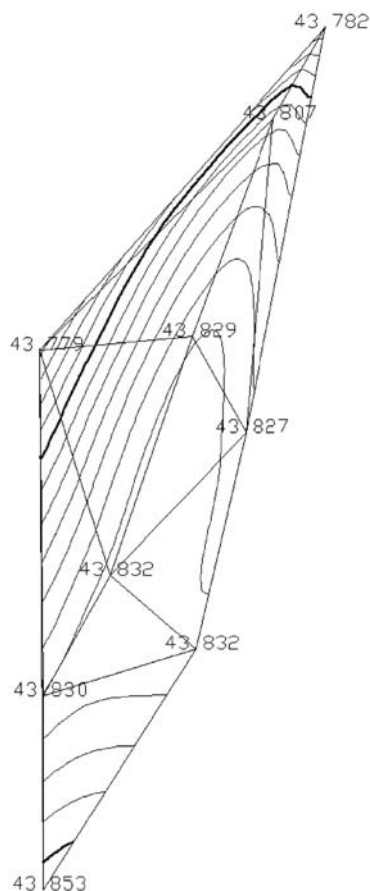
Obr. 3. Průběh složky  $\xi$  izolinie po 0,5"



Obr. 4. Průběh složky  $\eta$  izolinie po 0,5"

Tab. 3. Výška kvazigeoidu z různých měření [m]

Bod	Gravimetrické	GPS-nivelace	Astronomická nivelace	Rozdíly		
	$Z_g$	$Z_{GPS-niv.}$	$Z_{astr. niv.}$	$Z_g - Z_{GPS-niv.}$	$Z_g - Z_{astr. niv.}$	$Z_{GPS-niv.} - Z_{astr. niv.}$
0024 KAZA	43,788	—	43,782	—	0,006	—
0025 TVRD	43,811	43,800	43,807	0,011	0,004	-0,007
0026 KLEP	43,787	43,774	43,779	0,013	0,008	-0,005
0027 VYHL	43,847	43,822	43,827	0,025	0,020	-0,005
0028 MALI	43,835	43,832	43,832	0,003	0,003	0,000
0029 LOMA	43,821	43,830	43,830	-0,009	-0,009	0,000
0031 VESE	43,848	43,854	43,853	-0,006	-0,005	0,001
0201 DMOR	43,823	43,823	43,831	0,000	-0,008	-0,008
8L ZIDKA	43,83	43,791	43,829	0,039	0,001	-0,038



Obr. 5. Průběh kvazigeoiduizolinie po 5 mm

## Závěry

Astronomická metoda tvorby lokálního kvazigeoidu prokázala možnost použití v praxi. V porovnání s jinými metodami nabízí tyto výhody:

- nevyžaduje znalost dat z oblastí mimo vlastní lokalitu tvorby kvazigeoidu. Nezbytná data lze získat měřením. Není tedy ohrožována nehomogeností dat různého původu (zahraniční, různé systémy), popř. jejich nedostupností jako metoda gravimetrická. Navíc není závislá na kvalitě místních geodetických základů a jejich hustotě (nivelační sítě, gravimetrické mapování);
- lze ji s uspokojivými výsledky použít i v horských oblastech, kde je vytváření modelu kvazigeoidu nejobtížnější;
- má vysokou lokální přesnost, která klesá přibližně s kvadrátem vzdálenosti mezi sousedními astronomickými body. Proto je vhodná pro přesné modely o rozloze jednotek až desítek čtverečních kilometrů;
- lze ji modifikovat na astronomicko-gravimetrickou nivelaci. Při stejném počtu základních bodů lze síť pokrýt rozsáhlejší území. To představuje úsporu měřicích prací v terénu (hlavně astronomických);
- jako jediná poskytuje hodnoty absolutních tížnicových odchylek. Ty jsou nezbytné pro tvorbu komplexního transformačního vztahu pro převod geocentrických souřadnic  $X, Y, Z$ , popř.  $\varphi, \lambda, H$  na geodetické referenční souřadnice  $y, x$  a nadmořskou výšku  $h$ .

Tab. 4. Rozdíly astronomických souřadnic

Bod	$\Delta\phi$	$\Delta\lambda$
	["]	
0025 TVRD	0,62	-1,30
0026 KLEP	-0,10	-0,70
0027 VYHL	0,13	0,08
0028 MALI	-0,13	-1,30

Topcon – cirkumzenitál (po odstranění osobně-přístrojové chyby)

## Literatura

- [1] Kostecký, J. – Kostecký, J. jr. – Pešek, I. – Šimek, J. – Švábenský, O. – Weigel, J. – Zeman, A.: Quasigeoids for the Territory of the Czech Republic and their Testing. Proceedings of the EGS G10 Symposium "Geodetic and Geodynamic Programmes of the CEI. Reports on Geodesy, Warsaw University of Technology, 2003, pp. 47–52.
- [2] Vátrt, V.: Přesnost kvazigeoidu určeného z geocentrických souřadnic bodů GPS a jejich normálních výšek. [Sborník], seminář "GPS a výšky", VUT v Brně, 1999.
- [3] Buchar, E.: Tížnicové odchylky a geoid v ČR. Praha, VTN 1951.
- [4] Burša, M. – Kanda, L. – Maňanová, R.: Tížnicové odchylky a výšky kvazigeoidu na území ČSSR. Praha, Edice VÚGTK 1968.
- [5] Švábenský, O. – Karský, G.: Summary Report of the Research Project Nr. 103/96/1648 "Methodology of Integrated Local Geodetic Networks", TU Brno, 1999.
- [6] Lichtenegger, H. – Rinner, K. – Sünkel, H.: Das Geoid in Österreich. Österreichische Kommission für die Internationale Erdmessung, Graz, 1983.
- [7] Moloděnský, M. S. – Eremejev, V. F. – Jurkina, M. I.: Metody izučenja vnešnego gravitacionnogo polja i figury Zemli. Trudy CNIIGAiK, Vyp. 131, 1960.
- [8] Machotka, R.: Určování astronomických souřadnic – metoda párů stejné výšky. Geodetický a kartografický obzor, 2005, č. 12, s. 258–264.

## Machotka, R.: Local Quasigeoid from Astronomical Measurements

This paper describes the method of the design of a quasigeoid model of a relatively small area - in the order of tens of kilometres square. The source of data includes astronomical vertical deviations and gravity anomalies. The model is made using the method of astronomical levelling applied to the quasigeoid. The benefit of the presented method is a high relative accuracy of the model - better than 1 cm. The model design technology further develops the method of fast measurement of astronomical vertical deviations with the total station suggested by the author of this article.

## Machotka, R.: Lokaler Quasigeoid aus astronomischen Messungen

Im Artikel wird eine Methode zur Schaffung eines Modells des Quasigeoids eines relativ kleinen Gebietes - mit einer Ausdehnung im Maßstab von Dutzenden Quadratkilometern - beschrieben. Datenquelle sind astronomische Schwerachsenabweichungen und Schwereanomalien. Das Modell wird mit der Methode der astronomischen Nivellierung in der Aufbereitung für einen Quasigeoid gebildet. Der Vorzug der vorgestellten Methode ist die hohe relative Genauigkeit des Modells - besser als 1 cm. Die Technologie der Bildung des Modells knüpft an die vom Autor entworfene Methode der schnellen Messung astronomischer Schwerachsenabweichungen mit Benutzung einer Totalstation an.

## Ověřování souboru totálních stanic TOPCON GPT-2006 – část 3

Ing. Martin ŠTRONER, Ph. D.  
Ing. Jitka SUCHÁ, Ph. D.  
doc. Ing. Jiří POSPÍŠIL, CSc.  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

**Ve třetí části článku je podrobně popsáno měření zenitových úhlů a šikmých délek včetně redukce z rozdílné výšky přístroje a závěrečné hodnocení, a to i statistické. Dále jsou zde porovnávána měření mezi jednotlivými přístroji Topcon GPT-2006 a také s měřením přístrojem Leica TC 1800.**

### Zenitové úhly

Ve třech skupinách byly změřeny zenitové úhly a vypočteny směrodatné odchylky  $\sigma_z$  z opakování měření charakterizující vnitřní přesnost pro jednotlivé totální stanice Topcon i pro kontrolní Leicu. Byly rovněž vypočteny směrodatné odchylky zenitového úhlu v jedné skupině pro opakované cílení a odečtení  $\sigma_{co}$  a jen pro opakované odečtení  $\sigma_o$  na bod č. 5. Dále byly vypočteny směrodatné odchylky charakterizující přesnost jednotlivých totálních stanic určené z výsledků měření konkrétního přístroje vzhledem k průměru vypočtenému z výsledků měření všech stanic  $\sigma_{ZTS}$ . Směrodatné odchylky byly počítány podle obecného vzorce

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}}, \quad v_i = l_p - l_i, \quad l_p = \frac{\sum l_i}{n}, \quad (1)$$

kde  $l_i$  jsou naměřené hodnoty,  $n$  je počet měření,  $l_p$  je průměrná hodnota,  $v_i$  jsou opravy měření.

Jako pokus bylo opakované odečtení nejprve registrováno současně s měřením délek, a poté bez měření (charakterizováno  $\sigma_{od}$  a  $\sigma_o$ ). Ve výsledcích se u přístrojů č. 1, 2, 4, 6, 7, 10 projevil zajímavý fenomén, kdy  $\sigma_{od}$  je výrazně větší (obvykle dvojnásobná) než  $\sigma_o$ .

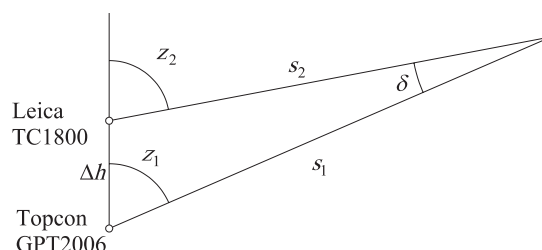
Tab. 1. Směrodatné odchylky měření zenitových úhlů

TS	$\sigma_z$ / mgon	$\sigma_{co}$ / mgon	$\sigma_o$ / mgon	$\sigma_{od}$ / mgon	$\sigma_{ZTS}$ / mgon
1	0,40	0,24	0,11	0,22	3,36
2	0,54	0,27	0,15	0,37	3,16
3	0,72	0,23	0,11	0,10	7,04
4	0,59	0,24	0,10	0,21	6,61
5	0,58	0,35	0,19	0,17	1,94
6	0,70	0,28	0,13	0,47	1,00
7	0,64	0,22	0,11	0,19	1,99
8	0,78	0,21	0,13	0,15	1,79
9	0,58	0,22	0,13	0,15	2,51
10	0,75	0,20	0,09	0,18	2,87
11	0,50	0,28	0,12	0,14	2,18
12	0,36	0,25	0,13	0,13	3,64
Leica	0,52	0,26	0,31	0,35	–

Vnitřní přesnosti přístrojů Topcon kolísají, přesto však velikosti  $\sigma_z$  zdaleka nedosahují nominální hodnoty 1,8 mgon uváděné výrobcem. Z tabulky 1 je vidět, že směrodatná odchylka odečtení zenitového úhlu je u některých totálních stanic závislá na tom, zda se „současně“ měří délka. Pokud se délka měří, pak se přesnost u totálních stanic č. 1, 2, 4, 6, 10 výrazně zhorší. Zdá se, že u těchto přístrojů dochází k nežádoucím jevům, které však nepoškozují přesnost přístroje.

### Redukce zenitových úhlů z rozdílné výšky přístroje

Protože výška točné osy přístrojů Topcon GPT-2006 i Leica TC1800 se liší přibližně o 20 mm, bylo nutné pro porovnání výsledků redukovat zenitové úhly o úhel  $\delta = z_2 - z_1$  (obr. 1), kde  $z_2$  je zenitový úhel měřený přístrojem Leica a  $z_1$  je zenitový úhel měřený přístrojem Topcon.



Obr. 1. Redukce měřeného zenitového úhlu

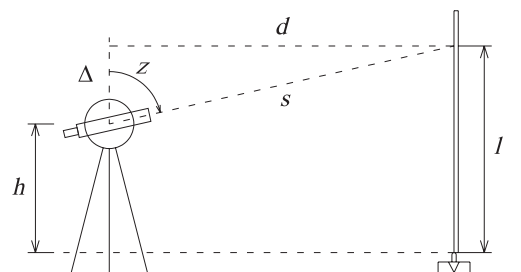
Vzorec pro určení velikosti redukce má pak tvar

$$\delta = \arcsin\left(\frac{\Delta h}{s_2} \cdot \sin(z_1)\right). \quad (2)$$

Cílem následujícího postupu je dostatečně přesné určení  $\Delta h$ , jehož hodnotu lze určit experimentem, např. podle [3]. Základem je postavení přístroje na stativu ve vzdálenosti 3 m až 5 m od nivelační latě pro přesnou nivelaci ( $s$  – půlcentimetrovým dělením) na podložce. Vzdálenost se volí podle možnosti zaostření přístroje co nejkratší, aby během experimentu nedošlo ke změně. Základem je určení vodorovné délky  $d$  od přístroje k nivelační lati. Pro určení výšky se pak měří zenitový úhel na takový dílek na nivelační lati, který je nejbližší k vodorovné záměře. Tento dílek se vybírá proto, aby přesnost měření délky ovlivnila co nejméně přesnost určení výšky přístroje.

Výška přístroje od nulové rysky nivelační latě se vypočítá podle vzorce

$$h = l - \frac{d}{\operatorname{tg}(z)}. \quad (3)$$



Obr. 2. Experiment pro určení rozdílu výšky přístrojů  $\Delta h$  – převýšení mezi vztažným bodem přístroje a cílovým dílkem nivelační latě,  $z$  – zenitový úhel,  $d$  – vodorovná vzdálenost přístroje a latě,  $s$  – šikmá vzdálenost přístroje a latě,  $h$  – výška přístroje vztahovaná k nulovému čtení na latě,  $l$  – čtení na latě na dílek, na který se měří zenitový úhel

Vodorovná vzdálenost se určí nezávisle měřením na hranol, postavený na nivelační podložce ve stejné vzdálenosti od přístroje jako stupnice nivelační latě, podle vzorce

$$d = s_d \cdot \sin(z_d), \quad (4)$$

kde  $s_d$  je šikmá délka a  $z_d$  zenitový úhel měřený na hranol. Rozdíl výšek  $\Delta h$  se pak určí jako rozdíl výšky jednotlivých přístrojů. Směrodatnou odchylku veličiny  $h$  lze určit aplikací zákona směrodatných odchylek

$$\sigma_d = \sqrt{\sigma_s^2 \cdot \sin^2(z_d) + s^2 \cdot \cos^2(z_d) \cdot \frac{\sigma_{zd}^2}{\rho^2}}, \quad (5)$$

$$\sigma_h = \sqrt{\sigma_l^2 + \frac{\sigma_d^2}{\text{tg}^2(z)} + \frac{d^2}{\sin^4(z)} \cdot \frac{\sigma_z^2}{\rho^2}}. \quad (6)$$

Ve vzorci (6) mají členy obsahující  $\sigma_s$  a  $\sigma_d$  v popsané konfiguraci vzhledem k výsledku zanedbatelnou velikost.

Pro určení rozdílu výšky přístrojů Topcon a přístroje Leica se délka měřila dvakrát nezávisle a zenitový úhel pro výpočet vodorovné délky v jedné skupině. Na dílek nivelační latě se měřilo ve dvou skupinách na horní i dolní rozhraní rysky, tedy přesnost lze pokládat za odpovídající čtyřem skupinám.

Za předpokladu, že přístroje Leica měří zenitové úhly v jedné skupině s přesností 0,4 mgon a přístroje Topcon s přesností 1,8 mgon, vodorovná vzdálenost přístroj/nivelační lať je 3,3 m, záměra je blízká vodorovné a délka je určena s přesností přibližně 2 mm, pak směrodatná odchylka  $\Delta h = 0,05$  mm. Na první pohled je to hodnota velmi přesná, avšak pokud se aplikuje zákon hromadění směrodatných odchylek na vzorec (2), pak směrodatná odchylka redukce zenitového úhlu  $\delta$  (7) dosahuje pro vzdálenost cíle 2,8 m (minimum ve zkušební poli) přibližně 1,35 mgon, což vzhledem k předpokládané přesnosti totální stanice 1,8 mgon měření příliš zatěžuje. Na vzdálenost 6,7 m (maximální vzdálenost v poli) je  $\sigma_\delta = 0,56$  mgon, což je ještě příliš velká hodnota.

$$\sigma_\delta = \sqrt{\frac{1}{\cos^2(\delta)} \left\{ \left( \frac{\sin(z_1)}{s_2} \right)^2 \cdot \sigma_{\Delta h}^2 + \left( \frac{\Delta h \cdot \sin(z_1)}{s_2} \right)^2 \cdot \sigma_{s_2}^2 + \left( \frac{\Delta h \cdot \cos(z_1)}{s_2} \right)^2 \cdot \frac{\sigma_{z_1}^2}{\rho^2} \right\}}. \quad (7)$$

Experimentem tak byla získána pouze  $\Delta h = 19,62$  mm pro kontrolu případné hrubé chyby v měření.

Další možností, jak určit  $\Delta h$ , je následující postup. Za předpokladu různých systematických chyb jednotlivých totálních stanic lze  $\Delta h$  určit jako průměrnou hodnotu ze všech měření na dvanáct podrobných bodů. Ze zjištěných hodnot se pak vypočítá  $\Delta h$  na každý bod ze vzorce (8) (značení odpovídá obr. 1)

$$\Delta h = \frac{\sin(z_2 - z_1)}{\sin(z_1)} \cdot s_2. \quad (8)$$

V tabulce 2 jsou uvedeny  $\Delta h_B$  získané jako průměr z měření všech totálních stanic na jednotlivý bod a  $\Delta h_{TS}$  určené z měření jedním přístrojem na dvanáct bodů pro jednotlivé totální stanice. Průměrná hodnota  $\Delta h_p$  má ze všech měření hodnotu 0,0192 m.

Tab. 2. Měření totálními stanicemi Topcon [m]

Bod	$\Delta h_B$	TS	$\Delta h_{TS}$	$d$
1	0,0195	1	0,0192	2,77
2	0,0190	2	0,0194	2,53
3	0,0197	3	0,0195	2,83
4	0,0188	4	0,0190	6,22
5	0,0194	5	0,0192	5,82
6	0,0192	6	0,0192	6,19
7	0,0191	7	0,0193	3,92
8	0,0191	8	0,0195	2,53
9	0,0191	9	0,0193	4,35
10	0,0190	10	0,0191	6,29
11	0,0193	11	0,0191	5,99
12	0,0195	12	0,0191	6,48

Nepřesnost určení  $\Delta h$  je velká, rozptyl  $\Delta h_B$  lze popsat směrodatnou odchylkou  $\sigma_{\Delta h_B} = 0,0003$  m, rozptyl  $\Delta h_{TS}$  směrodatnou odchylkou  $\sigma_{\Delta h_{TS}} = 0,0002$  m. Tyto dvě hodnoty ve vzájemném vztahu by nasvědčovaly spíše rozdílným mezi jednotlivými totálními stanicemi než systematickým chybám z konfigurace měření. Pokud se měřené zenitové úhly opraví o průměrnou hodnotu  $\Delta h_p$ , pak průměrná směrodatná odchylka měření zenitového úhlu ve třech skupinách  $\sigma_z = 4,57$  mgon. Pokud se  $\sigma_z$  vypočítala ze zenitových úhlů při zavedení opravy  $\Delta h$  pro jednotlivé body nebo jednotlivé totální stanice, nedošlo ke snížení této hodnoty. Přesnost zenitových úhlů vzhledem k Leice nebyla proto hodnocena vzhledem k tomu, že  $\Delta h$  nelze určit s dostatečnou přesností v důsledku velmi krátké vzdálenosti jednotlivých cílů. Tato problematika bude pravděpodobně řešena v rámci dalších experimentů.

### Hodnocení

Z výsledků tab. 1 vyplývají velké směrodatné odchylky  $\sigma_{ZTS}$  charakterizující přesnost jednotlivých stanic určenou z výsledků měření konkrétního přístroje vzhledem k průměru vypočtenému z výsledků měření všech totálních stanic. Tyto hodnoty napovídají, že se v měření zřejmě projevil vliv systematických chyb. Aby to bylo možné ověřit, byl proveden výpočet průměrných oprav pro každou totální stanici  $v_{z\phi 1}$ , určený jako průměr z výsledků měření na všech dvanáct bodů. Vždy byl určen rozdíl zenitového úhlu naměřený pro jednotlivý směr jednou totální stanicí (třikrát pro každou skupinu) proti průměrné hodnotě získané z měření

všech dvanácti stanic na tento bod (tedy  $v_{z\varnothing 1}$  je určen jako průměr z 36 oprav). Dále byla stanovena průměrná oprava pro každou totální stanic  $v_{z\varnothing 2}$  jako průměr všech 36 oprav, ale v absolutních hodnotách. Nakonec se vypočetl jejich rozdíl v absolutní hodnotě  $|\Delta|$ .

Tab. 3. Určení vlivu systematických chyb při měření zenitových úhlů [mgon]

TS	$v_{z\varnothing 1}$	$v_{z\varnothing 2}$	$ \Delta $
1	3,18	3,18	0,00
2	-2,44	2,62	-0,18
3	6,81	6,81	0,00
4	-5,54	5,54	0,00
5	1,70	1,70	0,00
6	-0,27	0,83	-0,56
7	-1,51	1,70	-0,19
8	-1,47	1,47	0,00
9	-2,17	2,17	0,00
10	-2,37	2,41	-0,04
11	0,98	1,59	-0,61
12	3,10	3,10	0,00

Vzhledem k tomu, že v mnoha případech je  $|\Delta|$  rovno nule, nebo se této hodnotě přibližuje, lze usuzovat na výskyt systematických chyb. Tyto systematické chyby v měření jsou zřejmě dány různou výškou točné osy dalekohledu u jednotlivých přístrojů. Pro představu čtenáře se excentricita točné osy 0,2 mm projeví na vzdálenost 6,5 m (maximální vzdálenost našeho měření) změnou úhlu o 2,0 mgon. Jde o vysokou hodnotu, a tedy další ověřování totálních stanic vůči sobě bylo nemožné.

### Šikmé délky

Následující text využívá značení veličin z obr. 1. Směrodatné odchylky  $\sigma_{do}$ , vyjadřující vnitřní přesnost totálních stanic, byly vypočteny z padesátkrát opakovaného odečtení vzdálenosti. Směrodatné odchylky  $\sigma_d$  jsme určili z měření délek ve třech skupinách na všech dvanáct podrobných bodů. Dále byla určena přesnost jednotlivých totálních stanic Topcon proti průměru ze všech  $\sigma_{dTS}$  a také přesnost jed-

Tab. 4. Směrodatné odchylky měření délek [m]

TS	$\sigma_{do}$	$\sigma_d$	$\sigma_{dTS}$	$\sigma_{dTSL}$	$\sigma_{dTSLR}$
1.	0,000 6	0,004 4	0,005 1	0,009 1	0,008 0
2.	0,000 6	0,003 6	0,008 2	0,011 2	0,010 0
3.	0,000 6	0,003 6	0,003 6	0,007 7	0,006 1
4.	0,000 6	0,003 7	0,003 6	0,007 9	0,006 4
5.	0,000 9	0,004 1	0,004 0	0,007 3	0,005 5
6.	0,000 7	0,004 2	0,004 0	0,007 2	0,005 6
7.	0,000 9	0,003 7	0,004 3	0,007 4	0,005 4
8.	0,000 6	0,004 1	0,003 8	0,007 5	0,005 9
9.	0,000 7	0,004 1	0,003 8	0,007 6	0,006 0
10.	0,000 6	0,004 3	0,004 3	0,007 6	0,006 3
11.	0,000 6	0,004 0	0,004 0	0,007 3	0,005 7
12.	0,000 6	0,004 0	0,003 7	0,007 7	0,006 1
Leica	0,000 5	0,000 8	-	-	-

notlivých totálních stanic Topcon proti Leice  $\sigma_{dTSL}$ . Průměrné hodnoty (tab. 4), charakterizující celý soubor totálních stanic Topcon, mají velikost  $\sigma_{dT\varnothing} = 0,0080$  m,  $\sigma_{dTSL\varnothing} = 0,0065$  m.

Pro porovnání délek určených přístrojem Leica vůči přístrojům Topcon bylo třeba redukovat délky měřené přístrojem Leica, a to vzhledem k rozdílné výšce převýšení přístroje ( $\sigma_{dTSLR}$  - tab. 4). Délka  $s_1$ , přepočtená ze šikmé délky Leica  $s_2$ , se vypočítá podle vzorce

$$s_1 = s_2 \cdot \frac{\sin(z_2)}{\sin(z_1)} \quad (9)$$

Pro posouzení přesnosti a vhodnosti použitého postupu byly určeny přepočtené hodnoty délek, z nich rozdíl průměrných délek  $\Delta s = (s_2 - s_1)$ , a také směrodatné odchylky přepočtené délek

$$\sigma_{s1}^2 = \sigma_2^2 \cdot \left( \frac{\sin(z_2)}{\sin(z_1)} \right)^2 + \frac{\sigma_{z2}^2}{\rho^2} \cdot \left( \frac{\cos(z_2)}{\sin(z_1)} \cdot s_2 \right)^2 + \frac{\sigma_{z1}^2}{\rho^2} \cdot \left( \frac{s_2 \cdot \sin(z_2) \cdot \cos(z_1)}{\sin^2(z_1)} \right)^2 \quad (10)$$

Vliv redukce je uveden v tab. 5, pro názornost je v posledním sloupci uveden i průměrný zenitový úhel určený z výsledků měření všemi totálními stanicemi na jednotlivé body.

Tab. 5. Redukce měřených šikmých délek

Bod	$s_2$	$s_1$	$\Delta s_{2-1}$	$\sigma_{s1}$	$z_2$
	[m]				[gon]
1.	2,844 5	2,836 9	0,007 6	0,0014 1	125,981 3
2.	2,603 0	2,603 0	0,000 0	0,0014 1	100,138 8
3.	2,913 5	2,922 4	-0,008 9	0,0014 2	70,101 8
4.	6,396 0	6,395 8	0,000 2	0,0014 1	100,741 2
5.	5,985 0	5,989 0	-0,004 0	0,0014 2	86,688 0
6.	6,371 0	6,367 8	0,003 2	0,0014 1	110,635 9
7.	4,038 0	4,033 0	0,005 0	0,0014 1	116,701 3
8.	2,601 0	2,601 1	-0,000 1	0,0014 1	100,006 7
9.	4,479 0	4,484 5	-0,005 5	0,0014 2	81,776 6
10.	6,473 5	6,474 7	-0,001 2	0,0014 1	96,152 1
11.	6,164 0	6,160 4	0,003 6	0,0014 1	112,334 9
12.	6,666 5	6,671 0	-0,004 5	0,0014 2	84,795 9

Vzhledem k výškovému rozdílu 19,6 mm mezi Leicou a Topconem se jeví oprava jako zbytečná, přesto byla zavedena a ve výsledné směrodatné odchylce se tak projevila. Směrodatná odchylka měřené délky 1,41 mm se tím v podstatě nezměnila.

### Statistické testování

V této fázi se určovalo, zda jednotlivé totální stanice patří z hlediska přesnosti měření délek do základního souboru s normálním rozdělením o směrodatné odchylce odpovídající údajům výrobce. Byly proto určeny výběrové směrodatné odchylky  $\sigma_{dTSLR}$  (tab. 4) z porovnání výsledků měře-



ni jednotlivými přístroji Topcon proti etalonu, za který byly brány výsledky z měření prováděných výrazně přesnějším přístrojem Leica. Dále je známa směrodatná odchylka daná výrobcem  $\sigma_{dzákl.} = 10$  mm pro délky v rozmezí 3 až 25 m (délky proměřované v rámci experimentu patří do tohoto rozsahu). Nulová hypotéza měla tvar  $\sigma_{dTSLR} = \sigma_{dzákl.}$ . Počet nadbytečných veličin měl velikost  $n' = 24$  (12 délek ve dvou skupinách) a test byl proveden jako oboustranný.

Testována je hodnota  $\tau_2$ , pro kterou platí vztah

$$\tau_2 = \frac{\sigma_{dTSLR}}{\sigma_{dzákl.}} \quad (11)$$

Tabulka 6 obsahuje kritické hodnoty  $\tau_\alpha$  pro hladinu významnosti  $\alpha = P(\tau > \tau_\alpha)$  a tab. 7 jednotlivé hodnoty  $\tau_2$ . Jestliže  $\tau_2$  překračuje kritickou hranici  $\tau_\alpha$ , znamená to, že měření v daném souboru neodpovídají přesnosti základní směrodatné odchylce  $\sigma_{dzákl.}$ , tj. měření byla provedena s méně kvalitním přístrojem nebo nedostatečně pečlivě. Při použití rizika  $\alpha = 0,10$ ,  $\alpha = 0,05$  i  $\alpha = 0,01$  nepřekročí ověřovací kritérium žádná hodnota  $\tau_2$ , z čehož vyplývá, že nezamítáme nulovou hypotézu a deklarovaná přesnost výrobcem je tedy splněna u všech dvanácti totálních stanic Topcon.

Tab. 6. Kritické hodnoty  $\tau_\alpha$  pro  $n' = 24$

$\alpha$	0,1	0,05	0,01
$\tau_\alpha$	1,17	1,23	1,45

Tab. 7. Ověřované hodnoty  $\tau_2$

TC	1	2	3	4	5	6
$\tau_2$	0,8	1	0,61	0,64	0,55	0,56
TC	7	8	9	10	11	12
$\tau_2$	0,54	0,59	0,6	0,63	0,57	0,61

## Závěr

Při hodnocení přesnosti zenitových úhlů se projevil značný vliv systematických chyb z rozdílné výšky klopné osy dalekohledu. Znemožnil statistické testování, avšak nesnižuje kvalitu sledovaných totálních stanic pro běžné stavební práce, neboť se projeví pouze při měření na velmi krátké vzdálenosti. Bezhranolové měření délek ukázalo u všech stanic nominální přesnost.

Z hodnocení tohoto rozsáhlého experimentu vyplynuly statisticky významné rozdíly v přesnosti měření jednotlivých totálních stanic. Přístroje jsou při měření ve cvičeních předmětu Stavební geodézie značně zatěžovány. Výsledně odlišné směrodatné odchylky mohou být ovlivněny poněkud náročným způsobem využívání. Studenti nemají pro zacházení s tímto typem přístrojů průpravu a dva roky intenzivní

práce již zanechaly na přístrojích stopy, což se projevilo při statistickém testování měření vodorovných směrů. Vzhledem k tomu, že maximální možná vzdálenost při ověřování v laboratoři byla omezena, další sledování bude probíhat v terénu. Přístroje budou umístěny na pilíři opatřeném nucenou centrací, minimální délka záměry bude přibližně 50 m.

Článek vznikl v rámci záměru VZ 1 – CEZ MSM 684 077 000 1 „Spolehlivost, optimalizace a trvanlivost stavebních materiálů a konstrukcí“, dílčí část „Geodetické monitorování k zajištění spolehlivosti staveb“.

## Literatura

- [1] Firemní literatura k přístroji Topcon GPT-2006.
- [2] Firemní literatura k přístroji Leica TC 1800.
- [3] Bajer, M. – Procházka, J.: Inženýrská geodézie 10, 20 – Návod ke cvičením. Praha, Vydavatelství ČVUT 2001.
- [4] Böhm, J. – Radouch, V. – Hampacher, M.: Teorie chyb a vyrovnávací počet. Praha, Geodetický a kartografický podnik 1990.
- [5] Štroner, M. – Suchá, J. – Pospíšil, J.: Ověřování vlastností totálních stanic TOPCON GPT-2006 – část 1. Stavební obzor, 16, 2007, č. 2, s. 45–48.
- [6] Štroner, M. – Suchá, J. – Pospíšil, J.: Ověřování vlastností totálních stanic TOPCON GPT-2006 – část 2. Stavební obzor, 16, 2007, č. 3, s. 85–88.

## Štroner, M. – Suchá, J. – Pospíšil, J.: Verification of the Set of Total Stations TOPCON GPT-2006 – Part 3

The third section of the article details the measurement of zenith angles and slope lengths; it accounts for the reduction from the differing elevation of the apparatus and the final assessment, including statistical evaluation. Further, the article compares measurements made with individual Topcon GPT-2006 devices and the Leica TC 1800 instrument.

## Štroner, M. – Suchá, J. – Pospíšil, J.: Überprüfung einer Gruppierung von Totalstationen TOPCON GPT-2006 – Teil 3

Im dritten Teil des Artikels wird die Messung von Zenitwinkeln und schrägen Längen einschließlich der Reduktion aus der unterschiedlichen Höhe des Instruments und der Abschlussbewertung, und zwar auch der statistischen, ausführlich beschrieben. Des Weiteren werden hier die Messungen zwischen den einzelnen Instrumenten der Topcon GPT-2006 und auch die Messungen mit dem Instrument Leica TC 1800 verglichen.

**techtex**til  
symposium

11. – 14. června 2007, Frankfurt

<http://techtex.til.messefrankfurt.com>



# • ČVUT



## Master of Business Administration

Jedním z nejdéle působících poskytovatelů postgraduálního studijního programu MBA (Master of Business Administration) v České republice je Masarykův ústav vyšších studií ČVUT. Program je poskytován ve spolupráci s Sheffield Hallam University. Studium probíhá podle britských pravidel a je uzavřeno diplomem uděleným britským partnerem. Na českém trhu má dobré jméno díky příznivému poměru ceny a kvality. Studium je určeno absolventům vysokých škol, kteří mají alespoň tříletou manažerskou praxi s perspektivou dosáhnout vyššího postavení. V souladu s kritérii Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR je součástí systému celoživotního vzdělávání a dalšího profesionálního vývoje.



Masarykův ústav vyšších studií je jedním ze zakládajících členů neziskového sdružení České asociace škol MBA (CAMBAS), jejímž hlavním posláním je zajišťovat, udržovat a rozvíjet vysokou úroveň studia včetně zavedení systému akreditací v České republice. V lednu 1998 se konala ustavující schůze, dalšími zakládajícími členy byly VŠE Praha, reprezentovaná Pražskou mezinárodní manažerskou

školou, a VUT Brno prostřednictvím Business School na Fakultě podnikatelské. Asociace má sídlo v Centru doktorských a manažerských studií VŠE Praha. Zakládající školy mají dnes své programy studia MBA akreditovány zahraničními partnery z Velké Británie – Manchester Metropolitan University, Sheffield Hallam University a Nottingham Trent University. Postupně byli přijati další členové, a to Brno International Business School, Vysoká škola báňská TU–Ostrava, Ekonomická fakulta, a Liverpool John Moores University, Czech Management Institute manažerské fakulty ESMA BARCELONA a CMC Graduate School of Business, o. p. s., Čelákovice. Členství je přístupné i dalším školám v ČR, které splní podmínky akreditace alespoň u jednoho ze svých programů MBA. Založení asociace bylo akceptováno Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy ČR a uznáno European Foundation of Management Development jako akreditační orgán v České republice pro projekty MBA.

Akreditační kritéria CAMBAS jsou zaměřena na úroveň výukových programů, učitelů a přijímacích zkoušek, stejně tak na učební prostředí, např. vybavení učeben, poskytování studijních materiálů a jiných učebních pomůcek. Pozornost je věnována i umísťování absolventů a jejich kariéře.

Masarykův ústav vyšších studií ČVUT je dále jediným poskytovatelem postgraduálního studijního programu MSc. in HRM (Master of Science in Human Resources Management) v České republice. Program je obdobou manažerského studia MBA, ale zaměřuje se výrazně na řízení lidských zdrojů. I pro toto studium platí, že probíhá podle britských pravidel a je uzavřeno diplomem uděleným britským partnerem.

[www.mba.cvut.cz](http://www.mba.cvut.cz)

# EUROCONSTRUCT

15. června 2007

Hotel Olympik, Praha

Dobrovolné sdružení evropské sítě soukromých i polostátních výzkumně prognostických ústavů EUROCONSTRUCT bylo založeno v roce 1975 k prohloubení analyticko-prognostické činnosti ve stavebnictví. Základem jeho činnosti jsou pravidelné půlroční konference, na kterých se vyhodnocuje úroveň a vývoj stavebnictví za předcházející tři roky a odhaduje činnost na následující období. V současné době sdružuje 19 institucí z 15 zemí západní a 4 zemí střední a východní Evropy. Stavebnictví ČSFR vstoupilo do této sítě již v roce 1991 prostřednictvím ÚEOS Bratislava. Od roku 1997 zastupuje české stavebnictví ÚRS PRAHA, a. s., a stavebnictví Slovenska ÚEOS-Komercia Bratislava, a. s.

Účastníci 63. zasedání, které se uskuteční v polovině června v Praze, budou jednat především o dvou hlavních tématech, prvním bude **Evropské stavebnictví 2007 až 2009**, druhým „**Rostoucí význam životního cyklu stavby**“.

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

## • projekty

### Nové ústředí ČSOB

Největší administrativní budova v České republice byla dokončena. Nové sídlo ČSOB je zasazeno do prostoru Radlického údolí v Praze 5. Historický ráz lokality byl zachován, rekonstruovala se i původní kaplička Jana z Nepomuku a zůstaly i cenné stromy. Budova pro 2 500 zaměstnanců přispívá ke znovuoživení veřejného prostoru, známého jako Radlické náměstí.



Objekt se rozkládá na ploše 16 317 m<sup>2</sup>. Půdorys má zhruba tvar obdélníku s rozměry 220 x 75 m. Celek tvoří šest pavilonů, mezi kterými jsou tři zasklená atria 24 x 24 m a dva dvory o rozměrech 16 x 24 m. V suterénních prostorech je 494 parkovacích míst a další místa jsou v okolí. Střecha

budovy je pokryta vrstvou zeminy tloušťky více než 1,6 m, osazenou trávou a vzrostlými stromky. Na fasádách jsou umístěny systémy pro uchycení popínavých rostlin, což umožní splynutí tak rozsáhlé stavby s okolní přírodou. V objektu jsou použity ekologicky šetrné technologie, jako je energeticky úsporné osvětlení a automatizovaná správa základních funkcí, která umožní dokonalý servis a optimalizaci nákladů.

Pod pozemkem, na němž nová stavba stojí, prochází autobus trasy B pražského metra. V hloubce pouhých několika metrů se nachází i stanice Radlická a její technické zázemí. Proto byl autobus opatřen betonovými stěnami tloušťky 0,60 m, na které stavbaři instalovali 36 nosníků, každý o hmotnosti 63 t. Tato unikátní konstrukce eliminuje negativní vlivy provozu metra a vytváří podporu pro část železobetonového skeletu objektu.

Podle amerického certifikačního systému Leadership in Energy and Environmental Design, který klasifikuje šetrnost budovy k životnímu prostředí a je řízený U. S. Green Building Council, byl objekt označen za jeden z ekologicky nejšetrnějších bankovních domů v Evropě. Hodnocení má čtyři stupně (certifikovaný, stříbrný, zlatý a platinový), nové ústředí ČSOB dosáhlo na stupeň stříbrný. Tuto ekologicky vstřícnou budovu v hodnotě 2,95 mld. Kč budovala společnost Skanska CZ od února 2005 do prosince 2006. Autorem projektu je Josef Pleskot.

*Tisková informace*

## • software

### Co je digitální úschovna?

V každodenní činnosti odborníků se často stává, že potřebují velmi rychle doručit spolupracovníkům texty s mnoha obrázky a velkým objemem dat. Přesáhne-li však velikost zprávy kapacitu e-mailové schránky, zprávu je nutné rozdělit, popř. ji nelze odeslat. Práci může usnadnit digitální úschovna, která slouží pro dočasné uschování souborů a jejich následné vyzvednutí. Obsahem souborů mohou být například dokumenty DOC, obrázky, archivy programů či jakákoli jiná objemná data. Po uložení souboru je na zadanou elektronickou adresu příjemce zaslán informační e-mail s návodem na jeho vyzvednutí. K použití úschovny je potřeba pouze prohlížeč. Při zasílání větších objemů dat je proto použití úschovny výrazně výhodnější a pohodlnější než elektronická pošta či specializované servery ftp/www.

Mezi nejčastěji používané způsoby předávání souborů či dokumentů patří jejich zasílání elektronickou poštou ve formě příloh (attachments), a to zejména z důvodů jednoduchosti a podpory téměř všemi poštovními programy. Tento způsob posílání dat má však jednu zásadní nevýhodu, a to nutnost použití přepravního kódování dat, které zvýší jejich objem zhruba o třetinu. Tento podstatný růst objemu zasílané přílohy znamená růst nákladů na odeslání dat (vyšší požadavky na kapacitu připojení, delší doba odeslání). Přepravnímu kódování dat, a tím i nárůstu jejich objemu, lze předejít použitím osmibitových přenosových služeb, například ftp

nebo www. K tomu je nutné zřídit odpovídající server ftp nebo www a nastavit odesílateli i příjemci přístupová práva. To může být značně pracné či nepraktické – do hry vstupují otázky bezpečnosti přístupu, administrace přístupových jmen a mnohé další záležitosti.

Úschovna používá pro přenos dat na server i z něj protokol http, který dokáže přenášet binární data bez problémů. Díky tomuto protokolu odpadá nutnost přepravního kódování. Odesílatel i příjemce tak přenáší pouze takový objem dat, který je ve skutečnosti vkládán, zvýšený pouze o minimální režii serveru www.

Používání je do odvolání bezplatné. Data jsou uložena nejvýše 14 dnů. Zásilka může být zaslána až pěti příjemcům, podmínkou je, aby si všichni příjemci vyzvedli zasilku do 24 hodin od prvního vyzvednutí libovolným příjemcem, každou z příloh je možné stáhnout pouze pětkrát. Počet vyzvednutí je možné sledovat u každého přiloženého souboru. Maximální objem dat uložených v jedné relaci nesmí přesáhnout 50 MB. V případě, že bude limit překročen, bude zasilka automatickým skriptem nenávratně smazána. Je zakázáno ukládat nelegální software, seznamy kreditních karet a ostatní data, jejichž povaha je v rozporu se zákony České republiky či dalších zúčastněných států. Provozovatel služby si vyhrazuje právo takové soubory smazat a/nebo použít jako důkazní materiál v případném soudním sporu.

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

## • zprávy

### Optimalizace traťového úseku Zábřeh na Moravě – Krasíkov

Koncem března byla v Zábřehu na Moravě ukončena optimalizace traťového úseku Zábřeh – Krasíkov. Díky ní budou moci vlaky jezdit z Prahy do Ostravy až o šest minut rychleji, protože nová trať je téměř o 1,7 km kratší než původní. Úsek se nachází na odbočné větvi II. tranzitního železničního koridoru Vídeň – Varšava, zajišťující v úseku Přerov – Česká Třebová propojení s I. tranzitním železničním koridorem, spojujícím Vídeň s Berlínem. Projekt za 4,363 mld. Kč byl financován jak z prostředků Státního fondu dopravní infrastruktury, tak spolufinancován ve výši 60 % Evropskou unií z Fondu ISPA a později z Fondu soudržnosti.

Před zahájením optimalizace umožňoval stav trati maximální rychlost 100 km/h s lokálním omezením na 80 km/h, nyní zde budou moci jezdit vlaky s naklápěcími skříněmi rychlostí až 160 km/h. Optimalizovaný úsek začíná v km 26,650 a končí v km 41,086. Kromě modernizace železniční trati byla součástí stavby rekonstrukce železničních stanic Hoštejn, Zábřeh na Moravě, zastávky Lupěné, dvě přeložky trati v délce 1 800 m a 2 570 m a vybudování tunelů Malá Huba, Hněvkov I a Hněvkov II v souhrnné délce 966 m. Byl položen nový železniční svršek typu UIC 60 na železobetonových pražcích s pružným bezpodkladnicovým upevněním, snižujícím vibrace. V celém úseku byl sanován železniční spodek včetně nových konstrukčních vrstev a odvodnění. Zrekonstruováno bylo 27 mostů a dva propustky, postaveny byly tři nové opěrné a dvě zárubní zdi, další dvě zárubní zdi byly sanovány, vybudován nový podchod a nový silniční nadjezd v železniční stanici Zábřeh na Moravě. Protože úsek vede částečně novou trasou, bylo šest mostních objektů na opuštěných úsecích trati demontováno a odstraněno s výjimkou části některých z nich, plánovaných pro cyklistické stezky. Nové směrové a výškové vedení trasy drážního tělesa vyvolalo úpravy stávajících komunikací.

V Zábřehu bylo vybudováno nové ostrovní nástupiště, stávající nástupiště bylo rekonstruováno, přičemž přístup na obě je podchodem. Pro osoby s omezenou schopností pohybu jsou k dispozici samoobslužné výtahy. V železniční stanici Hoštejn byla dosavadní úrovňová nástupiště zrušena a nová mimoúrovňová umístěna o 600 m blíže k obci. Bezba-

riárový přístup je po rampách vedoucích do prostoru nově rekonstruovaného železničního mostu. V zastávce Lupěné jsou rovněž vybudována mimoúrovňová nástupiště a přístup je po chodnících s navazujícími rampami.

Celý úsek Zábřeh na Moravě – Krasíkov má nové trakční vedení a moderní obousměrné traťové zabezpečovací zařízení. Na základě hygienických měření byly navrženy a vybudovány protihlukové stěny v délce téměř 3 km a u 39 objektů byla realizována individuální protihluková opatření.



Optimalizace trvala necelé tři roky. Investorem byla Správa železniční dopravní cesty, zhotovitelem Sdružení firem „TÚ Zábřeh – Krasíkov“, jehož členy byly společnosti Stavby silnic a železnic, Subterra a Metrostav. Projekt zpracoval SUDOP Praha. Po dokončení modernizace celého úseku mezi Přerovem a Českou Třebovou pojedou vlaky tuto trasu o 17 minut rychleji. Modernizace zvýší nejen cestovní rychlost vlaků, ale i bezpečnost železničního provozu v tomto úseku.

*Tisková informace*

## Průmyslové dědictví kulturním potenciálem udržitelného rozvoje

mezinárodní konference

19. – 20. září 2007

Ekotechnické muzeum – Stará čistírna odpadních vod, Praha–Bubeneč

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

## • projekty

### Promenada Liberec



Počátkem března představily holandská společnost ECC a Labyrint CZ, s. r. o., projekt výstavby nákupního a zábavního centra Promenada Liberec, které vznikne na křižovatce dvou hlavních ulic Jablonecká a Na Bídě v těsné blízkosti historického centra města. Svou polohou patří toto území, známé jako Textilana, k nejatraktivnějším volným plochám. Demolice známé textilky proběhla již před několika lety, avšak označení se používá dodnes.



V moderním nákupním centru o rozloze cca 40 tis. m<sup>2</sup> budou moci zákazníci nakupovat ve 115 obchodech a strávit příjemné chvíle ve 20 restauracích a kavárnách. Architektonicky je budova koncipována jako ledově křišťálový objekt. Použité prvky budou obsahovat průsvitné sklo, barevné osvětlení a pružné látkové konstrukce. Hlavním nájemcem bude supermarket v přízemí, ostatní plochu přízemí obsadí obchodní galerie. V prvním patře najde zákazník kromě obchodů i restaurace a kavárny. Unikátním prvkem bude vnitřní ledové kluziště s celoročním provozem v přízemí budovy. Promenada bude velmi dobře dostupná jak městskou hromadnou dopravou, tak automobilovou dopravou. Návštěvníkům bude k dispozici celkem 1 200 parkovacích míst.

Projekt výstavby zahrnuje přeložku tramvajové trasy, kterou v úseku obchodního centra zajistí v délce 810 m na vlastní náklady investor. Přeložení tramvajové linky spojující Liberec s Jabloncem nad Nisou je výsledkem jednání investora se zástupci města. Pro pěší bude vybudována lávka spojující nedaleké obytné čtvrti s obchodním centrem. V současné době se připravuje projektová dokumentace pro stavební povolení. Své první návštěvníky přivítá Promenada na podzim roku 2008.

*Tisková informace*

**Hošek, Z.**

### POŽÁRNÍ BEZPEČNOST STAVEB

*Nakladatelství ARCH, 2006, 128 s., cena 195 Kč*

Publikace podává přehled o vývoji a principech v oboru požární bezpečnosti staveb, jakož i o postupech při navrhování. Důraz je kladen zejména na získání uceleného obrazu o tomto významném inženýrském oboru. Je určena pro projektanty, inženýry, techniky působící v oboru i pro širokou veřejnost.

## • technologie

### Recyklace asfaltové vozovky

Doslova před očima vzniká ze staré rozbité silnice nová. Za hodinu je to až 150 m, za den pak 1,5 km nové vozovky. Na stavbu se přitom nedovází nový asfalt, dopravní uzavírky se zkracují na minimum, náklady klesají, životní prostředí netrpí. To vše díky unikátní technologii recyklace asfaltu za studena. Jedno z prvních praktických využití předvedli v září silničáři společnosti Skanska DS ve Slušovicích, kde během dvou dnů vyměnili povrch čtyřproudé silnice v délce 800 m.

V praxi vypadá recyklace silnice jako neobvyklý vlak. Po staré silnici se pohybuje několik spřažených strojů těsně za sebou. Fréza odstraní původní asfaltovou vrstvu, speciální stroj tuto směs rozemele, roztrhává a promíchá s přísadami. Finišer ji pak znovu položí jako novou asfaltovou vozovku. Technologie pocházející z USA se začíná prosazovat i v Evropě. Je vhodná i pro některé silnice druhých a třetích tříd, které jsou často ve špatném stavu a nelze je dlouhodobě užívat.



Soupravu strojů pro recyklaci asfaltu za studena tvoří silniční fréza, stroj CRMX2, sběrač směsi, finišer, popř. grader, a těžké hutnicí válce. Součástí soupravy jsou zásobníkové cisterny na přísady. Motorem je silniční fréza o výkonu 950 koňských sil, která celou sestavu táhne a umožňuje frézování do hloubky až 350 mm. Šířku frézovaného pásu lze nastavit na 2,5 nebo 3,8 m. Srdcem recyklačního vlaku je stroj CRMX2, který se stará o výrobu homogenní asfaltové směsi. Velikost zrn je přitom omezená, rovnoměrnou křivku zrnitosti recyklovaného kameniva zajišťuje síťový třídič, rotační drtič a dvouhřídelový lopatkový mísič. Průměrný výkon stroje je 400 t/h. Dávkování pojiv řídí počítačová jednotka na základě vstupních údajů a pásové váhy. Přísady se do směsi dodávají přes frézu ve formě suspenze nebo přímým dávkováním do suché směsi. V případě použití cementového mléka zajišťují dopravu z betonáren v blízkosti stavby cisterny s nuceným mícháním. Ze zásobníku stroje CRMX2 putuje směs do mísiče, odkud vypadáva v podélné hrázce na zem, sběrač ji podá do násypky finišeru a ten ji pak ve správném sklonu položí ke zhutnění těžkými vibračními válci. Povrch recyklované vrstvy se uzavře dvouvrstvým nátěrem s podrcením, popř. mikrokobercem, nebo se překryje hutněnými asfaltovými vrstvami.

*Tisková informace*

## • dizertace



### **Aplikace geografických informačních systémů ve veřejné správě**

*Ing. Jiří Borovka*

V první části práce se řeší využití GIS na úrovni malých sídel. Ve druhé části je navržen model pro jednotné zpracování územně plánovacích podkladů v informačních systémech obcí či měst. V práci ověřené na vybraných obcích Českobudějovického kraje se uvádějí konkrétní náměty pro možnost aplikace databází na úrovni správy pro potřeby územního plánování.

### **Limity využití území v podmínkách udržitelného rozvoje**

*Ing. arch. Marek Janatka*

Dizertace porovnává přístup k řešení problematiky určování limitů využití území v ČR a v zahraničí a kriticky upozorňuje na slabá místa současné legislativy. Navrhují se opatření ke zlepšení situace.

### **Ekologické, funkční, urbanistické a architektonické problémy brownfieldů v malých městech**

*Ing. Zuzana Kramářová*

Práce se zabývá využitím brownfields v malých městech. Na základě průzkumu, popisu a hodnocení těchto ploch v pěti sídlech Královéhradeckého kraje vznikla metodika identifikace v území a jejich klasifikace. Autorka navrhla obecné principy pro jejich revitalizaci.

## **INDUSTRIÁLNÍ STOPY 2007**

17. – 23. září 2007

**Ekotechnické muzeum, Praha-Bubeneč**

Výzkumné centrum průmyslového dědictví ČVUT v Praze a Kolegium pro technické památky ČSSI a ČKAIT pořádá ve spolupráci s Českým národním komitétem ICOMOS, Národním památkovým ústavem, Národním technickým muzeem a Akademií múzických umění v Praze v rámci oslav k 300. výročí založení ČVUT již čtvrté bienále Industriální stopy.

Na přípravě a zajištění doprovodných akcí se podílí řada dalších organizací a institucí v jednotlivých městech, podpořil je i Visegrádský fond. Záštitu převzali předseda Senátu České republiky a prezident Hospodářské komory České republiky.

Bienále představuje platformu pro výměnu názorů mezi odborníky různých profesí i pro publikování a popularizaci tématu v širší veřejnosti. Smyslem doprovodných konferencí, výstav a kulturních akcí je ukázat možnosti a úskalí nového využití industriálních staveb a areálů, ale v jejich kontextu také formulování obecnějších témat památkové péče, architektonické tvorby a umění, způsobu života.

Tradičním místem doprovodné konference je unikátní objekt bývalé čistírny odpadních vod, další akce budou probíhat v historickém centru Prahy i v nově využitých industriálních objektech na předměstí Kladna, Liberce a Ostravy. Konference bude probíhat v češtině a angličtině. Přednesené referáty budou publikovány ve sborníku.

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

## • projekty

### **D8 EUROPEAN PARK**

Poptávka po moderních skladových prostorách roste. Jen ve třetím čtvrtletí roku 2006 bylo pronajato přes 150 tis. m<sup>2</sup> skladovacích ploch, což představuje meziroční nárůst o 37 %.



Na tuto situaci reflektuje společnost National Technological Park, s. r. o., joint-venture mezinárodních společností AFI EUROPE a ProDelta, stavbou moderního logistického parku.

Nový areál je umístěn v obci Kozomín poblíž hlavního města Prahy. Prostory budoucího parku se nacházejí podél dálnice D8, park je přístupný z obou stran komunikace. Dokončení první budovy se předpokládá ve třetím čtvrtletí 2007. Celková plocha přibližně 90 050 m<sup>2</sup> moderních skladových prostor nabídne jednotky různých velikostí, všechny tři skladové budovy budou mít nákladové rampy na obou stranách a optimální vnitřní rozložení sloupů pro logistiku 33,6 x 12,0 m. Vnitřní rozvržení může být přizpůsobeno specifickým požadavkům nájemců. Velikost kanceláří a doplňkových prostor může být vždy upravena podle finálních technických specifikací.

*Tisková informace*

# STAVEBNÍ OBZOR

## ROČNÍK 16 ČÍSLO 06/2007

### Navigace v dokumentu

#### OBSAH

Niewald, J. – Vráblík, L. – Křístek, V. <b>Výpočetní analýza chování letmo betonovaného mostu přes Labe v Mělníku</b>	<b>162</b>
Kadeřábková, B. – Čadil, J. <b>Vývoj stavebnictví a jeho sektorový potenciál</b>	<b>166</b>
Pavlík, Z. – Fiala, L. – Pavlíková, M. – Černý, R. <b>Transportní parametry vody a chloridů materiálů historických budov</b>	<b>174</b>
Bartoněk, D. <b>Program pro podporu výuky v terénu oboru geodézie a kartografie</b>	<b>179</b>
Vondrák, J. – Fišer, Z. – Antoňů, J. – Kalvoda, P. <b>Aktuální stav podrobného polohového bodového pole v některých katastrálních územích Brna</b>	<b>182</b>
Šlezingr, M. <b>Suchá nádrž na Šumickém potoce</b>	<b>186</b>

**6 • 2007**

**ročník 16**

# 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**

- Niewald, J. – Vráblík, L. – Křístek, V.  
**Výpočetní analýza chování letmo betonovaného mostu přes Labe v Mělníku** ..... 162
- Kadeřábková, B. – Čadil, J.  
**Vývoj stavebnictví a jeho sektorový potenciál** ..... 166
- Pavlík, Z. – Fiala, L. – Pavlíková, M. – Černý, R.  
**Transportní parametry vody a chloridů materiálů historických budov** ..... 174
- Bartoněk, D.  
**Program pro podporu výuky v terénu oboru geodézie a kartografie** ... 179
- Vondrák, J. – Fišer, Z. – Antoňů, J. – Kalvoda, P.  
**Aktuální stav podrobného polohového bodového pole v některých katastrálních územích Brna** ..... 182
- Šlezinger, M.  
**Suchá nádrž na Šumickém potoce** ..... 186

**CONTENTS**

- Niewald, J. – Vráblík, L. – Křístek, V.  
**Structural Analysis of the Behaviour of the Free Cantilever Concreted Bridge over the Elbe River in the Town of Mělník** ..... 162
- Kadeřábková, B. – Čadil, J.  
**Development of the Building Industry and its Sector Potential** ..... 166
- Pavlík, Z. – Fiala, L. – Pavlíková, M. – Černý, R.  
**Water and Chloride Transport Properties of Materials of Historical Buildings** .. 174
- Bartoněk, D.  
**Software for Computer-Aided Fieldwork in the Branch of Geodesy and Cartography** ..... 179
- Vondrák, J. – Fišer, Z. – Antoňů, J. – Kalvoda, P.  
**Current State of Minor Horizontal Control in Selected Cadastral Areas of the Town of Brno** ..... 182
- Šlezinger, M.  
**Polder on the Šumický Brook** ..... 186

**INHALT**

- Niewald, J. – Vráblík, L. – Křístek, V.  
**Rechnerische Analyse des Verhaltens einer im Freivorbau betonierten Brücke über die Elbe in Mělník** ..... 162
- Kadeřábková, B. – Čadil, J.  
**Die Entwicklung des Bauwesens und sein Sektorpotenzial** ..... 166
- Pavlík, Z. – Fiala, L. – Pavlíková, M. – Černý, R.  
**Transportparameter von Wasser und Chloriden der Materialien historischer Bauwerke** ..... 174
- Bartoněk, D.  
**Programm zur Unterstützung des Unterrichts des Fachbereichs Geodäsie und Kartografie im Gelände** ... 179
- Vondrák, J. – Fišer, Z. – Antoňů, J. – Kalvoda, P.  
**Aktueller Stand des ausführlichen Lagepunktfeldes in einigen Katastergebieten von Brünn** ..... 182
- Šlezinger, M.  
**Trockenes Rückhaltebecken im Laufe des Bachs Šumický potok** ..... 186

**REDAKČNÍ RADA****Předseda:**

prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.

**Místopředseda:**

doc. Ing. Alois MATERNA, CSc.

**Členové:**

doc. Ing. Pavel HÁNEK, CSc.

prof. Ing. J. PROCHÁZKA, CSc.

doc. Ing. Vladimír JELÍNEK, CSc.

Ing. Vlastimil ROJÍK

Ing. Jiří KALA, Ph. D.

Ing. Karel SVOBODA

doc. Ing. J. KORYTÁROVÁ, Ph. D.

doc. Dr. Ing. Miloslav ŠLEZINGR

Ing. Karel KUBEČKA

Ing. Milan ŠMAK, Ph. D.

Ing. Libor MATĚJKA, CSc., Ph. D.

Ing. Ludvík VÉBR, CSc.

doc. Ing. Jaroslav NOVÁK, CSc.

doc. Ing. Josef VITÁSEK, CSc.

doc. Ing. Luděk NOVÁK, CSc.

prof. Ing. Jiří WITZANY, DrSc.

doc. Ing. Miloslav NOVOTNÝ, CSc.

Ing. Renata ZDAŘILOVÁ

doc. Ing. Miloslav PAVLÍK, CSc.

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://www.fsv.cvut.cz/obzor. Vychází každý měsíc kromě července a srpna, cena za výtisk je 40 Kč včetně DPH (+ poštovné a balné). Objednávky odběru i reklamace přijímá Ing. Milan Gattringer, MG DTP, Borovanská 3388, 143 00 Praha 4, tel./fax: 241 770 220, e-mail: mgdtp@volny.cz. Odběr je možné zrušit až po vyčerpání zaplaceného předplatného. Inzerce adresujte redakci. Technická redakce a realizace: Ing. Milan Gattringer. Podávání novinových zásilek povoleno Ředitelstvím pošt Praha, č. j. NP 144/1994, ze dne 21. 10. 1994. Do sazby 16. 5. 2007. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

# STAVEBNÍ OBZOR

ROČNÍK 16

ČÍSLO 6/2007

## Výpočetní analýza chování letmo betonovaného mostu přes Labe v Mělníku

Ing. Jiří NIEWALD, Ph. D.  
Ing. Lukáš VRÁBLÍK  
prof. Ing. Vladimír KRÍSTEK, DrSc.  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

Pro ukázkou výpočtu dotvarování a smršťování betonu byl vybrán most přes Labe v Mělníku na silnici I/16. Jde o letmo betonovaný komorový most navazující na estakádu, navržený jako spojitý nosník o třech polích celkové délky 738 m. Výška mezipodorového průřezu je 2,65 m (L/55), výška podporového průřezu 9 m (L/16), šířka příčného řezu 15 m. Jednotlivé lamely jsou budovány podle harmonogramu a časový postup je ve výpočtu zohledněn.

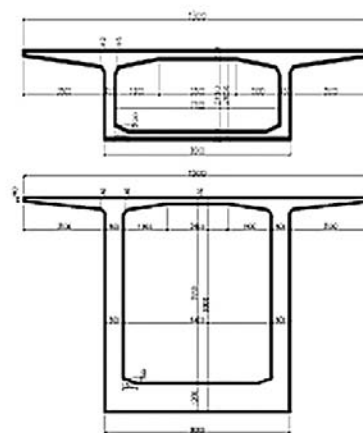
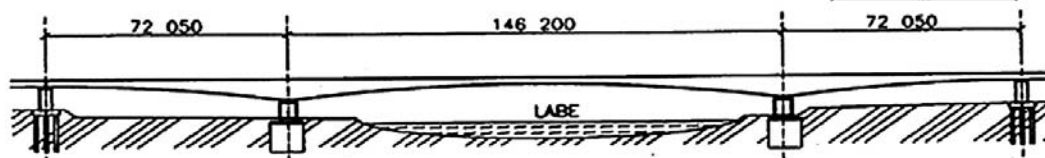
### Úvod

Konstrukce mostu (obr. 1) byla betonována letmo jako souměrné konzoly od vnitřních pilířů. Pro výpočet byla konzola délky 73 m rozdělena na dvanáct částí. Zkoumání výpočetních nástrojů se často omezuje na určení namáhání konstrukce (ohybové momenty, napětí atd.), ale výstižnost stanovení průhybů (a jejich časového vývoje) není doceňována. Přitom je zřejmé, že pokud se skutečné přetvoření vyvíjí ji-

nak, než predikuje výpočet, je v případě staticky neurčitých konstrukcí takovýto výpočet chybný. Porovnání dostupných výpočetních programových nástrojů bylo věnováno i pojednání [1].

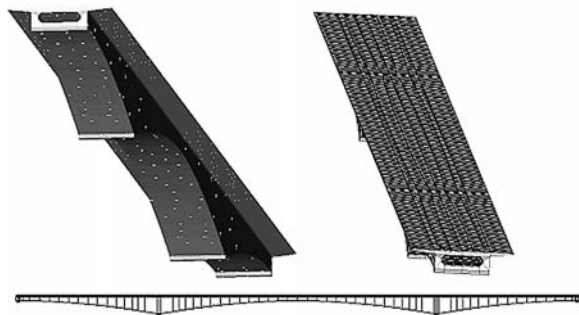
### Analýza

Pro analýzu byl vybrán spojitý komorový nosník (rozpětí v krajích polích 72 m, ve středních 146 m), jehož změna průřezu je patrná z obr. 2. Geometrický model byl vytvořen programem GiD, který byl pro vytvoření systému časově závislých úloh (coupled analysis) integrován s programem ATENA. V rámci této implementace vzniklo uživatelské rozhraní pro GiD, orientované na řešení projektů. Využití programu GiD umožnilo efektivní integraci software GiD-AtenaCreep. Výpočet nelineární simulací programem ATENA [4] je kombinací procesů porušování a dlouhodobého smršťování a dotvarování, založeném na metodě konečných prvků. Program používá pro dlouhodobé působení výpočtový model B3 prof. Bažanta a jeho spolupracovníků [2]. Výpočty dosud předpokládaly konstantní teplotu a vlhkost. Proměnlivost parametrů okolního prostředí v modelovém výpočtu zatím nebyla uvážena.



Obr. 1. Most přes Labe v Mělníku

Při výpočtu se vychází z „běžných“, tj. předpokládaných, hodnot teploty a vlhkosti po průřezu. V tomto případě se do existujících modelů pro dotvarování a smrštění (např. B3) zadává kromě údajů o složení betonové směsi a způsobu jejího zpracování pouze teplota vnějšího prostředí a poměr objemu a povrchu konstrukce, resp. obsahu a obvodu příčného řezu. Na základě těchto údajů (a samozřejmě dalších o složení betonu) se napočítají funkce  $\Phi(t, t')$ , které jsou stejné pro všechny materiálové body konstrukce, resp. průřezu (krátkodobý materiálový model se může samozřejmě lišit od bodu lišit). S nimi se výše uvedený výpočet provádí.



Obr. 2. Geometrický model konstrukce

Poznamenejme, že v tomto případě se počítá s obvyklými průběhy teploty a vlhkosti po průřezu, přičemž tyto průběhy stejně jako řada dalších faktorů jsou optimalizovány pro průřez jako celek. Pokud je skutečný průběh vlhkosti a teploty po materiálových bodech konstrukce jiný, výsledky výpočtu jsou méně přesné. Pro diskretizaci sítě konečných prvků byl použit speciální prvek vyššího řádu typu shell [7].

### Numerický model mostu

Materiálové parametry pro krátkodobé a dlouhodobé chování betonu jsou uvedeny v tab. 1 a tab. 2, podrobnosti o přepínacích kabelech a betonářské výztuži v tab. 4 a tab. 5. Vlastnosti pro beton jsou rozděleny pro krátkodobý a dlouhodobý materiálový model pro predikci dotvarování a smrštění. Pro výpočet byl použit model B3 [2].

Tab. 1. Materiálové vlastnosti betonu pro krátkodobé chování

Vlastnost	Hodnota
Poissonovo číslo	0,15
pevnost v tlaku [MPa]	-34
Youngův modul [GPa]	30,6
pevnost v tahu [MPa]	2,18
tlakové změkčení $Wd$ [m]	-0,0005
tvar plochy plasticity Exc	0,52
dilatace při drcení betonu Beta	-
koeficient tepelné roztažnosti [m/°C]	0,000012
směr trhlin	konstantní
poměrná plastická deformace při pevnosti v tlaku EPS_CP	-0,000992
počátek nelineárního chování betonu v tlaku FC0 [MPa]	-7

Tab. 2. Materiálové vlastnosti betonu pro dlouhodobé chování

Vlastnost	Hodnota
typ betonu (portlandský cement)	1
charakteristická tloušťka ( $S/V$ , plocha/objem)	0,0767
pevnost v tlaku v 28 dnech [MPa]	-34
Youngův modul v 28 dnech [GPa]	30,6
vlhkost prostředí	0,78
teplota prostředí [°C]	20
hustota [kg/m <sup>3</sup> ]	2 370
poměr váhy kameniva a cementu v 1 m <sup>3</sup> betonu	4,5
poměr váhy vody a cementu v 1 m <sup>3</sup> betonu	0,5
zrání betonu	ve vlhku, nepropařováno
doba zrání [dny]	7

Tab. 3. Model betonářské výztuže

Vzdálenost [mm]	Stěny		Horní desky		Dolní desky	
	horní	dolní	horní	dolní	horní	dolní
podélná	12/150	12/150	12/150	12/150	16/150	16/150
příčná	20/150	20/150	20/150	20/150	16/150	16/150

Tab. 4. Materiálové vlastnosti výztužné oceli

Vlastnost	Hodnota
Youngův modul (pružný) [GPa]	210
mez pevnosti 0,2 [MPa]	400
mez pevnosti [MPa]	400
mez max. relativního přetvoření	0,2

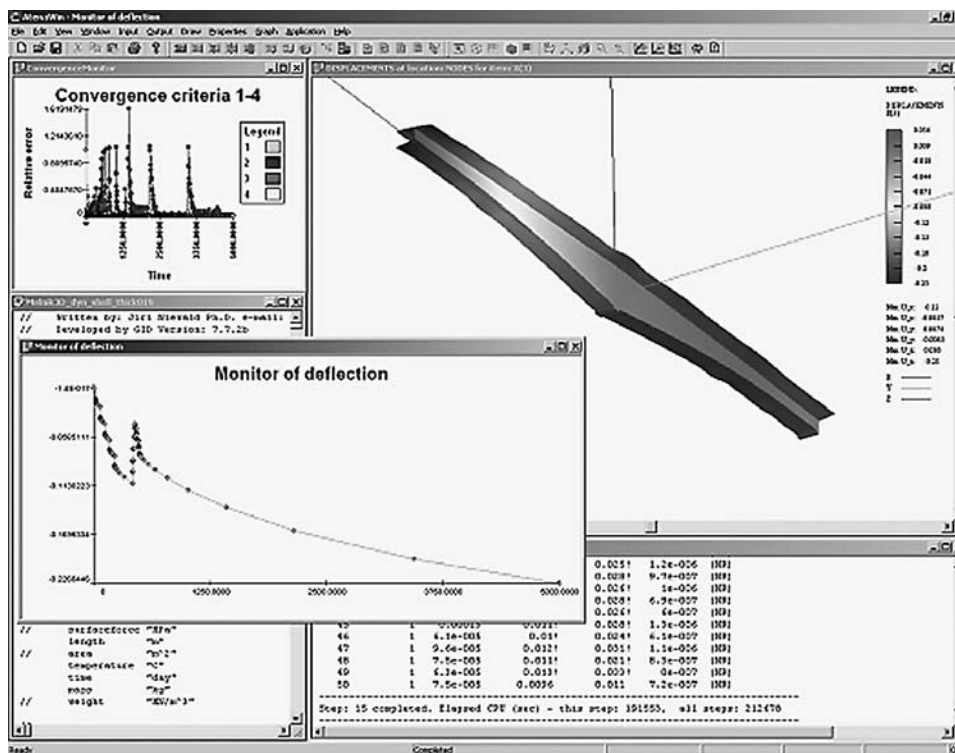
### Materiálový model pro dotvarování a smršťování

Materiálový model pro dotvarování modeluje dlouhodobé i krátkodobé chování betonu a změnu materiálových parametrů v čase. Parametry pro dotvarování a smršťování jsou stanoveny pro model B3 [4] se vstupními hodnotami: množství vody  $w = 200 \text{ kg/m}^3$ , množství cementu  $c = 400 \text{ kg/m}^3$ , množství kameniva  $\alpha = 1 800 \text{ kg/m}^3$ , tvar průřezu  $k_s = 1,0$ , cement typu I  $\alpha_1 = 1,0$ , vlhkost prostředí 80 %, normální ošetřování  $\alpha_2 = 1,2$ , doba ošetřování  $t_o = 3$  dny.

Materiál pro ocel betonářské výztuže je 10 425. Zjednodušeně lze výztuž rozdělit jako podélnou při obou površích  $\varnothing 12 \text{ mm}$  ve vzdálenosti 150 mm, kde ve spodní desce je průměr 16 mm ve vzdálenosti 150 mm. Betonářská výztuž v příčném směru je při horním povrchu horní desky 12 mm ve vzdálenosti 150 mm (ve střední části nad komorou) 20 mm ve vzdálenosti 150 mm v oblasti konzol. Na horní desce při dolním povrchu je 12 mm ve vzdálenosti 150 mm, kromě místa nad komorou, tam je 20 mm ve vzdálenosti 150 mm. Betonářská výztuž stěn je při obou površích 20 mm ve vzdálenosti 150 mm a na spodní desce je při obou površích 16 mm ve vzdálenosti 150 mm (tab. 3).

### Deskostěnový prvek

V případě nelineární numerické simulace je velmi obtížné modelovat konstrukci jako celek, jestliže použijeme klasické izoparametrické prvky. Pro správnou diskretizaci kon-



Obr. 3. Výpočtové prostředí programu

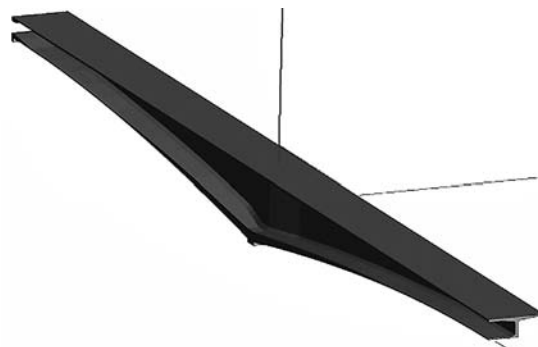
strukce je v takovém případě potřeba často desetitisíce takových prvků. To je ovšem neúnosné množství, protože nelineární numerická simulace je až desetkrát paměťově a výpočetně náročnější než analýza lineární. Pro deskostěnové konstrukce byl použit speciální vrstvičkový deskostěnový prvek vyššího řádu na základě teorie [7]. Zadání takového prvku je provedeno redukcí, resp. extenzí klasického trojrozměrného izoparametrického prvku vyššího řádu. Stupně volnosti skořepinového prvku jsou transformovány na stupně volnosti objemového prvku se šestnácti uzly. Uzly objemového prvku nemají rotační stupně volnosti, ale pouze posuny.

### Harmonogram předpínání

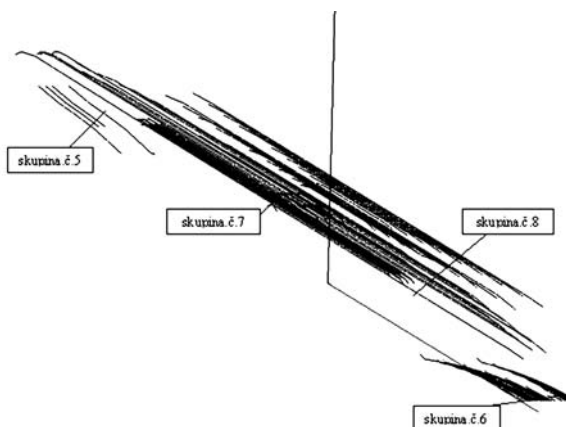
Kabely byly vzhledem k proměnnosti příčného řezu po délce nosníku (a tím změny polohy těžišťové osy) zadány jako lomené. K předpětí byly použity popuštěné pramence Lp15,5/1800 MPa (obr. 4):

- dolní kabely středního pole jsou vedeny při dolním povrchu průřezu v oblasti středního pole – viz skupina č. 6;
- dolní kabely krajního pole jsou vedeny v okrajových částech krajních polí při dolním povrchu nosníku – viz skupina č. 5;
- horní kabely zmonolitňující jsou vedeny při horním povrchu nosníku v oblasti nad vnitřní podporou – viz skupina č. 7;
- horní kabely konzolové jsou vedeny při horním povrchu nosníku a slouží k zachycení namáhání během vahadlové výstavby, jsou napínány jednostranně – viz skupina č. 8.

Jednotlivé kabely byly předpínány v čase skutečného předpětí na mostě. Aplikace předpětí probíhala vždy v několika přírůstkových časových krocích, kdy narůstalo předpětí.



Obr. 4a. Model obrysu konstrukce pro představu umístění předpínacích kabelů (viz obr. 4b)



Obr. 4b. Model předpínacích kabelů

Tab. 5. Materiálové vlastnosti předpínacích kabelů

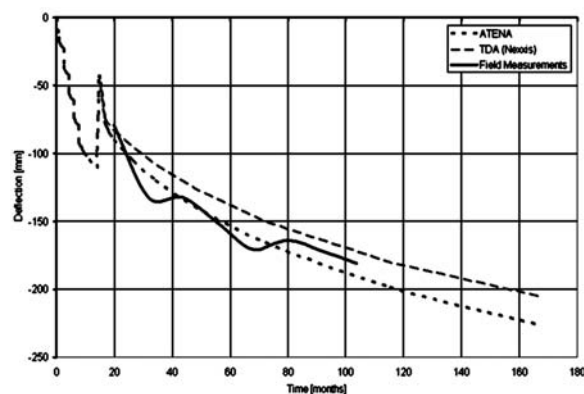
Vlastnost	Hodnota
Youngův modul (počáteční – pružný) [GPa]	195
mez pevnosti $f_{p0,1k}$ [MPa]	1 620
mez pevnosti $f_{pk}$ [MPa]	1 800
mez max. relativního přetvoření	0,035

Tab. 6. Přehled kabelů

Typ	Počet pramenů	Plocha [mm <sup>2</sup> ]	
		jednoho pramenu	celkem
dolní středního pole	12	141,5	1 698
dolní krajního pole	12	–	1 698
horní zmonolitňující	6	–	849
horní konzolové	12	–	1 698

Tab. 7. Harmonogram předpínání kabelů

Typ	Čas [dny]		Počet kroků
	počet	přírůstek	
horní konzolové + dolní krajního pole	0–277	27	5
dolní středního pole	420–450	6	5
horní zmonolitňující	450–510	12	5



Obr. 5. Diagram časového průběhu svislé deformace

## Závěr

Konstrukce byla analyzována pro znázornění numerické simulace smršťování a dotvarování systémem ATENA, kde je implementován trojrozměrný materiálový model pro chování betonu. Vliv výztuže byl simulován pomocí materiálového modelu plastické výztuže. Geometrický model obsahoval i předjatou výztuž konstrukce, která byla zadána multilineárním pracovním diagramem. Výsledky nelineárního výpočtu jsou porovnány s měřením průhybu mostu, které probíhalo v průběhu osmi let. Výpočet je rovněž porovnán s jednodušším lineárním výpočtem, v němž je pro stanovení účinků dotvarování a smršťování použita numerická metoda časové diskretizace (Time Discretization Analysis) a funkce dotvarování podle modelu EC2. Z porovnání vyplývá velice dobrá shoda nelineárního výpočtu s naměřenými

hodnotami. Uvažování nelineárního chování materiálu umožnilo dosáhnout přesnějších výsledků a lepšího odhadu průhybů než lineárním výpočtem.

Výsledky byly získány v rámci výzkumného projektu č. 103/05/P264 GA ČR.

## Literatura

- [1] Vráblík, L. – Křístek, V. – Lener, R.: Zhodnocení modelů, metod a programů pro výpočty časového vývoje namáhání a deformací předjatých komorových mostů. [Sborník], XI. konference „Betonářské dny 2004“, ČBS, Hradec Králové, 2004.
- [2] Bažant, Z. P. – Baweja, S. (eds.): Creep and Shrinkage Prediction Model for Analysis and Design of Concrete Structures: Model B3. Creep and Shrinkage of Concrete, ed. A. Al-Manaseer. ACI Special Publication 1999.
- [3] Bažant, Z. P. – Kim, J. K.: Improved Prediction Model for Time-Dependent Deformation of Concrete: Part 1 - Shrinkage. Materials and Structures, 24, 1991, pp. 27–345.
- [4] Bažant, Z. P. – Baweja, S. – Ulm, F. J.: Microprestressing-Solidification Theory for Concrete Creep. 1. Aging and Drying Effects. Journal of Eng. Mechanics, 123(11), 1997, pp. 1188–1194.
- [5] Jendele, L. – Červenka, J. – Červenka, V.: Metody nelineárních výpočtů dotvarování a smršťování železobetonových konstrukcí. [Sborník], Betonářské dny, ČBS, Pardubice, 2002.
- [6] Červenka, J. – Červenka, V. – Eligehausen, R.: Fracture-Plastic Material Model for Concrete, Application to Analysis of Powder Actuated Anchors. Proc. FRAMCOS 3, 1998, pp. 1107–1116.
- [7] Ahmad, S. – Irons, B. M. et al.: Analysis of Thick and Thin Shell Structures by Curved Finite Elements. International Journal of Numerical Methods in Engineering 2, 1970, pp. 419–451.

## Niewald, J. – Vráblík, L. – Křístek, V.: Structural Analysis of the Behaviour of the Free Cantilever Concrete Bridge over the Elbe River in the Town of Mělník

The bridge over the Elbe River in the town of Mělník on the I/16 road was selected as an example for the calculation of creep and shrinkage of concrete. It is a free cantilever concrete box girder bridge continuing the elevated road. It was designed as a continuous girder with three spans of the total length of 738 m. The height of the section between the supports is 2.65 m (L/16), the width of the cross section is 15 m. Individual segments are being built according to the time plan, and the time schedule is included in the calculation.

## Niewald, J. – Vráblík, L. – Křístek, V.: Rechnerische Analyse des Verhaltens einer im Freivorbau betonierten Brücke über die Elbe in Mělník

Als Beispiel für die Berechnung des Kriechens und Schwindens von Beton wurde die Brücke über die Elbe im Zuge der Landstraße I/16 in Mělník ausgewählt. Es handelt sich um eine im Freivorbau betonerte Hohlkastenbrücke, die an eine Hochstraße anschließt. Sie ist als Dreifelder-Durchlaufträger mit einer Gesamtlänge von 738 m entworfen. Die Höhe des Feldquerschnitts ist 2,65 m (L/55), die Höhe des Auflagerquerschnitts 9 m (L/16), die Querschnittsbreite 15 m. Die einzelnen Lamellen werden nach einem Harmonogramm errichtet, und der zeitliche Fortschritt wird in der Berechnung berücksichtigt.

# Vývoj stavebnictví a jeho sektorový potenciál

doc. Ing. Božena KADEŘÁBKOVÁ, CSc.  
 ČVUT – Fakulta stavební  
 Praha

Ing. Jan ČADIL, Ph. D.  
 VŠE – Národohospodářská fakulta  
 Praha

Článek hodnotí vývoj stavebnictví v období transformace z ekonomicko-statického hlediska a jeho přínos k dynamice české ekonomiky.

## Úvodem

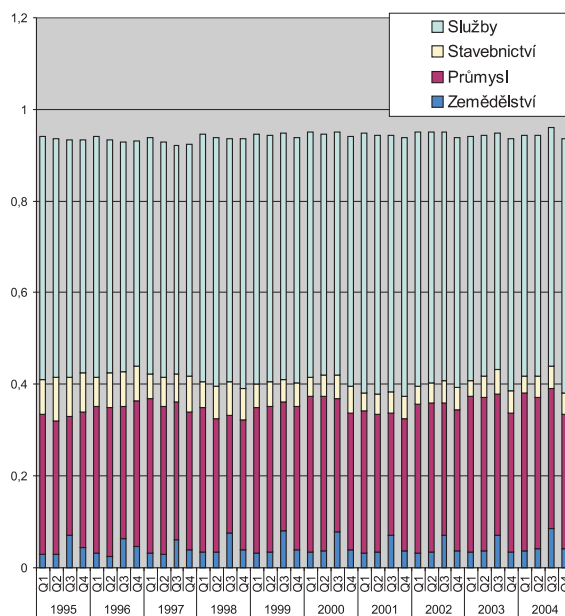
Globalizace ovlivňuje významným způsobem ekonomickou strukturu národních ekonomik, jednotlivé sektory a odvětví mají různou dynamiku a prodělávají rychlé změny jak v důsledku vývoje technologií, tak vlivem změn v mezinárodní dělbě práce. Na strukturálních změnách české ekonomiky se podílejí i transformační procesy. Struktura ekonomiky ovlivňuje ekonomický růst zásadním způsobem. Ekonomický růst je podmínkou růstu životní úrovně obyvatel a základním předpokladem konvergence české ekonomiky k ekonomikám vyspělých zemí. Z tohoto důvodu je důležitá analýza sektorové tvorby hrubého domácího produktu (HDP) a jeho sektorové dynamiky. Na základě této analýzy lze usuzovat na budoucí vývoj ekonomiky v souvislosti s vývojem dominantních odvětví. Predikovat jej lze pomocí standardních nástrojů, jako je např. exponenciální vyrovnání nebo ARIMA.

## Produkční funkce sektorů národního hospodářství, vývojový trend

Detailní analýza jednotlivých sektorů včetně určení parametrů Cobby-Douglasovy produkční funkce a určení dlouhodobého trendu pomocí Hodrickova-Prescottova filtru má význam zejména ve vztahu k určení výnosů z rozsahu v jednotlivých sektorech. Charakter produkční funkce determinuje mimo jiné i dopad externalit jak pozitivních, tak negativních, na jednotlivá odvětví. Použitými programy je MS Excel a EViews 4.1.

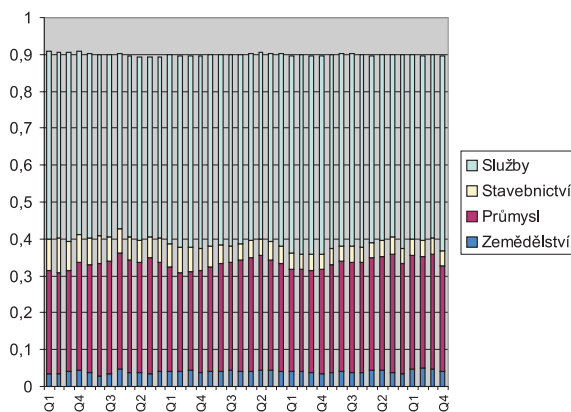
## Podíl sektorů na HDP

Podíl jednotlivých sektorů na HDP a jejich čtvrtletní vývoj ukazuje obr. 1. Stavebnictví je zahrnuto jako samostatné odvětví. Součet všech podílů není roven 100 % díky statistickému vykazování zdrojů HDP – zahrnutí FISIM do produkce sektorů, resp. jejího nezahrnutí do HDP a nezahrnutí daní, resp. zahrnutí subvencí do produkce sektorů. Z grafu v obr. 1 plyne, že dominantní v ekonomice ČR jsou služby, což je nepochybně výsledek transformace naší ekonomiky a přiřazení se k vyspělým ekonomikám, nicméně je zde i výrazné zastoupení průmyslu. Ve srovnání s většinou vyspělých zemí je zastoupení průmyslu (průměrně 30 %) vysoké a jeho podíl na tvorbě HDP je v čase poměrně stabilní, což svědčí o vytvoření mezinárodní komparativní výhody v určitých oblastech průmyslu ČR.



Obr. 1. Podíl sektorů na tvorbě HDP v letech 1995–2004 [%]

Zemědělství a stavebnictví vykazují v čase značné sezónní výkyvy, které ovlivňují podíly ostatních sektorů na HDP, a zkreslují tak celkový výsledek. Podíly, které vycházejí ze sezónně očištěných dat (metoda klouzavých průměrů), ukazuje graf na obr. 2. Hrubý domácí produkt je určen jako součet očištěných přidaných hodnot jednotlivých sektorů plus sezónně očištěné daně minus subvence<sup>1)</sup>.

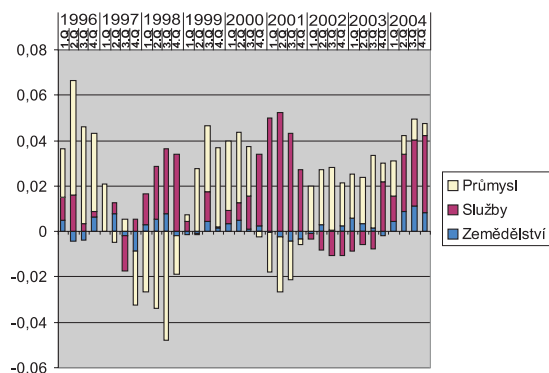


Obr. 2. Podíl sektorů na HDP – očištěno od sezónních výkyvů v letech 1994–2004 [%]

Celkově lze říci, že ekonomická struktura ČR nezaznamenala za sledované období, tj. v letech 1995 až 2004, výraznější změny, co se týče podílu jednotlivých sektorů na tvor-

<sup>1)</sup> V případě sezónního vyrovnání HDP se součty jednotlivých položek a vyrovnaného HDP z důvodu aplikace sezónního vyrovnání nerovnájí.

bě HDP. Z grafu v obr. 3 je vidět, že v čase oslabuje stavebnictví (za sledované období asi o 3,5 %) a posilují služby (růst podílu služeb na HDP o cca 3,34 %), podíly ostatních sektorů se v průměru příliš nemění, přestože jsou patrné cyklické výkyvy.

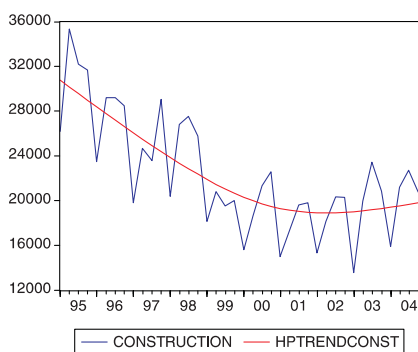


Obr. 3. Přínos jednotlivých sektorů k růstu HDP ČR v letech 1996–2004 [%]

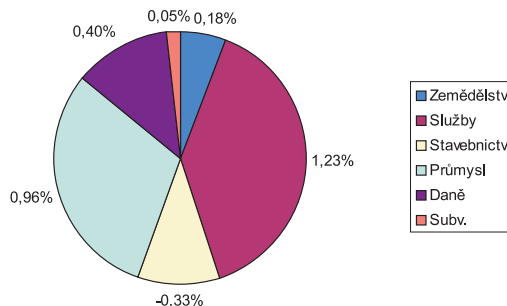
Přestože jsou služby nejvýznamnějším ekonomickým sektorem, tato skutečnost ještě nemusí znamenat, že se podílejí na růstu (poklesu) HDP největší měrou. Pro analýzu přínosu daného sektoru pro ekonomický růst lze použít váženého růstu, kdy vahou je podíl daného sektoru na HDP v předchozím období. Obecně lze tento vztah zapsat

$$g_{i|g(HDP)} = \left( \frac{P_{i(t)}}{P_{i(t-1)}} - 1 \right) \left( \frac{P_{i(t-1)}}{HDP_{(t-1)}} \right), \quad (1)$$

kde  $g_{i|g(HDP)}$  je podíl růstu daného odvětví  $i$  na růstu HDP,  $P_{i(t)}$  je produkce daného odvětví v čase  $t$ , resp.  $(t, 1)$ . Výsledky přínosu jednotlivých odvětví z tohoto dynamického pohledu ukazuje po čtvrtletích (standardně jako roční růst mezi jednotlivými čtvrtletími) graf v obr. 3. Jednotlivé sloupce znázorňují relativní přínos daného odvětví k růstu HDP (zde ovšem zjednodušeno na součet produkce sledovaných odvětví). Lze vypořádat vzájemnou závislost služeb a průmyslu, kdy v případě poklesu průmyslu pokles HDP zpomaluje růst služeb, a naopak. Cyklické výkyvy průmyslu (cyklus je zhruba dvouletý) jsou kopírovány cyklickými výkyvy ve službách. Určitý cyklus vykazuje i zemědělství, nicméně jeho přínos k dynamice HDP je zanedbatelný. Naskytá se proto otázka, zda existuje závislost (založená např. na



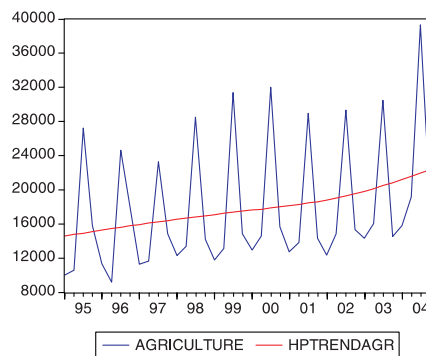
multiplikaci) mezi službami a průmyslem a jak se vývoj průmyslu odrazí ve vývoji služeb a dalším vývoji HDP. Na závěr této části lze konstatovat, že největší podíl na tvorbě HDP mají v ČR služby (průměrně cca 51 %), dále průmysl (cca 30 %), stavebnictví se na tvorbě HDP podílí cca 5 % a zemědělství 4 %. Nepřesnost součtu (cca 10 %) je dána zahrnutím FISIM do produkce odvětví a zahrnutím daní a nezahrnutím subvencí do HDP. Na dynamiku HDP mají průměrně největší vliv opět služby, následuje průmysl. Situaci ilustruje graf v obr. 4.



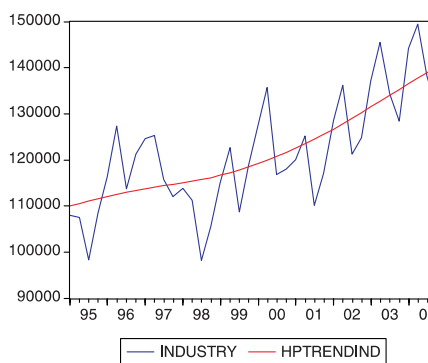
Obr. 4. Průměrný podíl sektorů na průměrném růstu HDP v letech 1996–2004 [%]

### Vývojové trendy jednotlivých odvětví

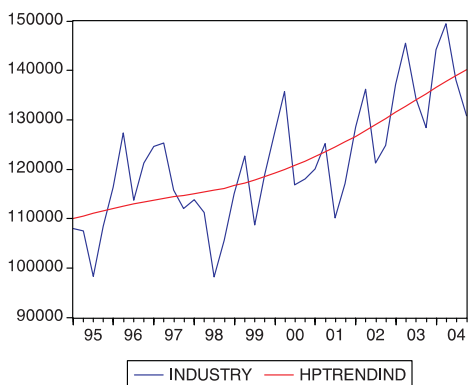
V této části je sledován vývoj a trend jednotlivých odvětví a HDP. K popsaní trendu je použit Hodrickův-Prescottův filtr. Z grafů na obr. 5 až obr. 9 plyne, že jediným odvětvím s klesajícím trendem je stavebnictví, produkce ostatních v čase roste, přestože v zemědělství je, ve srovnání s průmyslem a službami, tento růst velmi pozvolný.



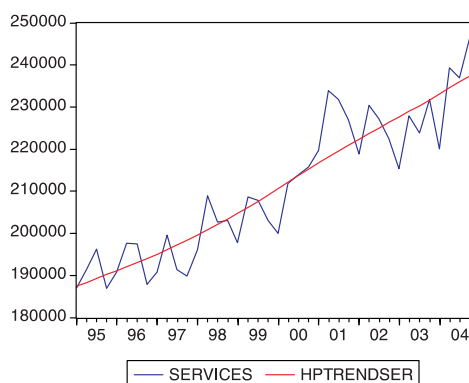
Obr. 5. Vývojový trend zemědělství (na základě vývoje hodnoty produkce [mil. Kč] v cenách r. 1995 v letech 1995–2004)



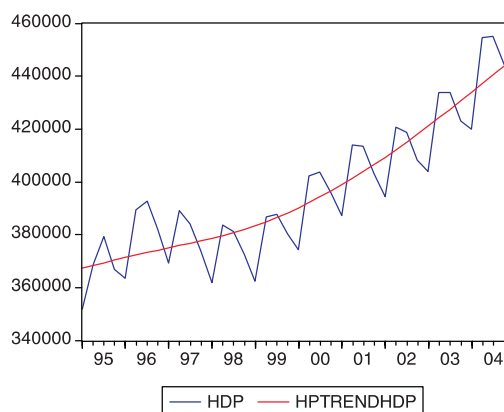
Obr. 6. Vývojový trend ve stavebnictví (dto)



Obr. 7. Vývojový trend v průmyslu (dtto)



Obr. 8. Vývojový trend ve službách (dtto)



Obr. 9. Vývoj HDP (dtto)

### Odhad parametrů Cobbovy-Douglasovy funkce pro vybraná odvětví

V tomto textu je standardně uvažována produkční funkce s předpisem

$$Y_i = A_i K^{\alpha_i} N^{\beta_i} \quad (2)$$

kde  $Y$  je produkce ve stálých cenách,  $K$  je kapitálová zásoba ve stálých cenách,  $N$  je počet pracovníků a  $A$  je multifak-

torová produktivita v odvětví  $i$ ,  $\alpha$  a  $\beta$  je pružnost produkce v závislosti na výrobních faktorech. Pro odhad parametrů je funkce (2) zpravidla logaritmována

$$\ln Y_i = \ln A_i + \alpha_i \ln K_i + \beta_i \ln N_i \quad (3)$$

Odhad parametrů je proveden metodou nejmenších čtverců. Vzhledem k tomu, že data pro kapitálovou zásobu jsou za odvětví k dispozici pouze ročně, bude celá analýza vycházet z ročních dat. Produkci bude v tomto případě představovat hrubá přidaná hodnota<sup>2)</sup>, použitá časová řada 1995 až 2004, hodnoty ve stálých cenách roku 2000. Časová řada je krátká, což se může projevit v nepřesnosti odhadů.

### ■ Cobbova-Douglasova produkční funkce v průmyslu

Nejprve provedeme test stacionarity dat, případně test kointegrace. Z tabulky 1 plyne, že u průmyslové výroby jsou všechny sledované proměnné nestacionární. Test kointegrace navíc ukazuje, že logaritmus produkce a práce nejsou ko-

Tab. 1. Test ADF pro průmysl

Null Hypothesis: LNY has a unit root				
Exogenous: Constant, Linear Trend				
Lag Length: 1 (Fixed)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-3.142731	0.1669
Test critical values:	1% level		-5.835186	
	5% level		-4.246503	
	10% level		-3.590496	
Null Hypothesis: LNK has a unit root				
Exogenous: Constant, Linear Trend				
Lag Length: 1 (Fixed)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-0.419689	0.9546
Test critical values:	1% level		-5.835186	
	5% level		-4.246503	
	10% level		-3.590496	
Null Hypothesis: LNN has a unit root				
Exogenous: Constant, Linear Trend				
Lag Length: 1 (Fixed)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-3.885128	0.0743
Test critical values:	1% level		-5.835186	
	5% level		-4.246503	
	10% level		-3.590496	

<sup>2)</sup> Včetně FISIM, jejich podíl je však poměrně zanedbatelný. Vzhledem k absenci statistiky kapitálové zásoby u OKEČ kategorie P (domácnosti zaměstnávající personál) je tato kategorie ze služeb vyloučena, nicméně její podíl na HPH je zanedbatelný.



integrovány, tj. musí být využita první diference logaritmu. Upravená rovnice (2) má potom tvar

$$\Delta \ln Y_i = \Delta \ln A_i + \alpha_i \Delta \ln K_i + \beta_i \Delta \ln N_i. \quad (4)$$

Tab. 2. Odhad Cobbovy-Douglasovy produkční funkce pro průmysl

Dependent Variable: LNY				
Metod: Least Squares				
Date: 09/01/06 Time: 09:05				
Hample: 1995 2004				
Included observations: 10				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LNK	0.637939	0.126044	5.061249	0.0010
C	8.669418	3.644937	2.378482	0.0447
R-squared	0.762020	Mean dependent var		27.11721
Adjusted R-squared	0.732272	S.D. dependent var		0.087762
S.E. of regression	0.045410	Akaike info criterion		-3.169308
Sum squared resid	0.016497	Schwarz criterion		-3.108791
Log likelihood	17.84654	F-statistic		25.61624
Durbin-Watson stat	1.850729	Prob (F-statistic)		0.000976

Tab. 3. Test ADF služby

Null Hypothesis: LNY has a unit root				
Exogenous: Constant, Linear Trend				
Lag Length: 1 (Fixed)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-1.386459	0.7807
Test critical values:	1% level		-5.835186	
	5% level		-4.246503	
	10% level		-3.590496	
Null Hypothesis: LNK has a unit root				
Exogenous: Constant, Linear Trend				
Lag Length: 1 (Fixed)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-2.345096	0.3722
Test critical values:	1% level		-5.835186	
	5% level		-4.246503	
	10% level		-3.590496	
Null Hypothesis: LNN has a unit root				
Exogenous: Constant, Linear Trend				
Lag Length: 1 (Fixed)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-2.298799	0.3917
Test critical values:	1% level		-5.835186	
	5% level		-4.246503	
	10% level		-3.590496	

Diferencovaná data již vykazují stacionaritu (při zpoždění dvou období). Odhad rovnice (3) nicméně ukazuje na malou, téměř nulovou těsnost závislosti (koeficient determinace je příliš nízký). Pokud odhlédneme od nestacionarity dat, pak z regrese (2) vyplývá, že práce je v rovnici (2) nevýznamnou, resp. je třeba ji z modelu vyloučit. Po jejím vyloučení dostáváme upravenou rovnici (2) s těmito výsledky. Z tabulky 2 plyne, že průmyslová výroba je pozitivně závislá na kapitálové zásobě a multifaktorové produktivitě. Dosahuje přitom (proti výzkumům v zahraničí) klesajících výnosů z rozsahu a je nezávislá na faktoru práce.

#### ■ Cobbova-Douglasova produkční funkce ve službách

Při analýze sektoru služeb je opět třeba zjistit stacionaritu dat a případnou kointegraci časových řad. Řady nejsou stacionární, kointegrovaná je pouze kapitálová zásoba a produkce (na 5% hladině významnosti). T-statistika při aplikaci regrese na rovnici (2) vykazuje u práce vyšší než kritickou hodnotu, její vyloučení by proto znamenalo vypovídací schopnost modelu. Při aplikaci rovnice (3) opět dochází k výraznému snížení těsnosti závislosti. Jediným možným řešením je v tomto případě odhlédnout od nestacionarity dat (vzhledem ke krátkosti časové řady není tento test spolehlivý) a použít standardní metodu nejmenších čtverců na rovnici (2). Výsledky ukazuje tab. 4. Plyne z ní, že služby vykazují rostoucí výnosy z rozsahu a jsou kapitálově náročné. Multifaktorová produktivita (úrovňová konstanta) je přitom záporná. Model vykazuje vysokou těsnost závislosti.

Tab. 4. Odhad Cobbovy-Douglasovy produkční funkce pro služby

Dependent Variable: LNY				
Metod: Least Squares				
Date: 09/01/06 Time: 11:17				
Hample: 1995 2004				
Included observations: 10				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LNN	0.894488	0.425468	2.102364	0.0736
LNK	1.779531	0.167621	10.61638	0.0000
C	-39.08637	7.769802	-5.030549	0.0015
R-squared	0.945078	Mean dependent var		27.79820
Adjusted R-squared	0.929386	S.D. dependent var		0.068795
S.E. of regression	0.018281	Akaike info criterion		-4.922570
Sum squared resid	0.002339	Schwarz criterion		-4.831794
Log likelihood	27.61285	F-statistic		60.22652
Durbin-Watson stat	2.304535	Prob (F-statistic)		0.000039

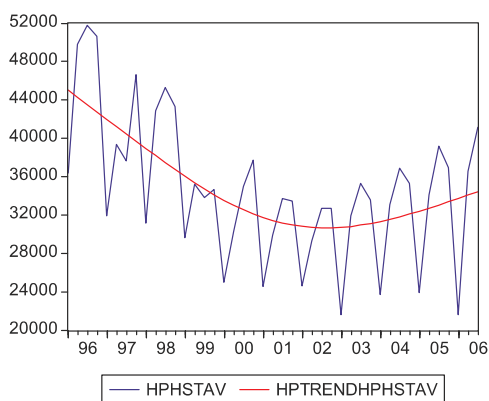
#### Dílčí závěry

Z hlediska struktury národního hospodářství je v ČR, podobně jako ve vyspělých ekonomikách, dominantní sektor služeb, a to jak staticky, tak dynamicky. Služby se podílejí na tvorbě HDP průměrně 51 %, průmysl 30 %. Význam průmyslu je, ve srovnání s jinými ekonomikami včetně ekonomik Visegrádských států, nadprůměrný, průmysl tvoří cca 30 % HDP a je druhým nejvýznamnějším sektorem i z pohledu dynamiky HDP. Zemědělství a stavebnictví vykazují v čase značné sezónní výkyvy, podíl stavebnictví na hrubé předané hodnotě (HPH) ČR navíc v čase klesá.

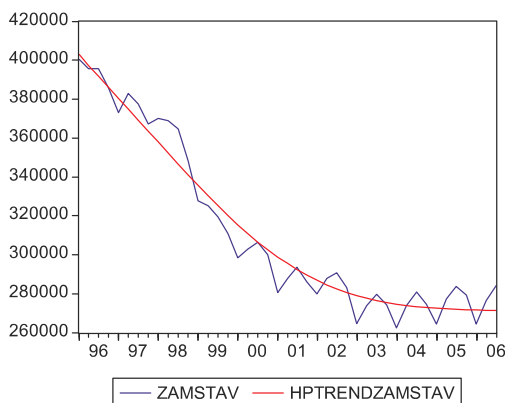
Z analýzy produkčních funkcí jednotlivých sektorů lze proto, i vzhledem ke krátkosti časové řady, vyvodit závěry pouze orientační. U průmyslu lze hovořit o klesajících výnosech z rozsahu, nicméně závislost je pozitivní. Průmyslová výroba přitom není příliš závislá na faktoru práce, ale na fyzickém kapitálu a multifaktorové produktivitě. U služeb vykazuje produkční funkce rostoucí výnosy z rozsahu, nicméně multifaktorová produktivita je poměrně nízká.

### Podíl stavebnictví na tvorbě HPH a zaměstnanosti, vývoj produktivity práce

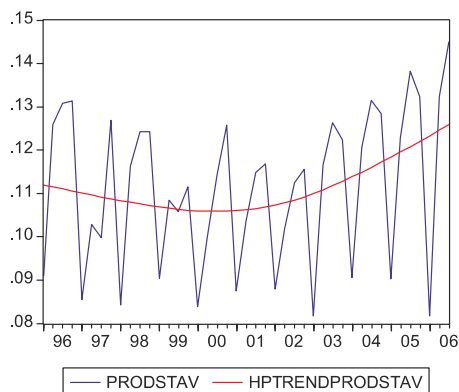
Základní sledovanou charakteristikou stavebního sektoru bude v této analýze hrubá přidaná hodnota, kterou toto odvětví produkuje, a počet zde zaměstnaných. Podílem těchto dvou ukazatelů pak získáme hrubou průměrnou produktivitu práce. Pro analýzu byla použita časová řada ČSÚ 1996–2006 (3. čtvrtletí), HPH je ve stálých cenách roku 2000 a v milionech korun, počet zaměstnaných v jednotkách zaměstnaných, produktivita práce je uvedena v milionech korun na jednoho zaměstnance. Pro analýzu trendu byl zvolen Hodrickův-Prešcottův trend s vyhlazovací konstantou rovnou 1600. Sledované ukazatele znázorňují obr. 10 až obr. 12. Z grafů plyne, že pro stavebnictví jsou typické velmi silné sezónní výkyvy, které se projevují ve všech sledovaných charakteristikách, tj. v HPH, zaměstnanosti i produktivitě práce. Výjimku tvoří počet zaměstnaných zhruba



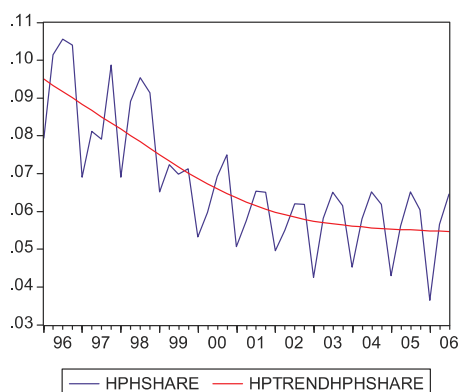
Obr. 10. Vývoj a trend HPH ve stavebnictví v letech 1996–2006 v cenách r. 2000



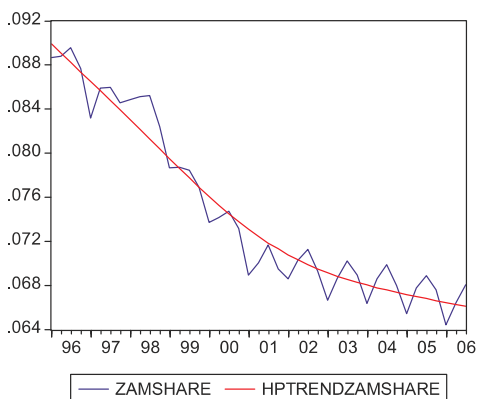
Obr. 11. Vývoj a trend počtu zaměstnaných ve stavebnictví v letech 1996–2006



Obr. 12. Vývoj a trend produktivity práce ve stavebnictví v letech 1996–2006 [mil. Kč/1 zaměstnanec]



Obr. 13. Vývoj a trend podílu stavebnictví na HPH ČR [%] v letech 1996–2006



Obr. 14. Vývoj a trend podílu stavebnictví na zaměstnanosti v ČR [%] v letech 1996–2006

do roku 2000, do kdy počet zaměstnanců rapidně klesal prakticky bez závislosti na sezóně. Od roku 1996 do roku 2001 lze sledovat vytrvalý pokles produkce stavebnictví i produktivity práce v tomto sektoru (a to přes hromadný odliv registrovaných pracovních sil). Zhruba od poloviny roku 2001 nastává obrat, produktivita i hrubá přidaná hodnota od té doby dlouhodobě roste až do současnosti. Zaměstnanost v sektoru se stabilizuje a vykazuje standardní sezónnost jako ostatní sledované charakteristiky.

Co se týče významnosti odvětví v národním hospodářství, je analýza poměrně obtížná, neboť je složité analyzovat nepřímé dopady stavebnictví, typicky bydlení a infrastruktury, na ekonomickou výkonnost. Zaměříme se zde pouze na analýzu explicitních dopadů, tj. na podíl na tvorbě celkové hrubé přidané hodnoty a zaměstnanosti, nicméně se lze domnívat, že dopad stavebnictví bude ve skutečnosti vyšší (obr. 13, obr. 14). Z grafů je patrné, že přímý podíl stavebnictví na tvorbě hrubé přidané hodnoty v čase klesá. Zatímco v roce 1996 se jeho podíl na HPH blížil 10 %, v současnosti tvoří jen kolem 6 %. Neznamená to ovšem, že by význam stavebnictví upadal, a to jak z důvodů uvedených výše, tak statisticky také proto, že jiné sektory (služby) zaznamenaly v tomto období relativně vysoký růst.

### Prognóza vývoje a sektorový potenciál

Pro analýzu a prognózu vývoje byla zvolena metoda ARIMA. Vzhledem k silné sezónnosti a snaze zachovat co nejpřesnější odhad budoucího vývoje (ten by byl poznamenán v případě standardní úpravy dat sezónním vyrovnáním) byl do modelu včleněn prvek odrážející sezónnost v reziduiích. Pro zajištění stacionarity dat je potom odhadovaný model uveden v prvních diferencích. Odhadovaný model má obecný předpis

$$\Delta y_t = \alpha \Delta(y_{t-2}) + \beta \Delta(y_{t-4}) + u_t, \quad (5)$$

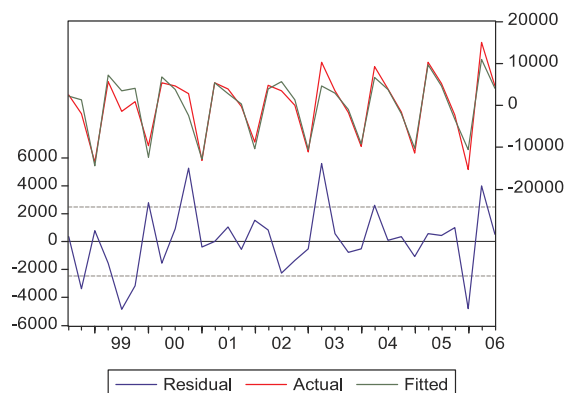
$$u_t = \rho u_{t-1} + \varphi u_{t-4} + \varphi u_{t-5} + \varepsilon_t,$$

kde  $y$  je hrubá přidaná hodnota stavebnictví v čase  $t$  (resp. její změna),  $\alpha$ ,  $\beta$  jsou parametry citlivosti změny HPH v čase  $t$  na změnu HPH v čase  $(t-2)$ , resp.  $(t-4)$  a  $u$  je reziduum generované pomocí autoregrese se sezónní složkou, kde  $\rho$  je parametr závislosti vývoje rezidua na reziduu v čase  $(t-1)$ ,  $\varphi$  je parametr závislosti na sezónním vývoji rezidua,  $\varepsilon$  je chyba modelu. Výsledek modelu ukazuje tab. 5 (výstup přímo z EViews), z níž je zřejmé, že model vysvětluje až 90 % sledovaných dat, t-statistiky jsou u všech sledovaných proměnných nad kritickou hodnotou, a tedy významné (na cca 5 % hladině významnosti), F-statistika ukazuje na správnou specifikaci modelu.

Tab. 5. Odhad ARIMA modelu pro stavebnictví

Dependent Variable: D(HPHSTAV)				
Method: Least Squares				
Date: 02/01/07 Time: 09:49				
Sample(adjusted): 1998:3 2006:3				
Included observations: 33 after adjusting endpoints				
Convergence achieved after 10 iterations				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(HPHSTAV(-2))	-0.112707	0.055266	-2.039357	0.0506
D(HPHSTAV(-4))	0.930284	0.054846	16.96175	0.0000
AR(1)	-0.384111	0.180943	-2.122827	0.0424
SAR(4)	-0.551379	0.112534	-4.899677	0.0000
R-squared	0.905578	Mean dependent var		-51.60606
Adjusted R-squared	0.895810	S.D. dependent var		7705.383
S.E. of regression	2487.182	Akaike info criterion		18.58890
Sum squared resid	1.79E+08	Schwarz criterion		18.77030
Log likelihood	-302.7169	Durbin-Watson stat		2.167856
Inverted AR Roots	61+.61i	61+.61i	-.38	-.61 -.61i
	-.61 -.61i			

Graficky ilustruje model obr. 14. Na obrázku 15 je potom zachycena dynamická prognóza vývoje v sektoru (opět sledujeme změny v tvorbě HPH v mil. korun ve stálých cenách). Z průběhu grafu je vidět, že předpověď by mohla dávat poměrně přesné výsledky. Kovariační podíl je vysoký, zatímco variační a průměr předpovědi není příliš vzdálen od průměru skutečného. Diference v tvorbě HPH si zachovávají i nadále tradiční sezónnost a není pravděpodobné, že by v příštích obdobích došlo k prudkým výkyvům.



Obr. 15. Odhad ARIMA modelu pro stavebnictví

Pro analýzu sektorového potenciálu využijeme standardně Cobbovu-Douglasovu produkční funkci. Vzhledem k silné sezónnosti a nedostupnosti čtvrtletních dat za kapitálovou zásobu je odhad proveden pro roční data v dostupné časové řadě 1995–2004. Časová řada je, bohužel, velmi krátká, což může poznamenat vypovídací schopnost odhadu. Navíc, jak bylo řečeno výše, prošel sektor poměrně výrazným snížením počtu registrovaných zaměstnanců, což se projeví v odhadu přirozeně zaměstnaných. Odhadovaná Cobbova-Douglasova produkční funkce má standardně v linearizované podobě tvar

$$\ln(Y) = \alpha \ln(K) + \beta \ln(N) + \ln(A), \quad (6)$$

kde  $Y$  je HPH sektoru,  $K$  je hrubá kapitálová zásoba,  $N$  je počet zaměstnaných v sektoru a  $A$  je úroňová konstanta (multifaktorová produktivita). Na rozdíl od tradičního pojetí nebudeme předpokládat konstantní výnosy z rozsahu. Nejprve je při odhadu koeficientů metodou nejmenších čtverců třeba zajistit stacionaritu dat. Stacionarita je ověřována testem ADF se zpožděním jednoho období. Na tomto testu (tab. 6) se pochopitelně může negativně projevit krátkost sledované řady. Z tabulky je patrné, že jedinou stacionární proměnnou je kapitál. Nicméně je možné, že jsou proměnné kointegrované a v takovém případě můžeme přistoupit k aplikaci metody nejmenších čtverců (tab. 7, tab. 8).

Proměnné jsou kointegrované, přestože časová řada je krátká, a to se mohlo projevit v tomto testu. Nicméně má smysl alespoň orientačně odhadnout koeficienty produkční funkce. Odhad a grafickou interpretaci modelu ukazuje tab. 9, resp. graf v obr. 16. Pro nevýznamnost podle t-statistiky byla vynechána úroňová konstanta. Ekonomicky lze tento fakt interpretovat například tak, že úroveň technologie, externality a lidský kapitál nemají na produkci stavebnictví výraznější vliv. Z tabulky plyne, že stavebnictví vykazuje v současnosti rostoucí výnosy z rozsahu, kdy výrazně více se na produkci podílí faktor práce než kapitálu. To lze

Tab. 6. Test ADF pro sledované proměnné

Null Hypothesis: LNK has a unit root				
Exogenous: Constant, Linear Trend				
Lag Length: 1 (Fixed)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-4.885285	0.0261
Test critical values:	1% level		-5.835186	
	5% level		-4.246503	
	10% level		-3.590496	
Null Hypothesis: LNN has a unit root				
Exogenous: Constant, Linear Trend				
Lag Length: 1 (Fixed)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-0.686829	0.9288
Test critical values:	1% level		-5.835186	
	5% level		-4.246503	
	10% level		-3.590496	
Null Hypothesis: LNY has a unit root				
Exogenous: Constant, Linear Trend				
Lag Length: 1 (Fixed)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			0.630637	0.9963
Test critical values:	1% level		-5.835186	
	5% level		-4.246503	
	10% level		-3.590496	

Tab. 7. Kointegrace produkce a počtu zaměstnaných

Date: 02/01/07 Time: 12:08				
Hample(adjusted): 1997 2004				
Included observations: 8 after adjusting endpoints				
Trend assumption: Linear deterministic trend				
Series: LNY LNN				
Lags interval (in first differences): 1 to 1				
Unrestricted Cointegration Rank Test				
Hypothesized		Trace	5 Percent	1 Percent
No. of CE(s)	Eigenvalue	Statistic	Critical Value	Critical Value
None *	0.895368	18.48043	15.41	20.04
At most 1	0.051384	0.422013	3.76	6.65

\*(\*\*) denotes rejection of the hypothesis at the 5%(1%) level

Trace test indicates 1 cointegrating equation(s) at the 5% level.

Trace test indicates no cointegration at the 1% level.

Tab. 8. Kointegrace produkce a kapitálové zásoby

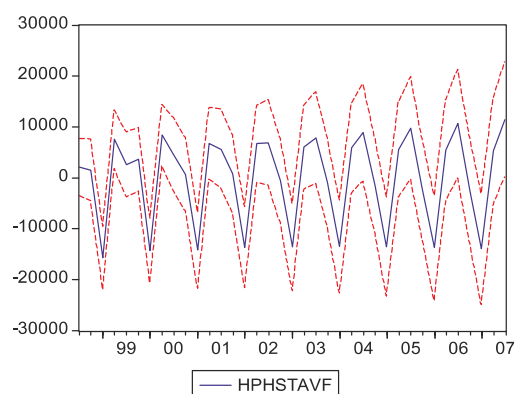
Date: 02/01/07 Time: 12:09				
Hample(adjusted): 1997 2004				
Included observations: 8 after adjusting endpoints				
Trend assumption: Linear deterministic trend				
Series: LNY LNK				
Lags interval (in first differences): 1 to 1				
Unrestricted Cointegration Rank Test				
Hypothesized		Trace	5 Percent	1 Percent
No. of CE(s)	Eigenvalue	Statistic	Critical Value	Critical Value
None **	0.993376	43.48570	15.41	20.04
At most 1	0.342042	3.348915	3.76	6.65

\*(\*\*) denotes rejection of the hypothesis at the 5%(1%) level

Trace test indicates 1 cointegrating equation(s) at both 5% and 1% levels.

Tab. 9. Odhad produkční funkce

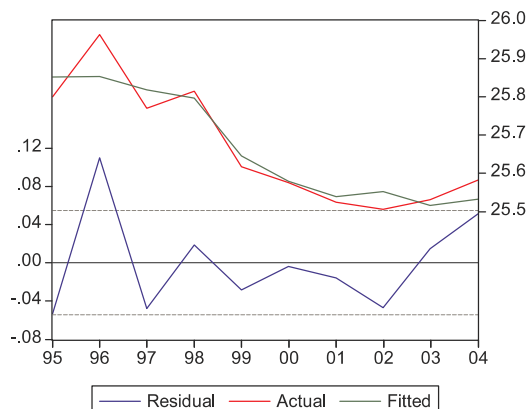
Dependent Variable: LNY				
Metod: Least Squares				
Date: 02/01/07 Time: 12:13				
Hample: 1995 2004				
Included observations: 10				
Variable	Coefficien	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LNN	1.324711	0.074902	17.68588	0.0000
LNK	0.339795	0.036452	9.321612	0.0000
R-squared	0.893257	Mean dependent var		25.66811
Adjusted R-squared	0.879914	S.D. dependent var		0.156680
S.E. of regression	0.054295	Akaike info criterion		-2.811917
Sum squared resid	0.023583	Schwarz criterion		-2.751400
Log likelihood	16.05958	Durbin-Watson stat		2.746788



Forecast: HPHSTAVF	
Actual: D(HPHSTAV)	
Forecast sample: 1996:1 2007:3	
Adjusted sample: 1998:3 2007:3	
Included observations: 33	
Root Mean Squared Error	3484.279
Mean Absolute Error	2841.159
Mean Abs. Percent Error	141.9227
Theil Inequality Coefficient	0.215866
Bias Proportion	0.000502
Variance Proportion	0.076745
Covariance Proportion	0.922754

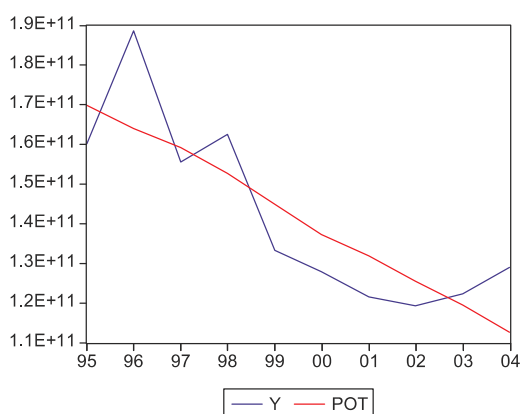
Obr. 16. Odhad vývoje HPH stavebnictví do 3. čtvrtletí 2007 [mil. Kč] ve stálých cenách r. 2000

poměrně jednoduše vysvětlit výrazným poklesem zaměstnanosti v sektoru bez obdobně výrazného snížení produkce, resp. výrazným růstem produktivity práce. Statistika D-W ukazuje na určitou negativní sériovou korelaci reziduí. Koefficient determinace je vysoký, t-statistiky jsou nad kritickou hodnotou.



Obr. 17. Odhad Cobbovy-Douglasovy funkce pro stavebnictví

Pokud odhadujeme potenciál, dosazujeme za faktor práce hodnoty přirozeně zaměstnaných. Je otázkou, jak tento počet určit, v našem případě vyjdeme z trendového počtu zaměstnaných, který určíme standardně Hodrickovým-Prescottovým filtrem. Potenciální produkci stavebnictví a srovnání se skutečnou produkcí zachycuje graf v obr. 18. Lze se (ovšem pouze orientačně) domnívat, že v současnosti je stavební produkce nad potenciálem. Ceny i zaměstnanost v sektoru jsou pravděpodobně vyšší, než byl dlouhodobý trend.



Obr. 18. Odhad potenciálu ve stavebnictví

**Příspěvek byl vypracován v rámci řešení výzkumného záměru CEZ MSM 6840770006 Fakulty stavební ČVUT.**

#### Literatura

- [1] Aghion, P. – Howitt, P.: Endogenous Growth Theory. MIT Press 1999.  
 [2] Buchanan, J. – Stubblebine, W. C.: Externality. *Economica* 1964, 371–377.

- [3] Burda, M. – Wyplosz, Ch.: *Macroeconomics, A European Text* Third Edition. Oxford University Press 2001.  
 [4] Barro, R. J. – Sala-i-Martin, X.: *Economic Growth*. McGraw-Hill 1995.  
 [5] Hušek R. – Pelikán, J.: *Aplikovaná ekonometrie – teorie a praxe*. Praha, Professional Publishing 2003.  
 [6] Romer, P.: Increasing Returns and Long Run Growth. *Journal of Political Economy* 1986, pp. 1002–1018.  
 [7] Seger, J. – Hindls, R. – Hronová, S.: *Statistika v hospodářství*. Praha, ETC Publishing 1998.  
 [8] Čadil, J. – Kadeřábková, B. – Vorlíček, J.: *Analýza externalit – ekonomický přístup*. ČZU, Praha, 2006.

#### Kadeřábková, B. – Čadil, J.: Development of the Building Industry and its Sector Potential

This article assesses the development of the building industry at the time of transformation from the economic and structural perspective, as well as its contribution to Czech economics.

#### Kadeřábková, B. – Čadil, J.: Die Entwicklung des Bauwesens und sein Sektorpotenzial

Der Artikel bewertet die Entwicklung des Bauwesens im Zeitraum der Transformation aus wirtschaftlich-statischer Sicht und seinen Beitrag zur Dynamik der tschechischen Wirtschaft.

## Pražský industriál

Technické stavby  
a průmyslová  
architektura Prahy



ČVUT v Praze, 2007,  
rozšířené vydání, formát B5, šitá vazba, 304 s.

Jedním z výsledků dlouhodobého projektu Registru průmyslového dědictví je kniha *Pražský industriál*, kterou Výzkumné centrum průmyslového dědictví vydalo v roce 2005 ve spolupráci s Magistrátem hlavního města Prahy. Pro velký zájem vychází v rámci oslav třístého výročí založení ČVUT v Praze jeho druhé, revidované a doplněné vydání. Alternativní průvodce Prahou nyní obsahuje 358 hesel, 548 fotografií a 17 map, lokalizujících jednotlivé objekty. Jde jak o stavby technické a dopravní, kterým již věnovali svou pozornost odborní pracovníci specializovaných muzeí, tak díla průmyslové architektury, jejichž hodnotou a potenciálem nového využití se VCPD zabývá.

## Transportní parametry vody a chloridů materiálů historických budov

Ing. Zbyšek PAVLÍK, Ph. D.  
Ing. Lukáš FIALA  
Ing. Milena PAVLÍKOVÁ, Ph. D.  
prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

Experimentální stanovení profilů vlhkosti a koncentrace chloridů je provedeno na vzorcích tvaru hranolu o rozměrech 20 x 40 x 160 mm. Vzorky jsou vystaveny pronikání 1M roztoku NaCl. Ve zvolených intervalech je ve vzorku změřena distribuce vlhkosti a koncentrace chloridů, přičemž vlhkost je stanovena gravimetricky a obsah chloridů pomocí iontově selektivní elektrody. Profily vody a koncentrace chloridů jsou následně použity pro výpočet difúzního koeficientu vody a chloridů na základě inverzní analýzy pomocí Fickova difúzního modelu, difúzního modelu zahrnujícího závislost difúzního koeficientu soli na její koncentraci a difúzně advektivního modelu. Získané výsledky budou využity při počítačovém modelování transportu solí v poréznych materiálech, což je v současné době velmi aktuální téma, obzvláště z hlediska trvanlivosti stavebních materiálů a životnosti konstrukcí vystavených působení solí.

### Úvod

V České republice, stejně jako kdekoli jinde na světě, jsou ve vodě rozpustné soli jednou z hlavních příčin poškození historických budov a jiných objektů památkové péče, jakými jsou např. sochařská díla. V porovnání s jinými zeměmi je situace u nás díky poloze ve střední Evropě, kde na památky nepříznivě nepůsobí mořská voda a aerosol, nepatrně lepší. I přes tuto výhodu historické zdivo často obsahuje značné množství solí. Zdrojů ve vodě rozpustných solí známe několik. Buď mohou být obsaženy v původním stavebním materiálu, nebo vznikají chemickou reakcí či dekompozicí. Typickým příkladem je dolomitický vápenec, v minulosti často používaný jako zdicí materiál, který v přítomnosti sádry a vlhkosti dává vzniknout síranu hořečnatému. Soly se mohou do zdiva dostat také v průběhu rekonstrukce nebo renovace budov (s cementy nízké kvality, impregnací vodním sklem, příměsmi nemrznoucích směsí do malty atd.). V městských oblastech se pro zimní údržbu komunikací používá velké množství chloridu sodného a vápenatého, ačkoli je velmi dobře známo, že působí negativně jak na stavební materiály, vozovky, kovové části budov, tak na vegetaci. Dusičnany, vyskytující se ve stavebních materiálech, jsou většinou biologického původu. Najdeme je v objektech, kde jsou přítomné zvířecí exkrementy (i holubi a netopýři). Vysoké množství dusičnanů a dusitanů najdeme i v budovách s poškozeným sanitárním zařízením. Do zdiva historických budov, většinou bez horizontální hydroizolace, pronikají ve vodě rozpustné soli nejčastěji kapilárním vztlínáním zemní vlhkosti. Jestliže jsou v poréznych sys-

tému přítomny ve formě roztoku, nepředstavují obvykle významné nebezpečí. Problém nastává, dochází-li k odpařování vody. Díky tomu roste koncentrace solí v roztoku a po překročení určitého prahu dochází ke krystalizaci solí. Následné tlaky mohou být větší, než je pevnost materiálu, a při působení na stěny pórů mohou způsobit jeho destrukci.

Nebezpečí degradace historického zdiva můžeme nejjednodušeji zjistit laboratorní analýzou vzorků z poškozených konstrukcí, která poskytne podrobné informace o obsahu vody, typu a množství iontů solí v materiálu, což je velmi užitečné pro zhodnocení stávajícího stavu konstrukce. Na základě výsledků stanovíme nejen chemické složení pórového roztoku, ale můžeme také odhadnout zdroj jednotlivých iontů a mechanismy jejich transportu. Takto stanovené množství solí je možné klasifikovat různým způsobem. *Tabulka 1* uvádí obsah solí podle metodologie zavedené v projektu EUREKA EU – 1270. Stupeň 0 odpovídá nízké koncentraci. Obsaženo je pouze stopové množství solí a poškození zdiva je vyloučeno. Stupeň 1 představuje velmi nízké zatížení stavební konstrukce. Pouze v nepříznivých podmínkách (např. u tlusté stěny se zdrojem konstantní kapilární vlhkosti) může dojít k poškození. Stupeň 2 udává střední zatížení solemi se sníženou trvanlivostí omítek a nátěrů. Stupeň 3 je považován za kritický vzhledem k trvanlivosti omítek a nátěrů. I přes aktivní vertikální izolační vrstvy zůstane zdivo díky hygroskopickým vlastnostem solí vlhké. Stupeň 4 znamená extrémně vysoké zasolení, při kterém se poruchy objevují v krátkém časovém horizontu [1]. Na základě odebraných vzorků je velice obtížné spolehlivě předpovídat průběh další degradace. Vyžaduje to roky, někdy dokonce desetiletí měření in-situ, nehledě na fakt, že rozsah měření je omezen množstvím materiálu, které je možné z historické budovy odebrat.

Tab. 1. Klasifikace množství solí [% hmot.]

Soly	Stupeň				
	0	1	2	3	4
chloridy	0 – 0,01	0,01 – 0,03	0,03 – 0,09	0 – 0,01	0,01 – 0,03
dusičnany	0 – 0,01	0,01 – 0,05	0,05 – 0,15	0 – 0,01	0,01 – 0,05
sírany	0 – 0,02	0,02 – 0,08	0,08 – 0,24	0 – 0,02	0,02 – 0,08

K predikci transportu vody, transportu a krystalizace solí v konstrukci historické budovy je možné efektivně využít matematické a počítačové modelování. Vývoj distribuce koncentrace vody a solí je možné simulovat, což dává základní informaci pro korektní stanovení možných poškození. Je však nezbytné si uvědomit, že přesnost počítačových simulací je závislá na dokonalé znalosti vstupních parametrů matematických modelů transportu solného roztoku.

Při počítačovém modelování kombinovaného transportu vody a iontů solí rozlišujeme dva základní typy vstupních parametrů. Počáteční podmínky je možné určit analýzou koncentrace vody a solí v konstrukci in-situ. Mezi okrajové podmínky řadíme meteorologická data pro teplotu, relativní vlhkost, úhrn srážek, sluneční záření, popř. koncentraci kyselinotvorných plynů v atmosféře. Můžeme je získat ve formě referenčního roku, který vyjadřuje průměrné atmosférické veličiny v delším časovém horizontu. Do okrajových podmínek patří obsah vody a koncentrace solí v půdě v bezprostředním okolí vyšetřované konstrukce. Tato data opět získáme laboratorní analýzou vzorků odebraných in-situ.

Další typ vstupních parametrů představují transportní a akumulací koeficienty materiálů, které jsou zavedeny v bilančních rovnicích počítačových modelů. Pro popis přenosu vlhkosti jsou to součinitel vlhkostní vodivosti a faktor difúzního odporu vodní páry jako parametry transportu vody, sorpční izoterma a retenční křivka vody jako její akumulací parametry. Transport solí je charakterizován součinitelem difúze a vazebnou izotermou solí, která definuje míru vázání iontů solí na stěny porézního prostoru. Všechny tyto parametry je možné stanovit přesnými laboratorními metodami, přičemž vzorky materiálů je možné odebrat z konstrukcí analyzovaných historických budov. V tomto článku se zabýváme stanovením součinitele vlhkostní vodivosti, difúzního součinitele chloridů a vazebné izotermu chloridů dvou historických keramických cihel.

### Matematické modely

Identifikace parametrů popisujících transport a akumulaci solí je závislá na předpokládaném mechanismu transportu. Zde jsou pro popis transportu solného roztoku použity tři různé modely.

■ První model vychází z Fickovy difúzní rovnice s konstantním difúzním koeficientem solí a konstantními počátečními a okrajovými podmínkami. Transport solí uvažuje pouze na principu difúze. Fickova difúzní rovnice má velmi jednoduché matematické řešení, které je možné vyjádřit v následující formě [2]

$$C(x, t) = C_0 \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \right], \quad (1)$$

kde  $C$  [ $\text{kgm}^{-3}$ ] je koncentrace solí,  $D$  [ $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ ] difúzní koeficient solí,  $C_0$  [ $\text{kgm}^{-3}$ ] koncentrace solí na konci vzorku, který je v kontaktu s roztokem solí,  $x$  [m] je vzdálenost od exponované části vzorku,  $t$  [s] je čas. Hlavní nevýhodou tohoto modelu je fakt, že předpokládá pouze konstantní difúzní koeficient a zanedbává vliv vody na transport solí. Přestože je poměrně jednoduchý, používá se velmi často pro hrubý odhad rychlosti transportu solí.

■ Druhý model je také založen na difúzním mechanismu transportu solného roztoku. V porovnání s Fickovou difúzní rovnicí je zde již zavedena závislost difúzního koeficientu  $D$  na koncentraci solí  $C$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \operatorname{div}(D(C) \operatorname{grad} C), \quad (2)$$

kde  $C$  [ $\text{kgm}^{-3}$ ] je koncentrace solí,  $D$  [ $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ ] difúzní koeficient solí. Jelikož obdobným vztahem můžeme popsat také

transport vlhkosti, výpočet na koncentraci závislých difúzních koeficientů z naměřených koncentračních profilů provedeme stejným způsobem jako určení součinitele vlhkostní vodivosti v závislosti na vlhkosti. Při inverzní analýze rovnice (2) vycházíme ze skutečnosti, že známe distribuci solí ve vzorku v čase a v prostoru  $C(x, t)$  stejně jako počáteční a okrajové podmínky experimentu.

V klasickém Boltzmannově-Matanově vyjádření [3] jsme nejdříve zavedli Boltzmannovu transformaci

$$\eta = \frac{x}{2\sqrt{t}}, \quad (3)$$

$$\omega(\eta) = C(x, t). \quad (4)$$

Dosažením vztahů (3) a (4) do rovnice (2) a následnými úpravami

$$\frac{\partial C}{\partial x} = \frac{dC}{d\eta} \frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{dC}{d\eta} \frac{1}{2\sqrt{t}}, \quad (5)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{dC}{d\eta} \frac{\partial \eta}{\partial t} = \frac{dC}{d\eta} \cdot \left( -\frac{x}{4t\sqrt{t}} \right) = \frac{dC}{d\eta} \cdot \left( -\frac{\eta}{2t} \right) \quad (6)$$

transformujeme parciální diferenciální rovnici (2) na obyčejnou diferenciální rovnici ve tvaru

$$\frac{d}{d\eta} \left( D \frac{d\omega}{d\eta} \right) + 2\eta \frac{d\omega}{d\eta} = 0. \quad (7)$$

Za předpokladu, že v čase  $t_0 = \text{konst.}$  je znám profil koncentrace solí  $C(x, t_0)$ , můžeme provést druhou transformaci

$$z = \eta \cdot 2\sqrt{t_0}, \quad (8)$$

$$C(z) = \omega(\eta). \quad (9)$$

Dosažením rovnic (8) a (9) do rovnice (7) dostaneme

$$\frac{d}{dz} \left( D \frac{dC}{dz} \right) + \frac{z}{2t_0} \frac{dC}{dz} = 0. \quad (10)$$

Rovnici (10) integrujeme z vybraného bodu  $z$ , který nabývá hodnot v intervalu  $z = z_0$  až do  $z \rightarrow \infty$

$$\left[ D \frac{dC}{dz} \right]_{z_0}^{\infty} + \frac{1}{2t_0} \int_{z_0}^{\infty} z \frac{dC}{dz} dz = 0. \quad (11)$$

Aplikací Matanovy metody získáme konečný vztah pro výpočet součinitele difúze solí ve tvaru

$$D(C_0) = \frac{1}{2t_0 \left( \frac{dC}{dz} \right)_{z=z_0}} \int_{z_0}^{\infty} z \frac{dC}{dz} dz. \quad (12)$$

Obdobným způsobem lze stanovit součinitel vlhkostní vodivosti jako funkci obsahu vlhkosti

$$\kappa(w_0) = \frac{1}{2t_0 \left(\frac{d\kappa}{dz}\right)_{z=z_0}} \int_{z_0}^{\infty} z \frac{d\kappa}{dz} dz. \quad (13)$$

V rovnicích (12) a (13)  $C_0 = C(z_0, t_0)$  vyjadřuje koncentraci v bodě  $z_0$  v čase  $t_0$ ,  $w_0 = w(z_0, t_0)$  odpovídající obsah vody a  $z$  prostorovou proměnnou. Tyto odvozené integrální vztahy můžeme vyřešit běžnými numerickými metodami, např. Simpsonovým pravidlem.

■ Komplexním modelem je bezpochyby difúzně advektivní model Beara a Bachmata [5], [6], který kromě difúze solí v roztoku zahrnuje i vliv toku vlhkosti na transport solí a efekt vázání iontů solí na stěny porézního prostoru. Model využívá k popisu současného transportu vody a solí systém dvou parabolických diferenciálních rovnic

$$\frac{\partial(wC_f)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( wD \frac{\partial C_f}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( C_f \kappa \frac{\partial w}{\partial x} \right) - \frac{\partial C_b}{\partial t}, \quad (14)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \kappa \frac{\partial w}{\partial x} \right). \quad (15)$$

Tento systém můžeme podrobit inverzní analýze stejně jako v případě jedné parabolické rovnice za předpokladu, že počáteční a okrajové podmínky jsou dostatečně jednoduché. Nejjednodušší způsob inverzní analýzy rovnic (14) a (15) nabízí opět Boltzmannova-Matanova metoda, vycházející z předpokladu konstantních počátečních podmínek a Dirichletových okrajových podmínek, přičemž musí platit, že jedna z Dirichletových okrajových podmínek je rovna počáteční podmínce. Po aplikaci Boltzmannovy transformace na rovnice (14), (15) a provedení několika algebraických úprav dostáváme rovnici pro výpočet difúzního koeficientu

$$D(z_0) = - \frac{C_f(z_0) \kappa(z_0) \left(\frac{dw}{dz}\right)_{z_0} + \int_{z_0}^{\infty} z \left( \frac{d(wC_f)}{dz} + \frac{dC_b}{dC_f} \frac{dC_f}{dz} \right) dz}{w(z_0) \left(\frac{dC_f}{dz}\right)_{z_0} + 2t_0 \cdot w(z_0) \cdot \left(\frac{dC_f}{dz}\right)_{z_0}}, \quad (16)$$

kde  $z$  je prostorová proměnná (v našem případě vzdálenost od čela vzorku vystaveného penetraci),  $t_0$  je čas odpovídající vybranému profilu vlhkosti a koncentraci solí  $w = w(z, t_0)$ ,  $C_f = C_f(z, t_0)$  pro hodnoty vlhkosti a koncentrace solí  $w_0 = w(z_0, t_0)$ ,  $C_{f0} = C_f(z_0, t_0)$ . Naměřeným hodnotám vlhkosti a koncentrace solí pak odpovídají výsledky součinitele vlhkostní vodivosti a difúzního koeficientu solí  $\kappa(z_0) = \kappa(w_0, C_{f0})$ ,  $D(z_0) = D(w_0, C_{f0})$ .

### Materiály a experimentální uspořádání

Mnoho staveb z období mezi 18. a 20. stoletím bylo vyzděno z keramických cihel, a proto jsme se zaměřili na dva typy (BR<sub>1</sub>, BR<sub>2</sub>), které se na našem území běžně používaly.

Základní parametry, kde  $\rho_b$  je objemová hmotnost,  $\rho_{mat}$  hustota matrice,  $\psi$  pórovitost, uvádí tab. 2. Ačkoli se materiál zdá být velmi rozdílný, materiálové charakteristiky jsou podobné.

Tab. 2. Vlastnosti materiálů

Druh	$\rho_b$	$\rho_{mat}$	$\psi$
	[kgm <sup>-3</sup> ]		[%]
BR <sub>1</sub>	1 670	2 650	36
BR <sub>2</sub>	1 788	2 630	32

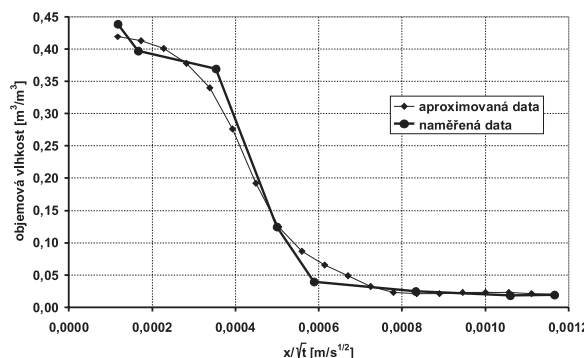
Uspořádání experimentu pro určení vlhkostních a koncentračních profilů bylo obdobné jako u standardních sorpčních experimentů. Vzorky o rozměru 20 x 40 x 160 mm byly nejdříve vysušeny při teplotě 80 °C a tlaku 0,1 mbar ve vakuové sušárně a pro zajištění jednorozměrného transportu solného roztoku na bočních stranách izolovány epoxidovou pryskyřicí. Poté byla jedna z čelních stran vzorku o rozměru 40 x 20 mm vystavena pronikání 1M roztoku NaCl ( $\rho_{1M-NaCl} = 1 041 \text{ kgm}^{-3}$  při 21 °C). Experiment probíhal po dobu 30, 60 a 120 minut na třech různých sadách vzorků, rozřezaných na osm stejných částí, v každé z nich byla stanovena vlhkost a koncentrace chloridů. Obsah vody byl změřen gravimetricky zvážením suchých a vlhkých vzorků. Pro určení koncentrace chloridů se vysušené vzorky nejprve rozemlely na prášek se zrnky menšími než 0,063 mm, a poté zalily destilovanou vodou o teplotě 80 °C. Obsah chloridů v jednotlivých výlučcích se určil pomocí iontově selektivní elektrody.

Pro určení vazebné izotermy, která je hlavním akumulacním parametrem solí, jsme použili modifikaci Tangovy a Nilssonovy adsorpční metody [7]. Modifikace spočívá v použití vzorků s realističtějšími rozměry (40 x 40 x 10 mm). Hlavním důvodem této úpravy je fakt, že původní metoda pracuje s předpokladem ideálního navázání solí. Při něm dochází k přímému kontaktu roztoku s každým zrnem materiálu. V reálném vzorku je skutečnost jiná. Vnitřní povrch pórů, kde ke kontaktu solí s materiálem dochází, je menší než celkový povrch rozdrčeného vzorku. Vazebná kapacita je ovlivňována mnoha faktory, např. porézní strukturou a distribucí pórů, kterou je možné ovlivnit různými příměsmi. Výsledky získané měřením podle Tanga a Nilssona můžeme tedy považovat za horní mez reálné vazebné kapacity solí [8]. V tomto článku byla vazebná izoterma NaCl měřena pouze pro keramickou cihlu BR<sub>1</sub>, protože na základě výsledků uvedených v tab. 2 předpokládáme, že pro druhý zkoumaný materiál, cihlu BR<sub>2</sub>, bude její tvar velmi podobný. Z celkových koncentračních profilů NaCl jsme stanovili obsah volných iontů podle vztahu  $C_t = w \cdot C_f + C_b$ , kde  $C_t$  [kgm<sup>-3</sup><sub>vzorku</sub>] je celková naměřená koncentrace iontů chloridů,  $C_f$  [kgm<sup>-3</sup><sub>roztoku</sub>] koncentrace volných iontů a  $C_b$  [kgm<sup>-3</sup><sub>vzorku</sub>] koncentrace chloridových iontů vázaných na stěny porézního prostoru.

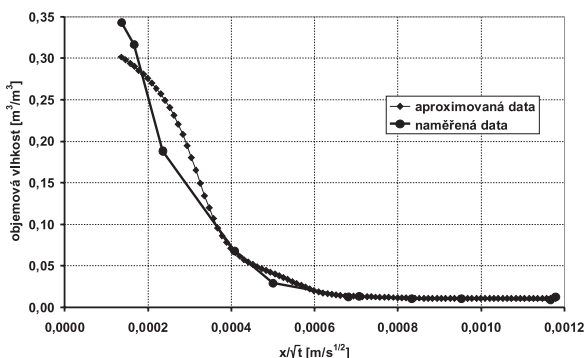
### Výsledky experimentu

Průběh vlhkosti a koncentrace NaCl v Boltzmannově formě uvádějí obr. 1 až obr. 4. Pro aproximaci dat, která je nutná pro další počítačové zpracování, jsme použili metodu lineární filtrace. Vazebná izoterma NaCl, naměřená modifikovanou adsorpční metodou dle [8], je na obr. 5. Její průběh je evidentním důkazem vysoké vazebné kapacity zkoumaného materiálu.

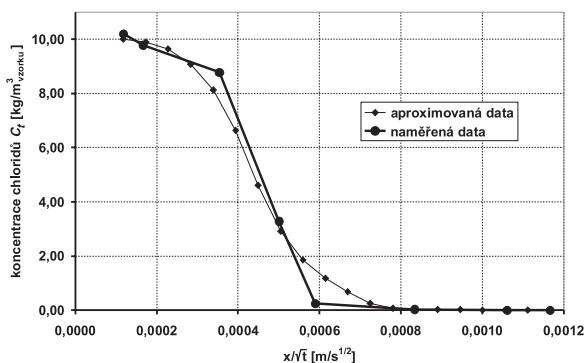




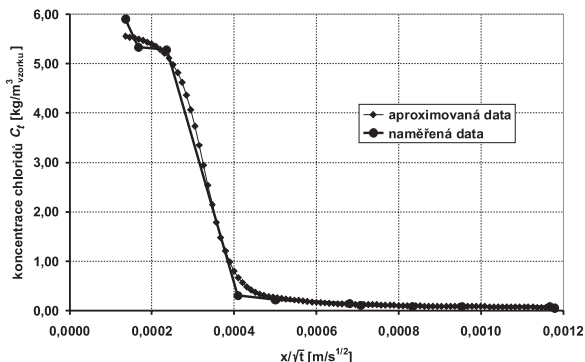
Obr. 1. Profil obsahu vlhkosti při pronikání 1M roztoku NaCl do materiálu BR<sub>1</sub>



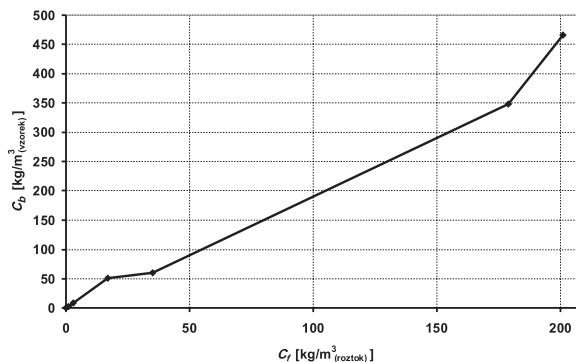
Obr. 2. Profil obsahu vlhkosti při pronikání 1M roztoku NaCl do materiálu BR<sub>2</sub>



Obr. 3. Profil celkové koncentrace chloridů (volných a vázaných) v BR<sub>1</sub>

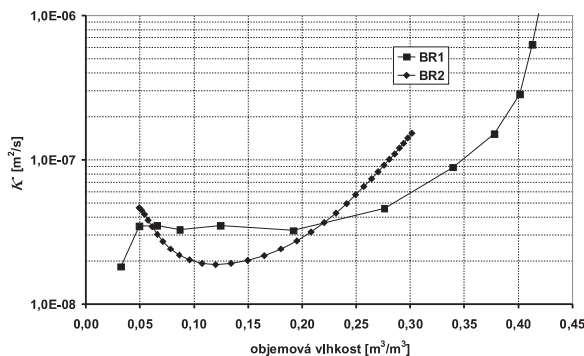


Obr. 4. Profil celkové koncentrace chloridů (volných a vázaných) v BR<sub>2</sub>

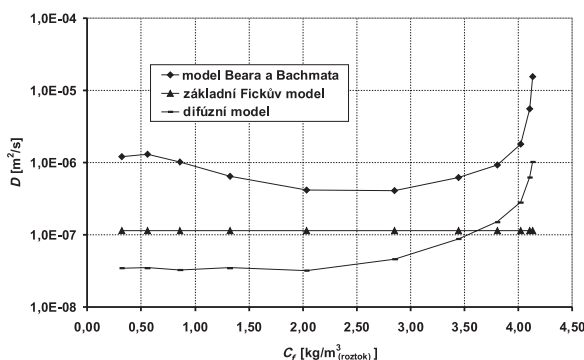


Obr. 5. Vazebná izoterma keramické cihly

Výsledky inverzní analýzy jsou prezentovány na obr. 6 až obr. 8. Závislost součinitele vlhkostní vodivosti zkoumaných keramických cihel na obsahu vlhkosti popisuje obr. 6. Je zřejmé, že funkce  $\kappa(w)$  má pro oba typy cihel podobný průběh. Rozdíly, obzvláště při vyšším obsahu vody, kde  $\kappa$  pro BR<sub>1</sub> je vyšší než  $\kappa$  BR<sub>2</sub>, jsou v souladu s hodnotami celkové otevřené pórovitosti uvedenými v tab. 2.



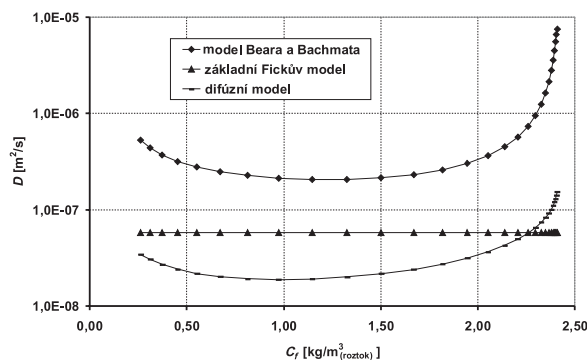
Obr. 6. Součinitel vlhkostní vodivosti materiálů



Obr. 7. Difúzní koeficient chloridů pro cihlu BR<sub>1</sub>

Difúzní koeficienty chloridů v závislosti na koncentraci volných chloridových iontů, které byly stanoveny aplikací tří výše popsaných modelů transportu solného roztoku, jsou znázorněny na obr. 7 a obr. 8. Z porovnání výsledků je zřejmé, že difúzní koeficient cihly BR<sub>1</sub> byl mírně vyšší. Tento fakt může být opět důsledkem větší pórovitosti cihly BR<sub>1</sub>. Hodnoty difúzního koeficientu získané pomocí difúzně advektivního modelu byly pro oba materiály o dva řády vyšší než hodnoty zjištěné na základě prostého difúzního modelu. Z toho vyplývá, že mechanismus advekce byl při

transportu soli dosti významný. Tento princip chování jsme již dříve sledovali u dalších stavebních materiálů, jako je pískovec nebo kalcium silikát.



Obr. 8. Difúzní koeficient chloridů pro cihlu BR<sub>2</sub>

Z kvantitativního hlediska byl difúzní koeficient chloridů pro oba materiály přibližně o tři řády vyšší než difúzní koeficienty většiny iontů ve vodě. Mechanismus difúze tedy zřejmě nebyl jedinou hnací silou transportu chloridů. Urychlení transportu je možné vysvětlit povrchovou difúzí na stěnách pórů, preferenčními cestami či elektrochemickými vlivy. Toto vysvětlení je však pouze formální a v dalších pracích bude nezbytné se zaměřit na podrobnou fyzikálně chemickou analýzu.

## Závěr

Hlavním přínosem výzkumu bylo stanovení dvou základních parametrů popisujících schopnost keramické cihly transportovat vodu a ionty chloridů. Mechanismus transportu solí však nebyl dosud komplexně vyřešen, získané výsledky pouze potvrdily nutnost implementovat do použitých modelů další efekty.

Výzkum byl podporován projektem č. 103/06/0031 GA ČR.

## Literatura

- [1] Stillhammerová, M.: Short Overview on Problems of Water Soluble Salts in Slovak Republic. European Research on Cultural Heritage, Vol. 5, Prague, 2002, pp. 119–123.
- [2] Carslaw, H. S. – Jaeger, J. C.: Conduction of Heat in Solids. Oxford, Clarendon Press 1959.
- [3] Weyers, R. E.: Service Life Model for Concrete Structures in Chloride Laden Environments. ACI Materials Journal, Vol. 95, 1998, pp. 445–453.
- [4] Matano, C.: On the Relation between the Diffusion Coefficient and Concentration of Solid Metals. Jap. J. Phys., 8, 1933, pp. 109–115.
- [5] Bear, J. – Bachmat, Y.: Introduction to Modeling of Transport Phenomena in Porous Media. Vol. 4, Dordrecht, Kluwer 1990.
- [6] Pel, L. – Kopinga, K. – Kaasschieter, E. F.: Saline Absorption in Calcium-Silicate Brick Observed by NMR Scanning. J. Phys. D, Appl. Phys. 33, 2000, pp. 1380–1385.
- [7] Tang, L. – Nilsson, L.O.: Chloride Binding Capacity and Binding Isotherms of OPC Pastes and Mortars. Cement and Concrete Research 23, 1993, pp. 247–253.
- [8] Jiříčková, M. – Černý, R.: Chloride Binding in Building Materials. Journal of Building Physics, Vol. 29, 2006, pp. 189–200.

Pavlík, Z. – Fiala, L. – Pavlíková, M. – Černý, R.: Water and Chloride Transport Properties of Materials of Historical Buildings

The experimental determination of moisture profiles and chloride concentration was performed, using prism-shaped samples 20 x 40 x 160 mm. The samples were exposed to the penetration of the 1M solution of NaCl. At selected intervals, moisture distribution and chloride concentrations were measured; moisture was determined gravimetrically, and the chloride content was identified, using the ion selective electrode. The experimentally determined profiles of water and chloride concentrations were then exploited for the calculation of the diffusive coefficient of water and chlorides based on the inverse analysis, using Fick's diffusive model, the diffusive model including the dependency of the salt diffusive coefficient on its concentration, and the advective diffusive model. The results gained will be used in computer modelling of salt transport in porous materials, which is a highly topical theme nowadays, especially given durability of construction materials, as well as structures exposed to salt effects.

Pavlík, Z. – Fiala, L. – Pavlíková, M. – Černý, R.: Transportparameter von Wasser und Chloriden der Materialien historischer Bauwerke

Die experimentelle Bestimmung der Feuchtegehaltsprofile und der Chloridkonzentration wird an Mustern von der Form eines Balkens mit den Abmessungen 20 x 40 x 160 mm vorgenommen. Die Muster werden der Durchdringung von 1M NaCl-Lösung ausgesetzt. In gewählten Intervallen werden im Muster der Transport der Feuchtigkeit und die Chloridkonzentrationen gemessen, wobei die Feuchtigkeit gravimetrisch und der Chloridgehalt mit Hilfe einer selektiven Ionenelektrode bestimmt wird. Die experimentell bestimmten Profile des Wassers und der Chloridkonzentration werden nachfolgend für die Berechnung des Diffusionskoeffizienten des Wassers und der Chloride aufgrund einer Inversionsanalyse mit Hilfe des Fickschen Diffusionsmodells, eines die Abhängigkeit des Diffusionskoeffizienten des Salzes von dessen Konzentration einbeziehenden Modells und eines diffusionsmäßig advektiven Modells benutzt. Die gewonnenen Ergebnisse werden bei der Computermodellierung des Salztransports in porösen Materialien angewandt, was gegenwärtig ein sehr aktuelles Thema ist, besonders vom Gesichtspunkt der Dauerhaftigkeit von Baumaterialien und der Lebensdauer von Konstruktionen, die der Wirkung von Salzen ausgesetzt sind.

Všechna čísla časopisu  
**STAVEBNÍ OBZOR**  
si mohou čtenáři zakoupit  
v redakci časopisu  
a v prodejně technické literatury ČVUT,  
Bílá 90, Praha 6.

## Program pro podporu výuky v terénu oboru geodézie a kartografie

*doc. Ing. Dalibor BARTONĚK, CSc.  
VUT – Fakulta stavební  
Brno*

**K základním funkcím programu pro zadávání a kontrolu geodetických úloh patří zobrazování místopisů a fotografií bodů, informace o viditelnosti mezi jednotlivými body, automatizované generování dat pro úlohy měřických skupin a rychlá kontrola správnosti výsledků. Program byl ověřen při výuce v terénu v lokalitě Nesměř u Velkého Meziříčí.**

### Úvod

Součástí bakalářského a magisterského studia oboru geodézie a kartografie na FAST VUT v Brně je výuka geodézie v terénu. Cílem tohoto předmětu je umožnit studentům vyzkoušet si teoretické poznatky, seznámit se s geodetickými přístroji, pomůckami a geodetickými metodami v podmínkách blízkých praxi. Z organizačních důvodů jsou studenti rozděleni do relativně samostatných měřických skupin, z nichž každá má zadánu určitou úlohu. Repertoár úloh je pevně stanoven a podmínkou udělení zápočtu je úspěšné vyřešení předepsaných úloh. Protože každou úlohu řeší postupně všechny skupiny, musí se zajistit didaktická čistota vzdělávacího procesu tak, aby si členové jednotlivých skupin ve snaze zjednodušit výuku nesdělovali výsledky a neuchýlili se k tak nízké činnosti, jakou je opisování. Tím vznikla potřeba generovat rozdílná zadání stejných typů úloh pro jednotlivé pracovní skupiny. Situace se zkomplikovala v době, kdy studijní program oboru geodézie a kartografie se rozšířil o bakalářské studium. V mnoha případech totiž dochází k tomu, že tentýž předmět studují současně ročníky s tříletou i pětiletou délkou studia, takže se značně zvyšuje počet skupin, které musí výuku absolvovat. To vede k nárůstu počtu kombinací zadání úloh, přičemž je nutné zachovat, pokud je to možné, stejné podmínky pro všechny skupiny. To znamená, že např. jednotlivé měřené body by měly být v přijatelné vzdálenosti, přičemž jejich konfigurace musí vyhovovat danému typu úlohy a mezi body musí být zajištěna vzájemná viditelnost. Studentům musí být umožněno seznámit se s danou lokalitou tak, aby jednoznačně zadané body identifikovali. Dále je zapotřebí co nejrychleji zkontrolovat správnost výsledků úloh, aby studenti měli dostatek času na jejich případné přepracování včetně dodatečného měření v terénu. V neposlední řadě je řešení převážné části geodetických úloh silně závislé na počasí. Tyto faktory značně komplikují tvorbu rozvrhu jednotlivých úloh, takže ruční návrh je v současných podmínkách velmi pracný a zcela neefektivní. Tento stav si vyžádal přechod správy úloh k automatizovanému způsobu. Jedna z možných variant řešení je v článku popsána.

### Koncepce projektu

Koncepce projektu byla inspirována původní účelovou aplikací pro generování zadání a kontrolu úloh ve výuce

v terénu oboru geodézie a kartografie. Tato aplikace byla vytvořena v osmdesátých letech v jazyku BASIC [1] a v době svého vzniku splňovala základní požadavky potenciálních uživatelů, a to:

- vytvoření seznamu souřadnic včetně transformace pro danou skupinu a jeho tisk;
- zpětná transformace výsledků a jejich kontrola se vzorovým řešením;
- řešení základních geodetických úloh (vzdálenost mezi zadávanými body, souřadnicové rozdíly atd.).

Po nástupu operačního systému Windows přestával program splňovat nároky kladené na moderní software. Velkou nevýhodou byla nepřítomnost grafického rozhraní (aplikace komunikovala s uživatelem prostřednictvím příkazového řádku), pevně dané souřadnice bodů, jež neumožňovaly variabilitu a změny (informace byly uloženy přímo v kódu programu, a nebylo je tedy možné editovat) a nezanedbatelný problém způsobil s příchodem nových verzí Windows i složitý tisk ze systému MS-DOS.

Vzniklá situace si vyžádala řešení, které by vyhovovalo aktuálním požadavkům, s vyhovujícím uživatelským komfortem a dostatečným repertoárem funkcí. Hlavním cílem však nebylo realizovat co největší počet úloh, které by program zvládal, ale vytvořit robustní jádro, na kterém bude možné dále aplikaci rozvíjet a upravovat v souladu s vývojem oboru a novými požadavky. Přirozeným záměrem přitom bylo zachovat možnosti původního programu a dále je rozšířit. Na návrhu projektu se podíleli učitelé i studenti oboru geodézie, kteří jsou přímo zainteresováni na výuce v terénu. Na základě jejich teoretických znalostí a praktických zkušeností byl vytvořen model systému, jehož základní rysy lze shrnout do těchto bodů:

- databázové operace se seznamem bodů v dané lokalitě,
- variabilní tvorba jedinečné konfigurace zadání pro danou úlohu a skupinu,
- možnost vkládat a zobrazovat místopisy včetně fotografií bodů v terénu,
- možnost zadávat a zobrazovat vzájemnou viditelnost bodů v grafickém režimu,
- jednoduchá a rychlá kontrola výsledků,
- pohotový tisk formulářů zadání pro jednotlivé skupiny.

Z tohoto výčtu funkcí vyplývá, že program je připraven nejen pro korektní zadávání a kontrolu úloh, ale také pro snadné vyhledávání a identifikaci bodů v terénu při rekognoskaci.

### Vývoj a realizace

Projekt se realizoval téměř dva roky [2]. Během této doby byly do programu postupně začleňovány funkce uvedené v předchozím oddílu. Zdrojové texty byly pořízeny ve vývojovém prostředí Borland Delphi [8]. První verze programu, pracující pouze s textovými soubory typu \*.ini, byla uvedena do zkušebního provozu při výuce v terénu v letním se-

mestru roku 2005. Současná verze využívá databázový systém Firebird, který je zdarma jak pro soukromé, tak firemní použití. Vychází z produktu Interbase (sdílí cca 95% funkčnost) firmy Borland, která je také autorem použitého vývojového prostředí, takže komunikace mezi programem a databází je bez problémů. Aplikace si pro každý otevřený soubor vytvoří datový modul (TCoorDM), což je potomek datového modulu (TDataModule), který integruje některé specifické funkce pro práci s geodetickými daty. Do tohoto modulu jsou načteny vstupní informace ze souboru a v průběhu další činnosti jsou sdíleny přidruženými formuláři. Pro kompatibilitu byla v programu ponechána funkce pro práci s textovými soubory. Základní tabulkou databáze je seznam bodů se svými atributy (obr. 1). Každý bod je možné doplnit odkazem na obrázek místopisu a dvěma fotografiemi bezprostředního okolí bodu. Tyto informace umožňují při rekonstrukci snazší vyhledávání jednotlivých bodů v terénu a zobrazují se volitelně ve vyhrazené části formuláře.

číslo bodu	Y	X	Z	popis
29	636709.91	1144238.53	487.530	
30	636477.12	1144367.30		
31	637851.15	1142693.93		
32	638593.79	1142518.92		
33	638610.59	1143073.02	495.440	
34	638230.68	1143571.74		
40	638423.03	1142842.57	511.940	žk. výška trigonometrický
41	640045.51	1142870.11		na nic
42	638364.62	1143610.25	481.720	výška trigonometrický
43	638574.71	1143483.45	480.010	výška trigonometrický
44	638263.23	1143643.81	483.580	výška trigonometrický
45	638229.83	1143670.55	483.630	výška trigonometrický
46	638742.58	1143356.82	479.680	N14
47	638498.34	1143566.58	478.020	N15
48	639313.28	1142863.94	447.820	N9
49	638899.76	1142962.33	470.070	N10
56	638867.21	1143546.99	492.270	výška trigonometrický
57	638103.18	1143464.51		
78	635657.75	1145549.97	46.120	Tasov. koste

Obr. 1. Seznam souřadnic lokality Nesměř

Nezbytným podkladem pro korektní zadávání úloh je znalost vzájemné viditelnosti bodů v terénu. Pro databázové operace tabulky viditelnosti bodů slouží speciální formulář (obr. 2). Graficky je možné viditelnost zobrazit na dalším formuláři (obr. 3). V této části programu bylo využito komponent z knihovny Open GL (Graphic Language). Seznam bodů je možné vykreslit jak dvojrozměrně, tak trojrozměrně. V programu je viditelnost mezi body rozčleněna do tří kategorií (žádná, obtížná, dobrá), v grafice je rozlišena barevně.

z bodu	do bodu	viditelnost	text
29	33	3	
29	34	3	
29	42	0	
29	43	0	
29	46	0	
29	47	0	

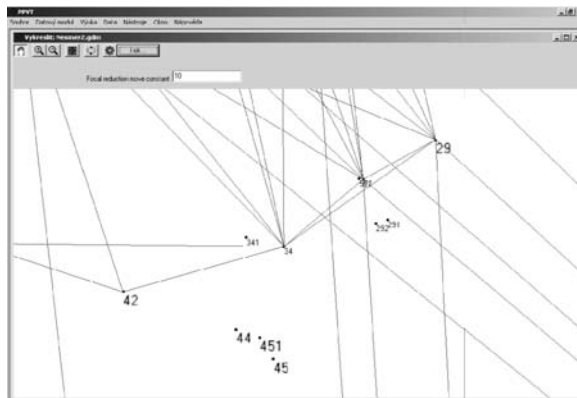
Z bodu: 29, Do bodu: 42

Y: 636709.91, X: 1144238.53, Z: 487.530

Y: 636989.49, X: 1144374.23, Z: 481.720

Viditelnost: 0

Obr. 2. Formulář pro zadávání vzájemné viditelnosti bodů



Obr. 3. Ukázka vykreslení viditelnosti bodů

Podstatnou funkcí, která byla převzata z původní verze [1], je tvorba zadání úloh pro jednotlivé měřické skupiny. Vstupním údajem je typ konkrétní úlohy (např. protínání vpřed), výstupem pak soubor bodů s atributy (čísla bodů a souřadnice  $Y, X, Z$  ve státních referenčních systémech S-JTSK a Bpv). Zatímco čísla bodů zůstávají beze změny, souřadnice se transformují tak, aby každá skupina měla vlastní hodnoty  $Y, X, Z$  pro zadané body. Odevzdané úlohy se zkontrolují tak, že se souřadnice určených bodů zpětně transformují na původní hodnoty a ty se pak porovnávají se vzorovými výsledky. Protože transformační klíč, jehož součástí je i číslo skupiny, je nevěřejný, nemohou si studenti výsledky jednotlivých úloh sdělovat. Ukázka tvorby zadání pro měřické skupiny je na obr. 4.

Transformační prvky:

Číslo skupiny: 1

X: 1.23, Y: 2.34, α: 0.0012

Transformovat:  na souřadnice skupiny,  ze souřadnic skupiny zpět

Převzít:  souřadnice Z,  popis

číslo bodu	Y	X	Z	popis
29	638084.88	1143474.88	487.53	
30	637814.08	1142798.86		
31	637851.15	1142693.93		
32	638593.79	1142518.92		
33	638610.59	1143073.02	495.44	
34	638230.68	1143571.74		
40	638423.03	1142842.57	511.94	žk. výška trig
41	640045.51	1142870.11		na nic
42	638364.62	1143610.25	481.72	výška trigonc
43	638574.71	1143483.45	480.01	výška trigonc
44	638263.23	1143643.81	483.58	výška trigonc
45	638229.83	1143670.55	483.63	výška trigonc
46	638742.58	1143356.82	479.68	N14
47	638498.34	1143566.58	478.02	N15
48	639313.28	1142863.94	447.82	N9
49	638899.76	1142962.33	470.07	N10
56	638867.21	1143546.99	492.27	výška trigonc
57	638103.18	1143464.51		
78	635657.75	1145549.97	46.12	Tasov. koste

Obr. 4. Příklad generování souřadnic bodů pro vybranou úlohu a skupinu

Mezi další funkce programu patří import a export souborů s body vybranými podle různých hledisek a tisk všech formulářů včetně náhledu a úprav před vytisknutím.

## Závěr

Současná verze programu byla ověřena při výuce v terénu oboru geodézie a kartografie VUT FAST Brno v letním semestru 2006. Program zajišťuje řadu funkcí, přičemž nejdůležitější z nich lze shrnout do těchto bodů:

- práce se seznamem souřadnic – program umožňuje ukládat body do seznamu s množstvím podrobných a

jedinečných informací (čísla bodů, souřadnice  $Y, X, Z$ , místopis, fotografie apod.);

- informace o vzájemné viditelnosti bodů – do programu lze zadat tři kategorie viditelnosti;
- grafický režim – program umí vykreslit body dvojrozměrně i trojrozměrně současně s barevně odlišenou viditelností ve třech kategoriích (žádná, obtížná a dobrá);
- tisk – program disponuje pokročilými možnostmi tisku včetně náhledu a nastavení parametrů, např. seznam souřadnic, bitmapy, místopisy, viditelnost;
- k dispozici jsou dvě základní výpočetní úlohy, a to seznam souřadnic skupiny a souřadnicové rozdíly;
- import / export – podpora textových souborů typu \*.ini; aplikace je připravena na rozšíření pro další formáty.

Program byl od počátku koncipován jako otevřené řešení s možností snadného rozšíření. Předpokládá se, že bude doplněn o nové funkce, uvažuje se např. o těchto procedurách:

- automatizované tvorbě personálního složení skupin podle absolvované střední školy a případné geodetické praxe;
- operativním plánování rozvrhu úloh podle rozpracovanosti, stavu přístrojů a potřebných pomůcek ve skladu a předpovědi počasí.

Uvažujeme-li obvyklý počet osmi skupin v ročníku, průměrný čas potřebný k ruční kontrole výsledků úlohy 30 minut, zkrátí se kontrola výsledků z původních 4 hodin na 30 až 40 minut.

#### Literatura

- [1] Soukup, F.: Program pro zadávání a kontrolu geodetických úloh v terénu. [Interní zpráva], FAST VUT Brno, 1995.
- [2] Vejda, J.: Program pro podporu výuky v terénu. [Diplomová práce], FAST VUT Brno, 2006, 55 s.
- [3] Foral, J.: Geodézie I. Modul 01 – Geodetická cvičení I. [Učební texty], FAST VUT Brno. Studijní obory pro studijní programy s kombinovanou formou studia (elektronická verze), 2005, 64 s.
- [4] Fišer, Z. – Vondrák, J. – Podstavek, J.: Výuka v terénu II. [Učební texty], FAST VUT Brno. Studijní obory pro studijní programy s kombinovanou formou studia (elektronická verze), 2005, 64 s.
- [5] Jandourek, J. – Blažek, R.: Geodézie – návody na cvičení (2. vydání), Praha, ČVUT, 1990, 219 s.
- [6] Nevošád, Z. – Vitásek, J. – Bureš, J.: Geodézie IV: Souřadnicové výpočty. Brno, CERM 2002, 157 s.
- [7] Čada, V.: Geodézie. [Učební texty], <http://gis.zcu.cz/studium/gen1/html/index.html>
- [8] <http://www.borland.com/>

#### Bartoněk, D.: Software for Computer-Aided Fieldwork in the Branch of Geodesy and Cartography

A program system created for geodetic tasks management in geodetic and cartographic training in the field is described in this paper. This application contains fundamental tasks, such as: topography viewing, photographs of points, information on visibility among individual points, automatic data generation of the tasks aimed at geodesist's groups and a rapid check of the results accuracy. The applicability of the program was tested at Nesměř near Velké Meziříčí during field training.

#### Bartoněk, D.: Programm zur Unterstützung des Unterrichts des Fachbereichs Geodäsie und Kartografie im Gelände

In diesem Artikel wird ein Programmsystem beschrieben, das zur Vergabe und Bewertung von geodätischen Aufgaben im Praktikum des Faches Geodäsie und Kartographie geschaffen wurde. Dieses Programm enthält die grundlegenden Funktionen wie Abbildung der Topographie und Photos der Punkte, Informationen über die Sichtbarkeit zwischen den einzelnen Punkten, automatische Datenbildung der Aufgabenvergabe für die Messgruppen und eine schnelle Kontrolle der Richtigkeit der Ergebnisse. Das beschriebene Programmsystem wurde im vorigen Jahr während eines Praktikums in der Gemeinde Nesměř bei Velké Meziříčí ausprobiert.



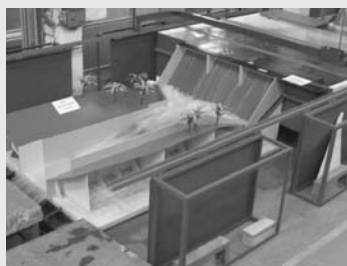
## Věda v ulicích

Fakulta stavební ČVUT v Praze

22. – 23. června 2007

9:00 – 18:00 hodin

prezentace na Náměstí Míru v Praze



Expozice fakulty stavební nabízí možnost prohlédnout si model vodního díla Nya-gak (Uganda) v měřítku 1 : 20, kdy předmětem zkoumání jsou podmínky proudění za různého uspořádání svodů vody do dna údolí. Dále si prohlédnete trojrozměrné vizualizace průchodu digitálním modelem domu, on-line ukázky z fotovoltaického systému instalovaného na budově fakulty včetně solárního panelu. V rychlokvízu můžete odhalit zajímavá česká „NEJ“ v oboru stavebnictví.

<http://www.ceskahlava.cz>

## Aktuální stav podrobného polohového bodového pole v některých katastrálních územích Brna

Ing. Jiří VONDRÁK, Ph. D.  
Ing. Zdeněk FIŠER  
Jana ANTONŮ  
Ing. Petr KALVODA  
VUT – Fakulta stavební  
Brno

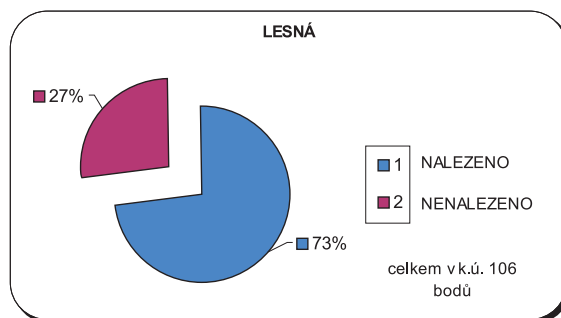
Příspěvek uvádí výsledky revize podrobného polohového bodového pole v katastrálních územích Města Brna, sídlištního celku Lesná a příměstské rekreační oblasti Sadová.

### Revize stavu PPBP

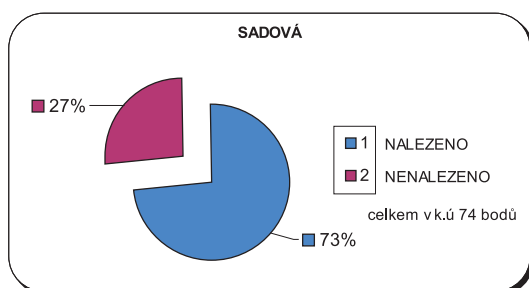
Katastrální území Sadová (č. 611565), o celkové výměře 2 821 264 m<sup>2</sup>, se nachází v severní části Brna. Lokalita je významnou rekreační zónou, převládá zahrádkářská kolonie. Stav PPBP uvádí obr. 1. Druhou lokalitou je k. ú. Město Brno (č. 610003) o výměře 1 194 301 m<sup>2</sup>. Jde o centrum, v němž v posledních dvou letech proběhla rozsáhlá rekonstrukce inženýrských sítí a komunikací (obr. 2). Třetí lokalitou je

### Úvod

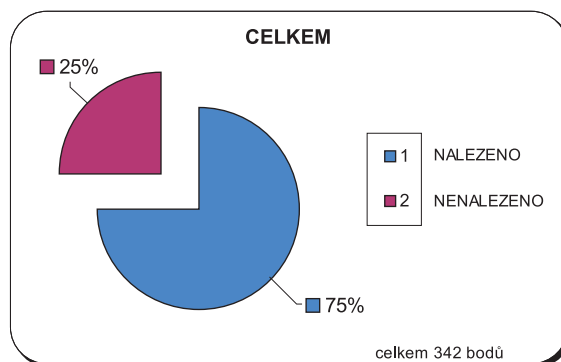
V Příloze k vyhlášce č. 31/1995 Sb. [13] je v bodě 1, odstavci 1.2, písmeno c) uveden termín podrobné polohové bodové pole (PPBP). Další text se zabývá výhradně technickými požadavky na body základního polohového bodového pole (ZBPB). Není tedy zcela zřejmé, co si pod pojmem bod podrobného polohového bodového pole můžeme představit. Podle definice základních pojmů, uvedených v [11], je bod PPBP definován jako „bod trvale nebo dočasně stabilizovaný určený se stanovenou přesností“. O způsobu stabilizace není v citované práci zmínka.



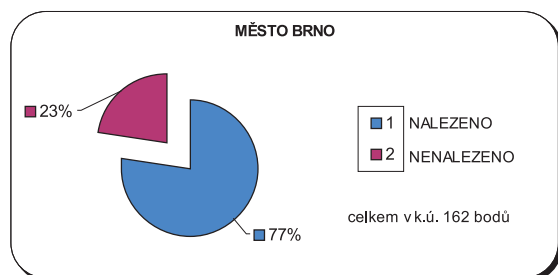
Obr. 3. Podrobné polohové bodové pole v k. ú. Lesná



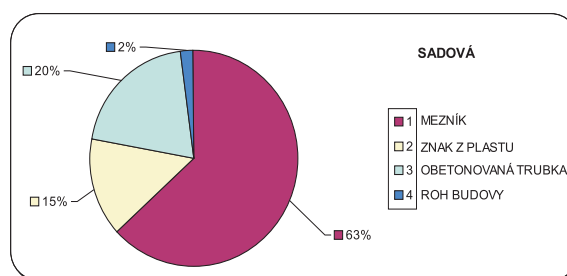
Obr. 1. Podrobné polohové bodové pole v k. ú. Sadová



Obr. 4. Celkový podíl nalezených bodů [%]



Obr. 2. Podrobné polohové bodové pole v k. ú. Města Brna



Obr. 5. Struktura způsobu stabilizace v k. ú. Sadová

typický sídlištní celek z přelomu šedesátých a sedmdesátých let v k. ú. Lesná (č. 610887). Panelovou zástavbu zde doplňují původní i později dostavěné rodinné domky. Celková výměra katastrálního území je 2 580 713 m<sup>2</sup> (obr. 3).

V grafech na obr. 1 až obr. 3 je procentní vyjádření vypočteno prostým průměrem.

Z výsledků revize vyplývá velmi zajímavý fakt, že přes značné odlišnosti lokalit je podíl nalezených bodů v podstatě identický. Ve větších statistických souborech se zdá, jako by využití území nemělo na životnost geodetických bodů podstatný vliv.

### Ověřování relativní přesnosti bodů PPBP

Charakteristikou relativní přesnosti určení souřadnic  $x$ ,  $y$  dvojice bodů PPBP je základní střední chyba  $m_d$  délky  $d$  přímé spojnice bodů této dvojice, vypočtené ze souřadnic. Charakteristika  $m_d$  nesmí přesáhnout kritérium  $u_d$ , vypočtené v metrech podle [1], pro každou délku spojnice. Přesnost je pak posuzována podle rozdílu délek vypočteného ze vztahu

$$\Delta d = d_m - d_k,$$

kde  $d_m$  je délka spojnice vypočtená z daných souřadnic a  $d_k$  je přímo určená délka po zavedení korekcí z nadmořské výšky a převodu do zobrazovací roviny. Dosažená přesnost se považuje za vyhovující, jestliže:

- absolutní hodnoty všech rozdílů délek vyhovují kritériu  $|\Delta d| \leq 2 u_d \cdot k$  [m];
- kritérium  $|\Delta d| \leq u_d \cdot k$  [m] je splněno pro 60 % ověřovaných délek  $d$ , přičemž  $u_d$  se vypočte ze vztahů uvedených v [1] a koeficient  $k$  má hodnotu pro délku vypočtenou z daných souřadnic  $k = 1,0$ .

Dále se nabízí možnost pokusit se stanovit kritéria ověřování na základě zákona hromadění chyb.

Přesnost PPBP charakterizuje střední souřadnicová chyba  $m_{xy} = 0,06$  m. Pro porovnání délek kontrolního přímého měření ( $d_k$ ) a vypočtených ze souřadnic ( $d_s$ ) se stanoví vztah jako rozdílu délek  $\Delta d = d_s - d_k$ . Podle zákona hromadění středních chyb je střední chyba délky vypočtené ze souřadnic  $m_d = m_{xy} \sqrt{2}$ . Potom mezní chyba délky spojnice, a tím i kritérium pro posouzení shody s kontrolními délkami, je

Tab. 1. Výsledky kontrolního měření délek v k. ú. Lesná

číslo	Měření		Délka [m]		
	mezi body		vypočtená	měřená	rozdíl
1	517	573	68,7	68,71	0,01
2	517	579	126,7	126,75	0,05
3	517	580	118,44	118,5	0,06
4	571	516	73,73	73,78	0,05
5	571	517	132,51	132,59	0,08
6	571	573	129,24	129,19	0,06
7	504	581	69,79	69,82	0,02
8	515	568	79,16	79,24	0,08
9	515	569	83,82	83,89	0,06
10	515	570	73,68	73,71	0,03
11	515	566	142,67	142,71	0,04
12	515	567	145,52	145,55	0,03
13	570	566	116,35	116,31	0,04
14	570	567	124,21	124,21	0,00
15	533	536	78,91	78,92	0,01
16	505	506	185,42	185,4	0,02
17	537	506	349,51	349,48	0,02
18	537	508	76,16	76,17	0,00
19	506	508	415,43	415,4	0,03
20	508	507	152,75	152,74	0,01

$u_d = m_{xy} \sqrt{2} \cdot t$ . V tomto případě navrhuje použít zkoušku na hladině významnosti  $\alpha = 5 \%$ , tj. volíme  $t = 2$ . Mezní souřadnicová chyba je kritériem pro posouzení rozdílu, její hodnota je pak  $u_d = 0,17$  m.

Tab. 2. Výsledky kontrolního měření délek v k. ú. Město Brno

číslo	Měření		Délka [m]		
	mezi body		vypočtená	měřená	rozdíl
1	526	642	113,17	113,15	0,03
2	526	549	64,27	64,25	0,03
3	526	551	58,28	58,3	0,02
4	642	549	159,97	159,94	0,03
5	642	551	165,68	165,66	0,02
6	642	550	130,9	130,94	0,04
7	549	551	82,95	82,97	0,02
8	549	550	91,73	91,79	0,06
9	551	550	37,58	37,54	0,04
10	571	569	62,06	61,95	0,11

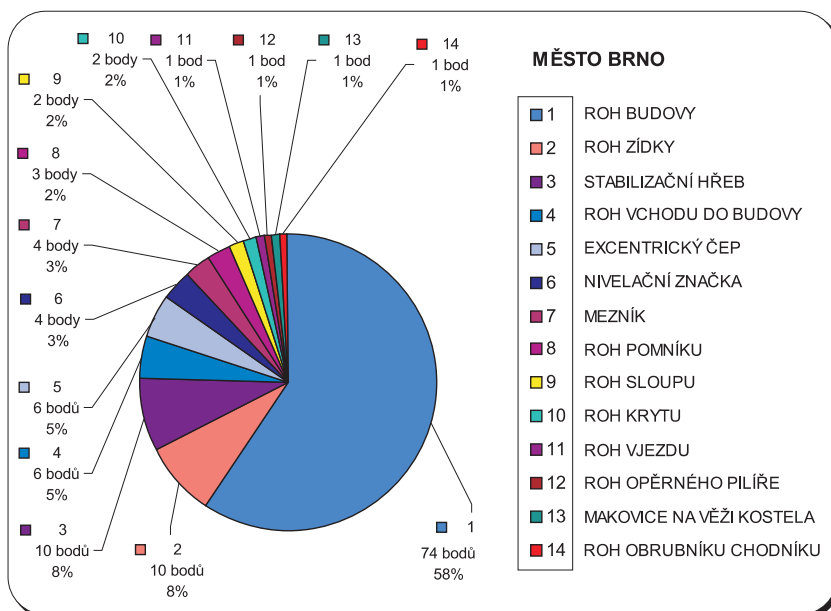
Ke kontrolnímu měření délek byla použita totální stanice Topcon GTS 223 se třemi podstavci. Přesnost přístroje je charakterizována hodnotou  $(2 + 2ppm \cdot d)$  [mm], kde  $d$  je měřená délka a zkratka  $ppm$  reprezentuje hodnotu  $10^{-6}$ . Analyzováno bylo kontrolní měření délek mezi dvojicemi bodů v katastrálních územích Město Brno (44 délek), Lesná (41 délek) a Sadová (16 délek). Porovnání měřených a vypočtených délek je v tab. 1 až tab. 3. Lze konstatovat, že body podrobného polohového bodového pole ve všech případech vyhověly požadovaným kritériím.

Tab. 3. Výsledky kontrolního měření délek v k. ú. Sadová

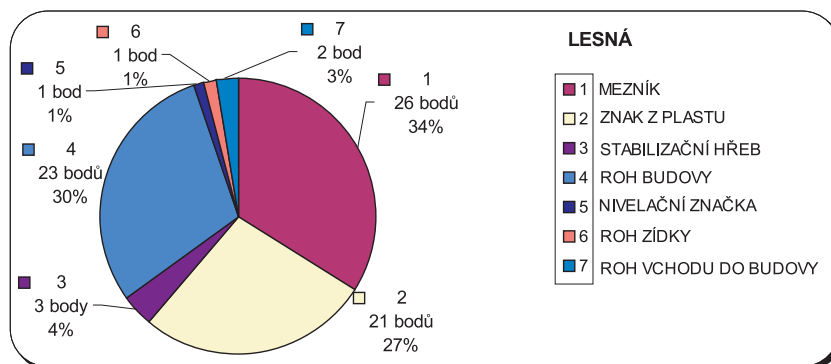
číslo	Měření		Délka [m]		
	mezi body		vypočtená	měřená	rozdíl
1	4019	4011	99,32	99,4	0,08
2	4011	4006	95,21	95,36	0,15
3	4006	4007	58,21	58,18	0,04
4	4007	4010	70,89	70,92	0,03
5	4010	4008	75,02	74,95	0,07
6	4008	4009	60,52	60,48	0,04
7	525	509	177,4	177,44	0,04
8	509	523	291,83	291,89	0,06
9	4020	5022	146,82	146,73	0,09
10	4022	4023	127,09	127,28	0,19
11	529	501	144,79	144,78	0,01
12	536	513	61,61	61,61	0,00
13	513	512	65,05	65,05	0,00
14	512	535	74,99	74,99	0,00
15	535	511	91,78	91,81	0,03
16	511	534	124,61	124,61	0,00

### Závěr

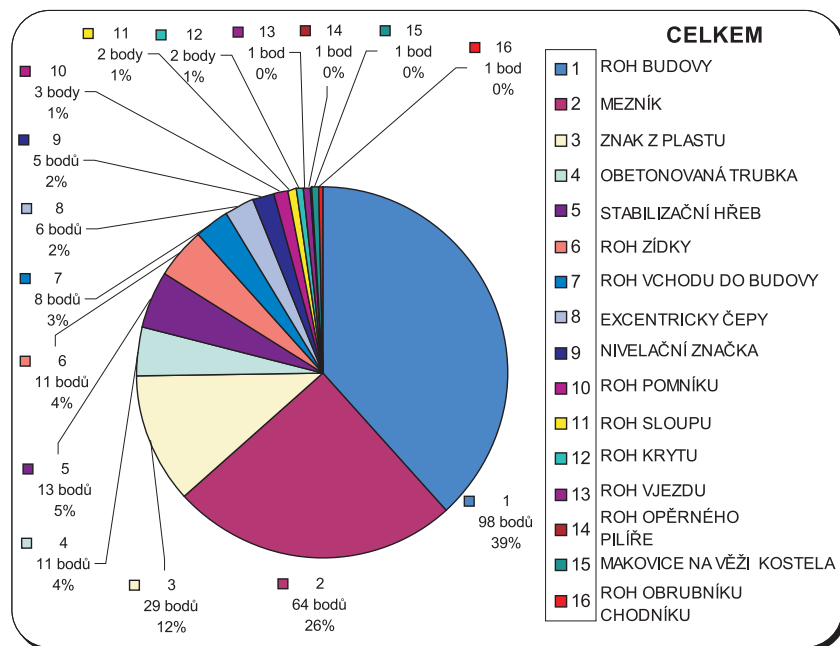
Ve všech katastrálních územích bylo dosaženo podobných výsledků. Vzhledem k velkým rozdílným v dominantním využití ověřovaných lokalit je shoda výsledků nečekaná. Počet nalezených bodů se pohybuje pro všechny lokality okolo 75 %. Na základě analýzy lze konstatovat, že všechny nalezené body PPBP splňují požadavky na přesnost. Podrobné bodové pole není pravidelně udržováno, přesto je lze využívat i po mnoha letech od vybudování. V současnosti zejména komerční subjekty budují body s kvalitou odpovídající podrobnému bodovému poli. Podle našeho názoru by předávání těchto bodů s příslušnými náležitostmi katastrálním úřadům znamenalo přínos pro geodetické činnosti



Obr. 6. Stabilizace v k. ú. Město Brno



Obr. 7. Struktura způsobu stabilizace v k. ú. Lesná



Obr. 8. Stabilizace BPPP v revidovaných katastrálních územích



zejména v intravilánu. Náklady na evidenci a zajištění její důvěryhodnosti by nebyly malé, ale vynaložené investice a úsilí by měly potenciál k rychlé návratnosti. Současná praxe, kdy pro každou činnost je různými subjekty v týchž lokalitách budováno bodové pole opakovaně, je přinejmenším neekonomická a v neposlední řadě snižuje homogenitu výsledků různých měření téže lokality. Navíc velký počet stabilizací, často na malém prostoru, zvyšuje riziko omylu a působí neesteticky.

#### Literatura

- [1] ČÚZK: Vyhláška č. 190/1996 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Praha, Sagit 2001.
- [2] Prozatímní návod pro obnovu katastrálního operátu přepracováním souboru geodetických informací a pro jeho vedení. ČÚZK, č. j. 5238/1998-23 ze dne 21.12.1998.
- [3] Zákon č. 344/1992 Sb., o katastru nemovitostí České republiky.
- [4] Metodický návod pro převod map v systému stabilního katastru do souvislého zobrazení v S-JTSK a doplňování parcel vedených ve zjednodušené evidenci do DKM, návrh z 13.11.2003.
- [5] Fišer, Z. – Vondrák, J.: Mapování. Brno, CERM 2003.
- [6] Fišer, Z. – Vondrák, J.: Mapování II. Brno, CERM 2004.
- [7] Potužák, P. – Císař, J.: Podrobné mapování. Praha, SNTL 1966.
- [8] Instrukce A pro katastrální měřické práce. Výnos ministerstva financí, 1931.
- [9] Instrukce B pro udržování služebních map velkých měřítek. Ústřední správa geodézie a kartografie, Praha, 1960.
- [10] ÚZ č. 298 Katastr nemovitostí – Zeměměřictví. Ostrava, Sagit 2001.
- [11] Bumba, J.: Geometrický plán. Praha, Linde 1999.
- [12] ČÚZK: Vyhláška č. 26/2007 Sb. Praha, Sagit 2007.
- [13] ČÚZK: Vyhláška č. 31/1995 Sb. Praha, Sagit 1995.

**Vondrák, J. – Fišer, Z. – Antoňů, J. – Kalvoda, P.: Current State of Minor Horizontal Control in Selected Cadastral Areas of the Town of Brno**

This paper presents the results of the revision of the minor horizontal control in cadastral areas of the town of Brno, the Lesná housing estate and the suburban recreation area in Sadová.

**Vondrák, J. – Fišer, Z. – Antoňů, J. – Kalvoda, P.: Aktueller Stand des ausführlichen Lagepunktfeldes in einigen Katastergebieten von Brünn**

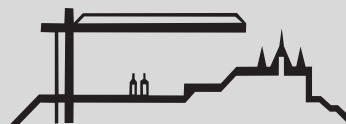
Der Beitrag behandelt die Ergebnisse der Revision des ausführlichen Lagepunktfeldes in den Katastergebieten Stadt Brünn, Siedlungskomplex Lesná und Stadtranderholungsgebiet Sadová.

#### 5. mezinárodní konference

# TECHSTA 2007

19. – 20. září

ČVUT v Praze – Fakulta stavební



Konference „Technologie pro trvale udržitelný rozvoj stavebnictví“ je zaměřena na nové technologie a stavební materiály, plánování a organizaci staveb, jejich kvalitu. Obor technologie staveb je úzce spjatý s ekonomikou, proto se konference věnuje také oblasti projekt managementu a risk managementu. Rovněž sleduje trendy v oblasti životnosti staveb.

#### Tematické okruhy:

- 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
- inovace a trvale udržitelný rozvoj v projektovém řízení (project management)
- risk management a project management v praxi

#### Odborní garanti:

prof. Ing. Jozef Gašparík, CSc. – STU Bratislava  
 prof. Ing. Ivan Hyben, CSc. – TU Košice  
 Ing. Vít Motyčka – VUT Brno  
 prof. DrSc. Mladen Radujković – University of Zagreb  
 doc. Ing. Pavel Svoboda, CSc. – ČVUT v Praze

**www.techsta.cz**

## Suchá nádrž na Šumickém potoce

doc. Dr. Ing. Miloslav ŠLEZINGR  
VUT – Fakulta stavební  
Brno

Článek se zabývá ekonomickým hodnocením navrhovaného protipovodňového opatření. Součástí je rozbor situace v zájmovém území a popis navrhovaných prvků protipovodňové ochrany. Autor se zaměřuje zvláště na vhodnost budování suché nádrže v konkrétní lokalitě v návaznosti na ostatní navrhovaná opatření.

### Úvod

V rámci návrhů protipovodňové ochrany území je velmi diskutovaným ochranným prvkem v krajině suchá nádrž. Tento prvek bývá v současné době preferován a je součástí protipovodňové ochrany řady lokalit, viz např. nově vybudované suché nádrže u Olešnice na Českomoravské vysočině (2006). V tomto článku si dovoluujeme seznámit čtenáře s ekonomickým posouzením efektivnosti navrhovaných protipovodňových opatření města Pohořelice ze strany Šumického potoka, jejichž součástí je i suchá nádrž u Pohořelice jižně od Brna. Podkladem pro rozhodnutí o možné realizaci tohoto díla bylo ekonomické posouzení přínosů a nákladů.

### Ekonomická analýza

Součástí protipovodňové ochrany Pohořelice ze strany Šumického potoka má být zvýšení hrází tří rybníků na této vodoteči a vybudování suché nádrže pod rybníční soustavou. Zvýšení hrází rybníků a vytvoření (zvětšení) retenčního prostoru však naráží na problémy následného využití rybníků, problémy majetkové a další, proto se jeví představitelům obce jako nejschůdnější varianta alespoň částečné ochrany území právě vybudování suché nádrže nad ohroženou částí města (se zvýšením retenční schopnosti rybníků se počítá v následujících letech).

Jako první krok byla navržena ekonomická analýza přínosu tohoto protipovodňového opatření, jelikož nebylo jisté, zda cena navrhovaného díla nepřevyší hodnotu ochraňovaného majetku a očekávání zastupitelů (ohledně efektivnosti vynaložených prostředků) nepřečenují možné účinky díla.

Tab. 1. Retenční schopnost po realizaci protipovodňových opatření

Dílo	Objem [m <sup>3</sup> ]
Šumický horní	190 000
Šumický dolní	70 000
Pohořelický	60 000
suchá nádrž	60 000
celkem	380 000

Při řešení jsme postupovali následovně:

1. krok – zpracování mapy rozlivu pro stanovený povodňový průtok (přítok 19,5 m<sup>3</sup>/s, stávající koryto potoka je schopno bezeškodně provést maximálně 2 m<sup>3</sup>/s);
2. krok – identifikace ohrožených zón, stanovení celkové hodnoty objektů v těchto zónách;
3. krok – stanovení procenta poškození při konkrétní hydrologické situaci;
4. krok – vyčíslení předpokládané výše škody;
5. krok – návrh protipovodňového opatření, tj. zvýšení hrází rybníků a návrh suché nádrže na Šumickém potoce, protože výrazné zvětšení kapacity koryta potoka není možné (bylo by velmi problematické) vzhledem k zástavbě na obou březích, řadě mostků a přejezdů a celkově k charakteru okolí;
6. krok – předběžné vyčíslení nákladů na realizaci protipovodňových opatření včetně suché nádrže, posouzení její kapacity a možné transformace povodňové vlny.

Nutno říci, že vypracování ekonomické analýzy potvrdilo obavy potenciálních zpracovatelů projektu protipovodňové ochrany a realizace navrhované (a zastupiteli obce prosazované) suché nádrže. Bez součinnosti (výrazného zvětšení retenční schopnosti) výše ležících rybníků se jeví velmi málo účinná.

### Výsledky

Hráz navrhované suché nádrže na Šumickém potoce dosahuje v nejvyšším bodě výšky 3,5 m, objem suché nádrže je přibližně 60 000 m<sup>3</sup>. Při předpokládaném povodňovém přítoku 19,5 m<sup>3</sup>/s by její naplnění trvalo asi 1 hodinu. Průběžný bezeškodní odtok Šumickým potokem by přitom byl 1 m<sup>3</sup>/s, v případě alespoň částečného zvětšení kapacity koryta (představujícího především úpravy či odstranění mostků a propustků, řádné vyčištění, a zejména dlouhodobou údržbu) by mohlo být dosaženo původně projektované hodnoty 2 m<sup>3</sup>/s.

Podle výpočtů [3] by při přívalovém katastrofálním dešti trvajícím 15 minut bylo z povodí Šumického potoka (15 km<sup>2</sup>) přivedeno do profilu nad Pohořelice přibližně 200 000 m<sup>3</sup> vody. Při déle trvajícím přívalovém dešti, a zejména při nevhodné předcházející hydrologické situaci (minimalizace vsaku), může objem více než dvojnásobně narůst. Výraznou pomocí je tedy kombinace protipovodňových opatření (zvýšení retenční schopnosti rybníků) se suchou nádrží. Rekapitulaci nově získaných retenčních objemů realizací navrhovaných protipovodňových opatření uvádí tab. 1. Z uvedeného je patrné, že výstavba pouze suché nádrže by v dané situaci sice byla přínosem pro protipovodňovou ochranu Pohořelice, ale účinným řešením je především zvýšení retenční kapacity rybníků.

Co se týká ekonomické stránky věci, tj. posouzení předpokládaných nákladů na vybudování protipovodňových opatření a potenciální škody, které by tato opatření mohla zabrá-



Obr. 1. Zatopená část Pohořelic (jaro 2006)



Obr. 2. Rozliv v Pohořelicích při průtoku Šumickým potokem 19,5 m<sup>3</sup>/s

nit, je situace, možno říci, jednoznačná. Celkové orientační náklady na protipovodňovou ochranu Pohořelic ze strany Šumického potoka (bez nepředvídaných výdajů – možné problémy při výkupu pozemků, podmínky rybářského svazu, geologie, aj. jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2. Orientační náklady na protipovodňovou ochranu Pohořelic

Dílo	Náklady [Kč]*
Šumický horní rybník – zvýšení hráze o 1 m, úprava bezpečnostního přelivu	3 000 000
Šumický dolní rybník – zvýšení hráze o 1 m, úprava bezpečnostního přelivu	1 500 000
Pohořelický rybník – zvýšení hráze o 1 m, úprava bezpečnostního přelivu	2 500 000
suchá nádrž nad Pohořelicemi	2 000 000
celkem	9 000 000

\* zaokrouhleno (cenová hladina 2005)

Předpokládaná škoda, kterou by výše zmíněná hydrologická situace způsobila, však mnohonásobně převyšuje náklady na protipovodňovou ochranu. Podle uplatněné metodi-

ky [2] by pouze škody na stavebních objektech v ohrožené části Pohořelic přesáhly více než 100 mil. Kč.

### Závěr

Zásadní význam pro ochranu Pohořelic má pouze vybudování soustavy protipovodňových opatření na Šumickém potoce. Spíše než orientace na výstavbu suché nádrže by bylo vhodné preferovat zvětšení retenční schopnosti Šumického horního rybníka, který je základem celé soustavy protipovodňových opatření v dané lokalitě. Pokud je reálné vybudovat pouze suchou nádrž, i ta bude mít při transformaci povodňové vlny, popř. při zachycení menších přítoků, význam.

### Literatura

- [1] Korytářová, J. – Hromádka, V.: Hodnocení ekonomické efektivnosti protipovodňových opatření. In: Lidé, stavby a příroda, Brno, 2006.
- [2] Říha, J. a kol.: Riziková analýza záplavových území. Brno, CERM 2005.
- [3] Šlezinger, M. – Jandora, J.: Projekt ekonomického zhodnocení protipovodňových opatření na Šumickém potoce, 2005.
- [4] Šlezinger, M. – Uhmánová, H.: Stanovení škody – vzorová oblast Pohořelice. In: Lidé, stavby a příroda, Brno, 2005.
- [5] Dílčí výsledky řešení projektu č.103/05/0160.

### Šlezinger, M.: Polder on the Šumický Brook

This paper presents economic assessment of a designed flood protection measure. It also contains an analysis of the current situation in the interest area, as well as the description of the designed elements of the flood protection. The author is especially concerned with the suitability of construction of a polder in the given location with respect to other designed measures.

### Šlezinger, M.: Trockenes Rückhaltebecken im Laufe des Bachs Šumický potok

Der Artikel befasst sich mit der wirtschaftlichen Bewertung einer vorgeschlagenen Hochwasserschutzmaßnahme. Dazu gehört auch eine Analyse der heutigen Situation im Interessengebiet und eine Beschreibung der geplanten Elemente des Hochwasserschutzes. Der Autor orientiert sich besonders auf die Problematik der Eignung des Baus eines trockenen Rückhaltebeckens in einer konkreten Lokalität in Bezug zu den übrigen vorgeschlagenen Maßnahmen.

## • projekty

### **Knihovnicko-informační centrum v Hradci Králové**



foto B. Klaus

Novým sídlem Studijní vědecké knihovny v Hradci Králové se stane Knihovnicko-informační centrum, které vzniká na volné ploše mezi vnitřním a vnějším Gočárovým okruhem, na nábřeží řeky Orlice. Objekt, jehož neobvyklý půdorys má tvar písmene X, dominuje svému okolí a vnáší sem i určitý řád.

Objekt je navržen jako železobetonový skelet, doplněný nosnými obvodovými stěnami. Všechny viditelné plochy betonových konstrukcí včetně obvodového pláště jsou navrženy z pohledového betonu. Vnější povrch obvodového pláště bude natřen barevnou lazurou. Objekt, který má jedno podzemní a pět nadzemních podlaží, má základní modulovou síť 7,5 x 7 m a 7,5 x 4,5 m. Autorem projektu je architektonická kancelář Projektil Architekti.

Tisková informace

## • projekty

### Nová Brumlovka



BBCENTRUM

V budově původní Brumlovky, bývalého Domu pohybové kultury, provozovala od roku 1992 společnost Sky club Brumlovka sportovně regenerační centrum, jehož služby využívalo denně na 500 klientů všech věkových kategorií. Další statisíce diváků sem přiváděly společenské akce, koncerty rockové a populární hudby, charitativní akce, kulturně společenské akce, semináře a výstavy, sportovní zápasy a další projekty. Významnou součástí využití objektu bylo natáčení televizních pořadů. Špatný stav budovy vedl k rozhodnutí o její rekonstrukci.

Stavba nového objektu o celkové ploše 5 000 m<sup>2</sup> se 190 parkovacími místy byla zahájena v únoru 2005. Třípodlažní budova se základním funkčním využitím pro sport se nachází mezi budovami Alpha a Beta pražského BB Centra. Podzemní parkoviště je bezbariérově propojeno dvěma výtahy s prvním a druhým podlažím. V prvním podzemním podlaží je umístěna veřejná myčka aut. Jednotlivá podlaží objektu jsou propojena kromě schodišť výtahem umožňujícím přepravu zdravotně postižených osob. Jednotný informační systém umožňuje snadnou orientaci a pohyb osob.

Obchodní pasáž v přízemí objektu, která plní komunikační a relaxační funkci, má druhý vstup z prostoru mezi Brumlovkou a objektem Alpha. Její hlavní funkcí je vytvoření příjemného krytého prostoru mezi nájemními celky obchodních jednotek. V celé budově je kladen důraz na použité materiály – kamenná dlažba z kvarcitu, kovový perforovaný podhled s integrovanými barevnými světelnými nikami, velkoplošné prosklené výlohy obchodních jednotek, moderní barevné stěrky na stěnách apod. Přízemí je propojeno eskalátory s druhým podlažím, kde se nachází recepce sportovního centra a napojení na budoucí lávku pro pěší, která umožní bezpečné překonání rušné Vyskočilovy ulice. Podstatná část druhého a celé třetí podlaží je určeno pro wellness a fitness klub. Ve druhém se nachází i dětský koutek propojený opticky s veřejným prostorem. V recepci převažují přírodní materiály – dřevěné obklady stěn v kombinaci s barevnými stěnami v korporátních barvách, pult z dřevěných lamel, dlažba z přírodního kamene. Trezory s čipovými zámky na cenosti jsou integrovány do obkladu stěn.

Vzdušné šatny a sprchy jsou prostorem s vysokou frekvencí návštěvníků, proto musí být splněny požadavky na vysokou odolnost a zátěž povrchů. Oddělenými vstupy lze vejít do posilovny nebo mokré zóny k bazénu. Prostorná hala pro fitness je částečně dvoupodlažní s vloženou galerií. Barevné řešení stěn napomáhá orientaci v prostoru, po celé délce haly je položen zátěžový koberec. Horizontální pásové okno přináší dostatek denního světla.

Pětatřicetmetrový sportovní bazén, který je přístupný ze šaten po schodišti prosvětleném denním světlem, je rozdělen

na část pro kondiční plavání v drahách a část rekreační s masážními tryskami a sprchami, vířivkou a osvětlením bazénové vany. Podél fasády je umístěna lavička z lamel z tropického dřeva. Prostor bazénu je osvětlen denním světlem přes prosklenou severní fasádu a ze středu dispozice přes malé venkovní atrium. Směrem od bazénu či přes fitness se návštěvník dostane ke dvěma kabinkám se solárii.

Na rozhraní prostoru bazénu a relaxační zóny se nachází prostor s lehátky, vyznačený dřevěnou palubovou podlahou, dvě saunové kabinky, kruhová pára s hvězdným nebem, kruhová lázeň s vonnými bylinami, Kneippova lázeň s masážními oblázky, klasické sprchy, saunové kruhové sprchy i relaxační zóna vyhrazená pouze pro ženy. Sály na aerobic a spinning s dřevěnými podlahami a pásovými horizontálními okny jsou umístěny ve třetím podlaží.

Část střechy je pochozí – je zde japonská sauna s přístřeškem a sluneční terasa s dřevěnými palubami na opalování. Terasa je přístupná po schodišti z třetího nadzemního podlaží přes malé venkovní atrium, které vnáší denní světlo do středu dispozice. Prostředí je dotvořeno zelení a ve večerních hodinách intimním osvětlením. Z nevyššího přístupného místa na terase je výhled na město.

Stěžejním nájemcem je moderní wellness a fitness centrum Balance Club Brumlovka, které zabírá více než 80 % celkové plochy budovy. V obchodní pasáži je možné poseďte v italské nebo vegetariánské restauraci, obě se zimními a letními zahradami, nebo v kavárně. Služby v objektu dále nabízí autokosmetické centrum, vlasové a kosmetické studio a pobočka České pošty. Pro příznivce golfu i jiných sportů je k dispozici trenažér, prodejna golfových potřeb a obchod se sportovním zbožím. Dále se zde nachází květinářství, prodejna tabáku a denního tisku a optika.

Realizaci projektu připravila a financovala projektová společnost BB C Nová Brumlovka, ve které se jako akcionáři spojily společnosti Passerinvest Group, Multiprojekt Group. Autorem návrhu je Ing. arch. Jan Aulík. Generálním dodavatelem je společnost Metrostav, financování bylo zajištěno pomocí HVB Bank.

*Tisková informace*



## ● ocenění

### Fasáda roku 2006



Často žaseme, jak domy, které po dlouhou dobu hyzdily své okolí, po rekonstrukci zkrásní a stanou se chloubou dané lokality. Fasáda se, ne nadarmo, označuje jako plášť a jako takový první objekt charakterizuje. Pokud se jí podaří kvalitně obnovit po stránce funkční i estetické, je co hodnotit. Shora uvedené soutěže se zúčastnily novostavby i zdařilé rekonstrukce starších, v mnoha případech památkově chráněných objektů. Ocenění vyhlášovatele soutěže, společnosti Baumit CZ, převzali vítězové na slavnostním večeru v rekonstruovaném Karlínském divadle, které získalo Zvláštní uznání ředitele společnosti Baumit.



*Hudební divadlo Karlín*

(architekt/projektant: PRAGOPROJEKT, Praha ve spolupráci s architektonickým ateliérem ANIMA; prováděcí firma: Sdružení HDK – Metrostav, Skanska)

#### Kategorie NOVOSTAVBA

##### 1. cena



*Areál Veterinární a farmaceutické univerzity  
Pavilon Hygieny, Brno*

(architekt/projektant: Architektonická kancelář Burian – Křivinka, Brno; prováděcí firma: ESOX, Brno)

##### 2. cena



*Bytové domy „Na vyhlídce“, Praha 9  
(architekt/projektant: Thér – architektonický ateliér,  
Chrudim/Architektonický ateliér Kaama, Praha;  
prováděcí firma: ATIZ, Jesenice u Prahy)*

##### 3. cena



*Obytný blok „C“, ul. Šedova, Ocelkova, Hladova, Praha 9  
(architekt/projektant: Architektonický ateliér HÉTA, Praha;  
prováděcí firma: SKANSKA CZ, divize PS Čechy – v subdávce  
Metrostav, divize 1)*

#### Kategorie REKONSTRUKCE

##### 1. cena



*Renesanční sgrafitové fasády Zámku Doudleby nad Orlicí  
(prováděcí firma: Ing. Václav Hynek, Opočno)*

## 2. cena



*Synagoga, Hradec Králové  
(prováděcí firma: RESDING, Hradec Králové)*

## 3. cena



*Vila Dykova, Praha 10  
(prováděcí firma: Trigema, Praha)*

## Kategorie Rekonstrukce prefabrikovaného domu



*Panelový dům, ul. Kolejní, Brno  
(architekt/projektant: Project Building, Brno;  
prováděcí firma: Moravostav Brno)*

## Zvláštní uznání mediálních partnerů



*Rodinná vila Varnsdorf  
(prováděcí firma: Ladislav Žitek, Varnsdorf)*

Internetové hlasování [www-open](http://www-open)

*Bytový dům, ul. Davídkova, Praha 8  
(projektant: S-Development Praha, Ing. Milan Kopeček;  
realizátor: Bostas, Mladá Boleslav)*



*fasáda roku  
2006*

## **Průmyslové dědictví kulturním potenciálem udržitelného rozvoje**

mezinárodní konference

19. – 20. září 2007

Ekotechnické muzeum – Stará čistírna odpadních vod, Praha–Bubeneč

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

## • zprávy

### Ekoznačení v České republice



Ekoznačení je pojem používaný pro označování výrobků (a služeb), které jsou v průběhu celého životního cyklu šetrnější nejen k životnímu prostředí, ale i ke zdraví spotřebitele. Jejich kvalita přitom zůstává na velmi vysoké úrovni. Spotřební zboží (a služby) se označují logem, které spotřebiteli slouží jako jasná a srozumitelná informace, že u označeného výrobku (služby) bylo provedeno hodnocení nezávislou třetí stranou. Spektrum certifikovaných ekologicky šetrných výrobků je velmi široké – od toaletního papíru či nátěrové hmoty přes teplovodní kotle a čisticí prostředky až po ekologicky šetrné služby, které nabízí turistický ruch či školství. Výrobek ekoznačením získá státem garantované potvrzení vyšší užitné hodnoty na základě toho, že prošel přísnými testy prokazujícími splnění kvalitativních a ekologických požadavků. Mezinárodní uznání o výrobku doloží, že je k životnímu prostředí šetrnější než neoznačené výrobky. Doporučením od řady ekologických nevládních organizací se zařadí mezi zboží nakupované institucemi, které systém zelených zakázek používají.

Nadnárodní systém ekoznačení, platný v Evropské unii, byl založen nařízením rady Evropského hospodářského společenství v březnu 1992 (EEC N<sup>o</sup>. 880/92 on a Community Eco-Label Award Scheme). V roce 2000 bylo vydáno Nařízení Evropského Parlamentu a rady Evropského společenství č. 1980/2000 o revizi systému udělování ekoznačky společenství. Stejně jako český národní program je tento program dobrovolný. Ekoznačku „The Flower“ může získat kterýkoli výrobce, prodejce či poskytovatel služeb, jehož výrobek je k dostání na trzích EU. Odpovědným orgánem pro realizaci evropského programu ekoznačení v České republice je Agentura pro ekologicky šetrné výrobky, garantem je Ministerstvo životního prostředí ČR.



Národní program označování ekologicky šetrných výrobků byl vyhlášen v dubnu 1994. Je založen na snaze o vytvoření konkurenčního prostředí na trhu mezi výrobky porovnatelných kvalitativních parametrů zavedením dalšího výběrového kritéria, které zahrnuje ekologické požadavky na výrobek. Ovlivňování vzorců spotřeby a výroby vede k realizaci udržitelného rozvoje. Podstata označování ekologicky šetrných výrobků spočívá v certifikaci produktu nezávislou třetí stranou. Ekoznačka České republiky a Národní program označování ekologicky šetrných výrobků se řídí mezinárodní technickou normou ISO 14024 Environmentální značky a prohlášení – Environmentální značení typu I. – Zásady a postupy, je proto uznávaným dokladem o kvalitách výrobku i v zahraničí. Spotřebiteli přináší věrohodnou a srozumitelnou informaci o hodnocení výrobku a jeho vlastnostech, snadnější orientaci v široké škále téměř rovnocenných výrobků, státní záruku toho, že u výrobku jsou minimalizovány nepříznivé vlivy na životní prostředí a jeho zdraví (riziko vzniku alergické reakce apod.). Mezi úspěšné držitele květiny u nás patří Nová Mosilana, Hybler Textil, Hotel Adalbert, Residence Belgická a Sporthotel Zátoň.

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

## • dizertace



### Počítačová podpora projektového managementu

*Ing. Václav Tatýrek*

Práce se zabývá řešením otázek užítka s vazbou na projektový management a dochází k potřebě doplnit utilitní přístup více subjektů pro projektové řízení. Aplikace komparátoru užítka na stavební objekt je významná, ale je ověřena pouze na jednom případě.

### Krajina a výstavba v předpolí CHKO Křivoklátsko

*Ing. Martina Rittmann*

Práce představuje ucelený návrh metodického postupu optimálního rozvoje krajinné oblasti, vhodných úprav a regulování výstavby ve vytčeném území. Návrhy řešení se porovnávají s obdobným vývojem v marginálních oblastech chráněných zón v zahraničí.

### Obnova polnohospodářských středisk v oblasti Horehronia

*Ing. Monika Reháková*

Práce je zaměřena na problémy související s obnovou a modernizací zemědělských farem ze sedmdesátých let minulého století. Do práce se začleňují požadavky na welfare, kvalitu životního prostředí a vhodné začlenění živočišné produkce do krajiny na Slovensku.

### Metodika návrhu multidimenzionální databáze pro MIS

*Ing. Mgr. Radek Charvát*

V práci se vytváří metodika pro návrh multidimenzionální databáze pro MIS. Cílem je vytvořit v praxi použitelnou metodiku návrhu dimenzí a komponent databáze.

### Einsatz von Schlacke in der Bauindustrie – Ein Beitrag zur nachhaltigen Schonung natürlicher Rohstoffe

*Dipl.-Chem. Wolfgang Johannes Gränitz*

Autor se zabývá recyklací surovin a možností úspory přírodních materiálových zdrojů. Dizertace poskytuje ověřené podklady o možnostech použití recyklovaných materiálů ve stavebním průmyslu, a tím možné redukci stavebních nákladů.

### Ovlivnění průchodu velkých vod mostními objekty

*Ing. Tomáš Pícek*

Práce je zaměřena na zkvalitnění hydraulického řešení průběhu hladin v mostním profilu v situacích, kdy dochází k tlakovému proudění vody nebo přelévání mostovky. Nové poznatky mohou příznivě ovlivnit navrhování mostů.



# STAVEBNÍ OBZOR

## ROČNÍK 16 ČÍSLO 07/2007

### Navigace v dokumentu

#### OBSAH

Hejnic, J. – Štěpán, P. <b>Soutěž o návrh na nový most přes Vltavu mezi Holešovicemi a Trójou</b>	<b>193</b>
Roller, F. – Studnička, J. <b>Ocelobetonové integrované mosty</b>	<b>204</b>
Satrapa, L. – Králík, M. – Zukal, M. <b>Malá vodní elektrárna Liběchov – obnovitelný zdroj energie</b>	<b>211</b>
Vinclerová, S. – Zeleňáková, M. <b>Zhodnotenie súčasného stavu vybraných úsekov na hrádzi Východoslovenskej nížiny</b>	<b>215</b>
Bartoněk, D. <b>Geografický informační systém pro podporu výuky v terénu</b>	<b>220</b>

**7 • 2007**

**ročník 16**

# 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**

Hejnic, J. – Štěpán, P.  
**Soutěž o návrh na nový most  
 přes Vltavu mezi  
 Holešovicemi  
 a Trójou** ..... 193

Roller, F. – Studnička, J.  
**Ocelobetonové integrované  
 mosty** ..... 204

Satrapa, L. – Králík, M. – Zukal, M.  
**Malá vodní elektrárna  
 Liběchov – obnovitelný zdroj  
 energie** ..... 211

Vinclerová, S. – Zeleňáková, M.  
**Zhodnotenie súčasného  
 stavu vybraných  
 úsekov na hrádzi  
 Východoslovenskej  
 nížiny** ..... 215

Bartoněk, D.  
**Geografický informační  
 systém pro podporu  
 výuky  
 v terénu** ..... 220

**CONTENTS**

Hejnic, J. – Štěpán, P.  
**Competition on a Design of a  
 New Bridge across the Vltava  
 River between Holešovice  
 and Trója** ..... 193

Roller, F. – Studnička, J.  
**Integrated Steel Concrete  
 Bridges** ..... 204

Satrapa, L. – Králík, M. – Zukal, M.  
**Small Water Power Plant  
 Liběchov – Renewable  
 Source of Energy** ..... 211

Vinclerová, S. – Zeleňáková, M.  
**Assessment of the Current  
 Condition of Selected  
 Sections of the Dam  
 in the East Slovak  
 Lowland** ..... 215

Bartoněk, D.  
**GIS to Aid Geodesy  
 and Cartography  
 Fieldtrip  
 Instruction** ..... 220

**INHALT**

Hejnic, J. – Štěpán, P.  
**Wettbewerb um den Entwurf  
 einer neuen Brücke über die  
 Moldau zwischen Holešovice  
 und Trója** ..... 193

Roller, F. – Studnička, J.  
**Integrierte Stahlbeton-  
 brücken** ..... 204

Satrapa, L. – Králík, M. – Zukal, M.  
**Das kleine Wasserkraftwerk  
 Liběchov – eine erneuerbare  
 Energiequelle** ..... 211

Vinclerová, S. – Zeleňáková, M.  
**Bewertung des gegenwärtigen  
 Zustands ausgewählter  
 Abschnitte am Damm  
 der Ostslowakischen  
 Niederung** ..... 215

Bartoněk, D.  
**GIS zur Unterstützung des  
 Unterrichts des Fachbereichs  
 Geodäsie und Kartografie  
 im Gelände** ..... 220

**REDAKČNÍ RADA****Předseda:**

prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.

**Místopředseda:**

doc. Ing. Alois MATERNA, CSc.

**Členové:**

doc. Ing. Pavel HÁNEK, CSc.

doc. Ing. Vladimír JELÍNEK, CSc.

Ing. Jiří KALA, Ph. D.

doc. Ing. J. KORYTÁROVÁ, Ph. D.

Ing. Karel KUBEČKA

Ing. Libor MATĚJKA, CSc., Ph. D.

doc. Ing. Jaroslav NOVÁK, CSc.

doc. Ing. Luděk NOVÁK, CSc.

doc. Ing. Miloslav NOVOTNÝ, CSc.

doc. Ing. Miloslav PAVLÍK, CSc.

prof. Ing. J. PROCHÁZKA, CSc.

Ing. Vlastimil ROJÍK

Ing. Karel SVOBODA

doc. Dr. Ing. Miloslav ŠLEZINGR

Ing. Milan ŠMAK, Ph. D.

Ing. Ludvík VĚBR, 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://www.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. Pořádání  
 novinových zásilek povoleno Ředitelstvím  
 pošt Praha, č. j. NP 144/1994, ze dne 21. 10. 1994.  
 Do sazby 26. 7. 2007. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

## Soutěž o návrh na nový most přes Vltavu mezi Holešovicemi a Trójou

*Ing. Jiří HEJNIC, CSc.  
PUDIS, a. s., Praha*

*Ing. Pavel ŠTĚPÁN  
Deltaplan, s. r. o., Praha*

Nové vedení Odboru městského investora Magistrátu Hlavního města Prahy rozhodlo na přelomu roků 2004 a 2005 o vypsání architektonicko-konstrukční soutěže k získání nového názoru na řešení přemostění Vltavy v Praze mezi Holešovicemi a Trójou (obr. 1). Stávající návrh společností SATRA a VPÚ DECO, na který bylo získáno územní rozhodnutí v rámci souboru staveb severozápadní části městského okruhu Blanka, byl společně s platným územním rozhodnutím využit jako jeden ze zdrojů pro přípravu soutěžních podkladů. Soutěžní podmínky byly připravovány tak, aby vyhovovaly jak zákonu o zadávání veřejných zakázek č. 40/2004, tak soutěžním podmínkám ČKAIT a ČKA. Současně bylo dohodnuto, že k práci v porotě budou přizváni kromě zástupců města, dotčených městských částí a Národního památkového ústavu i nezávislí odborníci, které nominují ČKA, ČKAIT a ČSSI.

### Průběh soutěže

Po několika setkáních poroty se zástupci České komory architektů, České komory autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě, zadavatele a organizátora soutěže, při kterých byly upravovány soutěžní podmínky, se uskutečnila dne 13. 3. 2006 ustavující schůze soutěžní poroty. Při ní byli členové a náhradníci seznámeni s výsledkem jednání mezi zadavatelem a zpracovatelem návrhu mostu k územnímu řízení a s výsledkem jednání na Povodí Vltavy o prokázání požadavků na hladinu řeky po výstavbě mostu. Všichni zúčastnění písemně schválili soutěžní podmínky a rozhodli o vyhlášení soutěže ke dni 24. 3. 2006 uveřejněním na centrální adrese, následně ve dvou informačních médiích s celostátní působností (Hospodářské noviny, Obchodní věstník), na internetových stránkách ČKA, ČKAIT a na internetových stránkách Hlavního města Prahy. Rovněž se písemně zavázali k účasti na práci soutěžní poroty, schválili činnost přezkušovatele a rozhodli o vytištění soutěžních podkladů. Předsedou byl zvolen Ing. Jiří Hejnic, CSc., místopředsedou Ing. Jiří Toman.

Do 28. 4. 2006 vydal sekretář soutěže třiceti zájemcům soutěžní podklady a upozornil je na možnost podat k nim ve stanovené lhůtě dotazy. Zasedání poroty k zodpovězení

dotazů se konalo 25. 4. 2006, odpovědi byly odeslány všem účastníkům 28. 4. 2006. Do termínu zahájení prvního kola dne 2. 6. 2006 bylo odevzdáno 20 návrhů. Dne 6. 6. 2006 se konala schůzka předsedy poroty, sekretáře a přezkušovatele návrhů, na které byly doručené zásilky otevřeny, zkontrolována jejich kompletnost a všechny přílohy soutěžních návrhů označeny vylosovanými identifikačními čísly. Po jejich prozkoumání bylo konstatováno, že splňují závazné soutěžní podmínky a mohou být předloženy porotě k posouzení.

Z dvaceti návrhů převažovala kombinace oceli a předpjatého betonu, popř. oceli a železobetonu, u třinácti čtyři kolektivy návrhy přemostění z oceli, zbývající tři pak z předpjatého betonu, popř. železobetonu. Osm kolektivů navrhlo mosty se šikmými závěsy, pět mosty rámové, čtyři mosty



obloukové, zbývající tři byly spojitě nosníky. Návrhy měly jak po konstrukční, tak po architektonické stránce různou úroveň, podstatně se lišila i podrobnost zpracování a způsob prezentace.

Hodnocení prvního kola soutěže proběhlo na zasedání poroty ve dnech 13. až 14. 6. 2006. Vzhledem k pracovnímu zaneprázdnění se z funkce člena poroty omluvil Ing. Michael Zachař, zástupce Národního památkového ústavu, na jeho místo byl zvolen Ing. arch. Jan Aulík, dosavadní náhradník. K práci byla dále přizvána Ing. Jolana Cibulková z Národního památkového ústavu a Ing. Helena Kalivodová pro posouzení ekonomické přiměřenosti řešení v 1. kole a celkové ceny stavby ve 2. kole, obě se statutem nezávislých expertů. Hlasováním byly postupně vyřazeny z dalšího posuzování návrhy č. 3, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 a 20 (hlasování bylo jednomyslné s výjimkou č. 13). Ani u jednoho z návrhů č. 1, 2, 4, 9 a 19, postupujících do druhého kola, nebylo hlasování jednomyslné. U dvou byl postup spojen s doporučením, na co se mají autoři zaměřit.

Dne 30. 6. 2006 notář soutěžícím rozeslal výsledky 1. kola a vybrané kolektivy, při zachování anonymity vzhledem ke členům a náhradníkům poroty, vyzval k účasti ve 2. kole. Dne 22. 9. 2006 bylo odevzdáno všech pět návrhů, o kterých vedl sekretář poroty zápis. Dne 3. 10. 2006 byly zápis a přílohy soutěžních návrhů označeny identifikačními čísly. Bylo konstatováno, že splňují závazné soutěžní podmínky, obsahují předepsané přílohy, a tedy mohou být předloženy k posouzení.

Ve dnech 10. až 11. 10. 2006 zasedla porota k hodnocení 2. kola soutěže. Jako experti byli přizváni Ing. Petra Vlčková za Povodí Vltavy a Ing. arch. Václav Králíček za Magistrát Hlavního města Prahy, Útvar rozvoje města. Hlasováním bylo rozhodnuto, že nebude měněna částka určená na ceny a odměny, bude udělena první cena ve výši 700 000 Kč návrhu č. 1 a dvě zvýšené třetí ceny ve výši 450 000 Kč návrhům č. 2 a č. 19.

### Účastníci 2. kola soutěže

- **návrh č. 1:** Ing. Jiří Petrák, Ing. Ladislav Šašek, CSc., Mott MacDonald Praha, s. r. o., doc. Ing. arch. Roman Koucký, Ing. arch. akad. arch. Libor Kábrt, Koucký architektonická kancelář, s. r. o., Praha
- **návrh č. 2:** prof. Stráský, Stráský, Hustý a partneři, s. r. o., Brno
- **návrh č. 4:** Ing. arch. Roman Gale, Ing. arch. Michal Palašník, Brno, Ing. Pavel Němec, Ing. Jan Kopanec, Jiří Pokorný, Pontex Praha
- **návrh č. 9:** Ing. arch. Martin Rossler, Ing. Vít Havlíček, Praha
- **návrh č. 19:** Ing. arch. David Titz, Ing. arch. Zbyněk Svoboda, Ing. Ladislav Huryta, Martin Matušů, ARCHIcon, s. r. o., Brno

Členové poroty, náhradníci a přizvání expertů		
Zástupce	Jméno	Funkce
ČKAIT	Ing. Hejnic Jiří	člen/předseda
MHMP	Ing. Toman Jiří	člen
MHMP	Ing. Burgermeister Jan	člen
MČ P7	JUDr. Vavřínek Tomáš	člen
MČ P8	Ing. arch. Mareš Petr	člen
ČKA	Ing. arch. Košar Milan	člen
ČKAIT	doc. Ing. Hrdoušek Vladislav	člen
ČKA	Ing. arch. Aulík Jan	člen
ČKA	prof. Ing. arch. Masák Miroslav	člen
ČKA	akad. arch. Kuba Ladislav	člen
ČSSI	Ing. Plíčka Jiří	člen
NPÚ	PhDr. Zachař Michael	člen (omluven)
MHMP	prof. Ing. Křístek Vladimír	náhradník
MČ P7	Ing. arch. Stránský Stanislav	náhradník
MČ P8	Ing. Koucký Filip	náhradník
ČKA	akad. arch. Polony Antonín	náhradník
ČSSI	Ing. Baum Vratislav	náhradník
ČKAIT	doc. Ing. Mencl Vojtěch	náhradník
Přizvání expertů		
Questima	Ing. Kalivodová Helena	
MHMP OŽP	Ing. arch. Jan Winkler	
NPÚ	Ing. Jolana Cibulková	
MHMP URM	Ing. arch. Václav Králíček	
PVL	Ing. Petra Vlčková	

Porota za účasti expertů vypracovala hodnocení soutěžních návrhů. Doporučila vyhlásovateli soutěže odstranit nevhodný kontrast mezi velkorysou koncepcí budoucího mostu a nedostatečně dimenzovaným a nevhodně nasměrovaným současným podjezdem železniční tratě na holešovické straně. Technicky je to řešitelné rozšířením podjezdu buď při stavbě mostu, nebo provedením holešovického předmostí tak, aby přebudování a rozšíření podjezdu bylo proveditelné později. Souvislost mostu a podjezdu tratě je tak těsná, že by měl být pojat jako součást předmostí a být vyřešen v rámci vítězného projektu.

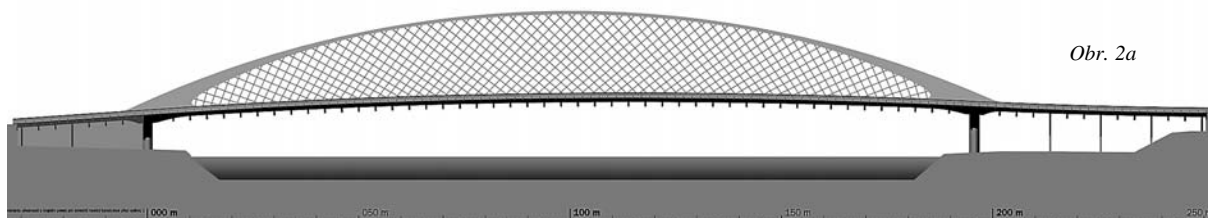
### Významné soutěžní návrhy

#### Návrh č. 1 (obr. 2a, b, c)

**1. cena**

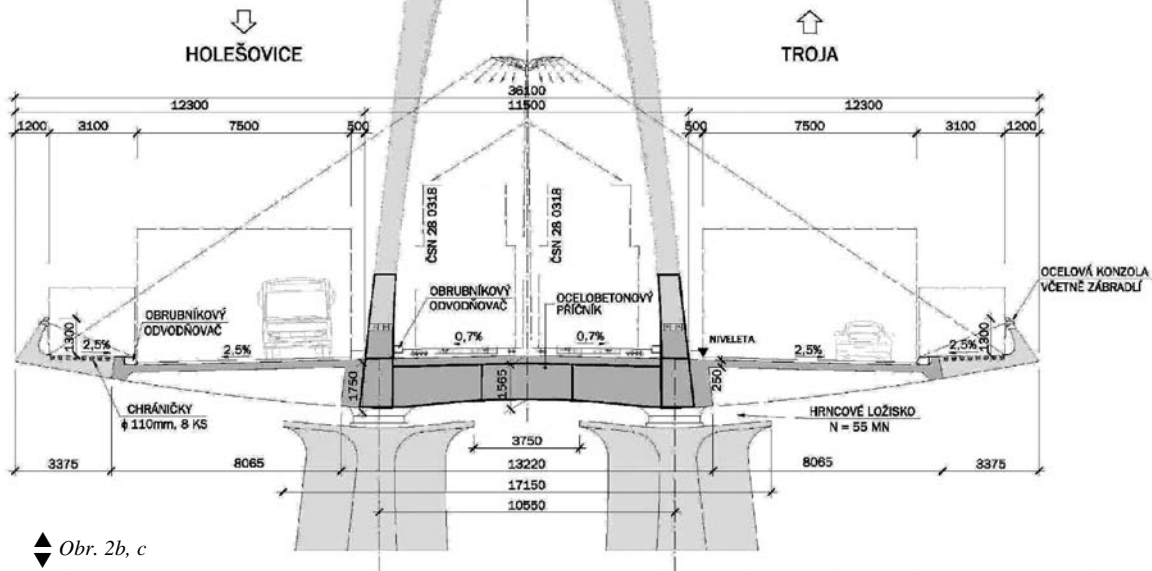
Přemostění je navrženo ocelovým obloukem s předpjatým ocelobetonovým táhlem v rozsahu koryta Vltavy s rozpětím 196 m a na pravobřežní inundaci jsou čtyři pole o rozpětí 18 a 3 x 12 m. Předpjatá mostovka je na oblouku zavěšena soustavou zkřížených hustých síťových tyčových závěsů o průměru 76 mm z nerezové oceli.

**Hodnocení poroty:** Při zvoleném typu obloukového mostu je dosaženo srozumitelného a konstrukčně čistého řešení. Předností je rovněž subtilnost a transparentnost konstrukce. Návrh je ověřen dostatečně podrobným statickým výpoč-

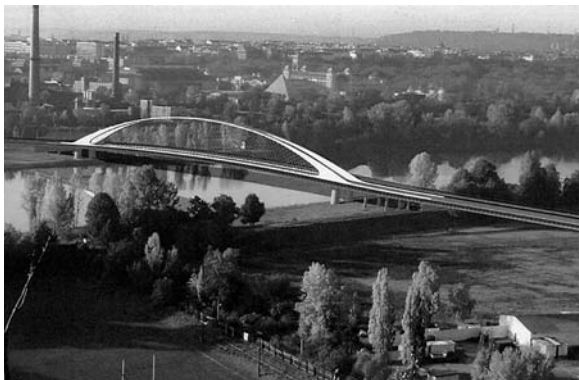


Obr. 2a

V OSE ULOŽENÍ  
NAD PODPOROU



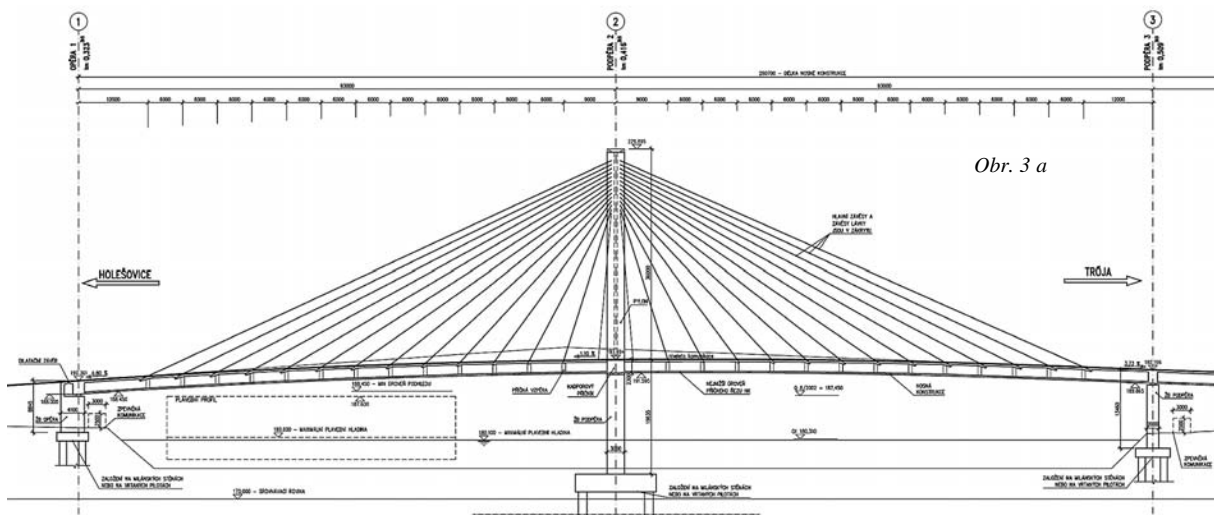
◆ Obr. 2b, c



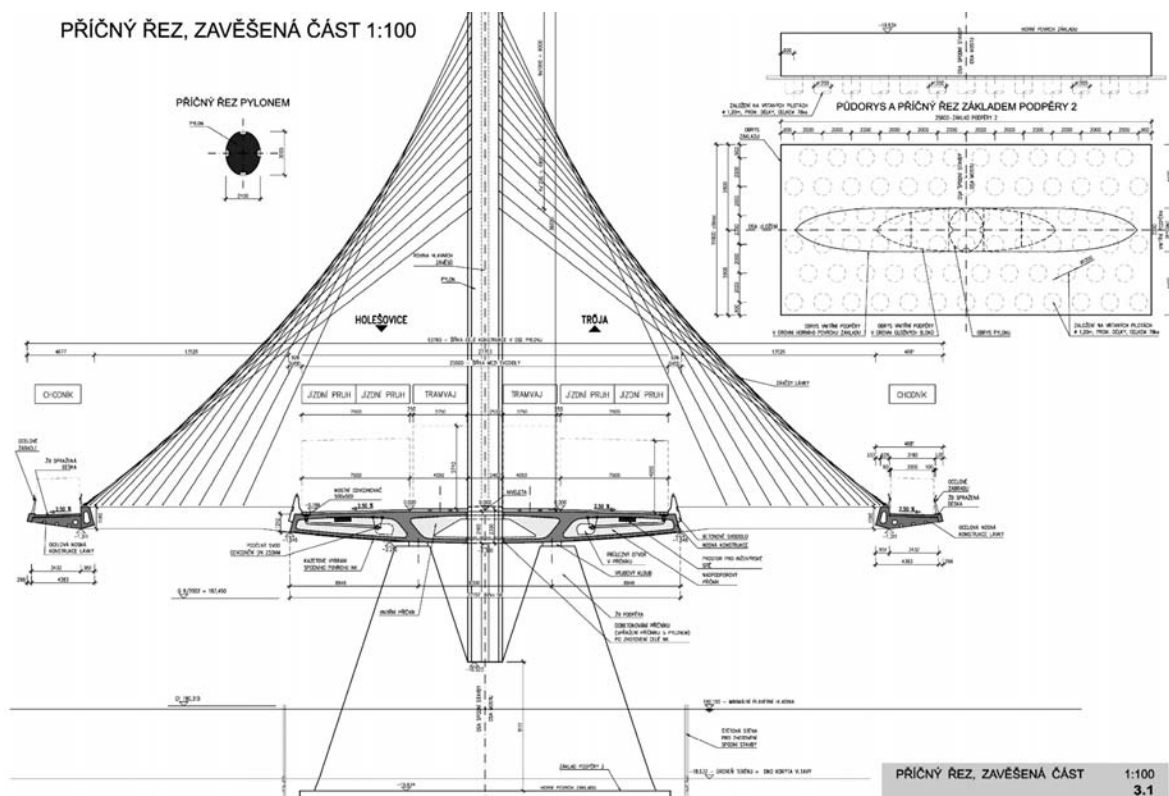
tem, který je přehledný. Výhodou je, že most nemá podporu v řece. Z návrhu vyplývá nízká spotřeba hmot. Husté šikmé závěsy dodávají konstrukci požadovanou odolnost a tuhost. Realizace mostu počítá s montáží ocelového skeletu na trojském břehu a výsunem pomocí soulodí. Navržený postup je možný a ověřený. Některé jednotkové ceny v propočtu byly podhodnoceny. Lze konstatovat, že propočet zahrnuje veškeré činnosti, které jsou pro cenu díla rozhodující. Srovnávací cena po úpravách je 464 850 tis. Kč.

**Návrh č. 2 (obr. 3a, b, c) zvýšená 3. cena**

Návrh řeší přemostění koryta Vltavy mostem se šikmými závěsy kotvenými v jediném centrálním pylonu. Nosná



Obr. 3 a



◆ Obr. 3b, c



konstrukce je z předpjatého betonu a nad řekou jsou chodníky vedeny odděleně od vozovky v půdorysných obloucích. Rozpětí hlavních polí je 2 x 93 m. Pravobřežní inundační je přemostěna dvěma poli o rozpětí 36 a 18,7 m.

**Hodnocení poroty:** Navržená konstrukce zavěšeného mostu s oddělením chodníků je zajímavá, avšak komplikující, a ve výsledku nevede k očekávanému výtvarnému efektu. Technická koncepce je staticky jasná a přehledná. Nevýhodou je umístění pylonu v řece, jeho výška a soustředění závěsů v jeho hlavě. Návrh je doložen přehledným a průkazným statickým výpočtem. Realizace se předpokládá let-

mým betonováním od pylonu symetricky na obě strany. Inundační část mostu bude prováděna na skruži. Návrh je reálný a podrobně dokumentovaný. Komplikací je oddělení konstrukce chodníků od hlavní nosné konstrukce. Propočet tohoto návrhu je zpracován velmi dobře, položky jsou podrobně popsány a propočet téměř neobsahuje prelimináře. Některé jednotkové ceny v rozpočtu byly podhodnoceny. Lze konstatovat, že propočet zahrnuje veškeré činnosti, které jsou pro cenu díla rozhodující. Srovnávací cena po úpravách je 511 450 tis. Kč.

**Návrh č. 19 (obr. 4a, b, c) zvýšená 3. cena**

Přemostění je navrženo rámovou konstrukcí o třech polích v kombinaci oceli a železobetonu. Koryto Vltavy je přemostěno hlavním polem o rozpětí 180 m, obě inundační jsou překonány krajními poli o rozpětí 46 m na levém a 70 m na pravém břehu. Ocelová příhradová trubková konstrukce je doplněna v příčném řezu ocelovou eliptickou obálkou v polích a betonovou skořepinou eliptického tvaru nad břehovými rámovými stojkami.

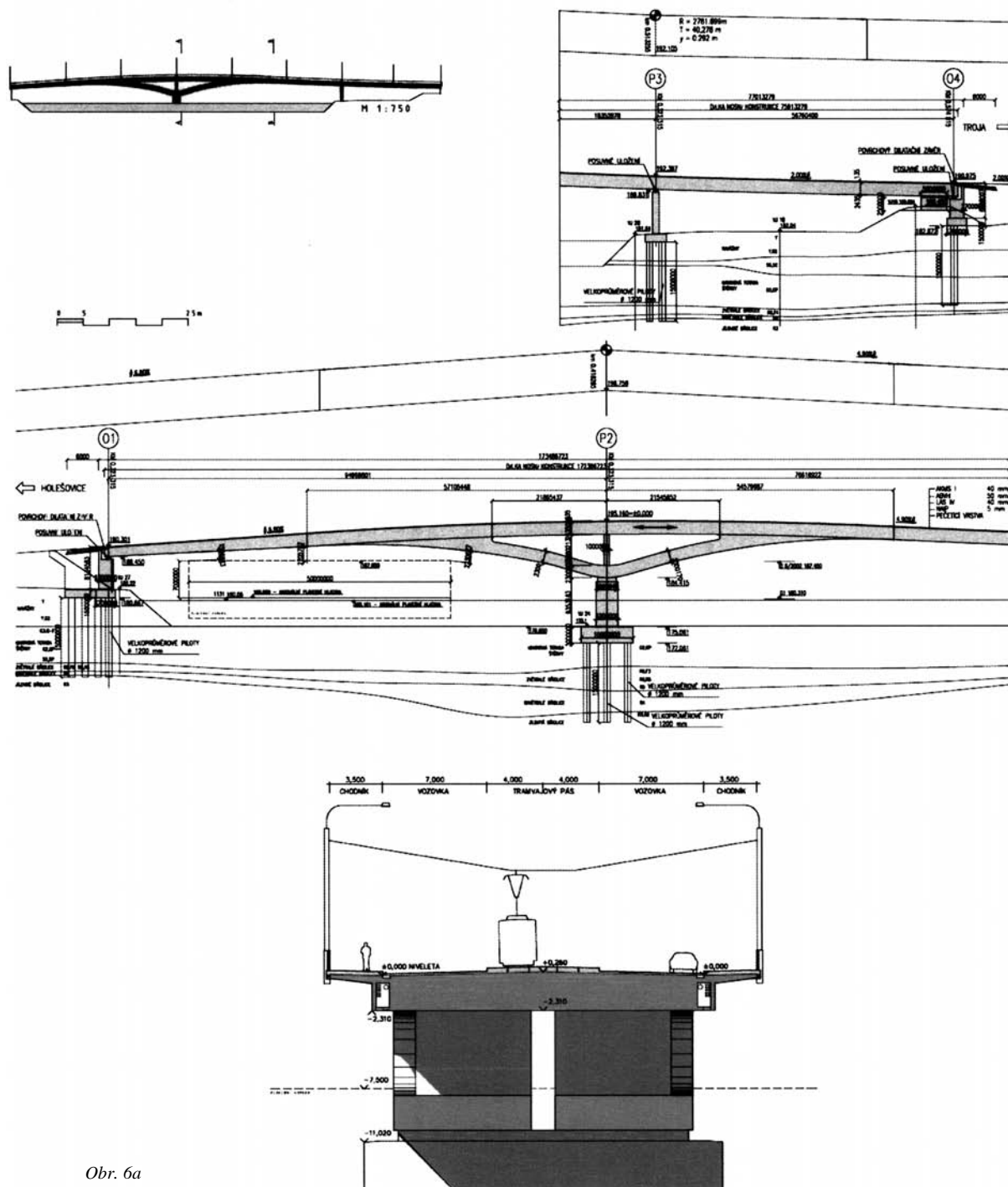
**Hodnocení poroty:** Jde o tvarově velmi výrazné řešení, otázkou je, zda až skulpturální pojetí je přiměřené lokalitě. Kladem návrhu je horizontální charakter konstrukce. Statický výpočet, poměrně podrobný, je doplněn jednoduchým kontrolním výpočtem. Z koncepce vyplývá značná spotřeba oceli a betonu. Montážní postup, rozkreslený do jednotlivých fází, je reálný. Realizace bude komplikovaná a pracná.

Obr. 4a









Obr. 6a

Lapidárně asymetrické konstrukční schéma bez podpory v řečišti reprezentuje vyhraněný výtvarný názor. Autorům se však nepodařilo tento výtvarný koncept dostatečně podepřít dopracováním požadovaných konstrukčních souvislostí. Rovněž doporučená transparentnost se ve druhém kole spíše zhoršila. Statický výpočet je neprůkazný a neúplný. Rozmístění otvorů neodpovídá toku sil. Přenesení tahové síly na trojské opěře není prokázáno. Návrh předpokládá realizaci nosné konstrukce na trojském břehu Vltavy rovnoběžně s korytem a zavezení a otočení napříč přes řeku pomocí pontonů. Tento postup je reálný. Mimořádně obtížná bude výroba dvojic stěn spojených navzájem troubami přivařovanými v prostoru šířky 0,7 m. Udržení nedeformovaného geometrického tvaru je problematické. Oceněný soupis prací nebyl

zpracován, ocenění slepého soupisu prací jednotkovými cenami bylo zpracováno dodatečně posuzovatelem. Srovnávací cena po úpravách je vysoká a činí 785 000 tis. Kč.

#### Návrh č. 9 (obr. 6a, b)

odměna

Přemostění rámovou konstrukcí má tři pole o rozpětí 95, 95 a 56,75 m. Je navrženo s horní mostovkou, nosná konstrukce je z předpjatého betonu a podporovaná dvěma vzpěrami, které v prostoru vetknutí do návodního pilíře zasahují pod úroveň hladiny povodně v roce 2002.

**Hodnocení poroty:** Kladem návrhu je jednoduchá architektonická forma městského mostu bez konstrukcí nad úrovní vozovky, s analogií k pražskému prostředí. Nedostatkem



je zatažení vzpěr cca 3 m pod úroveň hladiny roku 2002. Ve druhém kole je to jediný reprezentant mostu s horní mostovkou, který však nesplnil požadavek, jímž porota podmiňovala postup do druhého kola soutěže. Návrh není doložen hydrotechnickým výpočtem. Statický výpočet je povšechný, žebrový průřez nad 3. pilířem je nevhodný. Realizace se předpokládá na skruži, což omezuje jak eventuální průtok vel-

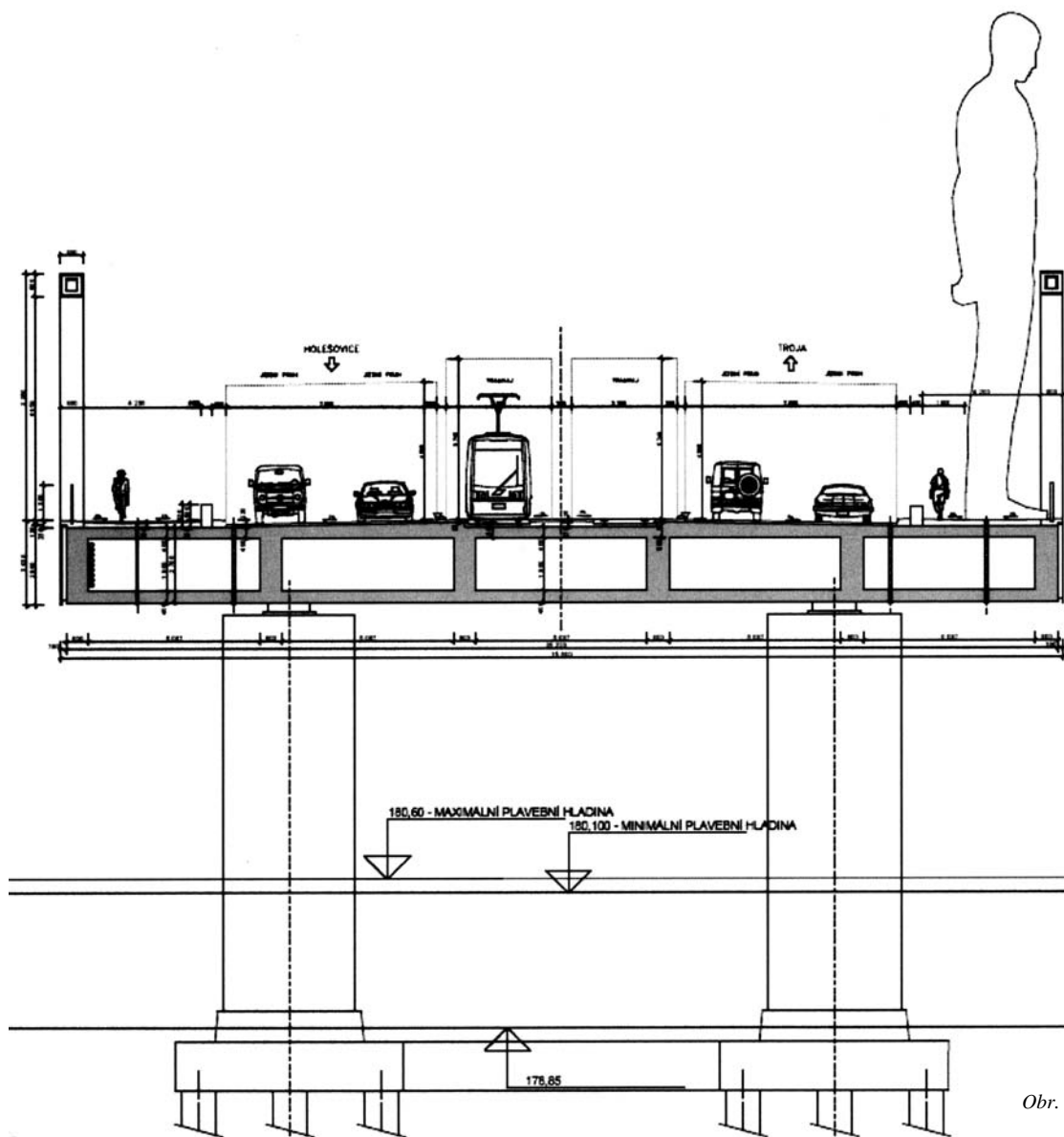
kých vod, tak lodní dopravu. Některé jednotkové ceny v propočtu byly podhodnoceny, jiné nadhodnoceny. Lze konstatovat, že propočet zahrnuje veškeré činnosti, které jsou pro cenu díla rozhodující. Srovnávací cena po úpravách je poměrně nízká a činí 476 900 tis. Kč.

### Některé typy konstrukcí z 1. kola soutěže

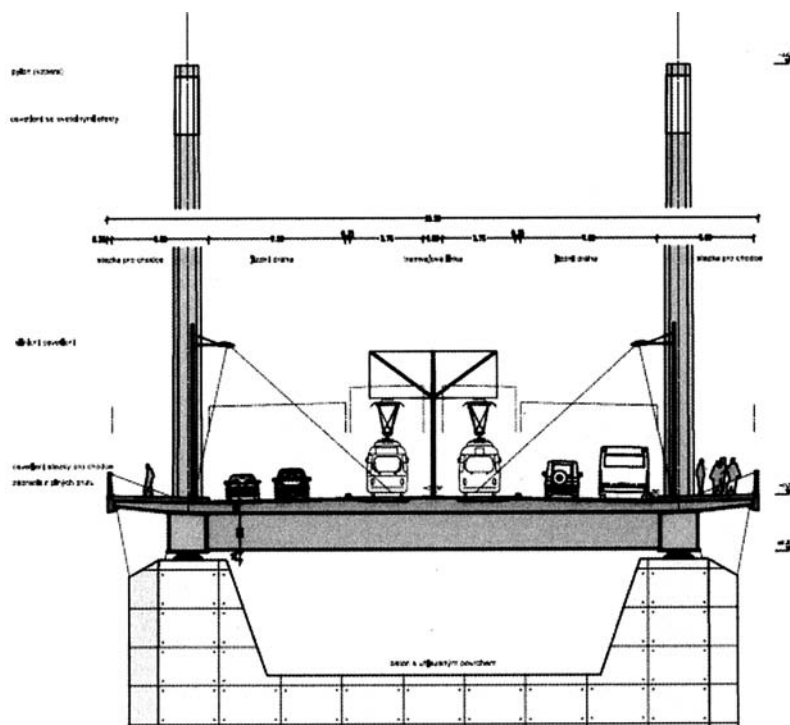
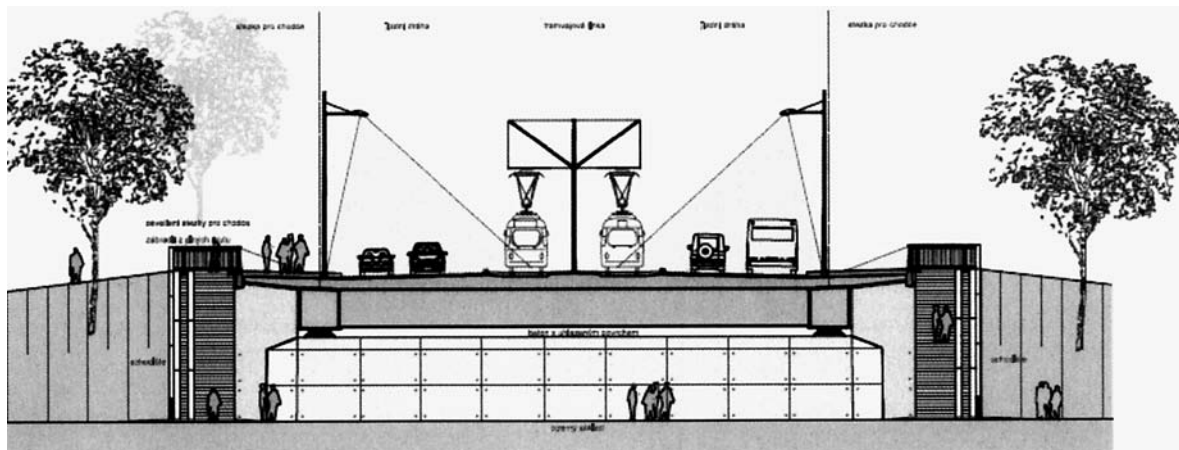
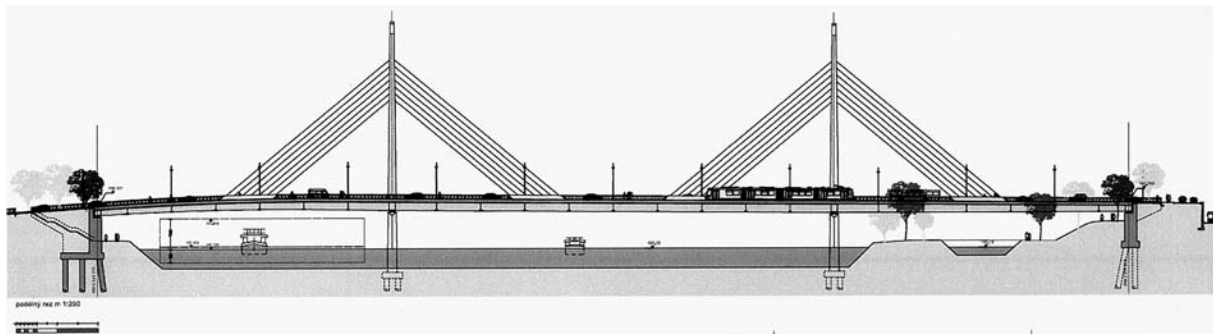
#### Návrh č. 3 (obr. 7)

Přemostění je řešeno spojitým nosníkem z předpjatého betonu, který je spíše z dekorativních důvodů doplněn rámovou konstrukcí „zábradlí“ výšky 8 m, u které na chodníku stojí socha chodce přibližně dvojnásobné výšky.

**Hodnocení poroty:** Porotu pobavila výtvarná nadsázka, nicméně tento koncept není cestou k dalšímu vývoji mostu. Vlastní nosná konstrukce je přehledná a jednoduchá, pod chodníky nemá vylehčení. Je navrženo velké množství podpor ve vodě. „Zábradlí“ je dekorativní o výšce 8 m, účinek je problematický. Materiálové nároky jsou přiměřené navržené konstrukci. O způsobu výstavby se nepojednává. Ani čtyři pilíře by výrazně nezvýšily investiční náklady nad průměr.



Obr. 7



Obr. 8

### Návrh č. 11 (obr. 8)

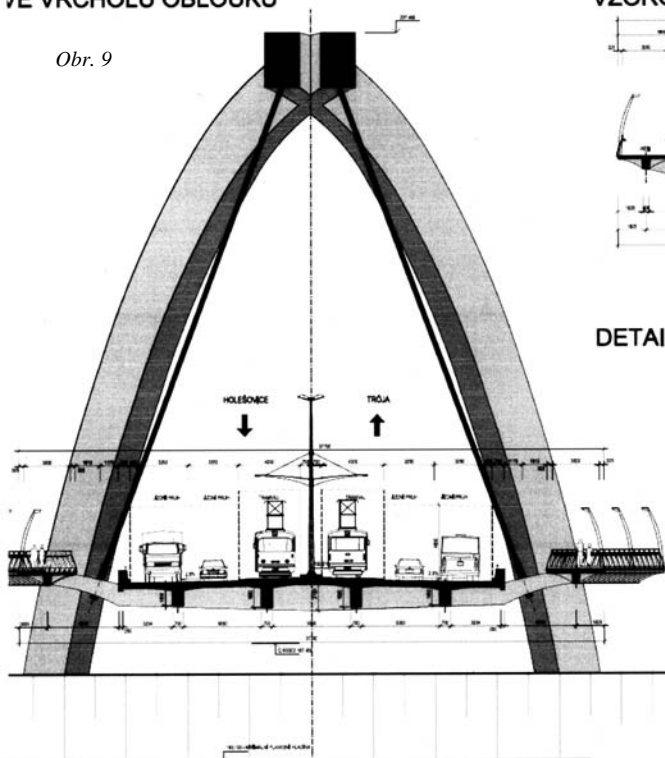
Jediný zahraniční návrh řeší přemostění zavěšeným ocelovým mostem se čtyřmi pylony a dvěma soustavami rovnoběžných závěsů.

**Hodnocení poroty:** Návrh se čtyřmi převýšenými pylony je pro dané prostředí nepřesvědčivý. Konstruktivní systém je

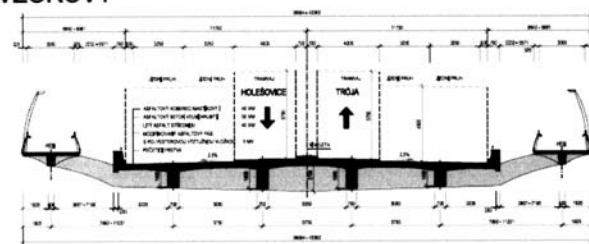
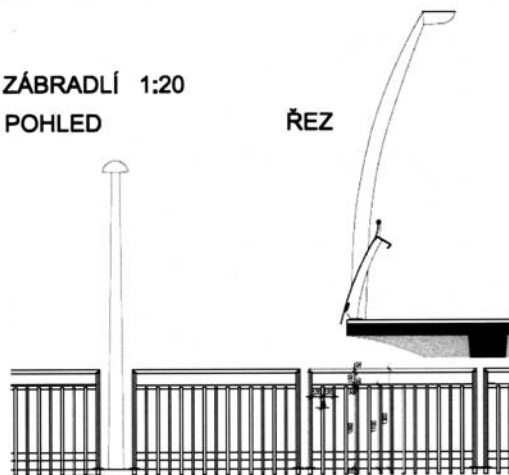
jasný a přehledný. Problematická je příčná stabilita štíhlých pylonů. Spotřeba hmot je malá. Chybí statická úvaha. Postup výstavby není popsán. Příznivé náklady na jednoduché zakládání a relativně subtilní konstrukci by byly oslabeny vyššími náklady na údržbu ocelového mostu. Celková výše nákladů by překročila průměr.

VE VRCHOLU OBLOUKU

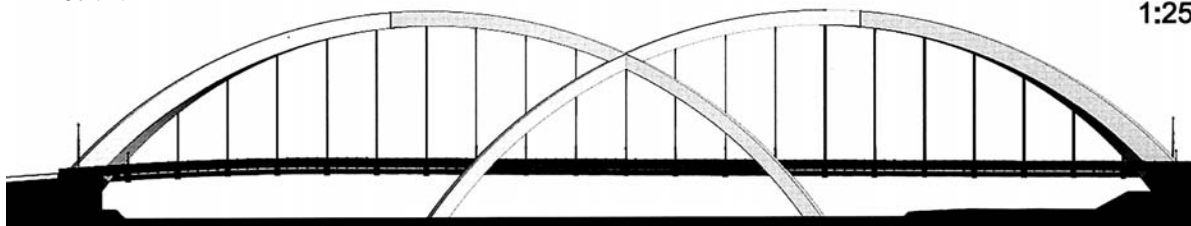
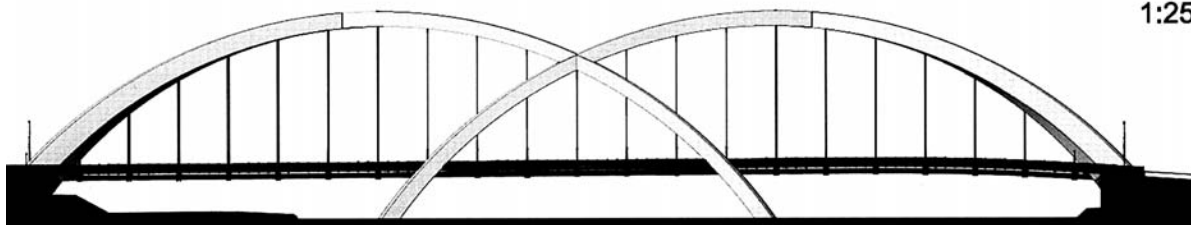
Obr. 9



VZOROVY

DETAIL ZÁBRADLÍ 1:20  
POHLED

Obr. 10

BOČNÍ POHLED VÝCHODNÍ  
1:250BOČNÍ POHLED ZÁPADNÍ  
1:250**Návrh č. 17 (obr. 9, obr. 10)**

Přemostění je navrženo formou čtyř protínajících se železobetonových oblouků ve skloněných rovinách, na kterých je mostovka zavěšena. Chodníky jsou vedeny odděleně od vozovky na konzolách.

**Hodnocení poroty:** Návrh představuje až monumentální řešení, které je do dané lokality nevhodné. Statický systém je složitý, komplikuje výstavbu včetně zakládání. Čtyři masivní železobetonové oblouky by pravděpodobně zvýšily investiční náklady.

**Porovnání vítězného návrhu s původním řešením**

Ve smyslu soutěžních podmínek požádal investor – Magistrát Hlavního města Prahy, Odbor městského investora – soutěžní porotu o porovnání vítězného soutěžního návrhu (č. 1) a původního návrhu VPÚ – SATRA, na který bylo získáno územní rozhodnutí. Jednání se konalo 11. 12. 2006 v zasedací místnosti investora MHMP – OMI. K práci byl přizván jako další expert zástupce zhotovitele stavby Metrostav, a. s., prof. Ing. Jan Víték, CSc., který porovnal oba návrhy z hlediska realizovatelnosti.

Přítomní členové a náhradníci poroty jednomyslně konstatovali, že podle kritérií požadavkům lépe vyhovuje architektonická kvalita, konstrukční kvalita a realizovatelnost vítězného soutěžního návrhu. Porovnání celkových nákladů na realizaci stavby nelze vyhodnotit jednoznačně, a to vzhledem k různému rozpracování návrhů. Na základě výše uvedeného bylo doporučeno zadavateli zahájit jednací řízení k uzavření smlouvy o dílo na zpracování dalších stupňů projektové dokumentace s vítězem soutěže, kterým jsou firmy Mott MacDonald Praha, s. r. o., a Roman Koucký architektonická kancelář, s. r. o., Praha.

### Závěr

Od začátku roku 2007 probíhá příprava na zpracování projektové dokumentace pro realizaci vítězného návrhu. Zvolený postup prokázal na jedné straně správnost zadání významné stavby formou architektonicko-konstrukční soutěže, na druhé straně průběh soutěže potvrdil, že spolupráce špičkových odborníků ze všech dotčených oborů při hodnocení soutěžních návrhů je možná a prospěšná a zadavateli přináší pozitivní výsledky.

### Účastníci soutěže

MOTT MACDONALD Praha, spol. s r. o., Praha

Ing. Jiří Petrák  
Ing. Ladislav Šašek, CSc.

Roman Koucký architektonická kancelář, s. r. o., Praha

doc. Ing. arch. Roman Koucký  
Ing. arch. akad. arch. Libor Kábrt

Stráský, Hustý a patrneři, s. r. o., Brno

prof. Ing. Jiří Stráský, CSc.  
Ing. Tomáš Míčka  
Ing. arch. Pavel Ullmann  
Ing. arch. Jaromír Kosnar  
akad. soch. Michal Gabriel

Ateliér AGP, Brno

autoři:  
Ing. arch. Roman Gale  
Ing. arch. Michal Palaščík  
spoluautoři:  
Bc. Barbora Šimonová  
Bc. Libor Dašek

Autorský kolektiv

Projekční kancelář PRIS, spol. s r. o., Brno  
Ing. Slavomír Kolčava  
VIC Bücken und Ingenieurbau GmbH, Postupim  
Dipl. Ing. Klaus-Dieter Abraham  
Ripke - Architekten  
Henry Ripke Brno

Autorský tým

Pontex, s. r. o., Praha  
Ing. Pavel Němec  
Ing. Jan Komanec  
Ing. Erika Kopřivová  
Ing. Václav Kvasnička  
Drobný Architects  
Ing. arch. Ivan Drobný

SUDOP Praha, a. s.

Ing. Petr Zíka  
Ing. arch. Martin Smrž  
Ing. Tomáš Wangler  
Ing. Aleš Menšík

Autorský tým

Pontex, s. r. o., Praha  
Ing. Milan Kalný  
Ing. Martin Havlík  
Ing. Ondřej Dědek  
Pavel Vodička  
Mojmír Kalný  
prof. akad. arch. Petr Keil, Praha

VPÚ DECO Praha, a. s.

Ing. arch. Martin Rösler  
Ing. Vít Havlíček  
Ing. Michal Drahorád  
spolupráce:  
Michaela Chvojková  
Radek Jiránek

Autorský kolektiv, Praha

Ing. Roman Šafář  
spoluautor:  
Ing. Jan Blažek

BPR Dr. Bernhard Schäpertöns & Partner, Mnichov

Dr. Ing. Bernhard Schäpertöns  
Schultz-Brauns&Reinhart Architekten, Mnichov  
Dipl.-Ing. arch. Otto Schultz-Brauns  
Vandera&Schmidt, spol. s r. o., Pardubice  
Dipl.-Ing. Richard Vandera

Autorský kolektiv Znamení čtyř architekti, s. r. o., Praha

Ing. arch. Richard Sidej

Autorský tým

CMC architects, a. s., Praha  
Akad. arch. Vít A. Máslo  
Pontex, s. r. o., Praha  
Ing. Václav Hvizdal  
AED PROJECT, s. r. o., Praha  
Ing. Aleš Marek  
Projektový atelier DUA, s. r. o., Praha  
Ing. Václav Malina

MS architekti, s. r. o., Praha

Ing. arch. Michal Šourek  
akad. arch. Pavel Hřebecký  
Mgr. Ing. arch. Dorota Kluská  
Ing. arch. Alexandr Verner  
Ing. Miroslav Šourek  
Ing. Miroslav Matějka  
Ing. Bohuslav Rosenkranz, CSc.

Erick van Egeraat associated architects, s. r. o. (EEA),  
Praha/Rotterdam

Eric van Egeraat  
Ing. arch. Marcela Magdičová  
Ing. arch. Borislav Benedek  
Ing. arch. Igor Hobza  
Ing. Jaroslav Šaroun  
Ing. arch. Michal Bernart

MCE Slaný, s. r. o.

Ing. Jan Tatíček

MCC ZT GmbH, Salzburg

Dipl.-Ing. Cerin Mladen

Metroprojekt Praha, a. s.

Ing. Tomáš Částka

Ing. Jan Pešata

Ing. Petr Vyskočil

Ing. arch. Pavel Sýs

Ing. Martin Jakoubek

Svatava Ducháčková

Autorský kolektiv, Praha

Ing. arch. Ivan Šrom

Ing. Vít Hoznour

Ing. Radek Křupka

Ladislav Molnár

Ing. arch. Iveta Torkoniaková

Ing. Lukáš Zemek

SATRA, spol. s r. o.

Ing. Pavel Šourek

Ing. František Polák

prof. Ing. Jan L. Vítek, CSc.

prof. Ing. arch. Arnošt Navrátil, CSc.

Ing. arch. Jan Linhart

Architektonický atelier-projekční kancelář, Brno

ARCHicon, s. r. o.

Ing. arch. David Titz

Ing. arch. Zbyněk Svoboda

Ing. Ladislav Huryta

Martin Matůšů

Pontex, s. r. o., Praha

Ing. Petr Drbohlav

Občanské sdružení „Futura Pragensis“

Ing. Petr Souček

Tomáš Rousek

Ing. arch. Libor Lacina

Luka Křížek

**Hejnic, J. – Štěpán, P.: Competition on a Design of a New Bridge across the Vltava River between Holešovice and Trója**

**This paper informs about a competition on the design of a new bridge across the Vltava River between two Prague neighbourhoods.**

**Hejnic, J. – Štěpán, P.: Wettbewerb um den Entwurf einer neuen Brücke über die Moldau zwischen Holešovice und Trója**

**Der Artikel informiert über den Wettbewerb um den Entwurf einer neuen Brücke über die Moldau zwischen den Prager Stadtteilen Holešovice und Trója.**

## •projekty

### Vyšehrad Victoria

Projekt se zajímavou architekturou a výjimečným výhledem na okraji centra Prahy nabídne 4 756 m<sup>2</sup> administrativních prostor. Nová kancelářská budova Vyšehrad Victoria zaujme jak díky atraktivnímu designu z dílny Aulík Fišer architekti, tak díky unikátní poloze v těsné blízkosti hotelu Corinthia a Kongresového centra Praha, zaručující krásný výhled na Vyšehrad, Hradčany i Nuselské údolí.



Vzhledem k exponované poloze pozemku získala budova výrazný architektonický styl. Jde o osmipodlažní budovu oblých linií. Projektu dominuje z větší části prosklená věž, nabízející již od druhého podlaží panoramatický výhled z Vítězné pláně do Nuselského údolí. Při stavbě budou použí-

v y š e h r a d  v i c t o r i a

ty především přírodní materiály. Na fasádu objektu budou kromě skla využity titan-zinkové lamely v přírodních odstínech, které kovovými odlesky podtrhnou tvar budovy. Smysl pro architektonický detail se projeví také v interiéru budovy. Za povšimnutí bude stát kladení různobarevného kamene na podlaze, dřevěné obložení stěn i stropu a atraktivní skleněné schodiště jako alternativní přístup do prvního patra. Příjemnou atmosféru dokreslí zeleň. Do přízemí se bude vstupovat reprezentativní halou s pohodlným sezením pro hosty, jíž bude dominovat vítězné nástěnné umělecké dílo ze soutěže, kterou pro studenty Vysoké školy umělecko-průmyslové uspořádá investor projektu, jímž je Skanska Property. Generálním dodavatelem je společnost Heberger CZ. Celkové investiční náklady dosáhnou 360 mil. Kč. Předpokládaný termín dokončení je druhé čtvrtletí roku 2008.

Oblast Vyšehradu je známá nejen jako klidná čtvrť s výborným zázemím, ale díky Kongresovému centru Praha i jako místo konání konferencí, kongresů a vrcholných jednání. V těsné blízkosti je také národní kulturní památka Vyšehrad s mnoha významnými historickými památkami – kostelem, bazilikou sv. Vavřince, románskou rotundou sv. Martina či Vyšehradským hřbitovem se Slavínem. Samotná lokalita, která má bohatou historii spojenou s řadou vítězných bitev o hlavní město během druhé světové války, předurčila i název projektu – Vyšehrad Victoria.

*Tisková informace*

## Ocelobetonové integrované mosty

Ing. Filip ROLLER, Ph. D.  
SUDOP Praha, a. s.

prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.  
ČVUT – Fakulta stavební, Praha

Integrované mosty tvoří dosud ne zcela rozšířenou kategorii mostních konstrukcí. Jejich specifikem je, že hlavní nosná konstrukce a spodní stavba jsou spojeny do jednoho celku. Tím dochází k zapojení zeminy za opěrami do působení celého mostu. Vzhledem k výrazně nelineárnímu chování zemin není analýza integrovaných mostů jednoduchou záležitostí. Předkládaný článek shrnuje výsledky výzkumu vykonaného v tomto oboru na pracovišti autorů, a zejména poznatky plynoucí z dizertační práce prvního z autorů [1].

### Úvod

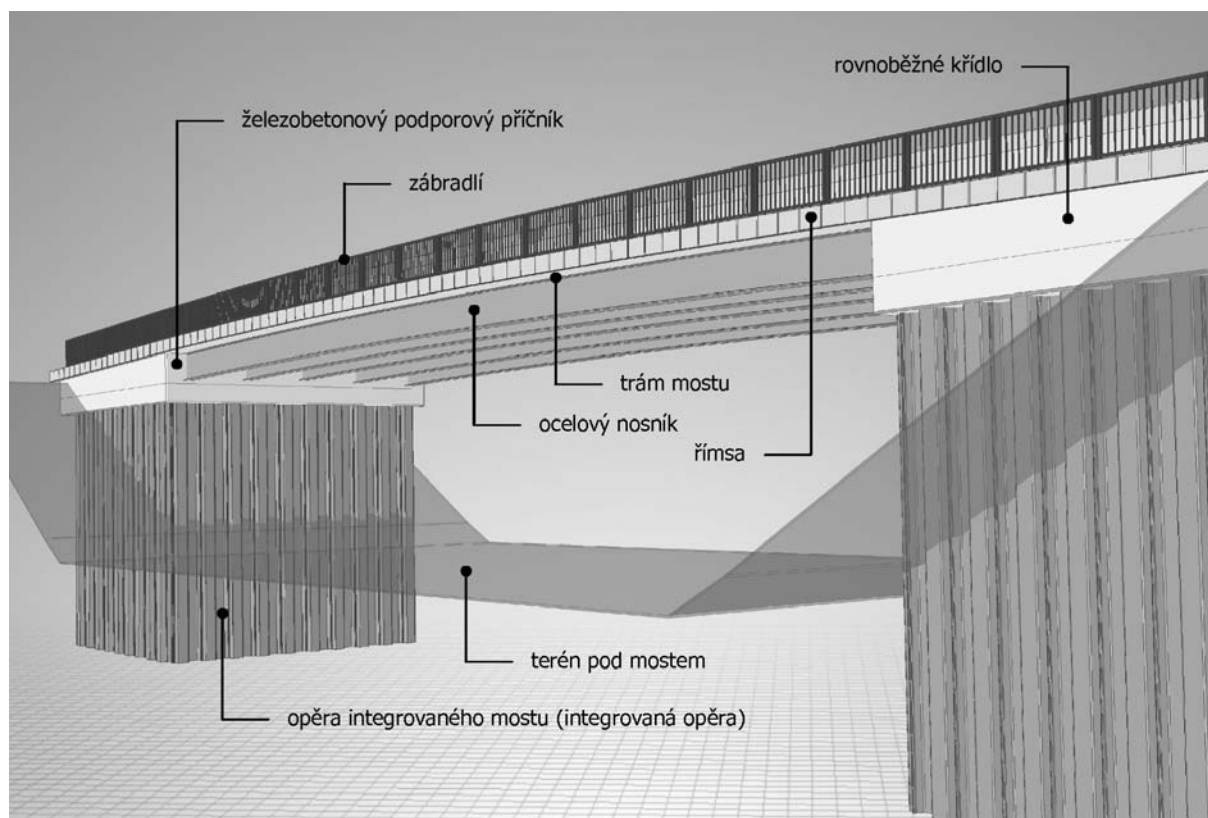
Teplotní změny způsobují prodloužení, resp. zkrácení hlavní nosné konstrukce mostů a vyvolávají posuny a natočení podporových průřezů. Tradiční uspořádání mostních konstrukcí vychází z požadavku oddělit hlavní nosnou konstrukci a podpěry tak, aby byla umožněna volná dilatace hlavního nosného systému, a zamezit tak „zbytečnému“ namáhání podpěr i trámů mostu – zejména vlivem teplotních

změn. Tato volná dilatace je umožněna vhodným uspořádáním ložisek na mostních podpěrách a osazením mostních závěrů, které i při deformaci konstrukce zajišťují spojitost povrchu vozovky na mostech pozemních komunikací.

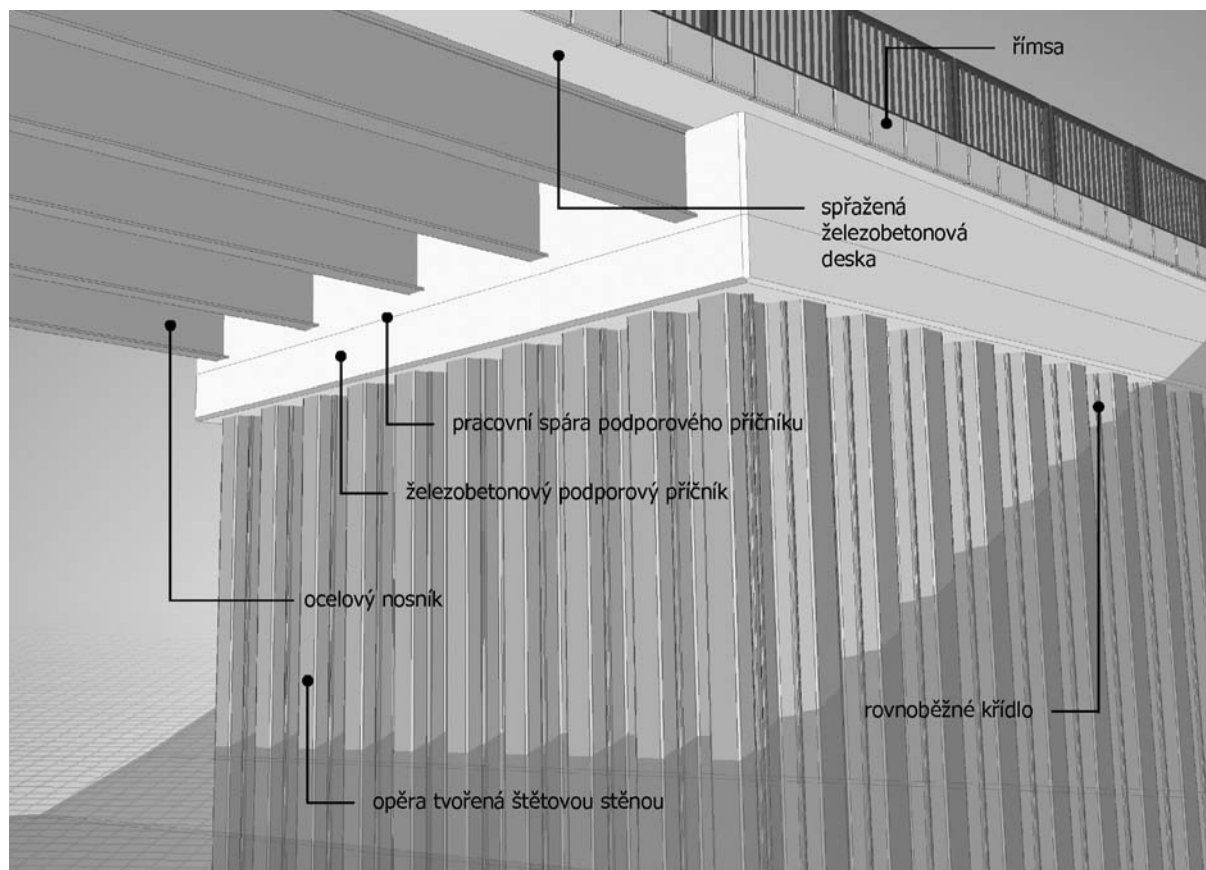
Snaha maximálně zjednodušit konstrukci a vyloučit součásti, které jsou náchylné na poškození a jejichž životnost může být výrazně kratší než životnost zbývajících částí mostní konstrukce, vede v některých zemích ke stále častějšímu navrhování konstrukcí odlišného typu, tzv. integrovaných mostů (obr. 1, obr. 2).

Integrované mosty jsou mostní konstrukce bez mechanických mostních závěrů, u kterých dochází k zapojení zeminy za opěrami do působení celého mostu. To znamená, že zemní tlaky, kterými působí zásyp na rub mostních opěr, ovlivňují napjatost nejen v těchto opěrách, ale také v prvcích hlavního nosného systému mostu. Základní odlišností těchto konstrukcí je působení mostních podpěr a přístup k jejich návrhu.

Podpěry běžných mostů jsou navrhovány tak, aby kromě zatížení vstupujících do opěr mostními ložisky odolávaly rovněž zatížení zemními tlaky, kterými působí přilehlé zemní těleso na rub opěry. Naproti tomu mostní podpěry integrovaných mostů jsou přilehlým tělesem podepřeny, což umožňuje návrh subtilnější spodní stavby a současně přináší další výhody popsané v [1] a [2].



Obr. 1. Integrovaný most



Obr. 2. Opěra integrovaného mostu

Zmíněná práce [1] se zaměřuje především na ocelobetonové integrované mosty pozemních komunikací, ačkoli většina uvedených zásad a popsaných poznatků se týká rovněž integrovaných mostů ostatních kategorií.

## Navrhování integrovaných mostů

### Konstrukce mostu

Výše zmíněné konstrukční rozdíly a odlišnosti v působení jednotlivých prvků mostní konstrukce vyžadují rovněž odlišný přístup při návrhu integrovaného mostu. Odlišné nároky jsou kladeny zejména na spodní stavbu, která musí být nejen dostatečně únosná, ale také přiměřeně poddajná. Proto se dílky opěr navrhují zpravidla ocelové, tvořené štětovými stěnami nebo samostatnými pilotami, popř. lze navrhnout stěnu velké únosnosti v ohybu [12].

Při navrhování integrovaných mostů platí stejné zásady jako při navrhování běžných mostů. Navíc je však třeba zohlednit zapojení zásypu za opěrami do působení celého mostu. Tato interakce umožňuje efektivnější působení konstrukce, pro projektanta však zároveň představuje nutnost její složitější analýzy, neboť působení konstrukce a zásypu nelze zkoumat odděleně.

### Zásyp za opěrami

Přílehlý násyp poskytuje opěře integrovaného mostu podepření ve vodorovném směru. Materiál zásypu za opěrami proto výrazně ovlivňuje chování celé mostní konstrukce. Pro zásyp za opěrami integrovaných mostů se používají výhradně nesoudržné zeminy. Materiály s oblými zrny jedné frakce a s malým úhlem vnitřního tření (např.  $\varphi' =$

$35^\circ$ ) představují dostatečně poddajné podepření opěry (ve vodorovném směru) a umožňují deformace konstrukce bez rozvoje příliš velkých pasivních zemních tlaků. Tyto materiály jsou však současně náchylné na výraznější sedání. Naproti tomu materiály s ostrohrannými zrny s vyššími hodnotami úhlu vnitřního tření (např.  $\varphi' = 55^\circ$ ) jsou málo stlačitelné a jejich odolnost proti deformacím vznikajícím v konstrukci vlivem teplotních změn je značná. Náchylnost těchto materiálů na sedání je velmi malá.

Pro zásypy integrovaných mostů, jejichž délka přesahuje 40 m, je podle [8] vhodné navrhovat materiály s úhlem vnitřního tření  $\varphi' \leq 45^\circ$ . Materiál zásypu má vyplňovat prostor vymezený rubem opěry a rovinou ukloněnou o min.  $45^\circ$  (měřeno od roviny rubu opěry), ubíhající směrem od spodní rubové hrany tuhé části opěry. Vhodně zvolený nesoudržný materiál zásypu je v kontaktu s rubem opěry i při maximálním ochlazení trámu mostu (tj. při extrémní kontrakci) a díky působení aktivních zemních tlaků poskytuje opěře dostatečné podepření ve vodorovném směru při působení pohyblivých zatížení.

### Analýza mostů

Důsledkem spolupůsobení obou částí systému (mostní konstrukce a materiálu zásypu za opěrami) je závislost vnitřních sil v prvcích integrovaného mostu na vodorovných zemních tlacích, kterými působí zásyp na opěry, a rovněž závislost těchto zemních tlaků na deformacích geotechnické konstrukce (tj. mostních podpěr). Vzhledem k tomuto působení, a rovněž k nelinearitě chování zemin, musí být provedena nelineární analýza konstrukce, která má zpravidla podobu iteračního výpočtu.



Vytvoření modelu integrovaného mostu, zahrnujícího dostatečně výstižný model záস্যu a provedení nelineární analýzy, umožňuje řada komerčních programů. Většinou však jde o rozsáhlé a finančně nákladné programy, vyžadující ovládání zkušeným uživatelem, přičemž tvorba modelu může být zdlouhavá a pracná.

### Program IM2004

V rámci dizertační práce [1] byl vyvinut program IM2004, který umožňuje vytvoření trojrozměrného modelu integrovaného mostu a následnou nelineární analýzu. Je možné ho využít pro vytvoření a popis modelu zeminového prostředí, které obklopuje podpěry integrovaného mostu. Zeminové prostředí pak umožňuje výpočet zemních tlaků působících na mostní konstrukci. Zemní tlaky jsou stanoveny v každém  $i$ -tém kroku iterace na základě deformací spodní stavby, jichž bylo dosaženo v kroku předcházejícím. V jednotlivých uzlech konstrukce, resp. spodní stavby, jsou zaváděny vynucené deformace, jejichž velikost a směr se stanoví na základě fiktivní reakce v daném uzlu. Jsou-li tyto reakce ve všech uzlech spodní stavby nulové (nebo alespoň dostatečně malé), je dosaženo konečného řešení a iterace končí.

### Tvorba modelu

Pro modelování nelineárního chování zemin je v IM2004 (obr. 3) využita modifikovaná metoda náhradních pružin,

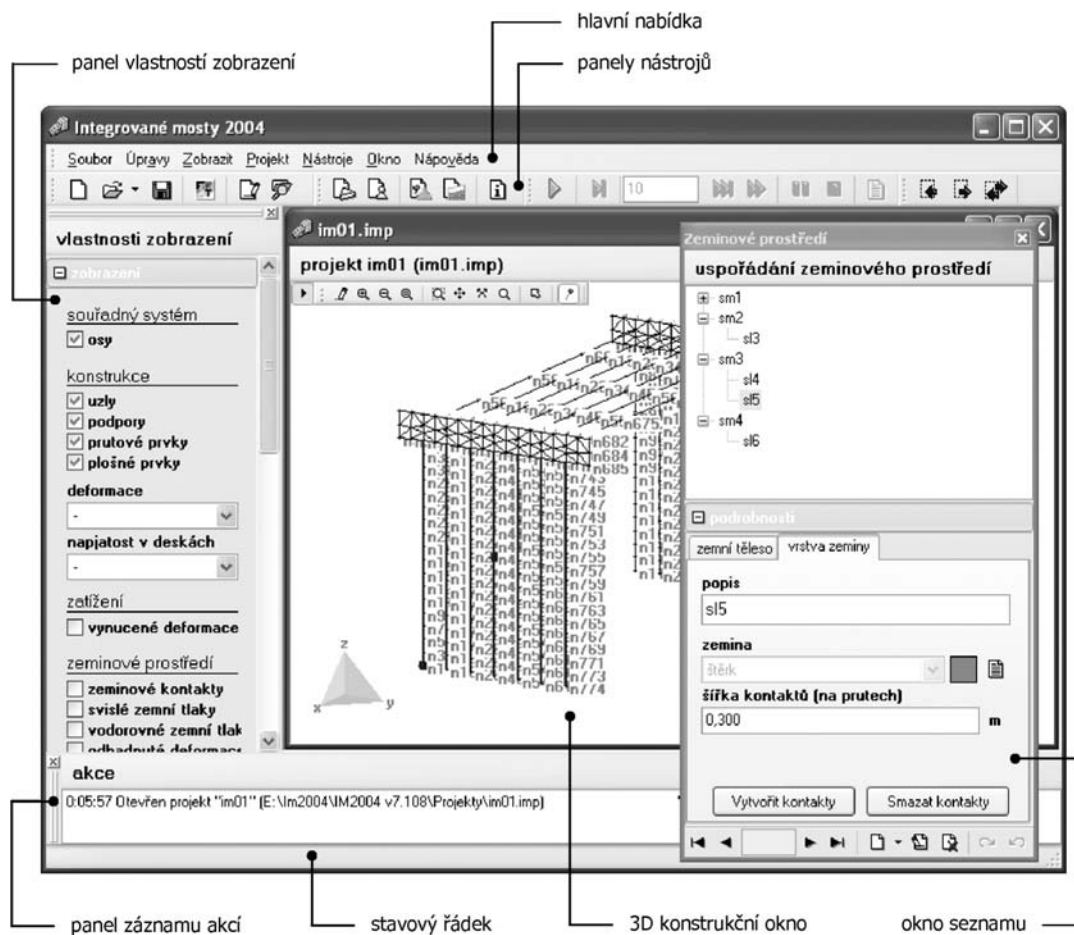
kteřé poskytují modelu opěry pružné liniové, resp. plošné podepření jednotlivých prutů, resp. plošných prvků, nikoli pouze bodové podepření uzlových bodů. Vodorovné zemní tlaky jsou stanoveny na základě svislých tlaků a součinitele zemního tlaku, jehož hodnota je funkcí deformace geotechnické konstrukce.

Program IM2004 je uzpůsoben pro spolupráci s běžně používaným programem Feat2000 firmy SmartSoft, s. r. o. (nyní SCIA, s. r. o.). Ke komunikaci mezi oběma programy jsou využity vstupní a výstupní soubory programu Feat2000, které mají podobu textových souborů pevné struktury. Program Feat2000 je využit:

- k tvorbě modelu mostní konstrukce v rámci přípravy projektu;
- k lineární analýze v každém kroku nelineární iterace;
- k prohlížení výsledků po dokončení iterace, popř. k průběžné kontrole výsledků mezi jednotlivými kroky iterace.

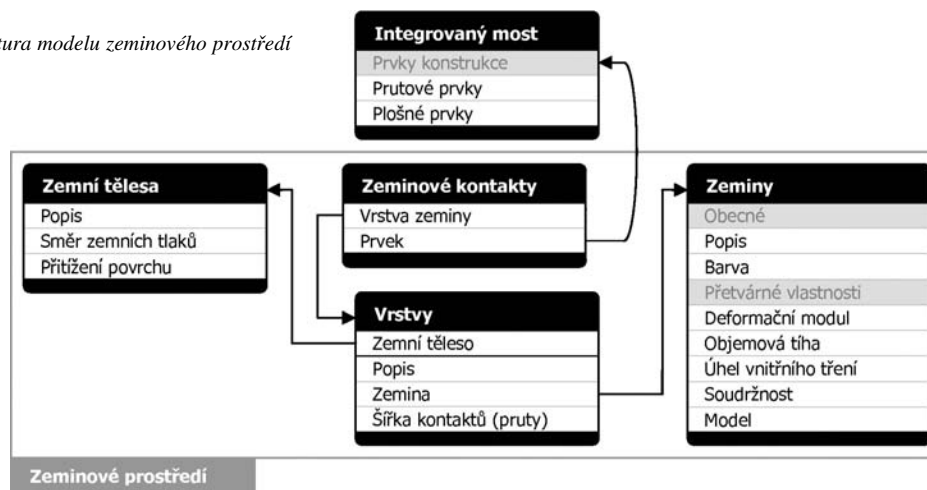
Jednotlivé prvky konstrukce jsou modelovány následovně:

- samostatně působící piloty jako prutové;
- podporové příčníky pomocí deskostěnových prvků (aby bylo možné přesně vystihnout průběh zemních tlaků po výšce příčníku);
- hlavní nosníky pomocí prutových nebo deskostěnových prvků;
- sřaženou železobetonovou desku je vhodné modelovat pomocí deskostěnových prvků připojených k hlavním nosníkům vzdálenými kontakty.



Obr. 3. Program IM2004, pracovní prostředí

Obr. 4. Struktura modelu zeminového prostředí



### Struktura zeminového prostředí

Zeminové prostředí představuje při uvážení jeho působení v reálných podmínkách poměrně složitý celek. Rovněž tvorba modelu v programu IM2004, při které je třeba popsat geologické poměry, zejména vlastnost zemin, mocnost jednotlivých vrstev a zavedení zemních tlaků na prvky obklopené zeminou, představuje zdlouhavou a pracnou operaci. Struktura zeminového prostředí, znázorněná na obr. 4, uživateli maximálně zjednodušuje a zpřehledňuje zadávání vstupních údajů, a současně usnadňuje orientaci v modelu tohoto prostředí.

Propojení mezi konstrukcí a zeminovým prostředím zajišťují v modelu zeminové kontakty. Zeminový kontakt je základním prvkem zeminového prostředí přiřazený prutovému nebo plošnému prvku konstrukce za účelem výpočtu a zavedení vnějšího zatížení vodorovnými zemními tlaky. Zatížení vodorovnými zemními tlaky je stanoveno na každém kontaktu v každém kroku iterace a následně zavedeno na prvek konstrukce. Vlastnímu výpočtu zatížení vodorovnými zemními tlaky a aplikaci těchto zatížení na prvky konstrukce však předchází:

- **výpočet svislých zemních tlaků**, daných především uspořádáním zeminového prostředí;
- **výpočet součinitele zemního tlaku  $K$**  na základě odhadnutých deformací v uzlových bodech, které jsou stanoveny z deformací a výsledných vnitřních sil v konstrukci v předchozím kroku iterace;
- **výpočet vodorovného zemního tlaku**, na jehož základě je stanoveno vodorovné zatížení prvků konstrukce, které je následně zavedeno do modelu konstrukce;

Další součástí zeminového prostředí tvoří tabulka vrstev. Každá vrstva sdružuje zeminové kontakty se shodným směrem působení zemních tlaků, ležící ve stejné zemině a se shodnou šířkou kontaktů (na prutových prvcích). Tabulka zemin zahrnuje popis všech zemin použitých v modelu a jejich vlastnosti.

Zemní těleso je objekt zeminového prostředí, který sdružuje vrstvy zahrnující zeminové kontakty definované na jednotlivých konstrukčních celcích (např. mostní opěra). Určuje směr působení zemních tlaků na všech kontaktech definovaných v rámci každé vrstvy zemního tělesa a také přítížení povrchu. Zeminové kontakty umožňují vyhledávání kontaktů nadloží v rámci zemního tělesa, čímž je umožněn automatický výpočet svislých zemních tlaků na kontaktech

určených hloubkou pod povrchem a přítížením na povrchu zemního tělesa.

### Výpočet zemních tlaků, nelineární chování zemin

Pro výpočet svislých zemních tlaků v  $i$ -tém uzlu je využit vztah (1), který zohledňuje nárůst svislých zemních tlaků v důsledku pasivních deformací,

$$\sigma_{z,i}^* = \sigma_{z,i} + \sigma_{z,surf} + \sigma_{z,cor,i} \quad (1)$$

kde  $\sigma_{z,i}$  je základní hodnota svislého zemního tlaku v  $i$ -tém uzlu daná vlastní tíhou nadložních vrstev;

$\sigma_{z,surf}$  – přítížení povrchu;

$\sigma_{z,cor,i}$  – přírůstek svislých zemních tlaků v závislosti na vodorovných deformacích podle vztahu (2), pouze však pro pasivní deformace, v ostatních případech  $\sigma_{z,cor,i} = 0$ ,

$$\sigma_{z,cor,i} = E_{def} \cdot \frac{\nu}{(1+\nu) \cdot (1-2\nu)} \cdot \varepsilon_{h,i} \quad (2)$$

kde  $E_{def}$  je deformační modul zeminy (v dané vrstvě);

$\nu$  – Poissonův součinitel zeminy (v dané vrstvě);

$\varepsilon_{h,i}$  – poměrná deformace ve vodorovném směru v  $i$ -tém uzlu.

Přírůstek svislých zemních tlaků v závislosti na vodorovných deformacích odpovídá chování lineárně pružného materiálu při podmínkách rovinné deformace. Tento postup jeho vyčíslení značně zjednodušuje chování zemin, avšak takto stanovené svislé zemní tlaky lépe vystihují skutečný průběh za opěrou integrovaného mostu.

Pro stanovení vodorovných zemních tlaků působících na konstrukci využívá program IM2004 součinitel zemního tlaku. Vodorovný zemní tlak  $\sigma_{h,i}$  je dán Terzaghiho vztahem

$$\sigma_{h,i} = K_i \cdot \sigma_{z,i}^* \quad (3)$$

kde  $K_i$  je součinitel zemního tlaku v  $i$ -tém uzlu;

$\sigma_{z,i}^*$  – svislý zemní tlak v  $i$ -tém uzlu, stanovený podle vztahu (1).

Součinitel  $K_i$  zemního tlaku je stanoven podle tab. 1 a následujících vztahů.

Tab. 1. Mezní deformace a odpovídající zemní tlaky

Natočení opěry	Směr deformace	Zemní tlak		Součinitel zemního tlaku	
				označení	výpočet
$d / H \leq n_p$	k zemině ( $d < 0$ )	pasivní	plný pasivní zemní tlak	$K_p$	vztah (4) (Coulomb – 1776)
$n_p < d / H < 0$			snížený pasivní zemní tlak		obr. 5.
$d / H = 0$	( $d = 0$ )	zemní tlak v klidu		$K_0$	vztah (5), (Jáky – 1944)
$0 < d / H < n_a$	od zeminy ( $d > 0$ )	aktivní	zvýšený aktivní zemní tlak		obr. 5.
$d / H \geq n_a$			plný aktivní zemní tlak	$K_a$	vztah (6) (Coulomb – 1776)

$d$  – vodorovné deformace dokonale tuhé mostní opěry v úrovni terénu (v hlavě piloty); kladné hodnoty  $d$  vyjadřují deformace směrem od zeminy za opěrou, tj. deformace vyvolávající působení aktivních zemních tlaků;  $H$  – výška opěry;  $n_a, n_p$  – poměr deformace a výšky konstrukce [10]

Hodnoty součinitelů zemního tlaku v  $i$ -tém uzlu odpovídající mezním deformacím jsou stanoveny podle vztahů

$$K_{p,i} = \frac{1 + \sin \varphi_j}{1 - \sin \varphi_j}, \quad (4)$$

$$K_{0,i} = 1 - \sin \varphi_j, \quad (5)$$

$$K_{a,i} = \frac{1 - \sin \varphi_j}{1 + \sin \varphi_j}, \quad (6)$$

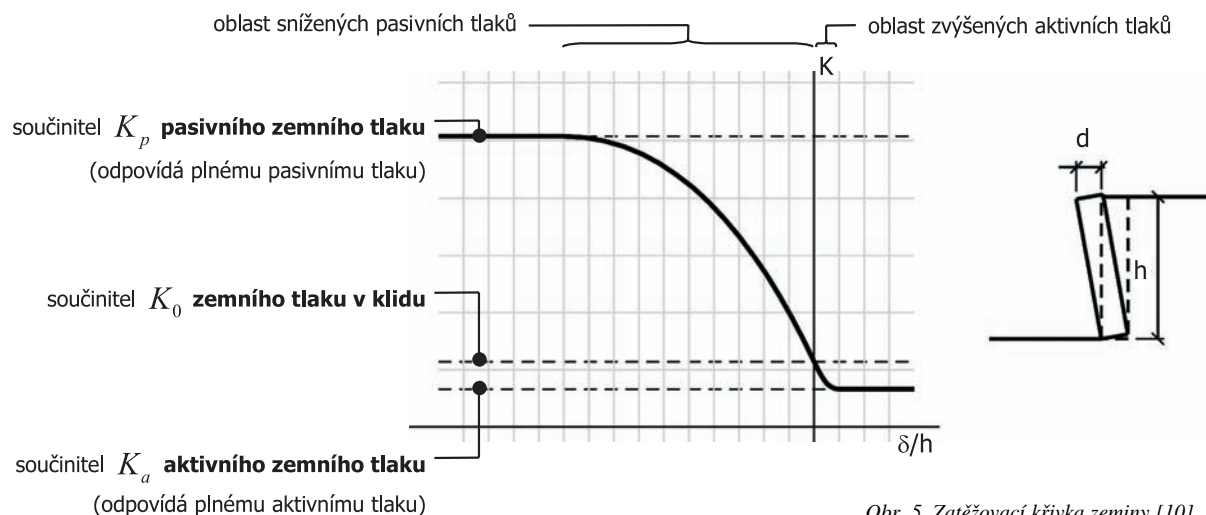
kde  $\varphi_j$  je úhel vnitřního tření zeminy v příslušné vrstvě.

Pro mezilehlé hodnoty vodorovných deformací je využita závislost součinitele zemního tlaku na vodorovné deformaci

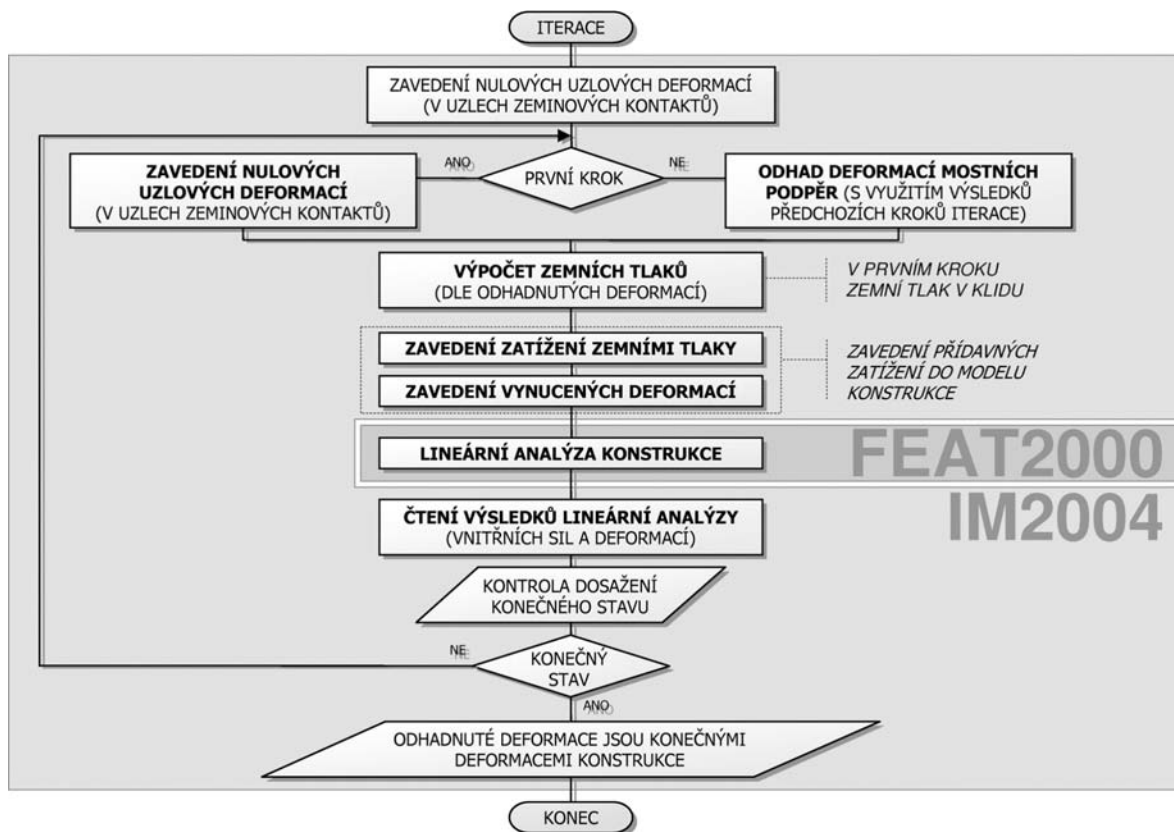
geotechnické konstrukce (opěry integrovaného mostu) [10]. Na obrázku 5 je znázorněna zatěžovací křivka reálné zeminy, která definuje závislost součinitele zemního tlaku na vodorovné deformaci. Program IM2004 tuto křivku zjednodušuje a definuje jako závislost multilineární.

#### Nelineární analýza

Nelineární chování zemin, při kterém je konstrukce zatěžována přídavným zatížením, jehož velikost závisí na jejich deformacích, vyžaduje k dosažení řešení iterační výpočet. V rámci iterace je třeba v každém kroku postupně volit deformace jednotlivých uzlových bodů, na kterých velikost zatížení zemními tlaky závisí, a provést lineární analýzu konstrukce zatížené nejen zatížením zadaným uživatelem, ale také automaticky zavedeným přídavným zatížením zemními tlaky. Toto přídavné zatížení přitom závisí na volených deformacích v uzlových bodech. Vývojový diagram takové nelineární analýzy je znázorněn na obr. 6.



Obr. 5. Zatěžovací křivka zeminy [10]



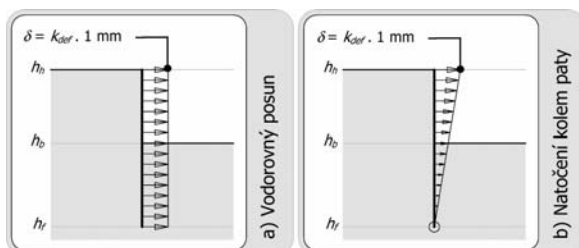
Obr. 6. Vývojový diagram nelineární analýzy

Konečné řešení iteračního výpočtu spočívá v nalezení správného odhadu vynucených deformací v uzlových bodech a následně odpovídajících hodnot vodorovných zemních tlaků. Při dosažení konečného stavu jsou reakce ve fiktivních podporech v uzlech s vynucenými deformacemi nulové, resp. dostatečně malé.

### Ověření správnosti modelu

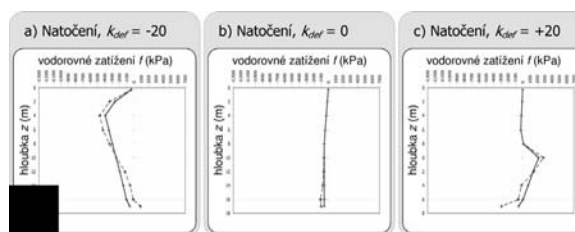
Pro ověření správnosti metody využití pro výpočet zemních tlaků, a rovněž pro ověření výstižnosti modelu zemino- vého prostředí, byly provedeny rozsáhlé srovnávací výpočty. Program Plaxis v7.2 pro tyto účely poskytla Katedra geotechniky ČVUT v Praze. V rámci verifikace byly vytvořeny dvě skupiny modelů, které zkoumaly zatížení opěry mostu zemními tlaky při vynucených deformacích:

- **rovnoměrný vodorovný posun** (obr. 7a) (s parametrem  $k_{def}$  deformace uvažovaným v rozsahu -30 až +20);
- **natočení kolem paty** (obr. 7b) (s parametrem  $k_{def}$  deformace uvažovaným v rozsahu -50 až +40).



Obr. 7. Ověřování metody, zatížení modelu

Z porovnání výsledků s využitím modifikované metody náhradních pružin a modelů v programu Plaxis vyplývá, že metoda použitá v programu IM2004 představuje dostatečně výstižný model zemino- vého prostředí a je použitelná pro stanovení velikosti zemních tlaků působících na podpěry integrovaných mostů a následné určení vnitřních sil v konstrukci. Plnou čarou je na obr. 8 znázorněn výsledek metody náhradních nelineárních pružin, čárkovaně výsledek získaný ve srovnávacích modelech v programu Plaxis v7.2.



Obr. 8. Porovnání výsledků

### Závěr

Článek rekapituluje výsledky dizertační práce [1] prvního z autorů, jejímž tématem jsou ocelobetonové integrované mosty, a představuje kategorii mostních konstrukcí nazývanou integrované mosty. Mosty této kategorie se od běžných mostů liší zejména v konstrukčním uspořádání podporových oblastí. Integrované mosty jsou mostní konstrukce bez mechanických mostních závěrů, u nichž dochází k zapojení zeminy za opěrami do působení celého mostu, což znamená, že napjatost v prvcích hlavního nosného systému je ovlivněna interakcí mostu a zeminy. Zemina v oblastech za podpěrami takovéto konstrukce poskytuje spodní stavbě pružné

podepření ve vodorovném směru a trám mostu působí mimo jiné jako rozpěra.

V článku jsou uvedeny základní informace o programu IM2004, nástroji pro analýzu integrovaných mostů, jehož vytvoření bylo hlavním cílem zmíněné dizertační práce.

**Výzkum chování integrovaného mostu byl podporován postupně několika projekty GA ČR, naposledy č. 103/05/2003, a projektem ČVUT č. 10 83016/2003.**

#### Literatura

- [1] Roller, F.: Ocelobetonové integrované mosty. [Dizertační práce], ČVUT Praha, 2006.
- [2] Lamboj, L. – Studnička, J.: Integrované ocelobetonové mosty pro pozemní komunikace. Stavební obzor 8, 1999, č. 2, s. 33–37.
- [3] Roller, F. – Studnička, J.: Steel and Concrete Composite Integral Bridges. [Proceedings, ed. by B. Hoffmeister and O. Hechler], Eurosteel 2005, Maastricht 2005, pp. 4.6-1–4.6-6.
- [4] Studnička, J. – Roller, F.: Integral Highway Bridges. [Proceedings], International Conference Sofia, VSU Sofia, 2002, pp. II-22–II-27.
- [5] Roller, F. – Studnička, J.: Integral Composite Steel and Concrete Bridges. [Poster Presentation], IABSE Symposium 2003, Antwerpen, 2003.
- [6] Roller, F. – Studnička, J.: Soil-Structure Interaction of Integral Bridges. IABSE Symposium 2004, Shanghai, 2004, pp. 206–207. Full paper on [CD-ROM].
- [7] Roller, F. – Křížek, J. – Studnička, J.: Integral Bridges and Soil-Structure Interaction. [Proceedings], Stability and Ductility of Steel Structures, Lisbon, 2006.
- [8] BA 42/96 Part 12 – The Design of Integral Bridges, Design Manual for Roads and Bridges, Volume 1 – Highway Structures: Approval Procedures and General Design, Section 3 – General Design. U. K. Highways Agency, 2003.
- [9] Husain, I. – Bagnariol, D.: Performance of Integral Abutments Bridges (Report BO-99-04). Toronto: The Queen's Printer for Ontario, 2000.
- [10] ČSN 73 0037 Zemní tlak na stavební konstrukce. ČNI, 1998.
- [11] Šafář, R.: Integral Bridges. First Integral Railway Bridge in the Czech Republic. IABSE Symposium 2007, Weimar, 2007 (v tisku).
- [12] ČSN P ENV 1993-5 (731451) Navrhování ocelových konstrukcí – část 5: Ocelové piloty a štetové stěny. ČNI, 2000.
- [13] Way, J. A. – Biddle, A. R.: Integral Steel Bridges: Design of a Multi-Span Bridge – Worked Example. SCI, 1998.
- [14] Petursson, H. – Collin, P.: Composite Bridges with Integral Abutments Minimizing Lifetime Costs. IABSE, Melbourne, 2002.
- [15] Collin, P. – Stoltz, A. – Moller, M.: Innovative Prefabricated Composite Bridges. IABSE, Melbourne, 2002.
- [16] Collin, P. – Lundmark, T.: Competitive Swedish Composite Bridges. IABSE, Melbourne, 2002.

#### Roller, F. – Studnička, J.: Integrated Steel Concrete Bridges

The integrated bridges represent a special category in the bridge construction. The superstructure and the substructure of an integrated bridge are connected without the use of bridge bearings and mechanical expansion joints. This also means that the backfill behind the integrated bridge abutment is integrated into the bridge. However, the interaction of the bridge and the backfill may also cause problems and must be taken into account when designing an integrated bridge. This article presents results of the doctoral thesis [1] of the first author.

#### Roller, F. – Studnička, J.: Integrierte Stahlbetonbrücken

Integrierte Brücken bilden bisher eine nicht ganz so verbreitete Kategorie von Brückenkonstruktionen. Ihr Spezifikum ist, dass die Haupttragkonstruktion und der Unterbau zu einem Ganzen verbunden sind. Dadurch kommt es zur Einbindung des Erdstoffs hinter den Widerlagern in die Wirkung der ganzen Brücke. Angesichts des erheblich nichtlinearen Verhaltens der Erdstoffe ist die Analyse integrierter Brücken keine ganz einfache Angelegenheit. Der vorliegende Artikel fasst die Ergebnisse einer in diesem Fach an der Arbeitsstelle der Autoren durchgeführten Untersuchung und insbesondere die aus der Dissertation des ersten der Autoren [1] erwachsenen Erkenntnisse zusammen.



4. mezinárodní konference  
k 300. výročí založení ČVUT v Praze

## Fibre Concrete 2007

Technologie, navrhování, aplikace

Praha, 12. – 13. září 2007  
Fakulta stavební, ČVUT v Praze

<http://concrete.fsv.cvut.cz/fc2007>

# Malá vodní elektrárna Liběchov – obnovitelný zdroj energie

doc. Ing. Ladislav SATRAPA, CSc.

Ing. Martin KRÁLÍK, Ph. D.

Ing. Milan ZUKAL

ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

Evropská komise vydala v lednu 2007 dokument „Strategický přehled pro energetiku“, jehož součástí jsou doporučení týkající se energetické koncepce následujících let s ohledem na vliv lidské činnosti na životní prostředí, zvláště pak na globální změnu klimatu. Nadějná je výstavba malých vodních elektráren, třeba i ve ztížených podmínkách. Průběh přípravy elektrárny Liběchov na dolním Labi je v článku doplněn možnostmi víceúčelového využití již vybudovaného zdyhadla.

## Úvod

Ropná krize, která postihla Evropu (opakovaným omezením dodávek ropy), se projevila jen na politické půdě. S nevelkým odstupem byl připraven dokument Evropské unie „Strategický přehled pro energetiku“, v němž je obsažena energetická strategie EU s důrazem na životní prostředí (globální oteplování) a alternativní zdroje energie. Program nutnosti využívání alternativních zdrojů energie je zdůrazňován hlavně zásluhou politiků: vydáváním různých prohlášení, která se často neuskuteční, nikoli z nedostatku politické vůle, ale z důvodů technické či ekonomické nedostupnosti nebo omezených a vyčerpaných možností zdrojů.

Mezi alternativní zdroje s dlouhou tradicí patří v České republice energie vody. Ostatní se využívají mnohem méně, a některé z nich jen po krátkou dobu. S tím souvisí i veřejné mínění o těchto zdrojích – často jsou opomíjené a nedocenené.

## Celosvětové energetické zásoby

Vyspělé státy světa mají ropy málo, hodně jí mají především nestabilní země. Hospodářská velmoc USA kryje přibližně polovinu své spotřeby dovozem převážně ze zemí Blízkého východu.

Na rozložení ropných nalezišť si vzpomene každý, kdo uvažuje o budoucnosti světa. Předpovědět, kdy budou ropné zdroje vyčerpány, zda bude ropa drahá či levná, zda ji někdy něco nahradí, je téměř nemožné. Problém dalšího využívání zdrojů ropy a zemního plynu je však stále naléhavější. V USA se chystají velké investice do hledání nových zdrojů energie. O totéž se musí pokusit Evropa. Jedině EU jako celek může shromáždit zdroje potřebné pro výzkum v oblasti energetických zdrojů.

Na úspěšném řešení problematiky energetických zdrojů závisí také ochrana životního prostředí. Celosvětovým východiskem z krize se zdá být omezování spotřeby energie (tj. šetření), její získávání z alternativních ekologických zdrojů a náprava škod napáchaných v minulosti.

## Evropský pohled na energetiku

Nedostatek zdrojů energie a hlad po elektřině hrozí v nejbližších letech i Evropě, neboť současné elektrárny se brzy ocitnou za prahem životnosti. Již v roce 2020 by mělo být nahrazeno 200 000 MW (100 Temelínů) instalovaných v dosluhujících zdrojích, ale současně navíc vznikne poptávka po dalších 100 000 MW, jak odhadují analýzy Eurelectric. Podle odhadů budou státy EU do roku 2030 potřebovat nové výrobní kapacity o výkonu 520 000 MW. To pro představu znamená 867 uhelných elektráren o výkonu 600 MW, 325 jaderných elektráren o výkonu 1 600 MW (JE Dukovany má instalovaný výkon 1 740 MW).

Evropská unie je příliš závislá na energii z dovozu, a tudíž je její energetická bezpečnost zranitelnější. Vyplývá to z materiálu, ve kterém Evropská komise představila novou energetickou strategii EU. Navrhuje se udržet postavení EU jako světové špičky v oblasti obnovitelné energie návrhem závazného cíle, že 20 % celkové skladby zdrojů bude do roku 2020 pocházet z obnovitelných zdrojů. To si vyžádá obrovský růst ve všech třech oblastech obnovitelných zdrojů energie – elektřiny, biopaliv i ohřevu a chlazení. Tento cíl bude doplněn minimálním cílem 10% využití biopaliv. Dovezená energie v současnosti pokrývá přibližně polovinu spotřeby unie. Odborníci odhadují, že do roku 2030 by se tento podíl mohl zvýšit až na 65 %. Zároveň vzroste závislost EU na zemním plynu na 84 % a na ropě na 93 %.

Požadavek na maximální využívání alternativních zdrojů je jedním z hlavních bodů energetické politiky Evropské unie. Podle výsledků průzkumu, provedeného statistickým úřadem EU Eurostat, považuje zvyšování podílu alternativních zdrojů energie na bilanci spotřeby energie za jeden z prioritních úkolů svých vlád 90 % občanů členských zemí.

Tab. 1. Podíl jednotlivých druhů paliv na výrobě elektřiny

Podíl na výrobě elektřiny	Stav [%] v roce		
	2000 skutečnost	2005 předpoklad	2030 cíl
tuhá paliva	70,5	55,5	36,8
– hnědé uhlí	58,4	48,9	31,9
– černé uhlí	12,1	6,6	4,9
plynná paliva	6,4	4,7	7,2
kapalná paliva	2,2	1,1	0,4
jaderné palivo	18,4	33,3	38,6
obnovitelné zdroje	2,3	5,3	16,9

Jako reálné se jeví řešení umožňující novými zdroji pokrýt rozhodující kapacity (redukované koncepcí globální energetické úspornosti) současně s realistickým využíváním obnovitelných (alternativních) zdrojů.

### Využívání obnovitelných zdrojů v ČR

Obnovitelnými zdroji se podle § 2 odst. 1 zákona č. 180/2005 Sb. rozumějí obnovitelné nefosilní přírodní zdroje energie, a to energie větru, slunečního záření, geotermální, energie vody, půdy, vzduchu, biomasy, skládkového plynu, kalového plynu a bioplynu. Vláda České republiky schválila dne 10. března 2004 Státní energetickou koncepci ČR [5], v níž je stanovena řada cílů s časovým výhledem do roku 2030. Jedním z nich je struktura výroby elektřiny v České republice v roce 2030 (*tab. 1*).

Skupina ČEZ, jako nejvýznamnější producent elektrické energie v České republice, v roce 2006 vyrobila z obnovitelných zdrojů 4,078 TWh elektrické energie, tj. navýšení proti roku 2005 o 10,6 %. V celkovém pohledu se obnovitelné zdroje na výrobě elektřiny podílely 4,84 % (v roce 2005 to bylo 4,46 %). Jak vodní elektrárny, tak fotovoltaická elektrárna v areálu elektrárny Dukovany si drží přibližně stejnou úroveň produkce. Mírné zvýšení výroby zaznamenaly pouze malé vodní elektrárny. Plnou třetinu se na spalování biomasy podílí elektrárna Hodonín, která vyrábí elektřinu na principu spalování palivových směsí biomasy a lignitu. Zkoušky proběhly i se současným spalováním rostliny laskavec. V jednom ze dvou instalovaných fluidních kotlů se připravuje spalování čisté biomasy. Aktivita ČEZ v oblasti rozvoje alternativních zdrojů jsou zaměřeny vedle vodních zdrojů zejména na využití větrné energie, fotovoltaické přeměny sluneční energie a využití energie biomasy.

Využívání potenciálu vody má v České republice dlouholetou tradici a v současnosti je na prvním místě v porovnání objemu vyrobené energie s ostatními alternativními druhy energie. V současné době je podle odborných odhadů na území ČR asi 1 200 malých vodních elektráren (MVE), tj. vodních elektráren s instalovaným výkonem do 10 MW. Podrobné rozdělení instalovaného výkonu v energetické soustavě ČR ukazuje *tab. 2*.

*Tab. 2. Podíl jednotlivých typů elektráren na výrobě elektřiny k 31.12.2006\**

Typ elektrárny		[MW]	[%]
PE	pamí	10 691,0	61,1
PPE	paroplynová	569,7	3,3
PSE	plynová a spalovací	234,3	1,3
VE	vodní	2 175,0	12,4
JE	jaderná	3 760,0	21,5
VTE	větrná	43,7	0,2
SLE	solární	0,2	0,0
GOE	geotermální	0,0	0,0
AOE	ostatní alternativní	33,6	0,2
celkem		17 507,6	100,0

\* zdroj: Energetický regulační úřad

### Malá vodní elektrárna Liběchov

V přibližně 130letém vývoji hydroenergetiky na našem území šlo do roku 1945 převážně o malé vodní elektrárny. V období plánované ekonomiky, kdy byly preferovány centralizované velké výkonové jednotky, došlo k likvidaci stovek drobných rozptýlených zdrojů. Až v souvislosti s problematikou nutnosti ochrany životního prostředí došlo po roce 1980 k obnovení zájmu o využívání hydroenergetického potenciálu v lokálním měřítku. V současné době je snaha doplnit malé vodní elektrárny u již vybudovaných vzdouvacích staveb (jezů, přehrad), popř. postupně využít i lokality dosud vedené jako málo výhodné. Realnost a efektivnost jejich realizace je však často negativně ovlivňována požadavky orgánů ochrany prostředí.

Podpora státu v oblasti využívání vodní energie vede investory k hledání nových lokalit (popř. k obnově, modernizaci a rekonstrukci dosluhujících). Jejich nedostatečný počet pak vede k zaměření se i na méně atraktivní místa, a tak někdy vznikají i nové nápady při návrzích výstavby vodních elektráren. S realizací je spojena řada komplikací, se kterými se musí investor a projektant vypořádat.

Při návrzích na dodatečnou výstavbu vodních elektráren na stupních plavební cesty na dolním Labi je nutno řešit závažné problémy vyplývající z daného uspořádání vodního díla a dalších místních podmínek, zejména využívání okolních ploch, terénních zvláštností, podmínek pro převádění povodní atd. To je případ MVE Liběchov, navrhované k realizaci při plavebním stupni Dolní Beřkovic. Připravovaná elektrárna o výkonu 2,4 MW je navrhována pod pravobřežním jezovým polem a vorovou propustí. Je pro Českou republiku umístěna netypickým způsobem – jako ponořená. Toto nestandardní řešení si vynutil nedostatek místa při břehu. Na levé straně jsou soustředěna zařízení pro plavbu, prostor na pravém břehu omezuje zejména železniční trať. Základní podmínkou řešení bylo nezhoršit podmínky, zejména vzdutí hladiny za povodní, a zajistit plynulý průchod plavešin. Ty naopak mohou narušovat její racionální provoz.

Vzdouvací objekt tvoří v současné době tři pole sektorového jezů. V prostoru pod pravým jezovým polem se navrhuje objekt vodní elektrárny, na jehož stropě bude jezová sekce, která zajistí vzdutí vody (*obr. 1*). Původní sektorový uzávěr bude trvale sklopený. Nátok na vodní elektrárnu bude bazénem, jehož pravou stěnu tvoří nově vybudované břehové opevnění s příjezdovou komunikací a rybí přechod. Levou stěnu pak tvoří nová propojovací zeď navazující na pilíř současného pravého pole sektorového jezů. Nátokový bazén bude mít upravené dno se sklonem ke vtoku do proplachovacího otvoru. Vzdouvací zařízení je navrženo jako klapkový jez se dvěma poli širokými 24,5 m a 34 m. Toto zařízení bude osazeno na stropě strojovny. Nový objekt vodní elektrárny tvoří nátoky na česle, vtoky na turbíny, strojovna a výtoky od turbín. Přístup do strojovny je zajištěn z pravého břehu z břehového objektu přilehlého k pravé stěně bazénu. Výtok je tvořen skloněným dnem ohraničeným na konci prahem. Boky výtoku tvoří na levé straně boční stěna navazující na přelivné těleso, na pravé straně pak upravená břehová stěna výtakového bazénu. Komplikované proudění v okolí vodního díla a splaveninový režim byly podnětem pro hydrotechnický modelový výzkum v laboratořích Fakulty stavební ČVUT v Praze.

### Hydraulický modelový výzkum

Při chodu splavenin přes jezová tělesa, plavební komory, vorové propusti a rybí přechody většinou komplikace nevznikají. Při přechodu přes jez se sunou, popř. zanášejí prostor jezů. Pokud by procházely hydraulickým obvodem



Obr. 1. Perspektiva elektrárny s vyznačením sedimentačního prostoru

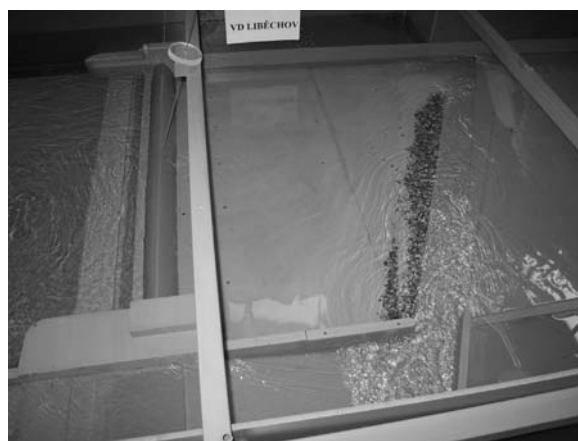
elektrárny, projeví se komplikace. Mohou zanášet nátoky na turbíny, savky i ostatní zařízení, obušovat lopatky turbín a způsobovat neplánované odstávky při výrobě elektrické energie. Pro omezení jejich pohybu přes elektrárnu byl vyprojektován sedimentační prostor před nátokem široký 5,5 m, dlouhý 80 m a hluboký 0,5 až 1 m pode dnem (obr. 1).

Hydraulický model MVE Liběchov (sektorový jez, klapkový jez, vorová propust, nadjezí a podjezí) v měřítku M – 1 : 45 přispěl k objasnění optimalizace:

- rozměrů usazovacího prostoru před nátokem na elektrárnu (2 varianty řešení);
- umístění a velikosti otvoru proplachování usazených sedimentů (7 variant řešení),
- manipulaci jezového uzávěru, uzávěru vorové propusti a uzávěru proplachovacího otvoru (7 variant řešení)

a stanovení hydraulických charakteristik nového uspořádání pravého pole jezu a vorové propusti VD Dolní Beřkovic. Program výzkumu se upřesňoval v závislosti na výsledcích jednotlivých pokusů a na podkladech od projektanta a investora. Ze sedmi byl úspěšný pouze pokus č. 6, sledující účinnost odplavování splavenin z usazovacího prostoru (obr. 2). Od ostatních se lišil omezením průtoku vody do bazénu přes sektorový jez na minimum. Veškerý průtok vody do bazénu byl přiváděn přes zkapacitněnou vorovou propust. Velikost průtoku proplachovacího otvoru odpovídala kapacitě vorové propusti. Tento průtok vycházel z vypočtené kapacity výtokového otvorem a maximální otevření otvoru bylo na základě výpočtů základní hydrauliky. Průtok  $Q = 42 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , který byl pro pokus zvolen, odpovídal maximální kapacitě proplachovacího otvoru. Kapacity vorové propusti  $Q = 42 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  bylo dosaženo odstraněním prahu – snížení o 0,4 m na kótu

153,69 m n. m. Byla ubourána dělicí zeď mezi vorovou propustí a podjezím pravého pole. Dno vorové propusti bylo sníženo až na kótu 151,09 m n. m., tj. dno usazovacího prostoru; původně dno tvořil skluz z kóty 153,46 m n. m. Do vorové propusti byla vložena šikmá zeď k usměrnění proudu vody do usazovacího prostoru (kóta zdi 154,71 m n. m.). Výška proplachovacího otvoru byla 2 m, šířka 5 m. Šířka usazovacího prostoru byla 5,5 m a průměrná hloubka 0,75 m.



Obr. 2. Úspěšné odplavení splavenin (pokus č. 6)

Pozorováním proudu vody a pohybu splavenin bylo zjištěno:

- proud vody protékající vorovou propustí směřoval přímo do usazovacího prostoru;
- splaveniny se odplavovaly přímo u proplachovacího otvo-



- ru, v celé délce sedimentačního prostoru i u vorové propusti, kam směřoval proud vody usměrněný šikmou zdí;
- byly odplaveny splaveniny z celého usazovacího prostoru;
  - dosah odplavení splavenin byl dostatečný;
  - tvoření nánosové lavice v předpolí elektrárny bylo minimální;
  - ke konci pokusu nebyl patrný pohyb splavenin, téměř všechny byly odplaveny;
  - pokus trval 10 hodin (přepočítáno na skutečnost).

### Závěr

Na základě výzkumu můžeme konstatovat, že z hlediska sledovaných jevů postihl fyzikální model reálné chování objektů vodního díla Dolní Beřkovic a MVE Liběchov. Byl koncipován tak, aby mohl být využit při řešení problémů spjatých s elektrárnou. Popis variant odpovídá vývoji projektu, tzn. na základě požadavků projektanta, investora a zástupců Povodí Labe, a. s., bylo provedeno sedm pokusů, jejichž výsledky jsou dokumentovány ve zprávě „Hydrotechnický výzkum MVE Liběchov“. Nejúspěšnější varianta odplavování sedimentů odpovídala pokusu č. 6.

Na základě získaných výsledků je možné konstatovat, že navrhnout a posoudit usazování a odplavování sedimentů v průběhu povodně a po ní jednoznačně a jednoduše nelze (ani na základě dlouhodobých zkušeností v oboru). Tento názor je podpořen vývojem pokusů v laboratoři, protože není možné od psacího stolu předpovědět chování chodu splavenin. I zdánlivě dobrá myšlenka při návrhu (viz pokusy č. 1, 2 a 3) může být vlivem chování proudu vody se splavenina-

mi v průběhu měření zamítnuta. Proto je modelování jejich chodu důležitou součástí již v průběhu zpracování projektu. Využití poznatků z laboratorního výzkumu je pak nedílnou součástí prováděcího projektu.

Z energetického pohledu je vodní elektrárna Liběchov pouze malým přínosem pro celkovou energetickou bilanci ČR, nicméně je zapotřebí výstavbu takovýchto zařízení podporovat. Pokud máme dodržet usnesení týkající se energetické bilance (v roce 2020 získávat 20 % energie z obnovitelných zdrojů), musíme nutně nalézt a využít i méně vhodné lokality pro výstavbu vodních elektráren.

**Článek vznikl za přispění výzkumného záměru MSM č. 6840770002 „Revitalizace vodního systému krajiny a měst zatíženého významnými antropogenními změnami“.**

### Literatura

- [1] Kolář, V. – Patočka, C. – Bém, L.: *Hydraulika*. Praha, SNTL/Alfa 1973.
- [2] Čábelka, J. – Gabriel, P.: *Matematické a fyzikální modelování v hydrotechnice*. Praha, Academia 1987.
- [3] Manipulační řád pro Vodní dílo Dolní Beřkovic na Labi, ř. km 103,206 (pl. km 6,855). Praha, 2003.
- [4] Zákon č.180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů (zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů).
- [5] Státní energetická koncepce České republiky. Ministerstvo průmyslu a obchodu, Praha, 2004.
- [6] [www.mze.cz](http://www.mze.cz)
- [7] [www.evropska-unie.cz](http://www.evropska-unie.cz)
- [8] [www.eru.cz](http://www.eru.cz)

Satrapa, L. – Králík, M. – Zukal, M.: *Small Water Power Plant Liběchov - Renewable Source of Energy*

In January 2007, the European Commission issued a document entitled *Strategic Overview for Power Production Industry*. It contains, among others, recommendations regarding the energy prospect into the future with a view to the effects of human activity on the environment, and especially the global climatic change. The construction of small water power plants, even in difficult conditions may be a benefit. The description of the process of the preparation of the power station Liběchov on the lower Elbe River is followed by an explanation of multi-purpose exploitation of a constructed sluice.

Satrapa, L. – Králík, M. – Zukal, M.: *Das kleine Wasserkraftwerk Liběchov – eine erneuerbare Energiequelle*

Die Europäische Kommission hat im Januar 2007 das Dokument „Strategische Übersicht für die Energiewirtschaft“ herausgegeben, dessen Bestandteil Empfehlungen sind, die die energetische Konzeption der folgenden Jahre unter Berücksichtigung des Einflusses der menschlichen Tätigkeit auf die Umwelt, besonders jedoch auf die globale Klimaveränderung betreffen. Viel versprechend ist der Bau kleiner Wasserkraftwerke, und das auch unter erschwerten Bedingungen. Der Ablauf der Vorbereitung des Kraftwerks Liběchov am Unterlauf der Elbe wird im Artikel durch die Möglichkeit einer Mehrzwecknutzung einer bereits errichteten Staustufe ergänzt.

FOR ARCH  
2007

## Intelligentní budovy & telekomunikace 2007

20. září 2007, Praha – PVA Letňany

Čtvrtý ročník konference IBT jako hlavní akce odborného doprovodného programu 18. mezinárodního veletrhu For Arch 2007 navazuje na předchozí ročníky, které programově sledovaly rostoucí trend uplatnění informačních a komunikačních technologií v budovách. Je určen pro cílové skupiny stavebních odborníků, developerů, provozovatelů objektů a akademickou sféru. Zvýrazněným tématem letošního ročníku je bezpečné bydlení

[www.forarch.cz/2007](http://www.forarch.cz/2007)

## Zhodnotenie súčasného stavu vybraných úsekov na hrádzi Východoslovenskej nížiny

Ing. Slávka VINCLEROVÁ, Ph. D.  
Ing. Martina ZELENÁKOVÁ, Ph. D.  
TU – Stavebná fakulta  
Košice

Počas povodňových situácií boli ochranné hrádze na Východoslovenskej nížine namáhané veľkým hydrodynamickým zaťažením, dôsledkom ktorého dochádzalo k priesakom a lokálnym výverom. Cieľom príspevku je analýza a zhodnotenie súčasného stavu vybraného úseku ľavobrežnej ochrannej hrádze rieky Bodrog z hľadiska priesakových a stabilitných pomerov a návrh vhodného technického opatrenia zamedzujúceho priesaku.

### Úvod

Ochranné hrádze majú medzi hydrotechnickými konštrukciami špecifické postavenie. Napriek vysokej pravdepodobnosti, že telesá hrádzí sú vybudované z kvalitných, dobre zhutnených málo priepustných až nepriepustných materiálov, zostáva značné riziko neistoty v geologickej skladbe podložja, nemožnosti overiť chovanie objektov v priebehu prevádzky (bez zaťaženia), výške vzdutia a dĺžke trvania povodňových prietokov. Práve tieto faktory prispievajú k skutočnosti, že najčastejšou príčinou porúch hrádzí pri extrémnom hydrodynamickom namáhaní sú priesaky. Tie sa môžu aktivizovať v telese hrádze (ak jej kvalita nezodpovedá požiadavkám homogénnych hrádzí), ale aj podloží. Ich typickými sprievodnými znakmi sú napr. výskyt výronových plôch na úpätí vzdušného svahu, plošné alebo lokálne vývery priesakových vôd v oblasti vzdušnej päty hrádze, resp. v jej bezprostrednej blízkosti, niekedy sprevádzané aj vyplavovaním jemnozrnných častíc z podložja hrádze, zdvih málo priepustných pokryvných vrstiev s rizikom ich prelozenia a iné. Riziko filtračných porúch spočíva aj v tom, že v počiatočnom štádiu ich vzniku sú "skryté" a spravidla sa odhalia až v pokročilom štádiu, keď sa vnútorný proces porušenia stability zemín prejaví aj na povrchu konštrukcie [7]. Táto skutočnosť má mimoriadny dosah na posudzovanie hrádzí z hľadiska priesakov, stability svahov, filtračnej stability podložja a návrh protipriesakových opatrení.

### Príklady profilov ochranných hrádzí

Na Slovensku i v zahraničí dosiaľ prevažujú ochranné hrádze homogénne, nasypané z hliniopiesčitých zemín a zo zahlinených štrkopieskov. Čo sa týka tvaru priečneho profilu, sú to profily s jednotným sklonom svahov a profily s lavičkami o rôznej šírke, a to od 2 do 8 m. Profily hrádzí väčších európskych riek sa líšia iba nepodstatne, s výnimkou, kde koruna hrádze slúži komunikácii alebo plní aj iné funkcie (napr. ochranná hrádza rieky Loire). Sklony svahov 1 : 1,5 (pre štrkové materiály) až 1 : 4 (pre piesčité materiály) sú v praxi vyskúšané [3].

Pri ochranných hrádzach na Slovensku sa všeobecne zachováva tradičný profil s jednoduchým sklonom na vzdušnom a návodnom svahu profilu. Vzhľadom na to, že tieto homogénne hrádze sú nasypané prevažne z piesčitých hĺn, javí sa dostatočne stabilným sklon 1 : 2, ktorý majú takmer všetky hrádze na menších tokoch, pokiaľ ich výška nepresahuje 3,5 m. Výnimkou je časť pomerne nízkych myjavských hrádzí, ktoré majú sklon až 1 : 20 (všeobecne  $H < 2$  m). Tento mierny sklon sa určil dvoma hľadiskami, a to prebytkom zemín, ktoré sa získavali prehlbovaním koryta a snahou umožniť poľnohospodárske obrábania vzdušného svahu, bez ohľadu na bezpečnostné zásady (bezpečnostný pruh pozdĺž vzdušnej päty hrádzí) [5].

Mierne sklony a osobitne pomerne ťažké opevnenie návodného svahu hrádze na Latorici si vynútili nevhodné vlastnosti stavebných materiálov (spraše a naviate piesky). Úplnou zvláštnosťou konštrukcie ochranných hrádzí slovenských riek je betónové jadro v telese ochranných hrádzí rieky Ondavy. Podľa názorov odborníkov (J. Hanuštin, 1924) toto tenké jadro o hrúbke 20 cm, zapustené iba 20 až 30 cm pod úroveň základovej škáry, nemá plniť iba funkciu protipriesakového elementu, ale predovšetkým má chrániť hrádu proti porušeniu hľadavcami. Čo sa týka šírky koruny našich hrádzí, pohybuje sa od 2,5 do 6,0 m, pričom pri ochranných hrádzach malých tokov koruna je široká 2,5 až 3,5 m a len na väčších tokoch, akými sú Dunaj a Váh, koruna je širšia ako 4 m.

Svahy týchto hrádzí sú opevnené predovšetkým mačtinami. Kamennou dlažbou sú opevnené zvyčajne iba návodné svahy na konkávach, ďalej vzdušná, prípadne návodná päta hrádzí. Je príznačné, že tieto hrádze nemajú osobitné aktívne protipriesakové prvky – vyjmúc novo navrhované hrádze a hrádze budované po roku 1965 [6].

Trasu ochranných hrádzí určuje predovšetkým vedenie vodného toku (prirodzeného alebo umelého) a požiadavky dané účelom toku, ktorý hrádze ohraničujú a vedú. Rozhodujúce sú pomery a podmienky, a to topografické, ktoré rozhodujú o pohybe hmôt i o rozložení jednotlivých objektov, geologické podmienky, ktoré značne vplyvajú na zakladanie hrádzí a na ich priesakové opatrenia, osídlenie územia a komunikácie na území. Trasu ochranných hrádzí možno iba v nepatrnej miere prispôsobiť geologickým podmienkam.

### Vybrané úseky na hrádzi Východoslovenskej nížiny

Východoslovenská nížina je dolnou časťou povodí riek, tvoriacich Bodrog. Vodné pomery tu boli výrazne ovplyvňované vodnými tokmi, ktoré cez toto nížinné územie pretekajú: Topľa, Ondava, Laborec, Čierna Voda, Uh, Latorica a Bodrog. Nedostatočná kapacita korýt v dolných častiach povodí týchto riek bola príčinou častých záplav, ktoré spôsobovali každým rokom obrovské škody. Ako ochrana územia pred záplavami boli v polovici 19. storočia realizované

úpravy vodných tokov, postavené ochranné hrádze na Ondave a Topli, ochranná hrádza Tisy a ľavobrežná hrádza Bodrogu. Neskôr, po roku 1918, sa zrealizovali úpravy a ohradzovanie Laborca, Uhu a niektorých ďalších potokov [12].

K vypracovaniu štúdie komplexného riešenia vodohospodárskych problémov sa pristúpilo v roku 1949. Boli zamerané predovšetkým na ochranu územia pred cudzími vodami, odvedenie vnútorných vôd a uskutočnenie detailných melioračných zásahov. Počas vodohospodárskych úprav na Východoslovenskej nížine bolo celkom zregulovaných a upravených 316 km vodných tokov a vybudovaných 453 km ochranných hrádzí. Ohradzovaním jednotlivých tokov došlo k zmene prietokového a hladinového režimu. Prietoknosť upraveného koryta Bodrogu sa postupne rokmi zmenšila. Počas povodňových situácií, najmä počas povodne v roku 2001, boli hrádze Bodrogu namáhané veľkým hydrodynamickým zaťažením, dôsledkom ktorého dochádzalo k priesakom a lokálnym výverom. Táto situácia si vyžiadala rekonštrukciu jednotlivých úsekov hrádzí.



Obr. 1. Situácia s vyznačením záujmového územia

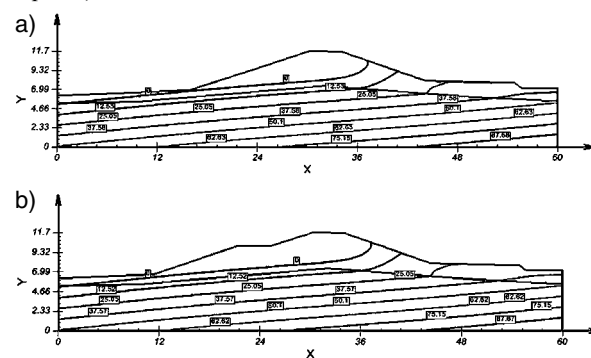
V predmetnej lokalite preteká Bodrog rovinatým územím. Záujmová lokalita s trasou ochrannej hrádze sa nachádza v km 4,750-5,500 cca 60 až 95 m od koryta Bodrogu na jeho ľavom brehu (obr. 1). Ochranné hrádze sú projektované na prietok  $Q = 1\,060\text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . V km 5,000-5,050 sa ľavobrežná ochranná hrádza kríži so železničnou traťou. S ohľadom na výskyt priesakov a lokálnych výverov bola v roku 2004 vykonaná rekonštrukcia vzdušného svahu ľavobrežnej ochrannej hrádze v km 4,750-5,050 formou stabilizačného prísypu z miestnych materiálov. Po rekonštrukcii dochádzalo počas povodní na úpätí vzdušného svahu znovu k priesakom a lokálnym výverom. Následne boli zriadené pozorovacie vrty v km 4,930, v mieste križenia bývalého koryta rieky Bodrog s ochrannou hrádzou. Hladiny piezometrických výšok v sondách sa odčítavajú počas 2. a 3. stupňa povodňovej aktivity. Pre výpočet priesaku a stability sú zvolené profily v km 4,930, 4,950 a 5,100 [1].

Geológia podložia a telesa hrádze je známa z vykonaných pozorovacích vrtov [2], [8]. Pôvodný terén, resp. pod-

ložie ochrannej hrádze, tvorí piesok hlinitý (SM). Teleso hrádze tvorí prevažne íl piesčitý, tuhej konzistencie (CS, t). Na základe geologického profilu sú jednotlivé zeminy telesa hrádze považované za rovnorodé, teda spĺňajúce podmienky (pre uhol vnútorného trenia, súdržnosť a objemovú tiaž) uvedené v STN 73 1001 [9]. Uvažované parametre zemín sú uvedené v tab. 1. Hladina podzemnej vody je cca 1,4 m pod terénom. Výpočet priesakov a stability je urobený pre stav bez stabilizačného prísypu (pôvodný stav) a pre stav s týmto prísypom (súčasný stav).

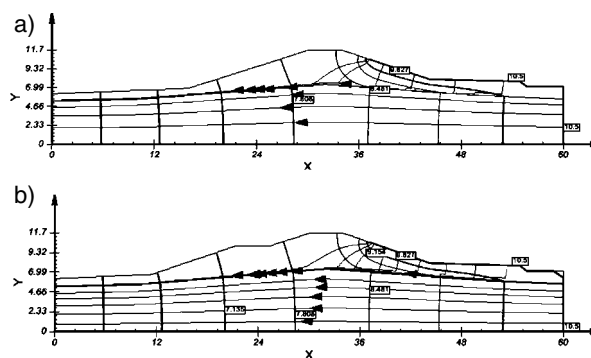
### Výpočet priesakov a posúdenie stability svahov hrádze

V jednotlivých profiloch je realizovaný pomocou programu SVFlux SoilVision, ktorý pracuje na báze metódy konečných prvkov. Základným predpokladom výpočtu je ustálené prúdenie vody izotropným prostredím, riešené ako rovinný problém. Hladina vody zodpovedá úrovni maximálneho teoretického prietoku  $Q = 1\,060\text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . Uvažované koeficienty filtrácie sú uvedené v tab. 1. Na obrázkoch 2 a 3 sú pre názornosť vykreslené výsledky výpočtu: pórové tlaky a priebeh priesakovej krivky len pre km 4,930 (najkritickejší profil).



Obr. 2. Pórové tlaky – km 4,930

a – pôvodný profil (bez stabilizačného prísypu), b – súčasný profil (so stabilizačným prísypom)



Obr. 3. Hydrodynamická sieť – km 4,930

a – pôvodný profil (bez stabilizačného prísypu), b – súčasný profil (so stabilizačným prísypom)

Tab. 1. Geotechnické parametre zemín

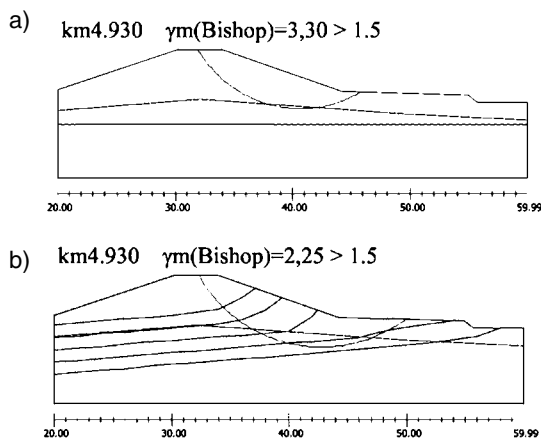
Trieda a symbol zeminy	Charakteristika			
	$\gamma$ [kN.m <sup>-3</sup> ]	$\varphi$ [°]	$c$ [kPa]	$k$ [m.s <sup>-1</sup> ]
F4 – CS, t	18,5	23	14	$1,00 \cdot 10^{-7}$
S4 – SM	18,0	29	5	$1,00 \cdot 10^{-3}$

Pri porovnaní pôvodného a súčasného profilu v jednotlivých kilometroch bolo zistené, že priebeh priesakovej krivky sa výrazne nemení. V pôvodnom profile 4,930 km a 4,950 km sa priesaková krivka takmer dotýka päty svahu. Stabilizačný prísyp v týchto prípadoch posunul priesakovú krivku hlbšie pod terén.

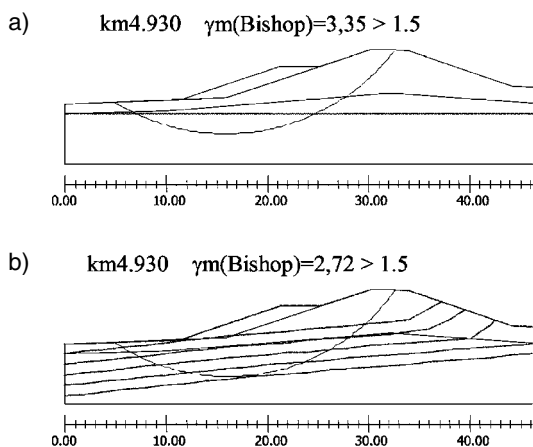
Pre výpočet stability svahu bol použitý výpočtový program GEO4. Stupeň stability svahov bol zisťovaný Bisho-

povou metódou, pričom bol uvažovaný kruhový tvar šmykovej plochy. Výpočet bol urobeneý v troch vybraných profiloch, pre pôvodný stav (bez stabilizačného prísypu) a pre súčasný stav (so stabilizačným prísypom). Pri výpočte bol zohľadnený vplyv HPV, charakterizujúci bežný stav – bez povodní a vplyv pórových tlakov, v dôsledku prítomnosti presakujúcej vody, charakterizujúci povodňový stav.

Keďže stabilitu vzdušného svahu hrádze výrazne ovplyvňuje presakujúca voda, stupeň stability určený pre tento zaťažovací stav bude rozhodujúci. Výsledky výpočtov stupňa stability svahu pre pôvodný a súčasný stav návodného a vzdušného svahu sú číselne spracované v tab. 2. Výsledky výpočtov stupňa stability pre súčasný stav návodného a vzdušného svahu v km 4,930 sú graficky spracované na obr. 4 a obr. 5.



Obr. 4. Stabilita návodného svahu  
a – vplyv HPV, b – vplyv pórových tlakov



Obr. 5. Stabilita vzdušného svahu  
a – vplyv HPV, b – vplyv pórových tlakov

Tab. 2. Vypočítané stupne stability  $\gamma_m$

Profil	Pôvodný profil				Súčasný profil			
	vzdušný svah		návodný svah		vzdušný svah		návodný svah	
	HPV	pórový tlak	HPV	pórový tlak	HPV	pórový tlak	HPV	pórový tlak
km 4,930	2,9	2,3	3,3	2,25	3,35	2,72	3,3	2,25
km 4,950	2,67	2,06	4,69	3,23	3,85	3,31	4,69	3,23
km 5,100	2,77	2,44	3,9	2,56	3,26	2,91	3,9	2,56
$\gamma_m(\text{Bishop}) > 1,5$ platí pre všetky vypočítané stupne stability								

Ako vyplýva z tab. 2, všetky vypočítané stupne spĺňajú podmienku stability. Možno konštatovať, že opatrenie formou stabilizačného prísypu vzdušného svahu prispelo k zvýšeniu stability ochrannej hrádze. Stabilita návodného svahu sa nemení.

### Hodnotenie vztlakov

Na ľavobrežnej hrádzi Bodrogu, v km 4,930, boli vykonávané merania hladiny podzemnej vody frankfurtskou píšťalou v jednotlivých meracích vrtoch počas 2. a 3. stupňa povodňovej aktivity v roku 2005. Meranie ukázalo, že už pri nízkych povodňových hladinách, kedy hladina nedosahuje návodnú päť svahu, alebo sa k nej blíži, dochádza k priesakom vody na vzdušnú stranu hrádze. Depresná krivka vo všetkých týchto prípadoch prebieha v oblasti základovej škáry telesa hrádze. Podobne je to v prípade, keď hladina rieky dosahuje maximálnu úroveň 7,76 m. Priesaková krivka sa len málo vzdialila od úrovne základovej škáry. Ako už naznačilo modelovanie prúdenia vody profilom hrádze, prúdiaca voda sa koncentruje na kontakte priepustných podložných zemín a málo priepustných zemín telesa hrádze, čím dochádza ku kontaktnej sufózií a vzniku preferovaných ciest.

Preferované cesty majú za následok vznik výverov, ktoré v blízkosti profilu v 4,930 km už vznikli. Existencia výronov na úpätí vzdušného svahu môže byť zapríčinená pravdepodobne dôsledkom sypania rôznych zemín (striedanie málo priepustných zemín s priepustnými) do telesa hrádze [4]. Je zrejme, že sanácia preferovaných priesakových ciest je nevyhnutná, aby sa predišlo riziku vzniku ďalších výronových plôch a ich následnému negatívne vplyvu na stabilitu hrádzového telesa.

### Návrh protipriesakového opatrenia

Návrh je závislý najmä od faktorov ako charakter a mocnosť podložia hrádze a pokryvu, vzdialenosť hrádze od koryta toku, výška vzdutia a dĺžka trvania povodňových prietokov a od geologických a morfológických faktorov. Predpokladané sú tieto možnosti sanácie hrádzového telesa:

- predložený tesniaci koberec,
- podzemná tesniaca stena umiestnená na návodnej päte hrádze,
- podzemná tesniaca stena umiestnená v strede hrádzového telesa,
- stabilizačný prísyp.

So zohľadnením spomenutých faktorov a súčasného stavu vývoja filtračných porúch možno konštatovať, že vyšetrovaná ľavobrežná ochranná hrádza v úseku km 4,750 až 5,500 vyžaduje protipriesakové opatrenie, ktoré zabráni priesakom telesom hrádze a najmä priesakom v úrovni základovej škáry hrádze a jej podložíom.

Takýmto protipriesakovým oparením je podzemná tesniaca stena. Aby úplne obmedzila priesaky, musela by byť zaviazaná do nepriepustného podložia. Vzhľadom na nedostatočné geologické podklady, ktoré by udávali mocnosť priepustného podložia, resp. hĺbku nepriepustného podložia, bol návrh a posúdenie podzemnej tesniacej steny z hľadiska priesakov realizovaný pre predpoklad, že sa nepriepustné podložie nachádza v hĺbke 30 m pod terénom. Podzemná tesniaca stena je umiestnená v strede telesa ochrannej hrádze a je založená do hĺbky 22 m pod kótu koruny hrádze. Je navrhnutá ako štetovnicová stena typu Larsen. Jej poloha zamedzí ďalšiemu vývoju sufózných procesov a účinne preruší preferované cesty, ktoré vznikli v úrovni základovej škáry telesa hrádze. Týmto pasívnym protipriesakovým

opatrením sa proces filtračného prúdenia neeliminuje, redukuje sa však niektoré negatívne javy, determinujúce bezpečnosť hrádz z hľadiska filtračnej stability. Výsledky modelovania účinku podzemnej tesniacej steny pre profil v km 4,930 sú vykreslené v obr. 6.

Z výsledkov modelovania sa zistilo, že podzemná tesniaca stena výrazne ovplyvnila polohu priesakovej krivky, a to najmä na vzdušnom svahu hrádze. Potvrdil sa predpoklad, že skoncentruje prúdenie do oblasti jej dolného konca. V tejto oblasti sú maximálne filtračné rýchlosti, ktoré však nedosahujú kritické hodnoty. V profile 4,930 a 4,950 km sa prúdenie koncentruje v oblasti päty vzdušného svahu. Namáhanie vztlakom v tejto oblasti môže ohroziť pokryvné vrstvy s následkom ich prelomenia. Na redukciiu vztlakov je preto vhodné predĺžiť stabilizačný prísyp, prípadne zriadiť odľahčovacím drén prebiehajúci pozdĺž päty vzdušného svahu.

## Záver

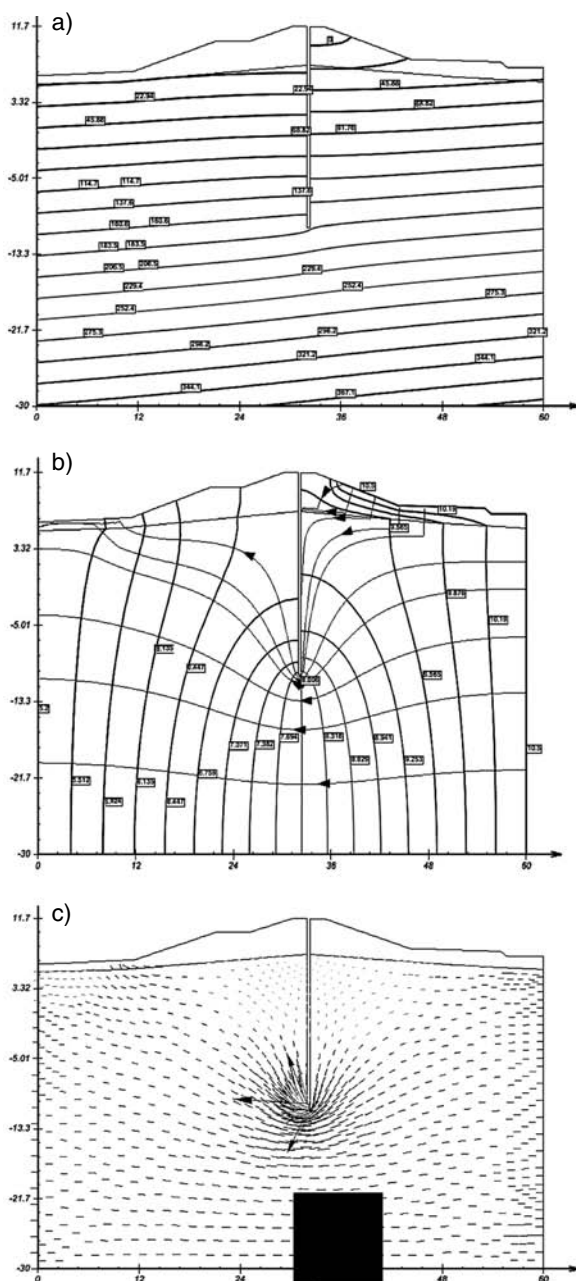
Modelovanie priesakov riešené metódou konečných prvkov ako rovinný problém, napriek značne idealizovaným vstupným parametrom, naznačilo potrebu protipriesakového opatrenia, a tým potvrdilo zhodu so súčasným stavom ľavobrežnej ochrannej hrádze. Výpočty stability svahov preukázali zvýšenie stupňa stability vzdušného svahu hrádze oproti pôvodnému stavu. Návrh protipriesakového opatrenia bol ovplyvnený najmä existenciou preferovaných ciest, ktoré vznikli v úrovni základovej škáry telesa ochrannej hrádze a samotnými geologickými a morfológickými podmienkami.

Z modelovania je zrejme, že sa týmto pasívnym protipriesakovým opatrením proces filtračného prúdenia neeliminuje, redukuje sa však niektoré negatívne javy, determinujúce bezpečnosť hrádze z hľadiska filtračnej stability. Podzemná tesniaca stena má v konečnom dôsledku pozitívny vplyv na ochranu záujmového územia a zvýšenie bezpečnosti samotnej ochrannej hrádze.

**Príspevok vznikol v rámci riešenia projektov KEGA 3/4109/06 a VEGA 1/3311/06.**

## Literatúra

- [1] Berezňák, P.: Zhodnotenie priesakových pomerov na hrádzach Východoslovenskej nížiny. [Diplomová práca], Košice, TU SvF, 2006, 77 s.
- [2] Geokontakt, spol. s r. o.: Dokumentačná správa, Bodrog LB+PB hrádza, rekonštrukcia SO10 pozorovacie vrty km 4,930, 2004.
- [3] Hobst, L. – Hobst, O. – Kiblena, P. – Verfel, J.: Technologie sypaných hrází. Praha, SNTL 1984.
- [4] Chovanec, P.: Vplyv okrajových podmienok na účinnosť injekčných clón. 2004, <http://www.fce.vutbr.cz/veda>
- [5] Lukáč, M. – Bednárová, E.: Priebrady – Navrhovanie a výpočty sypaných priehrad. Bratislava, SVŠT 1989.
- [6] Peter, P.: Kanálové a ochranné hrádze. Bratislava, Veda 1975.
- [7] Říha, J. – Říhová, R.: Machland Nord – průsakové poměry v podloží a tělesech ochranných hrází, XXVIII. Priehradné dni 2002, <http://vst.fce.vutbr.cz/zamestnanci/riha/publikace.html>
- [8] Rotor, spol. s r. o.: Bodrog LB+PB hrádza, rekonštrukcia, 2004.
- [9] STN 73 1001 Zakladanie stavieb, Základová pôda pod plošnými základmi.
- [10] STN 73 6850 Sypané priehradné hrádze.
- [11] STN 75 0120 Vodné hospodárstvo, Hydrotechnika, Terminológia.
- [12] Šútor, J.: Hydrológia Východoslovenskej nížiny. Michalovce, Media Group 1995.



Obr. 6. PTS (km 4,930)

a – pórové tlaky [kPa], b – hydrodynamická sieť,  
c – vektory prúdenia

Vinclerová, S. – Zeleňáková, M.: Assessment of the Current Condition of Selected Sections of the Dam in the East Slovak Lowland

During floods protective embankments in the East Slovak Lowland were strained by an enormous hydrodynamic load, as a result of which seepage and local boil emerged. The purpose of this paper is the analysis of the current situation and the evaluation of a selected section of the Bodrog left-bank embankment from the perspective of seepage and stability conditions, as well as a proposal of technical measures limiting the seepage.

Vinclerová, S. – Zeleňáková, M.: Bewertung des gegenwärtigen Zustands ausgewählter Abschnitte am Damm der Ostslowakischen Niederung

Während der Hochwasserereignisse wurden die Schutzdämme an der Ostslowakischen Niederung durch eine große hydrodynamische Belastung beansprucht, infolge derer es zu Durchsickerungen und lokalen Ausströmungen kam. Ziel des Beitrags ist eine Analyse und Bewertung des gegenwärtigen Zustands eines ausgewählten Abschnitts des Schutzdamms am linken Ufer des Flusses Bodrog vom Gesichtspunkt der Durchsickerungs- und Stabilitätsverhältnisse und der Vorschlag einer technischen Maßnahme zur Verhinderung der Durchsickerung.

**PREFABRIKACE  
A BETONOVÉ DÍLCE  
2007**

10. a 11. října 2007  
Pardubice, Dům hudby

www.cbsservis.eu

## •dizertace



### Soudobé zásady hydraulického řešení plavebních komor

Ing. Petr Bouška

Dizertace představuje komplexní studii hydraulického řešení plavebních komor. Závěry studie jsou využitelné zejména v oblasti experimentální hydrodynamiky. V práci jsou zvládnuty i modelovací přístupy.

### Kondenzační technika a odvodování spalin

Ing. Radek Vanko

Práce je zaměřena na novinku ve vytápěcích zdrojích – na využití kondenzačního chování pro zvýšení výkonu topných zdrojů. Teoretické souvislosti jsou ověřeny měřeními na několika typech objektů.

### Počítačové modelování velkoplošných systémů pro vytápění a chlazení budov

Ing. Petr Vávra

Využitelnost výsledků dizertační práce je u halových objektů, které bez chlazení nemohou vykazovat odpovídající komfort užívání. Autor teoretickou práci doplnil měřeními úrovně mikroklimatu v budově vybavené studovanými systémy.

### Vlhkostní a tepelné parametry speciálních druhů betonu

Ing. Eva Mňahončáková

Dizertace je zaměřena na fyzikální vlastnosti vysokopevnostních, vysokohodnotných a samozhutnitelných betonů. Teoretická část obsahuje popis jejich přípravy, v experimentální části jsou uvedeny metody pro určení základních vlastností těchto betonů se zaměřením na vlhkostní a tepelné parametry.

### Vlastnosti energosádry a její využití ve stavebnictví

Ing. Pavel Tesárek

Práce je založena na experimentech a obsahuje návrh na úpravu časově méně náročných počítačových simulací pro zjišťování vlastností sádry. Využití ve stavebnictví se soustřeďuje na sádrový obvodový plášť, jehož vlastnosti jsou v práci vyhodnoceny.

### Velkorysé návsi na Rakovnicku

Ing. Zuzana Pešková

Dizertace analyzuje teritorium Rakovnicka z hledisek původní urbanistické struktury za účelem správného plánování a usměrňování výstavby na venkově. Na výběru vhodné skupiny obcí prověřuje modulový vyměřovací systém v jeho ideální skladbě a ověřuje absolutní rozměry užitých modulů pomocí základního modulu v půdorysech sídel. Znalost způsobu založení sídel je nutná při stanovení ochrany historických jader.

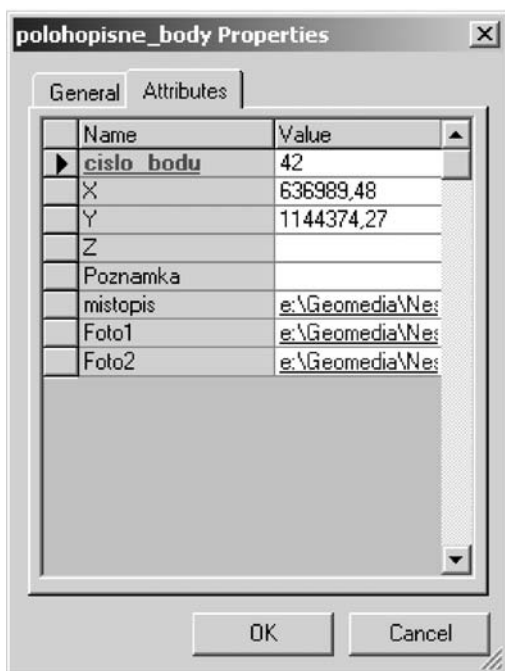
# Geografický informační systém pro podporu výuky v terénu

doc. Ing. Dalibor BARTONĚK, CSc.  
VUT – Fakulta stavební  
Brno

Nový geografický informační systém byl vytvořen pro podporu výuky v terénu. Studentům usnadňuje identifikaci bodů při rekognoskaci a výrazně přispívá k efektivnímu plánování a řešení zadaných měřických úloh. V současné době jsou zpracována bodová pole v Jedovnicích na Vyškovsku a v Nesměři u Velkého Meziříčí, připravují se podklady pro lokalitu Dolní Morava pod Králickým Sněžníkem. Veškeré práce probíhají v prostředí Geomedia Intergraph.

## Úvod

V rámci studia oboru geodézie a kartografie na Stavební fakultě VUT v Brně absolvují studenti povinný předmět výuka v terénu. Předmět je zařazen do letního semestru ve všech třech ročnících bakalářského studia a v 1. ročníku navazujícího magisterského studia. Výuka probíhá v Nesměři u Velkého Meziříčí, Jedovnicích a Dolní Moravě, takže pro mnoho studentů je dané prostředí často zcela neznámé.



Obr. 1. Atributy bodů bodového pole

Aby program výuky byl splněn v daném termínu a požadované kvalitě, je nezbytné jim poskytnout o dané lokalitě co možná nejvíce informací. Proto byl zahájen projekt tvorby podkladů na bázi geografického informačního systému (GIS) v prostředí Geomedia Intergraph. Cílem bylo vytvořit přehlednou mapu v klasické i elektronické formě, dopl-

něnou o databázové informace k vybraným geografickým objektům pro výše uvedené lokality.

## Práce na projektu

Práce na projektu byly rozděleny do tří etap – sběr dokladů a informací o bodovém poli dané lokality, převod dokladů do elektronické formy včetně klasifikace informací a zpracování dat v systému Geomedia Intergraph. V první etapě šlo především o výběr místopisů a návrh atributů bodů. Celý proces lze charakterizovat jako iteraci požadavků na informace v konfrontaci s možnostmi systému ze strany potenciálních uživatelů. Ve druhé etapě byly digitalizovány místopisy bodů s následnou úpravou v programu Adobe Photoshop a dokončen návrh atributů bodů. Každý bod je charakterizován číslem bodu, souřadnicemi  $Y, X$  v systému S-JTSK (systém jednotné trigonometrické sítě katastrální), výškou  $Z$  v systému Bpv (výškový systém baltský po vyrovnání), obrázkem místopisu a dvěma fotografiemi z terénu (obr. 1), pořízenými z různých význačných směrů tak, aby byla umožněna co nejsnazší identifikace bodu. Každý bod je doplněn textovou poznámkou. Pro lepší orientaci byly body rozčleněny do kategorií:

- polohové,
- nivelační,
- prostorově určené metodou GPS,
- pomocné.

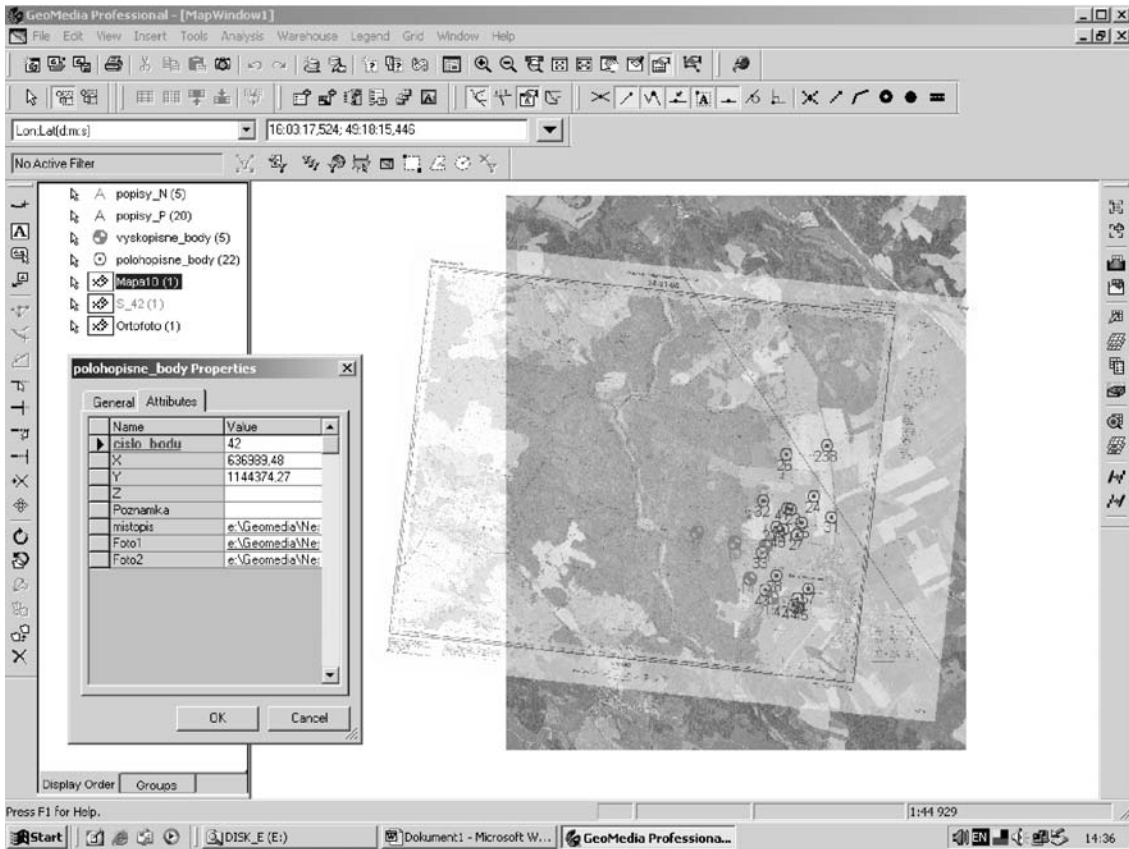
Po přípravě podkladů byly zahájeny práce v programu Geomedia Intergraph (3. etapa). Mapové okno dané lokality (obr. 2) obsahuje:

- rastrový snímek Základní mapy ČR dané lokality v měřítku 1: 10 000,
- ortofoto snímek,
- geografické prvky, tj. body bodového pole podle kategorií,
- textové popisy.

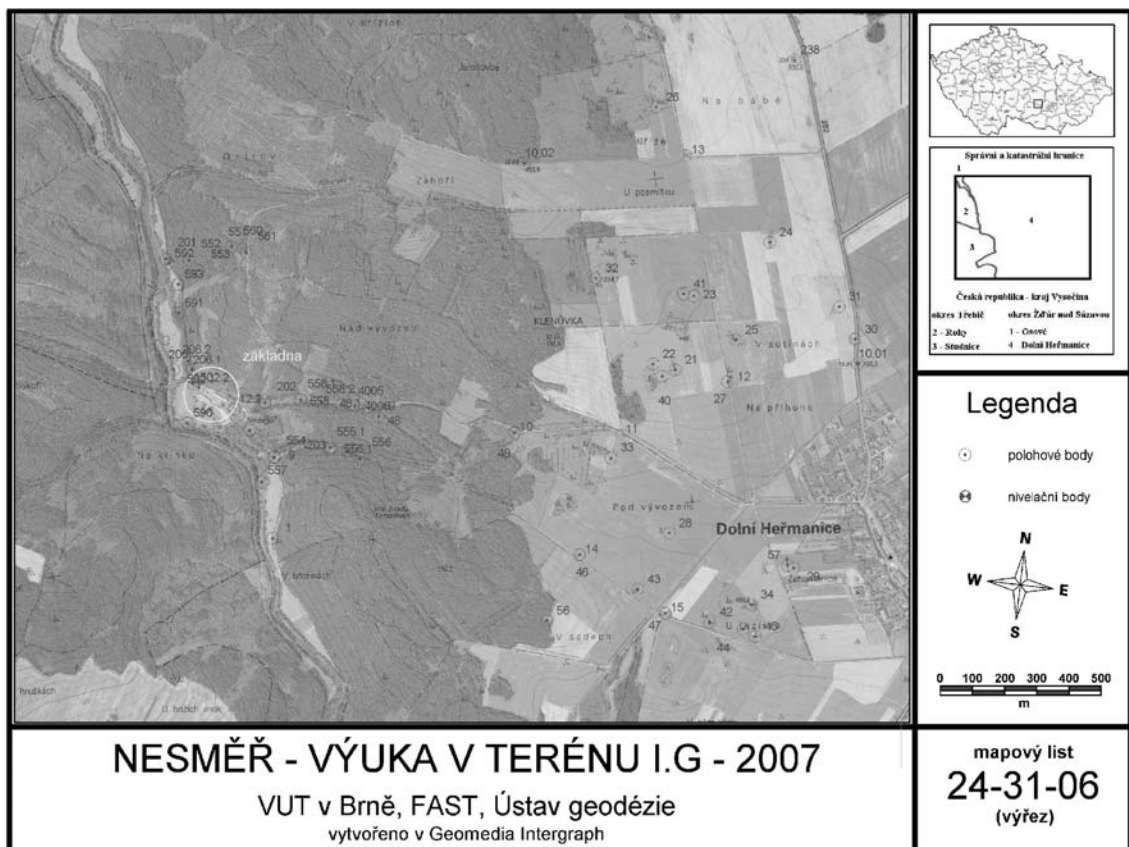
Zatímco rastrový snímek Základní mapy ČR byl transformován do S-JTSK bez dalších úprav, snímek ortofota bylo nutné složit ze 4 až 6 částí podle typu lokality. Po složení do mozaikového tvaru byl snímek ortofota oříznut podle rozsahu bodového pole a následně transformován do S-JTSK. Po vstupu dat následovala editace jednotlivých prvků. Každý prvek byl zařazen do příslušné třídy podle klasifikace, umístěn do mapového okna podle zadaných souřadnic a doplněn hodnotami atributů v tabulce (obr. 1, obr. 2). Po dokončení editace byl projekt převeden do výstupu pro tisk, kde byly doplněny kartografické prvky (měřítko, orientace k severu, situace v rámci ČR, správní a katastrální hranice, legenda apod.).

## Výsledky řešení

Výsledkem projektu je kromě klasické mapy i výstup v digitálním tvaru ve formátu GeoPDF (Portable Data Format), který se v současné době připravuje. K vytvoření



Obr. 2. Mapové okno lokality Nesměř v GeoMedia Intergraph



Obr. 3. Mapový výstup lokality Nesměř u Velkého Meziříčí



mapy je zapotřebí příslušný modul pro Geomedia 6.0, který vytváří georeferencované soubory pdf, podporuje různá kartografická zobrazení a přepočet souřadnic. Umožňuje zobrazení geoprvků a jejich atributů s možností definice dotazů. Podporuje zobrazení více vrstev, jejich zapínání, vypínání či definici viditelnosti vrstev. Ve vytvořených souborech pdf je možné přiblížit objekt nebo bod na základě definice souřadnic. Podporuje integraci s přijímačem GPS. Umožňuje měřit v mapě azimut, vzdálenosti a plochy. Další výhody formátu GeoPDF:

- bez licenčních poplatků pro konečné uživatele;
- jednoduché ovládání, každý uživatel dokáže pracovat s aplikací Adobe Reader®, nezávislost formátu na platformě;
- snížení nákladů na administrativu; poskytnutí funkcí pro práci s mapou, které byly nedávno výsadou pouze pokročilých desktop systémů GIS. K prohlížení mapy pak postačí volně šiřitelná aplikace Adobe Reader, rozšířená o lištu s nástroji (GeoPDFToolbar). Tím se zpřístupní základní funkce i těm uživatelům, kteří nemají na počítači nainstalován produkt Geomedia Intergraph.

## Závěr

Výsledky projektu slouží především studentům a učitelům oboru geodézie a kartografie na FAST VUT v Brně jako navigační pomůcka pro orientaci při výuce v terénu. Protože v bodovém poli jednotlivých lokalit dochází k častým změnám, bude nutné projekt průběžně aktualizovat a doplňovat. Do této činnosti budou zapojeni především studenti v předmětech počítačová grafika, databáze, územní informační systémy a zpracování obrazových dat. Tím se výuka přiblíží potřebám praxe, a současně se studenti seznámí s moderními technologiemi GIS.

## Literatura

- [1] Foral, J.: Geodézie I. Modul 01 – Geodetická cvičení I. [Učební text], VUT Brno, 2005, 64 s.
- [2] Fišer, Z. – Vondrák, J. – Podstavek, J.: Výuka v terénu II. [Učební text], VUT Brno, 2005, 64 s.
- [3] Jandourek, J. – Blažek, R.: Geodézie – návody na cvičení (2. vyd.). ČVUT Praha, 1990, 219 s.
- [4] Nevošád, Z. – Vitásek, J. – Bureš, J.: Geodézie IV – souřadnicové výpočty. Brno, CERM 2002, 157 s.
- [5] Čada, V.: Geodézie. [Učební text], Západočeská univerzita Plzeň, 2005, [gis.zcu.cz/studium/gen1/html/index.html](http://gis.zcu.cz/studium/gen1/html/index.html)
- [6] Geomedia Intergraph: [www.intergraph.cz/](http://www.intergraph.cz/); [www.intergraph.com/](http://www.intergraph.com/)

### Bartoněk, D.: GIS to Aid Geodesy and Cartography Fieldtrip Instruction

This article deals with the geographic information system (GIS) which was created to aid field training in the branch of geodesy and cartography. Thus, during reconnaissance, the students can identify the points in an easier way which contributes to effective planning and solution of the assigned measurement tasks in the field. Besides, cartographic data in the form of a base map and an orthophoto of the locality in question, even the individual points topography, including their photos with further descriptive attributes in digital form, are available. Currently, the spot fields in Jedovnice in the Vyškov region and Nesměř near Velké Meziříčí are being processed in this way and other source documents for Dolní Morava upon Kralický Sněžník are being prepared. All work activities on this system are processed in Geomedia Intergraph.

### Bartoněk, D.: GIS zur Unterstützung des Unterrichts des Fachbereichs Geodäsie und Kartografie im Gelände

Der Artikel informiert über ein spezialisiertes geografisches Informationssystem (GIS), das zur Unterstützung des Geländeunterrichts der Studienfächer Geodäsie und Kartografie entwickelt wurde. Das System erleichtert den Studierenden die Punkteidentifikation bei der Rekognosizierung und trägt wesentlich zur Lösung der jeweiligen Messaufgaben im Terrain bei. Außer den Kartenunterlagen in Form von Basiskarte und Orthophoto der entsprechenden Lokalität stehen in Digitalform ebenfalls die Ortsbezeichnungen der einzelnen Punkte einschließlich deren Fotografien und weiterer beschreibender Attribute zur Verfügung. Gegenwärtig sind auf diese Art und Weise die Punktfelder in Jedovnice bei Vyškov und in Nesměř bei Velké Meziříčí erfasst. Es werden ferner auch Unterlagen für die Lokalität Dolní Morava unterhalb des Berges Kralický Sněžník vorbereitet. Sämtliche Arbeiten erfolgen im Geomedia-Intergraph-System.



26. – 27. září 2007  
Masarykova kolej ČVUT, Praha

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

KONFERENCE  
ZKOUŠENÍ A JAKOST VE STAVEBNICTVÍ 2007



## •projekty

### Vědeckotechnický park v Plzni

Vědeckotechnický park by měl do dvou let vyrůst v plzeňských Borských polích. Moderní areál postaví česká stavební společnost Geosan Group, která zvítězila ve výběrovém řízení na tuto zakázku. Celková výše kontraktu přesahuje 170 mil. Kč. Financování zakázky bude zajištěno z více zdrojů – jednak z prostředků strukturálních fondů EU, dále ze státního rozpočtu, konkrétně z dotačního programu Prosperita v rámci Operačního programu průmysl a podnikání, a



také z vlastního kapitálu objednatele, akciové společnosti Vědeckotechnický park Plzeň, jejímž 95% vlastníkem je město Plzeň a zbylých 5 % patří Plzeňskému kraji.

Vědeckotechnický park, který vznikne podle návrhu plzeňského architekta Karla Hanzlíka, bude tvořit především kancelářská budova s konferenčními sály a místnostmi pro semináře, a dále pak samostatně stojící poloproduční objekty, jako jsou laboratoře či zkušebny. Kapacita celého projektu je zhruba 8 000 m<sup>2</sup>, v první etapě se postaví kanceláře, laboratoře a zkušebny, konferenční sály, seminární místnosti a ostatní pronajímatelné plochy, jako je například bufet či zasedací místnosti.

Podle autorů by měl projekt, který je završením výstavby Městského industriálního parku Plzeň-Borská pole, zvýšit potenciál města i kraje v oblasti aplikovaného výzkumu, vývoje a inovací, zvýšit ekonomickou výkonnost a atraktivnost západočeského regionu, přinést mnoho přítažlivých kvalifikovaných pracovních míst pro mladé lidi a zlepšit nabídku kvalitních ploch na trhu realit v Plzni. Park chce přivábit zahraniční firmy, které by mu udělaly jméno, zejména o takzvané spin-off firmy, založené na spolupráci technických fakult s průmyslovou sférou, nebo o subjekty založené studenty a pedagogy.

*Tisková informace*

#### 5. mezinárodní konference

# TECHSTA 2007

19. – 20. září

ČVUT v Praze – Fakulta stavební



Konference „Technologie pro trvale udržitelný rozvoj stavebnictví“ je zaměřena na nové technologie a stavební materiály, plánování a organizaci staveb, jejich kvalitu. Obor technologie staveb je úzce spjatý s ekonomikou, proto se konference věnuje také oblasti projekt managementu a risk managementu. Rovněž sleduje trendy v oblasti životnosti staveb.

#### Tematické okruhy:

- 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
- inovace a trvale udržitelný rozvoj v projektovém řízení (project management)
- risk management a project management v praxi

#### Odborní garanti:

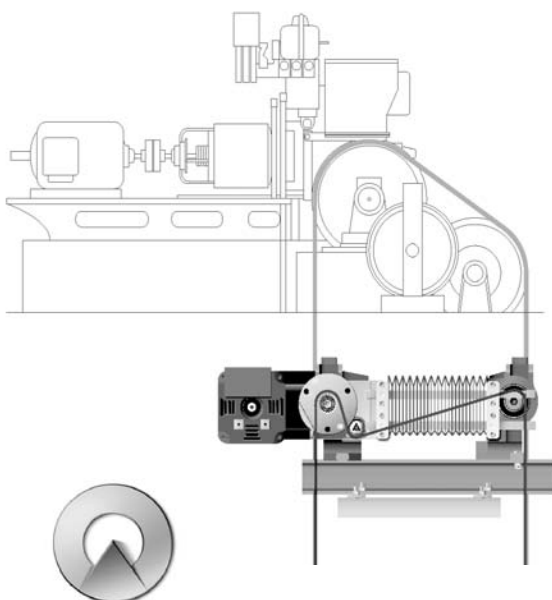
prof. Ing. Jozef Gašparík, CSc. – STU Bratislava  
 prof. Ing. Ivan Hyben, CSc. – TU Košice  
 Ing. Vít Motyčka – VUT Brno  
 prof. DrSc. Mladen Radujković – University of Zagreb  
 doc. Ing. Pavel Svoboda, CSc. – ČVUT v Praze

**www.techsta.cz**

## •technologie

### Výtah druhé generace pro panelové domy

Nevyhovující výtahy v panelových domech jsou mnohdy starší než dvacet let a řada z nich vykazuje množství bezpečnostních rizik. Společnost SCHINDLER CZ, která působí na českém trhu již bezmála čtrnáct let a cíleně se zabývá problematickými výtahy již delší dobu, proto přišla v roce 2003 na trh jako první s typově certifikovaným výtahem SchindlerPanelift., který byl speciálně navržen do panelových domů.



**Schindler**

Inovovaný typ Schindler 6200 EC je standardní výtah vyvinutý především pro panelové domy. Kabina výtahu je širší, výtah má větší nosnost. Ke značné úspoře místa došlo v šachtě v porovnání s tradičními pohony. Výtah je tichý, protože ocelová lana nahradily nosné gumové pásy.

*Tisková informace*

## •projekty

### Prague Outlet Center

Projekt prvního pražského outletového centra je dílem architekta Václava Aldy ze studia A.D.N.S Architekti. Budova, nabízející 80 značkových obchodů, 12 restaurací, kaváren a provozoven rychlého občerstvení, dětské hřiště a vnější prostory pro kulturní akce, bude uspořádána do tvaru podkovy a amfiteátru, který umožní pohodlný přístup zákazníkům i zásobování obchodů. Jednoduchými rysy se značně liší od podobných center, jejichž návrh obvykle napodobuje architekturu dané oblasti nebo jde o jednotlivé obchody uspořádané do jakési vesnice. Parkoviště s 1 200 místy je uprostřed areálu. Otevření je plánováno na začátek listopadu tohoto roku.



Pražské outletové centrum na křižovatce radiálních komunikací Průmyslové a Štěrboholské, jehož developery a vlastníky jsou dánská společnost TK Development a britská společnost LMS Outlets, je dostupné automobilovou dopravou z východní, západní i jižní části Prahy. Městskou hromadnou dopravou je vzdáleno pět minut jízdy z konečné stanice Depo Hostivař metra A. Provozovatelem bude společnost GVA Grimley LLP.

*Tisková informace*

## **Průmyslové dědictví kulturním potenciálem udržitelného rozvoje**

mezinárodní konference

19. – 20. září 2007

Ekotechnické muzeum – Stará čistírna odpadních vod, Praha–Bubeneč

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

# STAVEBNÍ OBZOR

## ROČNÍK 16 ČÍSLO 08/2007

### Navigace v dokumentu

#### OBSAH

Tydlitát, V. – Tesárek, P. – Mňahončáková, E. – Černý, R. <b>Měření hydratačního tepla sádry pomocí různých typů kalorimetrů</b>	<b>225</b>
Tydlitát, V. – Tesárek, P. – Mňahončáková, E. – Černý, R. <b>Vliv teploty na hydrataci sádry a její stabilitu</b>	<b>231</b>
Tydlitát, V. – Tesárek, P. – Mňahončáková, E. – Černý, R. <b>Kalorimetrické stanovení obsahu anhydritu III v sádrovém pojivu</b>	<b>235</b>
Tesárek, P. – Mňahončáková, E. – Tydlitát, V. – Černý, R. <b>Kompozitní materiál na bázi energosádry</b>	<b>239</b>
Tesárek, P. – Mňahončáková, E. – Tydlitát, V. – Černý, R. <b>Vliv sušicí teploty na vlastnosti zatvrdlé energosádry – tepelné a mechanické vlastnosti</b>	<b>246</b>
Tesárek, P. – Mňahončáková, E. – Tydlitát, V. – Černý, R. <b>Klasifikace sádrového pojiva podle ČSN 72 2301</b>	<b>251</b>

\* • 2007

ročník 16

# 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

- Tydlitát, V. – Tesárek, P. –  
Mňahončáková, E. – Černý, R.  
**Měření hydratačního  
tepla sádry pomocí  
různých typů  
kalorimetrů** ..... 225
- Tydlitát, V. – Tesárek, P. –  
Mňahončáková, E. – Černý, R.  
**Vliv teploty  
na hydrataci sádry  
a její stabilitu** ..... 231
- Tydlitát, V. – Tesárek, P. –  
Mňahončáková, E. – Černý, R.  
**Kalorimetrické stanovení  
obsahu anhydritu III  
v sádrovém pojivu** ..... 235
- Tesárek, P. – Mňahončáková, E. –  
Tydlitát, V. – Černý, R.  
**Kompozitní  
materiál na bázi  
energósádry** ..... 239
- Tesárek, P. – Mňahončáková, E. –  
Tydlitát, V. – Černý, R.  
**Vliv sušící teploty  
na vlastnosti  
zatvrdlé energósádry  
– tepelné a mechanické  
vlastnosti** ..... 246
- Tesárek, P. – Mňahončáková, E. –  
Tydlitát, V. – Černý, R.  
**Klasifikace  
sádrového  
pojiva  
podle ČSN 72 2301** ..... 251

## CONTENT

- Tydlitát, V. – Tesárek, P. –  
Mňahončáková, E. – Černý, R.  
**Measurement of Hydration  
Heat of Gypsum Using  
Different Types of  
Calorimeters** ..... 225
- Tydlitát, V. – Tesárek, P. –  
Mňahončáková, E. – Černý, R.  
**Effect of Temperature on  
Hydration and Thermal  
Stability of Gypsum** .... 231
- Tydlitát, V. – Tesárek, P. –  
Mňahončáková, E. – Černý, R.  
**Calorimetric Determination  
of the Amount of Anhydrite III  
in Gypsum Binder** ..... 235
- Tesárek, P. – Mňahončáková, E. –  
Tydlitát, V. – Černý, R.  
**Composite Material on the Basis  
of Flue Gas Desulphurization  
Gypsum** ..... 239
- Tesárek, P. – Mňahončáková, E. –  
Tydlitát, V. – Černý, R.  
**Effect of Drying Temperature  
on Properties of Hardened  
Flue Gas Desulphurization  
Gypsum – Basic and  
Thermal** ..... 246
- Tesárek, P. – Mňahončáková, E. –  
Tydlitát, V. – Černý, R.  
**Classification  
of Gypsum  
Binder Using  
ČSN 72 2301** ..... 251

## INHALT

- Tydlitát, V. – Tesárek, P. –  
Mňahončáková, E. – Černý, R.  
**Messung der  
Hydrationswärme von Gips  
mit Hilfe verschiedener  
Kalorimetertypen** ..... 225
- Tydlitát, V. – Tesárek, P. –  
Mňahončáková, E. – Černý, R.  
**Der Einfluss der Temperatur  
auf die Hydratation von Gips  
und seine Stabilität** .... 231
- Tydlitát, V. – Tesárek, P. –  
Mňahončáková, E. – Černý, R.  
**Kalorimetrische Bestimmung  
des Gehalts von Anhydrit III  
im Gipsbindemittel** ..... 235
- Tesárek, P. – Mňahončáková, E. –  
Tydlitát, V. – Černý, R.  
**Kompositmaterial  
auf Basis  
von REA-Gips** ..... 239
- Tesárek, P. – Mňahončáková, E. –  
Tydlitát, V. – Černý, R.  
**Der Einfluss der Trocknungs-  
temperatur auf die Eigenschaften  
erhärteten REA-Gipses –  
grundlegende und thermische  
Eigenschaften** ..... 246
- Tesárek, P. – Mňahončáková, E. –  
Tydlitát, V. – Černý, R.  
**Klassifizierung von  
Gipsbindemittel nach  
Klassifizierung von Gips-  
bindemittel nach  
ČSN 72 2301** ..... 251

## REDAKČNÍ RADA

### Předseda:

prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.

### Místopředseda:

doc. Ing. Alois MATERNA, CSc.

### Členové:

doc. Ing. Pavel HÁNEK, CSc.

doc. Ing. Vladimír JELÍNEK, CSc.

Ing. Jiří KALA, Ph. D.

doc. Ing. J. KORYTÁROVÁ, Ph. D.

Ing. Karel KUBEČKA

Ing. Libor MATĚJKA, CSc., Ph. D.

doc. Ing. Jaroslav NOVÁK, CSc.

doc. Ing. Luděk NOVÁK, CSc.

doc. Ing. Miloslav NOVOTNÝ, CSc.

doc. Ing. Miloslav PAVLÍK, CSc.

prof. Ing. J. PROCHÁZKA, CSc.

Ing. Vlastimil ROJÍK

Ing. Karel SVOBODA

doc. Dr. Ing. Miloslav ŠLEZINGR

Ing. Milan ŠMAK, Ph. D.

Ing. Ludvík VÉBR, CSc.

doc. Ing. Josef VITÁSEK, CSc.

prof. Ing. Jiří WITZANY, DrSc.

Ing. Renata ZDAŘILOVÁ

STAVEBNÍ OBZOR, odborný měsíčník, vydává  
Fakulta stavební ČVUT Praha společně s Fakultou  
stavební VUT Brno, Fakultou stavební VŠB TU  
Ostrava, Českou komorou autorizovaných inženýrů  
a techniků činných ve výstavbě a Českým svazem  
stavebních inženýrů. Řídí redakční rada, vedoucí  
redaktorka Marcela Klímová. Adresa redakce:  
Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel./fax: 224 354 596,  
klimova@fsv.cvut.cz, <http://www.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](mailto:mgdtp@volny.cz).  
Odběr je možné zrušit až po vyčerpání zaplace-  
ného předplatného. Inzerce adresujte redakci. Tech-  
nická redakce a realizace: Ing. Milan Gattringer. Po-  
dávání novinových zásilek povoleno Ředitelstvím  
pošt Praha, č. j. NP 144/1994, ze dne 21. 10. 1994.  
Do sazby 4. 9. 2007. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

## STUDIUM CHOVÁNÍ VLASTNOSTÍ SÁDRY VE VZTAHU K TEPLOTNÍMU A VLHKOSTNÍMU NAMÁHÁNÍ

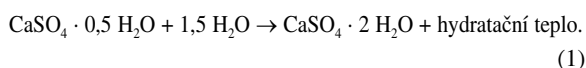
Hlavní snahou předkládaných článků je popsat co nejvíce parametrů (vlastností) sádry a jejich modifikací a pokusit se co nejpodrobněji ověřit chování těchto materiálů, především ve vztahu k teplotnímu a vlhkostnímu namáhání. Změny teplotního a vlhkostního namáhání na výrobky ze sádry jsou považovány za zásadní problém a hlavní důvod, proč nenašla sádra dosud širší uplatnění ve stavební praxi.

### Měření hydratačního tepla sádry pomocí různých typů kalorimetrů

*RNDr. Vratislav TYDLITÁT, CSc.  
Ing. Pavel TESÁREK, Ph. D.  
Ing. Eva MĚNAHONČÁKOVÁ, Ph. D.  
prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha*

Článek popisuje tepelné jevy při hydrataci hemihydrátu síranu vápenatého. Časová závislost vývoje hydratačního tepla  $\beta$ -hemihydrátu síranu vápenatého, vyrobeného z energosádry, je stanovena diferenčním kalorimetrem DIK a izotermním kalorimetrem tepelného toku KC 01. Je sledován též vliv vodního součinitele a přísad na hydratační proces sádrových směsí.

podle rovnice (1) průběžným rozpouštěcím mechanismem



Hemihydrát je rozpustnější ve vodě než dihydrát, 0,65 % hmotnosti síranu vápenatého se rozpustí při pokojové teplotě, jestliže se hemihydrát smísí s vodou. Naproti tomu jen 0,20 % hmotnosti dihydrátu se rozpustí po smísení sádry s vodou. Smísí-li se tedy hemihydrát s vodou a dosáhne se nasyceného roztoku ve vodě, je tento roztok přesycený vzhledem k dihydrátu a sádra (dihydrát) se vyloučí. Další hemihydrát se může nyní rozpustit, což vede k dalšímu vylučování sádry, atd. Pro popis kinetiky hydratace posuzoval Hand tři různé modely krystalizace charakterizované analytickými funkcemi splňujícími Avramiho rovnici. V určitém rozmezí porovnání nebylo však možné rozhodnout, který model vylučování sádry vystihuje experimentální data lépe. Uvedená teorie odporuje závěrům prací, podle kterých se předpokládalo, že sádrové suspenze hydratují pomocí topochemického procesu, tedy přímým vstupem vody do mřížky hemihydrátu síranu vápenatého bez předchozího rozpouštění.

Termodynamické znalosti o tepelných efektech při hydrataci nižších hydrátů síranu vápenatého se objevují v literatuře až ve čtyřicátých letech dvacátého století. Mnohem později Bušuev [4], [5] popsal rozdíl mezi  $\beta$ -hemihydrátem  $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$  a  $\alpha$ -hemihydrátem  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,67 \text{H}_2\text{O}$ . Při

#### Úvod

Síran vápenatý ve formě ztvrdlé sádry (dihydrátu) se ve stavební praxi využívá po tisíciletí. Hydratační proces je znám již dávno, ale až v minulém století byly objasněny jeho detaily. Šatava [1], [2] přináší důkazy o tom, že při tunutí suspenzí sádry probíhá hydratační reakce mechanismem ve vodním roztoku. V roztoku nestálý hemihydrát se rozpouští a z přesyceného roztoku krystalizuje dihydrát, jehož zárodky (nuklea) vznikají na poruchových místech povrchu krystalů hemihydrátu. Počet nuklejí závisí na vodním součiniteli, mechanické historii suspenze a na teplotě při hydratační reakci. Závěry, které uvedl, potvrzují i další práce v této oblasti. Například Hand [3] popisuje hydrataci hemihydrátu

hydrataci čistých forem  $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$  byly získány kalorimetrickým měřením hodnoty integrálního hydratačního tepla, podrobněji viz Eipeltauer [6], Freyer a Voigt [7] a jiní. Wirsching [8] cituje ve své práci výsledky Kelleyho [9], který se zabýval termodynamickými vlastnostmi v systému  $\text{CaSO}_4\text{-H}_2\text{O}$ . Pro nás je v této práci zajímavé především hydratační teplo  $\beta$ -hemihydrátu (tab. 1).

Tab. 1. Hydratační teplo v systému  $\text{CaSO}_4\text{-H}_2\text{O}$

Hydratace	Hydratační teplo na mol (gram) dihydrátu při 25 °C [J]
$\beta \text{ CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O} + 1 1/2 \text{H}_2\text{O}$ → $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	19 300 ± 85 (111,9 ± 0,50)
$\alpha \text{ CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O} + 1 1/2 \text{H}_2\text{O}$ → $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	17 200 ± 85 (100,0 ± 0,50)
$\beta \text{ CaSO}_4 \text{ III} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	30 200 ± 85 (175,3 ± 0,50)
$\alpha \text{ CaSO}_4 \text{ III} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	25 700 ± 85 (149,6 ± 0,50)
$\text{CaSO}_4 \text{ II} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	16 900 ± 85 (98,0 ± 0,50)

Kalorimetrická měření mohou přispět v průmyslu k určení kvality sádrových směsí ( $\beta$ -hemihydrátů) vyráběných kalcinací [8]. Může jimi být ověřena čistota suroviny, navržen jiný teplotní režim při kalcinaci, změna časového faktoru atd. O technickém využití výsledků sledování vývoje tepla hydratace sádry při výrobě a sledování kvality pojiv na bázi síranu vápenatého referují např. Fischer [10], Fietsch a Ramdohr [11] a Gerard [12]. Stanovením fází síranu vápenatého při hydrataci sádrových směsí se zabývali Folek a Kowol [13]. Ambrúz a kol. [14] využili diferenciální kalorimetrie ke sledování tuhnutí v systému cementových silikátů se sádrrou. Evju [15] použila dynamické korekce ke sledování tuhnutí hemihydrátu síranu vápenatého v jednoduchém izotermním kalorimetru s velkou časovou konstantou. Použitý typ byl stovebním prvkem kalorimetru TAM AIR [16]. Sledování časového průběhu hydratace maltovin, mezi nimi i hemihydrátu síranu vápenatého, umožnilo použití diferenciálních kalorimetrů k měření průběhu tepelného výkonu při hydrataci. Použití citlivých diferenciálních kalorimetrů k izotermnímu měření tepelného toku popisují Mtschelov-Petrovskij a kol. [17] a Oliew a Wiekler [18].

Pro vývoj hydratačního tepla hemihydrátu síranu vápenatého (sádra) jsou typická dvě maxima, relativně dlouho se vedla debata o tom, čím je způsobeno menší maximum, které nastává téměř ihned po přidání vody k hemihydrátu. V úvahu připadalo smáček teplo nebo reakce přísad obsažených v pojivu, podrobněji se tomuto problému budeme věnovat dále. Další skutečností u hydratace hemihydrátu na dihydrát je okolnost, že teplo provázející tuto hydratační reakci je relativně vysoké v krátkém intervalu (1 až 2 h) v porovnání s podobnými reakcemi; pro  $\beta$ -hemihydrát je tato hodnota okolo 112 J.g<sup>-1</sup> [8]. Například hydratační teplo cementů se uvolňuje podstatně pomaleji – celkové množství tepla 200 až 350 J.g<sup>-1</sup> cementu se uvolní během tuhnutí a tvrdnutí betonu v závislosti na teplotě v rozmezí několika dní při teplotě 20 °C až 12 h při 70 °C [19].

$\beta$ -hemihydráty síranu vápenatého jsou běžné suroviny pro výrobu sádrokartónových a sádrovláknitých desek a sádrových prefabrikátů, především příček pro interiéry. V Závodě průmyslu sádry Dolina Nidy (Polsko) se vyráběly sádrové bloky typu NidaBlok a ProMonta. Oba byly určeny pro vnitřní aplikace jako dělicí příčky z lité sádry, ve stejném závodě se vyráběly i stropní tvárnice a podlahové desky z estričové sádry lisováním [20]. Tým profesora Pluty zkoušel sádru jako prvek pro výrobu stěnových a stropních vložek

[21], [22]. Průmyslově se vyrábějí i dva systémy tvárníc pro obvodové pláště budov s názvy „Sova-System“ a „System-R.“ Stavebnicový systém Sova vyrábí firma ZABUDGIPS [23] ve 23 typech. Vnitřní i vnější stěny do výšky 2,5 podlaží se skládají na sebe nasucho. Základním materiálem je REAgips (energósádra). Systém-R, tj. prvky pro konstrukce do pěti podlaží, vyrábí firma POLGIPS [24]. Také v Německu, Francii, Rakousku a Itálii se používá řada výrobků na bázi sádry. Obecně lze konstatovat, že při velkých rozměrech může při výrobě a následně aplikaci hrát hydratační proces důležitou roli. Znalosti o vývoji tepla při tuhnutí sádry jsou tedy užitečné, např. i z hlediska tvorby trhlin.

Tento článek by měl rozšířit doposud získaná poznání o hydratačním procesu sádrových pojiv. Ke sledování hydratačního vývoje v systému  $\text{CaSO}_4\text{-H}_2\text{O}$  byly použity vzorky  $\beta$ -hemihydrátu síranu vápenatého vyrobeného z energósádrovce, který vzniká jako odpad při odsiřování v elektrárně Počerady. Při zkoumání průběhu hydratačního tepla byly použity dva přístroje různé konstrukce – kvalitativní diferenční kalorimetr DIK 04 [25] je běžně dostupný, prototypem byl kalorimetr KC 01 [26]. Experimentální měření probíhala při teplotě 22 až 25 °C.

## Přístroje

K prvnímu měření byl použit diferenční kalorimetr DIK 04 (obr. 1). Metoda sledování teploty částečně tepelně izolované hydratující směsi je založena na porovnávání přibližně konstantní teploty hliníkového etalonu s teplotou směsi (např. sádra a voda), která hydratuje v nádobce obdobných vlastností jako etalon, a rozdíl teploty je v čase zaznamenáván. Metoda bez vnějšího ohřevu je podobná diferenční termické analýze, při které je však vzorek zahřátý. Soustava je umístěna v krytu přístroje DIK 04, zhotoveném z Dewarovy nádoby otočené dnem vzhůru. Umožňuje rychlou a snadnou manipulaci. Vložení vzorku o hmotnosti 3 až 5 g do plastové nádobky včetně přidání vody a zamíchání trvá méně než jednu minutu. Zesilovač s převodníkem A/D umožňuje v počítači snímat a ukládat rozdíly teplot v závislosti na čase a jejich následný záznam v číslcové i grafické podobě pomocí vlastního softwarového programu. Průběh hydratačních dějů je možno sledovat kvalitativně a vliv vodního součinitele nebo různých přísad porovnávat za stejných navážek a podmínek. Tyto efekty se mohou využít při zkouškách hydratace sádry i dalších maltovin. Měření vyžaduje temperování vzorku a vody nejméně hodinu před zahájením procesu, tzn. vyvoláním počátku hydratace přidáním vody do vzorku a jeho založením do přístroje. Ustalování teploty sleduje DIK 04 [25].



Obr. 1. Diferenční kalorimetr DIK 04



Ve druhém případě byl ke sledování vývoje hydratačního tepla sádry za izotermních podmínek použit kalorimetr KC 01 (obr. 2). Metoda diferenčního měření tepelného toku umožňuje sledovat tepelné efekty i při mírně proměnné teplotě okolí, v minulosti byla použita ke stanovení hydratačního tepla cementů [5]. Přístroj je vhodný ke kvantitativnímu stanovení průběhu intenzity vývoje hydratačního tepla  $N$  [ $\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]. Integrací průběhu intenzity v čase bylo pak možné určit hydratační teplo  $Q$  [ $\text{J}\cdot\text{g}^{-1}$ ] vztážené na jednotku hmotnosti hydratující sádry.



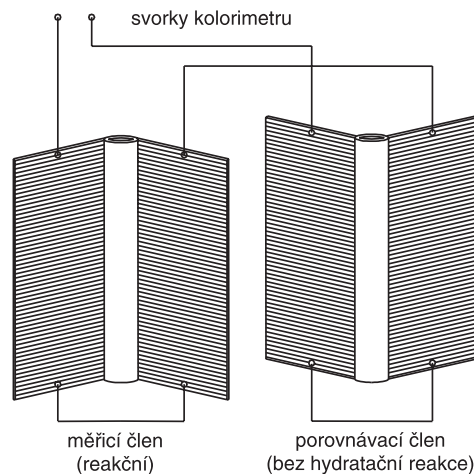
Obr. 2. Kalorimetr KC 01 se zapisovačem

Čidla pro měření tepelného toku tvoří termosloupy měděných a konstantanových termočlánků, navinuté na pertinaxové destičce. Spoje na jejich hranách jsou přilepeny k měděné trubici. Do trubice se vkládá válcová měděná nádobka s 1 až 2 g vzorku. Čidla na trubici, ve které probíhá hydratace, jsou diferenčně zapojena s čidly pro určení tepelného toku na porovnávací (referenční) nádobce, ve které hydratační reakce neprobíhá. Nádobky a čidla mají osově symetrické uspořádání (obr. 3), schéma jejich zapojení je uvedeno na obr. 4. Výstupní signál tepelného výkonu  $N$  [ $\text{mW}$ ] je úměrný výstupnímu napětí  $U$  [ $\text{mV}$ ] z diferenčně zapojených termosloupů. Při hydrataci 1 až 2 g hemihydrátu dosahovalo maximum tepelného výkonu signálové úrovně až 10 mV. Přepočítaný tepelný výkon je přibližně 14 mW/mV [18].



Obr. 3. Měřicí část vyjmutá z dvouplášťové nádoby kalorimetru. Dvě nádoby (patrně jsou pouze jejich zátky) mají na sobě diferenčně zapojené snímače tepelného toku ve tvaru křídélek pod úhlem  $120^\circ$ .

K záznamu napěťového signálu slouží měřicí ústředna MS 2 firmy COMET na kanálu 0 až 100 mV s citlivostí záznamu 0,01 mV. Data jsou načtena do počítače a transformována do tabulkového editoru Excel k dalšímu zpracování. Kalibrace kalorimetru byla provedena elektricky Jouleovým teplem. Přesný ohmický odpor 9,99 k $\Omega$ , umístěný v reakční nádobce, byl napájen stabilizovaným zdrojem stejnosměrného napětí s číslicovým voltmetrem. Ze soustavy kalibračních bodů byla získána kalibrační závislost výkonu  $N$  [ $\text{mW}$ ] aproximovaná lineární funkcí napětí  $U$  [ $\text{mV}$ ].



Obr. 4. Schéma zapojení čidel tepelného toku

Teplotu uvnitř kalorimetru sledoval odporový teploměr/vlhkoměr ALMEMO s číslicovým výstupem a citlivostí 0,01 °C a 0,1 % relativní vlhkosti. Citlivost nebyla při měření plně využita. Průběh hydratace bylo možno během měření sledovat na záznamu analogového zapisovače  $\pm 5$  mV i na číslicovém zobrazení výstupu na měřicí ústředně (-2 až +100 mV) [26]. Po nejméně hodinové ustalovací době za dané laboratorní teploty byl rychle kalorimetr otevřen, vnesena voda do nádoby se sádrou, nádobka utěsněna zátkou a víko kalorimetru uzavřeno. Celá operace trvala 40 až 60 s. Teplotu snímala ústředna v intervalu 15 s. Hydratace nastávala se zpožděním kratším než 10 s po vnesení vody.

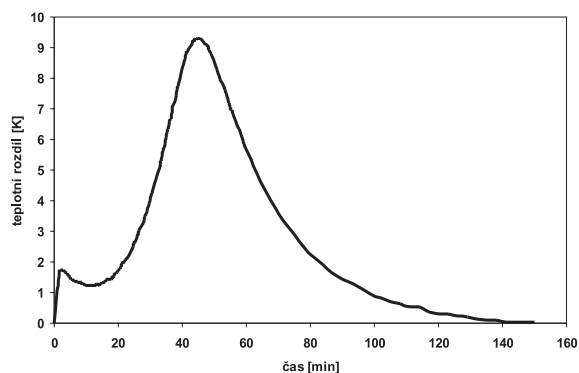
## Materiály a vzorky

Čistota odpadního energosádrovce, z něhož se energosádra ( $\beta$ -sádra) v elektrárně Počerady vyrábí, se podle informací výrobce pohybuje okolo 98 %. Při výrobě vzorků bylo použito normální konzistence v poměru voda/sádra 0,627. Před měřením byly vzorky  $\beta$ -hemihydrátu síranu vápenatého vysušeny na konstantní hmotnost při teplotě 40 °C.

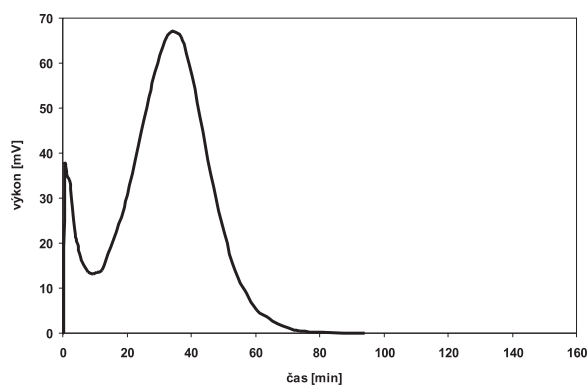
## Výsledky a diskuze

### Porovnání průběhu hydratace

Výsledky kalorimetrických měření na vzorcích z  $\beta$ -hemihydrátu síranu vápenatého (energosaádra) jsou uvedeny na obr. 5 a obr. 6. Závislost rozdílu teplot  $\Delta T$  mezi měřeným a referenčním vzorkem v závislosti na čase, která byla naměřena pomocí diferenčního kalorimetru DIK 04 při navážce 4 g hemihydrátu, je na obr. 5, časová závislost tepelného výkonu hydratační reakce, naměřená kalorimetrem KC 01, na obr. 6. Na obou obrázcích jsou patrná dvě maxima. První maximum podle Fischera [10] přísluší smáčecímu teplu vzorku a hydrataci  $\beta$ -anhydritu  $\text{CaSO}_4$  III, která začíná okam-



Obr. 5. Průběh hydratačního tepla – diferenční kalorimetr DIK 04



Obr. 6. Průběh hydratačního tepla – kalorimetr KC 01

žitě po přidání vody. Současně, na počátku s malým zpožděním a pomaleji, probíhá hydratace  $\beta$ -hemihydrátu  $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$  na dihydrát, kde vývoj hydratačního tepla dosahuje druhého maxima. Důležité hodnoty získané oběma přístroji, tj. čas k dosažení prvního a druhého maxima, čas dosažení minima, konec hydratačního procesu a poměr mezi hodnotami (výchytkami) v prvním a druhém maximu, jsou uvedeny v tab. 2. Je třeba si všimnout, že v přístroji DIK 04

Tab. 2. Průběh hydratační reakce kalorimetrů DIK 04 a KC 01

Děj	Čas [min]	
	DIK 04	KC 01
první maximum	3	1
minimum	13	10
druhé maximum	46	34
konec reakce	150	85
poměr mezi hodnotami (výchytkami) v prvním a druhém maximu	0,18	0,56

je vzorek nedefinovatelně ochlazován přenosem uvolněného tepla a vzduchu do semiadiabatického pláště (Dewarovy nádoby), tento děj není izotermický. V kalorimetru KC 01 probíhá hydratace izotermicky v rozmezí 2 K. Z průběhu reakcí sledovaných oběma přístroji je patrné, že u hydratační reakce podle kalorimetru KC 01 v porovnání s diferenčním kalorimetrem DIK 01 došlo k těmto efektům:

- čas potřebný k dosažení prvního maxima se při měření přístrojem KC 01 zkrátil na třetinu;

- minimální hodnota byla zjištěna přístrojem KC 01 asi o 3 minuty dříve;
- čas k dosažení druhého maxima byl u přístroje KC 01 o 12 minut kratší;
- hydratační reakce byla ukončena téměř o polovinu dříve u kalorimetru KC 01;
- poměr mezi hodnotami (výchytkami) prvního a druhého maxima byla třikrát nižší u přístroje DIK 04.

Lze tedy konstatovat, že přístrojem DIK 04 lze kvalitativně porovnávat průběh hydratační reakce, např. ovlivněný typem přísad. Nelze však uplatnit kvantitativní hlediska v tepelných veličinách (tepelný výkon, hydratační teplo), protože není možné vyjádřit závislost mezi teplotní diferencí a hydratačním tepelným výkonem při hydratační reakci. Přístrojem KC 01 lze poměrně citlivě zachytit i počáteční děje při hydrataci a integrací průběhu hydratačního vývoje tepla vyčíslit celkové hydratační teplo.

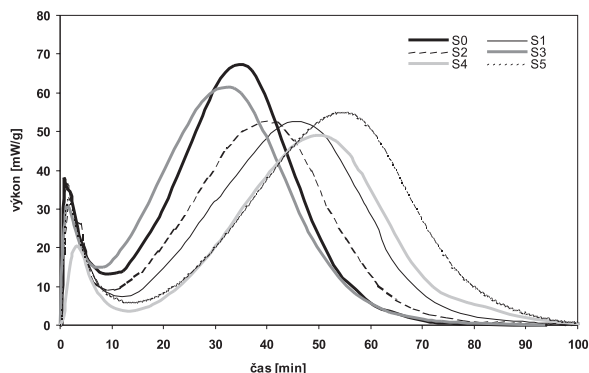
### Vliv přísad a vodního součinitele

Další část experimentálních prací se týkala ověření vlivu vodního součinitele a přísad na hydratační proces energosádry s využitím kalorimetru KC 01. Složení sádrových směsí na bázi energosádry z Počerad je uvedeno v tab. 3. Ověřován byl referenční vzorek (S0) a vzorky s přísadou plastifikátorů (S1 a S2) a hydrofobizačních přísad (S3, S4 a S5). Přísady jsou uvedeny pod komerčními názvy. Vodní součinitel u plastifikovaných materiálů byl snížen proti referenční sádře z 0,627 na 0,500.

Tab. 3. Vzorky z energosádry

Materiál	Voda/sádra	Typ přísady	Přísada	Koncentrace
S0	0,627	–	–	–
S1	0,5	plastifikátor	PERAMIN SMF 20	0,5 % hm.
S2	0,5	plastifikátor	MELMENT F4000	0,2 % hm.
S3	0,627	hydrofobizační	IMESTA IBS 47	0,5 % hm.
S4	0,627	hydrofobizační	ZONYL 9027	5,0% roztok
S5	0,627	hydrofobizační	ZONYL 301	5,0% roztok

Průběh tepelného výkonu hydratačních reakcí zkoumaných sádrových směsí na bázi energosádry v závislosti na čase uvádí obr. 7, pro přehlednost jsou nejdůležitější informace porovnány v tab. 4, zejména čas do prvního a druhého maxima, čas do minima, konec hydratačního procesu, poměr mezi hodnotami (výchytkami) prvního a druhého maxima.



Obr. 7. Porovnání typických průběhů tepelného toku při hydrataci 1 g sádry

V tabulce je též uveden přehled hydratačního tepla vzorků materiálů na bázi energosádry.

Tab. 4. Průběh hydratačního tepla materiálů

Děj / Materiál	S0	S1	S2	S3	S4	S5
	[min]					
první maximum	1	1	1,5	1	4,5	1
minimum	9,5	11	11	7,5	12	14
druhé maximum	34	44	38	32	49	55
konec reakce	80	95	85	85	100	100
poměr mezi hodnotami (výchyly) v prvním a druhém maximu	0,56	0,65	0,62	0,54	0,41	0,66
hydratační teplo [J.g <sup>-1</sup> ]	105	102	104	104	94	105

Počáteční maximum, tj. 1 minuta od vnesení vody, je časově shodné pro všechna pojiva kromě vzorku S4, kde došlo ke zpoždění hydratační reakce a maximum nastalo až v čase 4,5 minuty. Velikost prvního maxima je nejvyšší pro materiály S0 a S1, pro ostatní je přibližně o 20 % nižší, pro materiál S4 dokonce až o 50 %. Pokles výkonu u sádry bez přísad (S0) začíná po 2 minutách. Minimum je nejnižší u materiálu S4 a nejvyšší u S3. Druhé maximum je pro ostatní vzorky o více než 20 % nižší v porovnání s referenční S0, výjimkou je u S3, kde je druhé maximum nižší asi jen o 5 %. U vzorku S3 se v porovnání s referenční S0 zrychluje o 2 minuty, u ostatních došlo naopak ke zpomalení, k největšímu zpomalení 21 minut došlo u sádry S5. Konec hydratační reakce nastává u referenční S0 po 80 minutách od vnesení vody, pro ostatní vzorky se tato doba prodlužuje a u S4 a S5 odpovídá 100 minutám.

Výsledné hodnoty hydratačního tepla v tab. 4 jsou aritmetickým průměrem ze šesti měření. Je zřejmé, že většinu z nich, vztažených na 1 g dihydrátu (s 96% čistotou sádrovce), lze vyčísřit  $105/0,96=109,4 \text{ J.g}^{-1}$ . To je hodnota o 1,5 % menší než hodnota uváděná Wirschingem [8]. Podobnou metodu s využitím diferenčního kalorimetru, kdy bylo určováno množství sádrovce v sádrovém pojivu, uvádí Hurmanic a Roggen-dorf [27]. Z dosažených výsledků je také patrné, že vliv vodního součinitele na hydratační teplo byl zanedbatelný. Redukce vodního součinitele u materiálu S1 a S2 z hodnoty 0,627 na hodnotu 0,5, které bylo dosaženo přidáním plastifikátorů, nepřinesla patrný efekt.

Použití hydrofobizačních přísad (materiály S3, S4, S5) se ukázalo u S3 a S5 pro vývin celkového hydratačního tepla jako nepodstatné, pouze u S4 došlo k jeho zhruba 10% poklesu. Tento výsledek naznačuje, že hydratační reakce nebyla přísadami zásadně ovlivněna, došlo pouze k jejímu prodloužení o cca 20 %. Mechanické vlastnosti sádry by se tedy neměly přidáním hydrofobizačních přísad výrazněji zhoršit.

Při podrobnější analýze vlivu kvality vody na hydratační proces jsme zkoušeli zjistit rozdíl průběhu hydratační reakce při použití vody z vodovodního řádu a vody destilované. V obou případech byl průběh identický. Nepotvrdily se závěry uvedené v práci Kacera a kol. [28] o vlivu vody na vlastní hydratační proces, a to od destilované vody, vody z vodovodního řádu až např. po technologickou vodu z chemické výroby s obsahem organických složek, které vznikly při výrobě sádrodřevěných desek. Z publikovaných výsledků byl patrný rozdíl především u technologické vody. Důvodem byla pravděpodobně skutečnost, že technologická voda byla kontaminována organickými složkami, např. výluhem z celulóz, které ovlivňují hydratační proces.

## Závěr

Výsledky kalorimetrických měření, uvedené v tomto článku, mohou přispět k objasnění některých aspektů hydratačního procesu sádrových směsí. Z obou přístrojů se v porovnání s DIK 04 jako jednoznačně výhodnější jeví kalorimetr KC 01:

- měří kvantitativně veličiny přímo úměrné tepelnému výkonu vzorku při hydrataci;
- výstupní hodnoty zaznamenává průběžně na zapisovači a je možné okamžitě kontrolovat celý její průběh.

Výsledky dále ukázaly, že vodní součinitel v soustavě sádra/voda v rozmezí 0,500 a 0,627 (tyto hodnoty několikanásobně převyšují teoretické množství vody potřebné k hydrataci) neměl vliv na velikost hydratačního tepla. Ani plastifikační a hydrofobizační přísady neměly zásadní vliv na průběh hydratačního procesu a velikost hydratačního tepla (s výjimkou poněkud nižší hodnoty pro směs S4 s hydrofobizační přísadou ZONYL 9027). V porovnání s referenčním vzorkem S0 došlo u některých modifikovaných směsí ke snížení maximální hodnoty tepelného toku a k posunutí maxima v čase. Celkové hydratační teplo bylo však pro všechna měření zhruba stejné, jen u vzorku S4 přibližně o 10 % nižší. Vliv vodního součinitele a druhu použité vody se ukázaly pro sledované hydratační procesy též jako zanedbatelné.

**Článek vznikl za podpory výzkumného záměru MŠMT MSM:6840770031.**

## Literatura

- [1] Šatava, V.: Studie procesu tvrdnutí suspenzí sádry. [Doktorská dizertační práce], Praha, VŠCHT, 1968, 89 s.
- [2] Šatava, V.: Strength and Microstructure of Cast Gypsum. *Ceramics – Silikáty* 40, 1996, No. 2, pp. 72–76.
- [3] Hand, R. J.: The Kinetics of Hydration of Calcium Sulphate Hemihydrate: A Critical Comparison of the Models in the Literature. *Cement and Concrete Research*, 5, 1994, pp. 889–895.
- [4] Bušuev, N. N.: O strukturnych osobnostjach  $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$  i  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,67 \text{H}_2\text{O}$ . *Dokl. ak. nauk*, 255, 1980, No. 5, pp. 1104–1109.
- [5] Bušuev, N. N. – Maslennikov, B. M. – Borisov, V. M.: Fazovy perechody pri degidracii  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . *Zhurn. neorg. chimii*, 28, 1983, No. 10, s. 2469–2476.
- [6] Eipeltaufer, E.: Die Bedeutung kalorimetrischer Messungen für die Gipszeugung und Gipsprüfung. *Zement-Kalk-Gips*, 9, 1956, pp. 501–505.
- [7] Freyer, D. – Voigt, W.: Crystallization and Phase Stability of  $\text{CaSO}_4$  and  $\text{CaSO}_4$  – Based Salts. *Monatshefte für Chemie*, 134, 2003, pp. 693–719.
- [8] Wirsching, F.: Calcium Sulfate. *Ullmanns Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Vol. 6. Weinheim, Wiley-VCH Verlag 1983, pp. 90–94.
- [9] Kelley, K. K. – Southard, C. T. – Anderson, C. T.: U. S. Bureau of Mines Tech. Paper 625, 1941 (podrobněji viz [8]).
- [10] Fischer, K. W.: Eignung der Hydratationsthermokerven zur Beurteilung von Halbhydratplaster. *Silikattechnik*, 14, 1963, s. 26–33.
- [11] Fietsch, G. – Ramdohr, H.: Anwendung der differentialkalorimetrischen Analyse-(DCA) zur Charakterisierung von Gipsbindemitteln. *Silikattechnik*, 42, 1991, No. 10, s. 328–333.
- [12] Gerard, H.: Messung des Temperatur- und Zeitverlaufes zur Bewertung des Gipshydrationsverhaltens. *Zement-Kalk-Gips* 44, 1991, s. 426–429.
- [13] Folek, S. – Kowol, K.: Study of the Quantitative Determination of the Phases in the System  $\text{CaSO}_4\text{-H}_2\text{O}$ . *J. Therm. Anal. Calor.* 9, 1976, No. 1, pp. 59–64.
- [14] Ambrúz, V. – Havlová, J. – Gabrišová, A.: Use of Differential Calorimetry for Characterisation of Hydration Processes in the System  $\text{Ca}_3(\text{Al}_6\text{O}_{12})(\text{SO}_4)\text{-CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O-H}_2\text{O}$ . *J. Therm. Anal. Calor.*, 33, 1988, No. 2, pp. 647–650.

- [15] Evju, C.: Initial Hydration of Cementitious Systems Using Simple Isothermal Calorimeter and Dynamic Correction. *J. Therm. Anal. Calor.*, 71, 2003, No. 3, pp. 829–840.
- [16] TAM AIR [User Guide Line], C3 Prozess- Und Analysentechnik GmbH, 2005, s. 17.
- [17] Mtschedlow-Petrossian, O. P. – Sen, A. – Uscherow-Marschak, A.: Zur Untersuchung der Hydratation von Bindemitteln nach der Methode der Differential-Mikrokalorimetrie. *Silikattechnik*, 29, 1969, No. 7, s. 229–231.
- [18] Oliew, G. – Wieker, W.: Aufbau und Einsatzmöglichkeiten eines Differentialkalorimeters. *Silikattechnik*, 32, 1981, No. 3, s. 152–54.
- [19] Tydlitát, V. – Vítovská, Y. – Štěřba, A. – Doktor, A.: Hydratační tepla vybraných cementů. [Dílčí závěrečná zpráva č. 3/15202 SPZV III-2-3]. Výzkumný a vývojový ústav Stavebních závodů, Praha, 1983, 150 s.
- [20] Kowal, L.: Rozvoj sádrového průmyslu a produkce sádry. [Sborník], seminář „Sádra ve stavebnictví“, ČSVTS, Brno, 1967, s. 150–161.
- [21] Pluta, J.: Gestozebrowe, bezplytowe stropy JZP. *Inzynieria i budownictwo*, 7, 1992, pp. 237–240.
- [22] Pluta, J. – Pluta, M.: Ustroje stropowe, science i szkieletowe sytemu JZP-ECOL. *Inzynieria i budownictwo*, 7, 2000, pp. 371–373.
- [23] SOVA-SYSTEM: Lista produktów – Pustaki gipsowe Sova. <http://www.bit-info.pl/baza.php?g=&d=52&f=684>, [cit. 2007-1-2].
- [24] SYSTEM-R: Lista produktów – System R – gipsowe elementy ścian konstrukcyjnych. <http://www.bit-info.pl/baza.php?g=&d=52&f=684>, [cit. 2007-1-2].
- [25] Diferenční kalorimetr DIK 04. [Popis a návod k obsluze]. ELSYST, s. r. o., Praha, 2002, 25 s.
- [26] Tydlitát, V. – Rovnaníková, P. – Filler, M. – Charvát, J. – Brejcha, M.: Dva kalorimetry pro sledování a určení hydratačního tepla. [Sborník], „Kalorimetrický seminář 2004“, Demänovská dolina, s. 79–82.
- [27] Hurmanic, M. – Roggendorf, H.: Charakterisierung von Rauchgas- und Natur-Rohgipsen, *Zement-Kalk-Gips* 11, 1990, s. 550–556.
- [28] Kacer, T. – Dyczek, J. – Westfal, L.: Wiazanie gipsu zarobionego z wody technologiczna zawierajaca substancje organiczne z produktu plyt gipsovo drzewnych. *Cement Wapno Gips*, 4-5, 1981, pp. 118–121.

**Tydlitát, V. – Tesárek, P. – Mňahončáková, E. – Černý, R.:  
Measurement of Hydration Heat of Gypsum Using Two  
Different Types of Calorimeters**

This paper describes thermal phenomena active in hydration of calcium sulphate hemihydrate. The time development of hydration heat of b calcium sulphate hemihydrate prepared from flue gas desulphurization gypsum is determined using the DIK differential calorimeter and the KC 01 isothermal flow calorimeter. Effects of the water/gypsum ratio and additives on the hydration process of the analyzed gypsum mixtures are studied as well.

**Tydlitát, V. – Tesárek, P. – Mňahončáková, E. – Černý, R.:  
Messung der Hydrationswärme von Gips mit Hilfe ver-  
schiedener Kalorimetertypen**

Der Artikel beschreibt die Wärmeerscheinungen bei der Hydratation von Kalziumsulfat-Halbhydrat. Die zeitliche Abhängigkeit der Hydrationswärme von aus REA-Gips hergestelltem  $\beta$ -Kalziumsulfat-Halbhydrat wird mit einem Differenzkalorimeter des DIK und einem isothermen Wärmefluss-Kalorimeter KC 01 bestimmt. Es wird auch der Einfluss des Wasser-Gips-Faktors und der Zusätze auf den Hydrationsprozess der untersuchten Gipsmischungen verfolgt.

**Petr Vorlík**

## Areál ČVUT v Dejvicích v šedesátých letech

*Česká technika, Praha, 2006, 161 s., vazba brožovaná, 215 Kč*

Publikace představuje vývoj urbanistického celku, areálu ČVUT v Praze-Dejvicích. Tento areál nebyl vybrán náhodou. Převratný rok 1958 je nejen datem odevzdání soutěžních návrhů na jeho dostavbu, ale zároveň obdobím prezentace bruselského pavilonu (Expo), který je považován za klíčový zlom ve vývoji československé architektury po druhé světové válce. Nedílnou problematikou jsou i souvislosti s nedokončeným konceptem A. Engela z dvacátých let a poválečné pokusy o završení celého díla. Přestože se realizace Stavební fakulty protáhla až do konce sedmdesátých let a areál ČVUT zůstal nesourodým torzem, lze ho vnímat jako charakteristickou ukázkou převažujících trendů, technologických možností a architektonické koncepce z přelomového období konce padesátých a první poloviny šedesátých let. Systematickým zpracováním archivních materiálů k souboru objektů, jejichž realizace započala již koncem padesátých let, lze odkrýt celý proces výstavby. Podařilo se doplnit obraz vývoje, dílčích fází výstavby, a především jednotlivých etap projektování areálu. Identifikovat čtyři z pěti dosud neznámých autorů soutěžních návrhů na dostavbu areálu ČVUT v Dejvicích z roku 1958. Byla nalezena plánová dokumentace k některým z nerealizovaných projektů.



Publikace vychází k 300. výročí založení Českého vysokého učení technického v Praze.

## Vliv teploty na hydrataci sádry a její stabilitu

RNDr. **Vratislav TYDLITÁT, CSc.**  
 Ing. **Pavel TESÁREK, Ph. D.**  
 Ing. **Eva MĚNAHONČÁKOVÁ, Ph. D.**  
 prof. Ing. **Robert ČERNÝ, DrSc.**  
 ČVUT – Fakulta stavební  
 Praha

V článku jsou prezentována kalorimetrická měření provedená na sádře pomocí izotermního kalorimetru KC 01. Výsledkem je jednak určení vlivu teploty na hydrataci sádry v rozmezí 1 až 47 °C, jednak nalezení nejnižší teploty, při níž dochází k dehydrataci dihydrátu na hemihydrát síranu vápenatého.

### Úvod

O vlivu teploty na tuhnutí sádry referoval Šatava [1] již téměř před čtyřiceti lety. Uvedl například křivky rozdělení pórů v zatvrdlé sádře po hydrataci sádrových kaší při různých teplotách. Hlavním zjištěním byla především skutečnost, že s teplotou se výrazně mění rozdíl rozpustnosti hemihydrátu a dihydrátu ve vodě. Tento závěr potvrzují i další autoři [2], [3]. Podle Šatavy je hlavním mechanismem chemické reakce při hydrataci sádry v počáteční fázi vylučování z roztoku. Potom je řídicím dějem hydratační reakce až do stupně přeměny  $\alpha$  60% až 80% rychlost růstu krystalů. Stupeň přeměny je možno vyjádřit podle rovnice

$$\alpha = \frac{V_D}{V_H}, \quad (1)$$

kde  $V_D$  je objem dihydrátu v 1 cm<sup>3</sup> v čase  $t$  a  $V_H$  objem dihydrátu v 1 cm<sup>3</sup> po úplné hydrataci. Tuto hypotézu potvrzuje rychlost růstu krystalů dihydrátu a její teplotní závislost, vypočtená z měření hydratace a z přímého měření růstu krystalů dihydrátu [1]. Z dalších závěrů Šatavy vyplývá, že pevnost zatvrdlých sádrových směsí je nejvíce závislá na vodním součiniteli. Ten ovlivňuje především tvar, velikost a rozložení částic (krystalů). Dalším důležitým faktorem je zvýšení počtu kontaktů v objemové jednotce. Tento faktor můžeme ovlivnit teplotou, při které směs tuhne, nebo mechanickým zpracováním sádrové suspenze (např. lisováním).

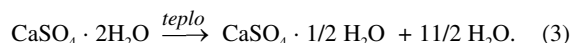
Závislost mezi pórovitostí  $p$  a pevností v tlaku  $\sigma$  [MPa] vyjadřuje rovnicí

$$\sigma = q \log \frac{p_{kr}}{p}. \quad (2)$$

Konstanty  $q$  a  $p_{kr}$  nezávislejší na vodním součiniteli. Kritická pórovitost  $p_{kr}$  závisí na anizotropii částic výchozího hemihydrátu. Konstanta  $q$  zahrnuje pevnost kontaktů mezi krystaly dihydrátu ve ztvrdlé hmotě a charakter pórovité struktury ztvrdlé hmoty. Závisí na teplotě tuhnutí, která při dané pórovitosti ovlivňuje střední velikost krystalů dihydrátu a také velikost pórů ve ztvrdlé hmotě. Běžná kalorimetrická měření se většinou provádějí v laboratorních podmínkách při

teplotě 20 až 25 °C. Informace o studiu hydratačního procesu sádrových směsí v závislosti na teplotě prostředí, ve které hydratační reakce probíhají, jsme v dostupné literatuře nenalezli.

Pro posouzení teplotní stability zatvrdlé sádry je klíčovou informací znalost teploty, při které dochází k rozkladu (dehydrataci) chemicky vázané vody z dihydrátu na hemihydrát podle rovnice



Tato rovnice platí pouze v případě, že je z výchozího materiálu ohřevem odstraněna právě 11/2 H<sub>2</sub>O, tedy že z dihydrátu vzniká hemihydrát, ale ještě nevzniká anhydrit. Může ovšem nastat i situace, kdy je překročena kritická teplota, při které se začíná uvolňovat chemicky vázaná voda, ale v daném čase se neuvolní všechna voda (11/2 H<sub>2</sub>O) a látka se dostává do stavu mezi dihydrátem a hemihydrátem. Kritická teplota, kdy dihydrát přestává být stabilní, je v některých pramenech udávána okolo 40 °C (někdy 42 °C), např. Schulze a kol. [4], Řičánek [5] a Šatava [1]. Turk a Bounini [6] porovnávali evropské i světové normy, které se zabývají sušicí teplotou nutnou pro odstranění volné (fyzikálně vázané) vody v dihydrátu. Tyto teploty se pohybují mezi 35 a 50 °C. V ČSN EN ISO 12570 [7] jsou specifikovány teploty sušení při stanovení vlhkosti ve stavebních materiálech. Teplota sušení 40 ± 2 °C je určena pro materiály, u kterých může vyšší teplota vést k uvolnění krystalizační vody. Patří sem tedy i materiály na bázi sádry.

Podle ČSN EN ISO 12859 [8] se sádrové tvárnice suší až do ustálení hmotnosti, což je podle definice hmotnost, která se po dalších 24 hodinách nemění o více než 0,1 % hmotnosti vzorku. Pro vysušení stanoví tato norma dvě metody. Při první metodě jsou vzorky uloženy ve větrané místnosti při teplotě 23 ± 2 °C a relativní vlhkosti 50 ± 5 %. Druhá metoda spočívá v uložení vzorků v sušárně při teplotě 40 ± 2 °C.

Názor, že je dihydrát stálý do 40 °C, není přijímán obecně. Kupilík [9] například uvádí, že dehydratace nastává až nad 70 °C. Stejnou teplotu, kdy začíná dehydratovat, tj. 70 °C (158 °F), uvádí i Wirsching [10]. Experimenty provedené diferenční termickou analýzou potvrzují, že je relativně obtížné oddělit chemickou a volně vázanou vodu. Ve výsledcích se pro vzorky zatvrdlé sádry ohřáté na teplotu 80 °C objevují dva píky, které je relativně složitě oddělit [11].

Z dalších prací na téma teplotní stability zatvrdlé sádry je možno uvést počítačové simulace procesu dehydratace sádrokartónových desek při požáru, které provedli např. Bermiloudi a Le Meur [12] a Ang a Wang [13]. Mehaffey a kol. [14] zkoumali příčkovou konstrukci na bázi sádrokartónové desky na dřevěném roštu. Odolnost těchto desek při požáru v sále zkoumali Feldman a kol. [15]. Hudson-Lamb a kol. [16] porovnávali experimentální měření a modely dehydratace dihydrátu.

V tomto článku je sledován vliv teploty na hydratační proces hemihydrátu  $\text{CaSO}_4$  a teplotní stability systému  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . Nejprve je studován kalorimetricky vliv teploty na průběh vývoje hydratačního tepla při přeměně hemihydrátu na dihydrát  $\text{CaSO}_4$  a stanovena kritická teplota, po jejímž překročení dochází k dehydrataci dihydrátu na hemihydrát. Měření spočívá v určení hydratačního tepla na vzorcích hemihydrátu, které byly připraveny dlouhodobým sušením dihydrátu při různých sušících teplotách. Zkoumaným pojivem je energosádra vyrobená v elektrárně Počerady.

## Metody

### Vliv teploty na hydrataci hemihydrátu na dihydrát $\text{CaSO}_4$

Měření probíhala za běžných laboratorních podmínek (průměrná teplota  $25 \pm 2$  °C a relativní vlhkost  $50 \pm 2$  %). Cílem dalších experimentů bylo zjištění vlivu teploty na vývoj hydratačního tepla. Bylo zapotřebí pracovat v izotermním prostředí s teplotou odlišnou od laboratorní. Pro dosažení prostředí s definovanou teplotou v rozmezí 1 až 47 °C byl využit kalorimetr KC 01 (založený na diferenčním měření tepelného toku [17]), umístěný do klimatizační komory experimentálního zařízení NONSTAT [18]. Komora umožňuje simulovat podmínky, definované teplotou a relativní vlhkostí, pomocí počítače (obr. 1).



Obr. 1. Experimentální zařízení NONSTAT

Pro měření teplotní závislosti hydratačního tepla hemihydrátu jsme umístili kalorimetr KC 01 do klimatizační komory, kde byl dlouhodobě temperován na 1 až 47 °C. Po otevření komory a následně kalorimetru byla vnesena hydratační voda a za několik desítek sekund zavřen kalorimetr i komora.

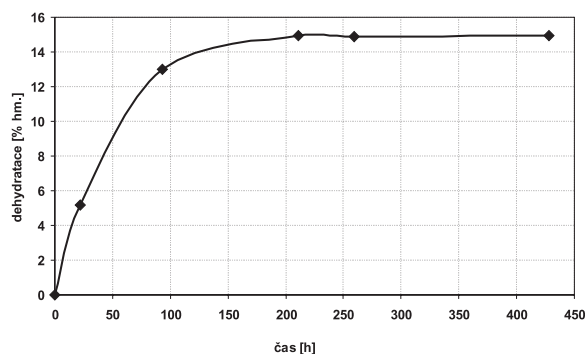
### Hydratace hemihydrátu připraveného sušením při různých teplotách

Zvolená experimentální metoda spočívala v nalezení takové minimální teploty, při které dojde k přeměně dihydrátu na hemihydrát. Sušící teplota byla zvolena z počátku pro všechny vzorky 40 °C a následně zvyšována na 50, 60 a 70 °C. U všech vzorků se sledovala průběžně hmotnost; teplota v sušárně se sledovala na teploměru ALMEMO s přesností 0,01 °C.

Hydratační proces byl sledován pomocí kalorimetru KC 01. Vzorky byly vyrobeny sušením mletého dihydrátu, který vznikl hydratací hemihydrátu sušeného na dihydrát. Jestliže byl vzorek sušen na teplotu, při které k dehydrataci nedošlo, nevznikla by u tohoto vzorku po přidání vody hydratační reakce. V opačném případě by reakce proběhla.

## Materiály a vzorky

Energosádra ( $\beta$ -sádra) z elektrárny Počerady, podle ČSN 72 2301 [20] zaříděná jako G-13 B III, se vyrábí z odpadního energosádrovce. K přípravě vzorků byla použita normální konzistence [20] v poměru voda/sádra 0,627. Pro část experimentů bylo třeba v laboratorních podmínkách vyrobit hemihydrát při jasně definované teplotě sušení. Dihydrát předsušený při 40 °C byl v práškové formě zahříván po dobu 428 h na teplotu 73 °C a v závislosti na čase byla sledována hmotnost vzorku. Hmotnostní úbytek vzorku při dehydrataci v procentech hmotnosti v závislosti na čase je uveden na obr. 2.



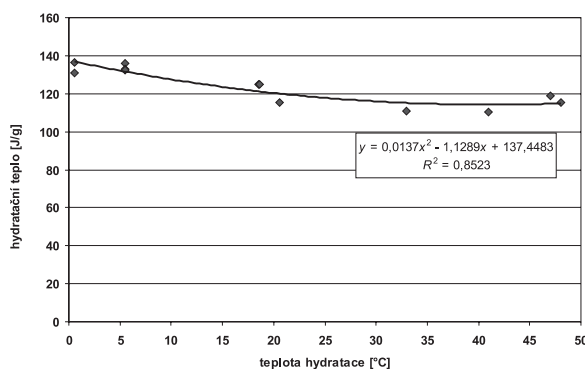
Obr. 2. Průběh dehydratace dihydrátu při 73 °C a relativní vlhkosti 1 až 1,4 %

Teoretický úbytek hmotnosti čistého dihydrátu při přechodu na hemihydrát podle rovnice (3) je 15,7 % hm. Při dlouhodobém ohřevu (asi 220 h) energosádrovce byl nalezen úbytek  $14,96 \pm 0,05$  % hm., což odpovídá dehydrataci dihydrátu s čistotou 95,3 %  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

## Výsledky a diskuze

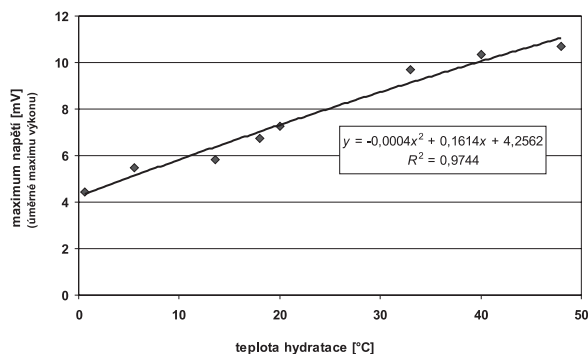
### Vliv teploty na hydrataci hemihydrátu na dihydrát

Závislost hydratačního tepla vzorku energosádry na teplotě prostředí je uvedena na obr. 3. V měřeném rozsahu vykazuje mírný pokles s teplotou, asi  $20 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$ . Podle získaných výsledků klesá hodnota hydratačního tepla od 1 °C asi k 30 °C. Při vyšší teplotě se tato hodnota již téměř nemění. Regresní křivka je polynomem druhého stupně.

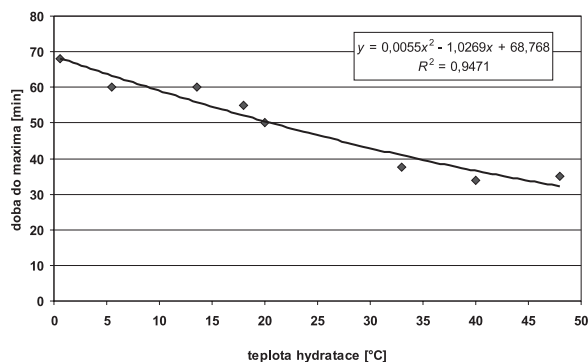


Obr. 3. Závislost celkového hydratačního tepla hemihydrátu na teplotě

Závislost maxima napětí (veličina primárně měřená kalorimetrem), které je úměrné tepelnému toku, na teplotě prostředí je uvedena na obr. 4. Závislost doby dosažení maxima v závislosti na teplotě prostředí uvádí obr. 5. Výsledek



Obr. 4. Závislost maximálního okamžitého tepelného výkonu na teplotě

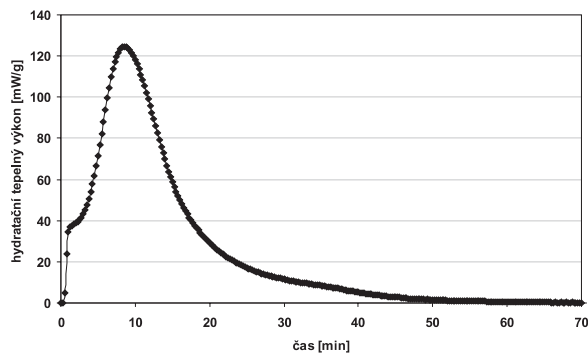


Obr. 5. Teplotní závislost doby hydratace od vnesení vody po dosažení maxima tepelného výkonu

ukazují, že v rozmezí 1 až 47 °C byl maximální okamžitý tepelný výkon významně závislý na teplotě a rostl téměř lineárně s teplotou až na dvouapůlnásobek. Doba do dosažení tohoto maxima naopak výrazně klesala s nárůstem teploty, a to až na polovinu ve sledovaném rozmezí teplot. To znamená, že se vzrůstající teplotou se hydratační proces urychloval přibližně dvojnásobně.

#### Hydratace hemihydrátu připraveného sušením při různých teplotách

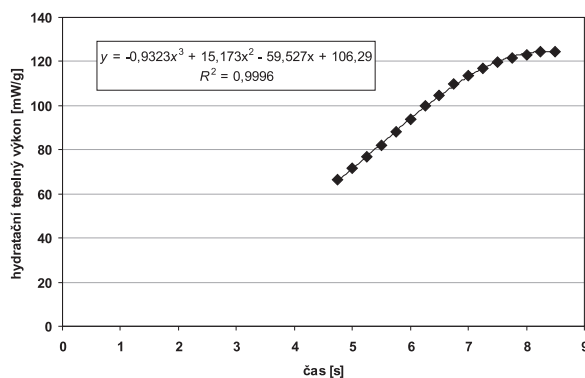
U vzorků zatvrdlé sádry (dihydrátu síranu vápenatého), sušených při 40, 50 a 60 °C, přidáním vody k hydratační reakci nedošlo. To svědčí o tom, že při těchto teplotách nedošlo ani k dehydrataci na hemihydrát. Při hydrataci hemihydrátu, připraveného sušením při 73 °C na dihydrát při teplotě 23 °C, byly pozorovány první tepelné efekty 100 až 150 s po přidání vody (obr. 6). To bylo možné zaznamenat vzhledem k rychlé reakci kalorimetru KC 01 na tepelné signály.



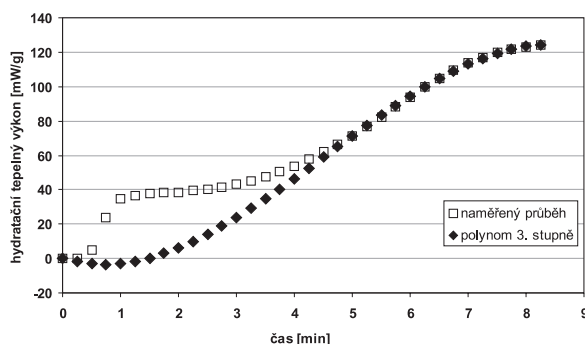
Obr. 6. Příklad časové závislosti hydratačního tepelného výkonu při hydrataci hemihydrátu vyrobeného z energosádrovce s patrným počátečním tepelným efektem

Uměle vyrobený hemihydrát při 73 °C nemohl obsahovat anhydrit, protože byl připraven při nízké teplotě. Počáteční tepelný efekt při hydratační reakci tedy nemohl být prisouzen rozpouštění β-anhydritu III, který za běžného atmosférického tlaku vzniká při teplotě nad 290 °C [11]. Pro objasnění tohoto efektu se proto měřila též závislost hydratačního tepla na množství reagující vody (na vodním součiniteli). Rozsah vodního součinitele při měření byl v rozmezí 1 až 10.

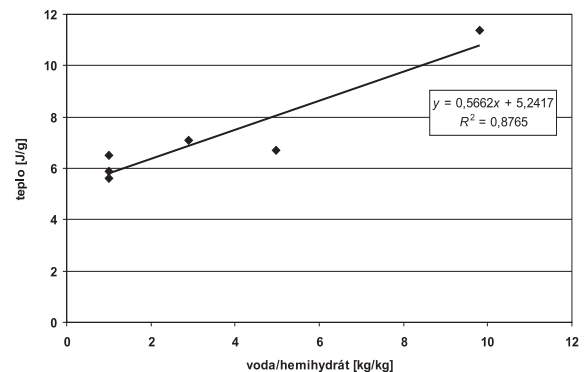
Hlavní tepelné efekty byly odděleny od počátečních tepelných efektů programem Excel proložení naměřených dat polynomm třetího stupně, který procházel počátkem a vystihoval průběh hydratačního výkonu hemihydrátu v době po odeznění počátečního efektu, v čase 4,5 minuty (obr. 7). Zvolený polynom vystihuje dobře naměřená data,  $R^2 = 0,999$ . Počátek těchto dat včetně tepelných efektů do 9 minut a proložení pomocí polynomu třetího stupně je uveden na obr. 8. Prochází počátkem a vystihuje dobře naměřená data. Aproximovaná data začínají v inflexním bodě za počátečním tepelným jevem.



Obr. 7. Experimentální data použitá k aproximaci polynomm 3. stupně



Obr. 8. Způsob oddělení počátečního jevu pomocí aproximace experimentálních dat polynomm 3. stupně



Obr. 9. Závislost počátečního tepelného efektu na poměru voda/hemihydrát, ze kterého bylo stanoveno smáčecí teplo hemihydrátu vyrobeného z energosádrovce

Závislost hydratačního tepla na množství reagující vody v rozsahu hodnot 1 až 10 je uvedena na obr. 9, z něhož bylo extrapolací lineárního průběhu určeno, že uvolněné smáčecí teplo hemihydrátu v hydratační reakci podle rovnice



má pro stechiometrické množství vody  $v/s = 0,1862$  hodnotu  $5,35 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$ .

### Závěr

Výsledky experimentu ukázaly, že teplotní závislost hydratačního tepla hemihydrátu síranu vápenatého byla podstatná pouze v rozmezí 1 až  $30^\circ\text{C}$ , kdy hydratační teplo kleslo o zhruba 15 %. V rozmezí  $30$  až  $47^\circ\text{C}$  změny hydratačního tepla nebyly prokázány. Nepotvrdilo se tvrzení o teplotní stabilitě dihydrátu pouze do  $40^\circ\text{C}$ , uváděné některými autory. Časový průběh dlouhodobého sušení zatvrdlé sádry při  $73^\circ\text{C}$  ukázal, že teplotní mez rozkladu dihydrátu na hemihydrát je v blízkosti této teploty. Z průběhu hydratačních tepelných výkonů při přeměně hemihydrátu na dihydrát bylo stanoveno smáčecí teplo hemihydrátu, jehož hodnota byla pro energosádry  $5,35 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$ .

Z teplotní závislosti hydratačního tepla hemihydrátu síranu vápenatého i ze závislosti počátečních tepelných efektů na vodním součiniteli je zřejmé, že hydratační teplo hemihydrátu nelze definovat jedinou hodnotou bez uvedení dalších parametrů. O tom svědčí i práce Eipeltauera [19], který měřil rozpouštěcí teplo hemihydrátu a dihydrátu síranu vápenatého v  $2\text{M HCl}$ , z výsledků počítal hydratační teplo a pozoroval značný rozptyl v hodnotách.

Článek vznikl za podpory projektu MPO ČR FT-TA 3/005.

### Literatura

- [1] Šatava, V.: Studie procesu tvrdnutí suspenzí sádry. [Doktorská dizertační práce], Praha, VŠCHT 1968, 89 s.
- [2] Škvára, F.: Sádrové maltoviny, Technologie anorganických pojiv I – Část 2. Vzdušné maltoviny, ostatní anorganická pojiva, technologické výpočty. Praha, VŠCHT 1995, s. 120–145.
- [3] Henning, O. – Lach, V.: Chemie ve stavebnictví. Praha, SNTL 1983, s. 136–139.
- [4] Schulze, W. – Tischer, W. – Lach, V.: Necementové malty a betony. Praha, SNTL 1990, s. 20–21.
- [5] Řičánek, M.: Sádra a její vlastnosti. [Sborník], seminář „Sádra v památkové péči“, Praha, STOP 2002, s. 4–13.
- [6] Turk, D. H. – Bounini, L.: The Effect of Sorbed Water on the Determination of Phase Composition of  $\text{CaSO}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$  Systems by Various Methods. In: The Chemistry and Technology of Gypsum, Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 1984, pp. 49–56.
- [7] ČSN EN ISO 12 570 Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků – Stanovení vlhkosti sušením při zvýšené teplotě. ČNI, 2001, 12 s.
- [8] ČSN EN 12 859 (ČSN 72 3610) Sádrové tvárnice – Definice, požadavky a zkušební metody. ČNI, 2002, 22 s.
- [9] Kupilík, V.: Chování sádry v různých provozních podmínkách. [Sborník], seminář „Sádra v památkové péči“, Praha, STOP 2002, s. 14–22.
- [10] Wirsching, F.: Calcium Sulfate. In: Ullmanns Encyclopedia of Industrial Chemistry, Vol. 6, Weinheim, Wiley-VCH Verlag 1983, pp. 90–94.
- [11] Rovnaníková, P. – Bayer, P. – Krmíčková, N.: Vliv zvýšené teploty na vlastnosti sádry [Sborník], seminář „Sádra 2005“, Brno, s. 39–43.
- [12] Bermiloudi, A. – Le Meur, G.: Mathematical and Numerical Analysis of Dehydration of Gypsum Plasterboards Exposed to Fire. Applied Mathematics and Computation 163, 2005, pp. 1023–1041.
- [13] Ang, C. N. – Wang, Z. C.: The Effect of Water Movement on Specific Heat of Gypsum Plasterboard in Heat Transfer Analysis under Natural Fire Exposure. Construction and Building Materials 18, 2004, pp. 505–515.
- [14] Mehaffey, J. R. – Cuerrier, P. – Carisse, G.: A Model for Predicting Heat Transfer through Gypsum Board/Wood-Stud Walls Exposed to Fire. Fire and Materials 18, 1994, pp. 297–305.
- [15] Feldman, D. – Banu, D. – Hawes, D. W.: Development and Application of Organic Phase Change Mixtures in Thermal Storage Gypsum Wallboard. Solar Energy and Solar Cells, 36, 1995, pp. 147–155.
- [16] Hudson-Lamb, D. L. – Strydom, C. A. – Potgieter, J. H.: The Thermal Dehydration of Natural Gypsum and Pure Calcium Sulphate Dihydrate (Gypsum). Thermochimica Acta 282/283, 1996, pp. 483–492.
- [17] Tydlitát, V. – Tesárek, P. – Mňahončáková, E. – Černý, R.: Měření hydratačního tepla sádry pomocí dvou různých typů kalorimetrů. Stavební obzor, 16, 2007, č. 8, s. 225–230.
- [18] Pavlík, Z.: Development of Semi-Scale Technique for the Assessment of Hydro-Thermal Performance of Multilayered Systems of Building Materials. CTU Reports, Praha, 2004.
- [19] Eipeltauer, E.: Die Bedeutung kalorimetrischer Messungen für die Gipserzeugung und Gipsprüfung. Zement-Kalk-Gips, 9, 1956, s. 501–505.
- [20] ČSN 72 2301 Sádrová pojiva. Klasifikace. Všeobecné technické požadavky. Zkušební metody. ČSNI, 1980, 16 s.

**Tydlitát, V. – Tesárek, P. – Mňahončáková, E. – Černý, R.: Effect of Temperature on Hydration and Thermal Stability of Gypsum**

This paper presents calorimetric measurements of gypsum using the KC 01 isothermal heat flow calorimetre. The measurements include the effect of temperature on gypsum hydration in the temperature range of  $1$ – $47^\circ\text{C}$  and the identification of the lowest temperature necessary for the achievement of dehydration of calcium sulphate dihydrate to hemihydrate.

**Tydlitát, V. – Tesárek, P. – Mňahončáková, E. – Černý, R.: Der Einfluss der Temperatur auf die Hydratation von Gips und seine Stabilität**

Im Artikel werden mit Hilfe eines isothermen Kalorimeters KC 01 an Gips vorgenommene Messungen vorgestellt. Das Ergebnis ist einerseits die Bestimmung des Einflusses der Temperatur auf die Hydratation des Gipses in der Spanne von  $1$  bis  $47^\circ\text{C}$ , andererseits das Finden der niedrigsten Temperatur, bei der es zur Dehydratation von Kalziumsulfat-Dihydrat zu Kalzium-sulfat-Halbhydrat kommt.

Všechna čísla časopisu  
**STAVEBNÍ OBZOR**

si mohou čtenáři zakoupit  
v redakci časopisu  
a v prodejně technické literatury ČVUT,  
Bílá 90, Praha 6.



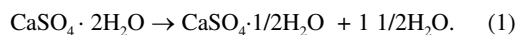
# Kalorimetrické stanovení obsahu anhydritu III v sádrovém pojivu

RNDr. Vratislav TYDLITÁT, CSc.  
Ing. Pavel TESÁREK, Ph. D.  
Ing. Eva MŇAHONČÁKOVÁ, Ph. D.  
prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

V článku jsou uvedena kalorimetrická měření obsahu  $\beta$ -anhydritu  $\text{CaSO}_4$  III v sádrovém pojivu. Pro ověření získaných výsledků je tato forma anhydritu vyrobena i uměle v laboratorních podmínkách a kalorimetricky je stanoveno její hydratační teplo.

## Úvod

Tepelné zpracování při výrobě sádry vede k odvodnění (dehydrataci) sádrovce (dihydrátu síranu vápenatého  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) na sádro (hemihydrát síranu vápenatého  $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ) podle endotermní rovnice



Rozlišují se dva odlišné postupy její výroby. První možností je suchý způsob, při kterém vzniká  $\beta$ -sádra (za kalcinačních podmínek mezi 110 až 180 °C při atmosférickém tlaku). V anglicky mluvících zemích je označována jako „stucco“, „kettle stucco“ nebo nejčastěji „plaster.“ U nás se v elektrárně Počerady z odpadního energosádrovce vyrábí sádra v rotačních pecích při teplotě 110 až 160 °C. Tento produkt se obvykle označuje jako energosádra. Dalšími zdroji pro výrobu sádry jsou přírodní ložiska sádrovce nebo vedlejší produkty při výrobě v chemickém průmyslu, tzv. chemosádrovce [1]. Druhou možností je mokvý postup (pod tlakem). Potom vzniká při teplotách nad 100 °C v atmosféře nasycené vodní páry  $\alpha$ -sádra. V daleko větším měřítku se ovšem používá  $\beta$ -sádra. Jde většími o běžné druhy nižší pevnosti v porovnání s  $\alpha$ -sádro.

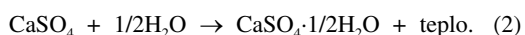
Tab. 1. Modifikace anhydritu síranu vápenatého

Modifikace	Anhydrit III (A III)	Anhydrit II (AII)	Anhydrit I (A I)
krystalová soustava	hexagonální	rhombická	kubická
termodynamická stabilita	< 40 °C	40 – 1 180 °C	> 1 180 °C
formy	$\beta$ -A III $\beta$ -A III' $\alpha$ -A III	A II-s (pomalu rozpustný) A II-u (nerozpustný) A II-E (Estrichová sádra)	
syntetické podmínky (teplota [°C], atm. tlak)	$\alpha$ -A III, $\beta$ -A III (50 a vakuum nebo 100 a atm. tlak) $\beta$ -A III' (100 a suchý vzduch)	200 – 1 180	> 1 180
výrobní teplota [°C]	$\beta$ -A III a $\beta$ -A III': 290 $\alpha$ -A III: 110	300 – 900 A II-s : < 500 A II-u: 500 – 700 A II-E: > 700	komerčně se nevyrábí

Druhy  $\alpha$ -sádry dosahují výrazně vyšší pevnosti, ale při výrobě je nutné použít složitější technologie [2], [3].

I když oba typy jsou chemicky naprosto identické, liší se stupněm agregace (velikost krystalů, měrný povrch) a četností poruch v krystalové mřížce. Značně rozrušená mřížka  $\beta$ -sádry jí umožňuje rychleji reagovat s vodou. Oba typy krystalizují v pseudorombické soustavě [4].

V tomto článku se budeme podrobněji zabývat  $\beta$ -energosaádro, protože její výroba je technologicky méně náročná. Jde o perspektivní materiál, který může najít širší uplatnění ve stavebních aplikacích. Energosaádra, stejně jako ostatní sádrová pojiva na stejné bázi, se skládá z hemihydrátu síranu vápenatého a několikaprocentního podílu anhydritu a nečistot. Nečistoty obsažené v sádrovém pojivu (převážně  $\text{CaCO}_3$ ) se při hydratačním procesu projeví snížením hydratačního tepla [ $\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$ ]. Množství anhydritu se projeví ve velikosti prvního maxima hydratačního výkonu, protože anhydrit při hydrataci reaguje nejprve na hemihydrát, podle rovnice (2), a následně se zpožděním na dihydrát [2],



Obsah nečistot v sádrovém pojivu je dán kvalitou, resp. čistotou, vstupní suroviny – sádrovce (dihydrátu síranu vápenatého). Zde pak můžeme rozlišovat mezi přírodními sádrovci, kde záleží na čistotě těžené suroviny a způsobu jejího čištění, chemosádrovci s příměsí chemického původu, které vznikají při výrobě, a již zmiňovaným energosaádrovce, kde je čistota dána také kvalitou vstupních surovin a technologií výroby. Obsah  $\beta$ -anhydritu  $\text{CaSO}_4$  III v sádrovém pojivu je pak dán způsobem výroby – technologií a teplotou ohřevu [3]. V literatuře je fáze  $\beta$ -anhydrit III označována jako rozpustný anhydrit. Podrobnosti jednotlivých modifikací anhydritu jsou uvedeny v tab. 1, sestavené podle [2].

Dále bude prezentována jednoduchá metoda pro oddělení hydratačního tepla  $\beta$ -anhydritu  $\text{CaSO}_4$  III od hydratačního tepla  $\beta$ -hemihydrátu  $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$  při záznamu průběhu hydratačního výkonu v čase. Z rozdílu hydratačního tepla reakcí (1) a (2) je pak možné určit obsah anhydritu ve studovaném sádrovém pojivu. Druhá část článku se zabývá průběhem hydratace anhydritu ze sádry téhož původu jako v předcházející části. Anhydrit je uměle vyroben dehydratací dihydrátu v laboratorních podmínkách. Problematika hydratace anhydritu na dihydrát je řešena s ohledem na potřebu znalostí o časovém průběhu reakcí při tuhnutí směsí anhydritu a  $\beta$ -hemihydrátu. Směsí  $\beta$ -hemihydrátu síranu vápenatého a anhydritem jsou běžné suroviny pro výrobu sádrokartónových a sádrovláknitých příček a dalších sádrových výrobků.

## Metody

Závislost hydratační reakce na čase se měřila kalorimetrem KC 01 [5], který byl použit k izotermnímu měření tepelného výkonu při laboratorní teplotě. Specifikace navážek je uvedena u experimentálních výsledků. Záznam výstupního napětí byl uložen v měřicí ústředně COMET MS2. Kalibrace kalorimetru byla provedena Joulovým teplem generovaným stejným proudem na odporu 10 k $\Omega$ .

Množství anhydritu bylo stanoveno jednoduchou metodou založenou na oddělení průběhu hydratace  $\beta$ -anhydritu III a hemihydrátu. Reakce se přisuzuje prvnímu maximum na záznamu hydratačního výkonu, které nastává téměř ihned po přidání vody k sádrovému pojivu. Druhý pík nastává se zpožděním a popisuje vývoj tepla při hydrataci hemihydrátu na dihydrát. Oddělení průběhu prvního maxima (přeměny  $\beta$ -anhydritu III na hemihydrát) a určení množství  $\beta$ -anhydritu A III bylo vypočteno na základě znalosti hydratačního tepla [2]. Pro podrobnější zkoumání chování  $\beta$ -A III jsme vyrobili tuto látku v laboratorních podmínkách.

## Materiály a vzorky

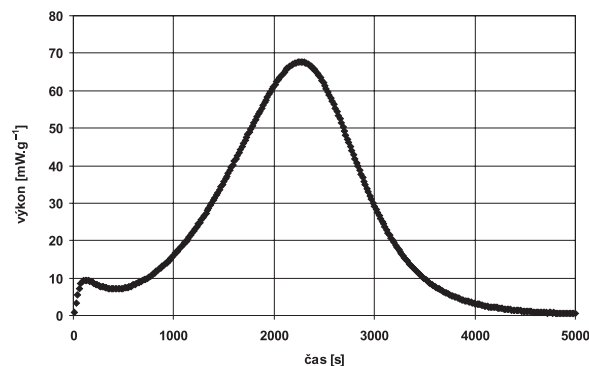
Obsah a průběh hydratační reakce  $\beta$ -anhydritu  $\text{CaSO}_4$  III byl určován na vzorcích energosádry vyrobené z energosádrovce v elektrárně Počerady. Toto sádrové pojivo bylo podle ČSN 72 2301 [6] zaříděno jako G-13 B III. V prvním případě byly zkoušeny vzorky hemihydrátu dodávané výrobcem, ve druhém případě byl anhydrit vyroben laboratorně. Základní surovinou pro výrobu  $\beta$ -anhydritu III byl tedy také mletý dihydrát (energosađrovec), podle informací výrobce je jeho čistota okolo 98 %. Anhydrit byl vypálen z dihydrátu při teplotě 350 °C po dobu 240 minut. Poté byl vyjmut z pece a umístěn do exsikatoru se silikagelem, tj. do prostředí s relativní vlhkostí vzduchu blízkou nule. Před výpalem byl dihydrát předsušen v laboratorních podmínkách při teplotě 25 °C a relativní vlhkosti 50 %. Ztráta výpalem (25 % hm.) odpovídá teoretickému množství vody, resp. stechiometrickému rozdílu hmotnosti dvou molekul vody (2  $\text{H}_2\text{O}$ ) mezi anhydritem a dihydrátem. Obsah dihydrátu v surovině, udávaný výrobcem, byl v souladu se zkouškou dehydratace dihydrátu na  $\beta$ -anhydrit III při 350 °C, kde bylo nalezeno 95,9 % sádrovce. Nečistoty tvořily Fe 0,029 %, Mg 0,066 % a nezureagovaný  $\text{CaSO}_3$ . Obsah Ca byl 53,2 %.

## Výsledky a diskuze

### Hydratace hemihydrátu síranu vápenatého na dihydrát

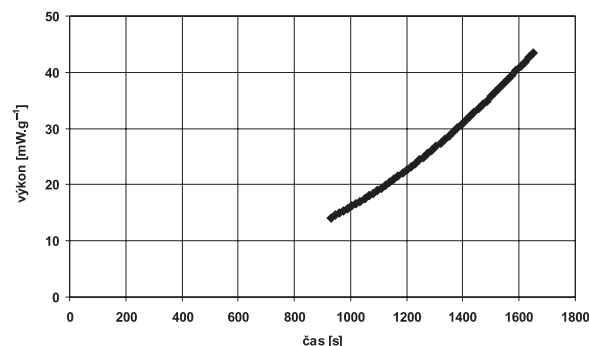
Průběh hydratačního výkonu, resp. vývoje hydratačního tepla energosádry, je prezentován na obr. 1. Závislost se měřila kalorimetrem KC 01 při laboratorní teplotě  $25 \pm 1$  °C.

V tomto případě navážku tvořily 2 g energosádry, přidání 1,256 g vody trvalo přibližně 20 s. Na obrázku je patrné první maximum, které podle [7] přísluší právě hydrataci  $\beta$ -anhydritu  $\text{CaSO}_4$  III na hemihydrát. Tato reakce začíná okamžitě po přidání vody k sádrovému pojivu. Současně, na počátku s malým zpožděním a pomaleji, probíhá hydratace  $\beta$ -hemihydrátu  $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$  na dihydrát až do druhého maxima v čase a je ukončena přibližně po 90 minutách.

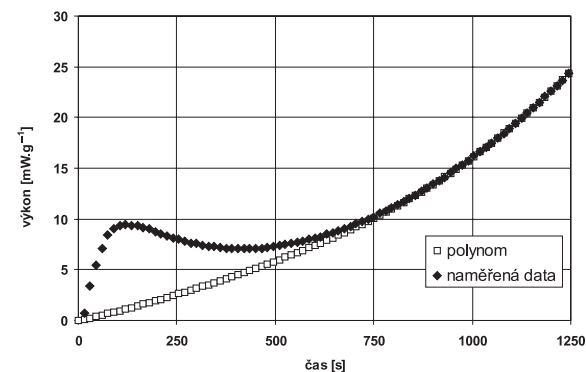


Obr. 1. Průběh hydratačního tepla při hydrataci 1 g energosádry

K oddělení průběhu hydratačního výkonu  $\beta$ -anhydritu III z celkového průběhu jsme proložili naměřenou závislost hydratačního výkonu mezi dvěma body (zde v čase 930 s a 1 650 s z obr. 1) polynomem pátého stupně (obr. 2). Polynom vystihuje v daném intervalu uvedenou závislost se spolehlivostí  $R^2 = 0,999\ 986$ .



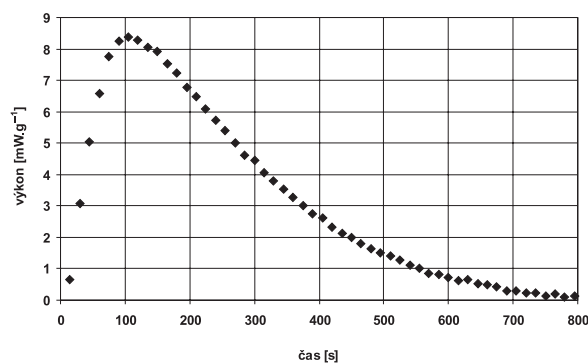
Obr. 2. Polynom 5. stupně pro aproximaci průběhu hydratačního výkonu



Obr. 3. Počátek průběhu hydratačního tepla a aproximovaná data pomocí polynomu 5. stupně

Počátek průběhu hydratačního tepla a aproximovaná data, která byla získána pomocí polynomu 5. stupně, uvádí obr. 3.

Polynom prochází počátkem a tvoří hranici mezi průběhem hydratace  $\beta$ -hemihydrátu  $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$  a  $\beta$ -anhydritu  $\text{CaSO}_4$  III. Jestliže odečteme od naměřeného průběhu hydratačního tepla aproximovaná data získaná pomocí polynomu, dostaneme průběh samotné hydratační reakce  $\beta$ -anhydritu  $\text{CaSO}_4$  III. Oddělený průběh hydratačního výkonu anhydritu v závislosti na čase je na obr. 4. Maximum je přibližně 2 minuty po přidání vody k sádrovému pojivu. Hmotnostní obsah anhydritu byl vypočten z množství uvolněného tepla určeného integrací závislosti na obr. 1 s využitím hodnot hydratačního tepla z [2]. Obsah anhydritu v sádre byl v našem případě stanoven na 1,45 % hm.

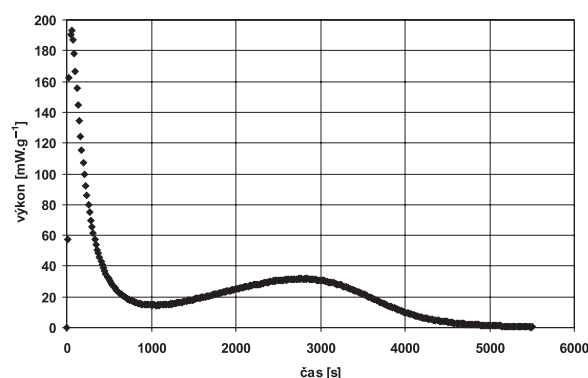


Obr. 4. Oddělený průběh hydratačního tepla odpovídající hydrataci  $\beta$ -anhydritu  $\text{CaSO}_4$  III na hemihydrát

Při definici oddělovací funkce se vyskytují určité nejistoty, například při určení hraničních bodů aproximačního polynomu. Při prokládání hranice přímkou a kružnicí jsme našli obsahy anhydritu poměrně blízké hodnotám nalezeným pomocí polynomu. Ke zpřesnění získaných výsledků byly proto realizovány další experimenty, ve kterých byl změřen časový průběh hydratace samotného anhydritu III získaného termicky z  $\beta$ -hemihydrátu  $\text{CaSO}_4$ . Navržená metoda může sloužit k orientačnímu stanovení obsahu anhydritu v energosádře, která neobsahuje dihydrát nebo nečistoty.

#### Hydratace anhydritu síranu vápenatého na dihydrát

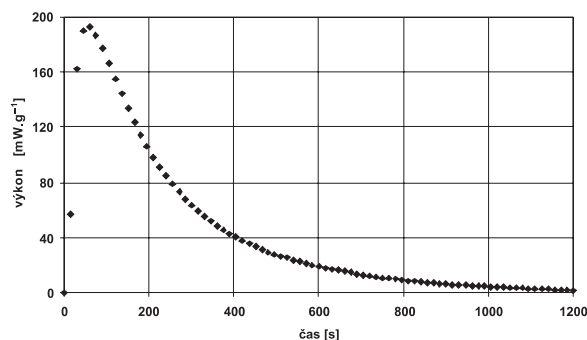
Vzorek  $\beta$ -anhydritu III o hmotnosti 0,5 g byl vložen do reakční nádoby kalorimetru a společně s vodou (vodní součinitel 1) v injekční stříkačce umístěn do kalorimetru na vytemperování až do dosažení rovnovážného stavu celé soustavy. Měření probíhalo po přidání vody (maximálně 20 s) k anhydritu. Průběh hydratace vyrobeného  $\beta$ -anhydritu III je uveden na obr. 5. První velké maximum popisuje reakci vysoce reaktivního  $\beta$ -anhydritu III, která nastala ihned po přidání vody do nádoby s pojivem. Během několika desítek sekund



Obr. 5. Typický průběh hydratace laboratorně vyrobeného anhydritu

se rozpustil a došlo k jeho hydrataci na hemihydrát. Maximum 192 mW nastalo za 60 s po přidání vody, poté došlo k obdobně rychlému poklesu jako při vzestupu, až do času 14 minut, kde se nachází bod, který odpovídá minimu 15,5 mW. Dále byl pozorován opětovný nárůst hodnot až do druhého maxima 33,6 mW pro čas 2 800 s, pak průběh klesal až do nulových hodnot v čase 4 800 s (1,5 h).

Z průběhu jsme se pokusili oddělit pouze ten, který odpovídá hydrataci ve vodě dobře rozpustného  $\beta$ -anhydritu III na málo rozpustný hemihydrát. K oddělení jsme opět použili aproximační polynom třetího stupně procházející počátkem, jak již bylo popsáno ( $R^2 = 0,998$ ). Oddělený průběh hydratačního výkonu je na obr. 6.



Obr. 6. Oddělený průběh hydratace anhydritu na hemihydrát

Druhé maximum odpovídá hydrataci hemihydrátu na dihydrát, která probíhala kvůli malé rozpustnosti hemihydrátu ve vodě podstatně pomaleji (obr. 5). Hydratační teplo, měřené při 21 °C, bylo vypočteno ze tří zkoušek. Výsledky získané integrací křivky jednotlivých průběhů jsou uvedeny v tab. 2, kde jsou pro porovnání citovány hodnoty hydratačního tepla podle [2] a [8], popř. dopočty hodnot, které v tabulce nejsou.

Tab. 2. Hydratační teplo

Hydratace	Naměřené	Podle [2], [8]
	[J.g <sup>-1</sup> ]	
$\beta$ -A III na HH	77 ± 10	63
HH na DH	109 ± 10	112
$\beta$ -A III na DH	186 ± 4	175

Velikost hydratačního tepla reakce hemihydrátu na dihydrát byla vypočtena jako rozdíl hydratace průběhu  $\beta$ -anhydritu III na  $\beta$ -hemihydrát a  $\beta$ -anhydritu III na dihydrát. Obdobně byla určena velikost hydratačního tepla  $\alpha$ -anhydritu na hemihydrát z literatury. Je nutné ovšem poznamenat, že hydratační tepla uváděná Wirschingem [2] jsou podle Eipeltauera [9] určena pomocí rozpouštěcí diferencní kalorimetrie synteticky připravených  $\beta$ -anhydritu III, hemihydrátu a dihydrátu v dvoumolární kyselině chlorovodíkové -11,7 %.

#### Závěr

V článku byl popsán průběh hydratace  $\beta$ -anhydritu III  $\text{CaSO}_4$  laboratorně vyrobeného z dihydrátu (energosaďrovice) záznamem závislosti tepelného výkonu na čase. Na průběhu reakce byla dobře patrná samostatná velice rychlá hydratace  $\beta$ -anhydritu III na hemihydrát a následná pomalejš

ší hydratace hemihydrátu na dihydrát. Naměřené hodnoty hydratačního tepla se shodují v rámci chyb měření s údaji udávanými v literatuře.

Popsaný průběh hydratačních procesů objasňuje výskyt prvního maxima při hydrataci hemihydrátu (energósádry) na dihydrát. První maximum vývoje hydratačního tepla odpovídá přítomnosti malého množství  $\beta$ -anhydritu III. Ve velmi krátké době dochází k jeho rozpuštění a hydrataci na hemihydrát. Veškerý hemihydrát pak reaguje na dihydrát ve druhé fázi hydratace.

**Článek vznikl za podpory výzkumného záměru MŠMT MSM: 6840770031.**

### Literatura

- [1] Kašník, F.: Výroba sádry v ČSSR a možnost dalšího rozvoje. In: Sádra ve stavebnictví, Brno, Československá vědecko-technická společnost, 1967, s. 4–27.
- [2] Wirsching, F.: Calcium Sulfate. In: Ullmanns Encyclopedia of Industrial Chemistry, Vol. 6, Weinheim, Wiley-VCH Verlag 1983, pp. 90–94.
- [3] Wirsching, F.: Drying and Agglomeration of Flue Gas Gypsum. In: The Chemistry and Technology of Gypsum, Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 1984, pp. 161–174.
- [4] Škvára, F.: Sádrové maltoviny, Technologie anorganických pojiv I, Část 2. Vzdušné maltoviny, ostatní anorganická pojiva, technologické výpočty. Praha, VŠCHT, 1995, s. 120–145.
- [5] Tydlitát, V. – Tesárek, P. – Černý, R.: Vliv přísad na vývoj tepla při hydrataci sádry. [Sborník], 27. mezinárodní český a slovenský kalorimetrický seminář, Svratka, 2005, s. 157–163.
- [6] ČSN 72 2301 Sádrová pojiva – Klasifikace, Všeobecné technické požadavky, Zkušební metody. ČSN, 1979.
- [7] Fischer, H. B. – Nowak, S. – Ostradecký, I.: Změny vlastností alfa a beta sádry při uložení ve vlhkém prostředí. [Sborník], „Sádra 2005“, Brno, s. 12–16.
- [8] Hlaváč, J.: Základy technologie silikátů. Praha, SNTL 1998, s. 442.
- [9] Eipeltauer, E.: Die Bedeutung kalorimetrischer Messungen für die Gipszeugung und Gipsprüfung. Zement-Kalk-Gips, 9, 1956, s. 501–505.

**Tydlitát, V. – Tesárek, P. – Mňahončáková, E. – Černý, R.: Calorimetric Determination of the Amount of Anhydrite III in Gypsum Binder**

**This paper presents calorimetric measurements of the amount of  $\beta$ -anhydrite  $\text{CaSO}_4$  III in the gypsum binder. For the verification of the measured results, this form of anhydrite is also prepared artificially in laboratory conditions and its hydration heat is determined by the calorimetric method.**

**Tydlitát, V. – Tesárek, P. – Mňahončáková, E. – Černý, R.: Kalorimetrische Bestimmung des Gehalts von Anhydrit III im Gipsbindemittel**

**Im Artikel werden kalorimetrische Messungen des Gehalts von  $\beta$ -Anhydrit  $\text{CaSO}_4$  III im Gipsbindemittel angeführt. Zur Überprüfung der gewonnenen Ergebnisse wird diese Form des Anhydrits auch künstlich unter Laborbedingungen hergestellt und seine Hydrationswärme kalorimetrisch bestimmt.**

## ● rekonstrukce

### Gröbeho vila

Dvoupatrová vila ve stylu italské renesance vznikala v letech 1871 až 1888 jako letní sídlo průmyslníka Gröbeho. Autorem projektu byl Antonín Barvitiuss, interiéry navrhl Josef Schulz. Fasádu pod střechem budovy zdobí pás fresek s motivy dětí, v přízemí domu se nachází prostorná terasa spojená dvouramenným schodištěm s vlnicí. Z přízemní terasy se nabízí neopakovatelný výhled na jižní část Prahy. Okolí vily tvoří rozlehlý anglický park. V roce 1905 vilu i okolní stavby odkoupila Vínohradská obec. Bombardování v zimě 1945 a následný požár stavbu značně poničily, roku 1952 byla opravena a sloužila jako Dům pionýrů a mládeže. Úpravy v sorealistickém stylu však nebraly zřetel na historickou hodnotu architektury.



V současnosti jsou objekty ve správě Městské části Praha 2. V roce 2001 vyhrála výběrové řízení na kompletní rekonstrukci a využívání objektu Vily Gröbovka a Dolní Landhausky obecně prospěšná společnost CEELI Institut, o. p. s. První etapa rekonstrukce byla zahájena počátkem roku 2003, nejprve v přízemí, a v roce 2004 i v prvním patře. Renovovaná část objektu je využita jako vzdělávací centrum pro soudce, právníky a právní reformátory ze zemí celého světa.

Celková obnova areálu Havlíčkových sadů začala opravou viničního altánu v roce 2002. Během současné rekonstrukce vily byly restaurátorsky ošetřeny a navráceny do původní podoby malby a sgrafita vlysu korunní římsy, malby v nikách na východní a západní části fasády, kamenné a zděné prvky a kovové mříže zábradlí teras a balkonů. Rekonstruovány byly pouze ty prvky, kde se dochoval originál nebo detailní archivní dokumentace. Ostatní části byly navrženy v soudobém jednoduchém pojetí s důrazem na perfektní detail.

**Investor: CEELI Institut, o. p. s**

**Zhotovitel: Skanska CZ, a. s.**

**Architekt: Design Arcom, s. r. o. – Ing. arch. Hedvika Hronová, Ing. arch. Michal Hron, autorská spolupráce Ing. arch. Branka Čokorilo, Ing. arch. Stanislava Váchová**

## Kompozitní materiál na bázi energosádry

*Ing. Pavel TESÁREK, Ph. D.  
Ing. Eva MĚNAHONČÁKOVÁ, Ph. D.  
RNDr. Vratislav TYDLITÁT, DrSc.  
prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha*

**Článek pojednává o novém kompozitním materiálu na bázi energosádry, který vznikl úpravou sádrového pojiva pomocí plastifikátoru, hydrofobizační přísady a polypropylenových vláken. U tohoto materiálu byly zjišťovány základní, mechanické, tepelné a vlhkostní vlastnosti, které pak byly porovnány s vlastnostmi naměřenými na referenční neupravené sádře a sádře upravené pouze plastifikátorem nebo hydrofobizační přísadou.**

### Úvod

V pracích [1], [2] byly publikovány výsledky výzkumu zaměřeného na úpravu užitných vlastností energosádry. Pro zlepšení mechanických, tepelných a vlhkostních parametrů byla energosádra upravována pomocí přísad. Ke zlepšení mechanických vlastností byla hledána vhodná plastifikační přísada, podobně byla ve snaze omezit negativní účinek vlhkosti na vlastnosti zatvrdlé sádry hledána hydrofobizační přísada. V obou případech se podařilo najít přísady, které lze uplatnit při úpravách vlastností energosádry vyráběné v elektrárně Počeradý společnosti ČEZ. Vytypované přísady sice určité vlastnosti zlepšily, jiné však negativně ovlivnily. Typickým příkladem bylo použití hydrofobizační přísady, která sice zpomalila pronikání vlhkosti do materiálu, ale zároveň způsobila výrazné zhoršení mechanických vlastností, konkrétně pevnosti v tlaku a v tahu za ohybu. Logickým pokračováním uvedených výzkumných prací je hledat kombinaci přísad, v našem případě plastifikačních a hydrofobizačních, najít jejich optimální poměr v sádrovém pojivu a použít plniva či vláknovou výztuž. Pak již můžeme hovořit o vytváření kompozitních materiálů.

Kompozitní materiály na bázi sádry jsou v zahraničí často označovány jako GBGM (Gypsum-Based Composite Materials). Jeden z takovýchto materiálů byl ověřován v Mexiku [3]. Sádrové pojivo bylo upraveno pomocí styren-butadien latexu (SBR) v poměru latexu a sádry 0,05 : 0,20. Měřena byla objemová hmotnost, ohybová pevnost, modul pružnosti. Vliv latexu na mikrostrukturu se sledoval elektronovým mikroskopem ESEM. Výsledky byly porovnávány s hodnotami zjištěnými na neupravené sádře.

Colak [4] upravoval sádrovou zpěňovacími přísadami. Na podporu reakce používal kyselinu citrónovou jako retardér a karboxymethylcelulosu (CMC) jako přísadu zvyšující viskozitu na podporu pěny a vytváření plynu při reakci. U hotových výrobků porovnával objemovou hmotnost a pevnost v tlaku. Tazawa [5] u sádropolymerových kompozitů, které byly nejdříve vakuovány, a poté impregnovány methylnetakrylátem (MMA) a azobisisobutyronitrilem v podobě lázně po dobu 20 hodin při 60 °C, porovnával ohybovou pevnost, pevnost v tlaku a modul pružnosti.

Pro zlepšení mechanických vlastností se do sádry většinou přidávají vlákna, která vyztužují matici. Důležitá je jejich

tloušťka a délka, soudržnost s maticí, rozmístění v matici a jejich orientace. Obecně je známé používání vláken skleněných (nárůst pevnosti v tahu za ohybu je až o 65 %) a polyamidových (nárůst o 75 % při délce vlákna 10 mm a 5 % hm.). Nejčastěji se používají vlákna polypropylenová o tloušťce několika mikrometrů nebo skleněná typu E-glass o délce 3 až 40 mm [6]. Sádrokartónové desky také obsahují určité množství skleněných vláken [7], [8].

Další úpravy vkládáním polymerních materiálů prováděli Bijen a Plas [9], kteří vyztužili sádro skleněnými vlákny typu E-glass (až 13 % hm. matrice) a upravovali pojivo, jímž byla v tomto případě  $\alpha$ -sádra, polymery typu Forton na bázi akrylového polymeru. Jeden se vyrábí přímo pro použití v sádrovém pojivu, druhý se přidává do cementu. Dalšími složkami byly plastifikátor – melamin, retardér tuhnutí, katalyzátor a přísada zabraňující pění. Pro tři materiály s různým složením se zjišťovala objemová hmotnost a závislost pevnostních charakteristik (ohybová pevnost, pevnost v tahu a dlouhodobé únavové namáhání) při proměnlivém uložení – vliv teploty a vlhkosti. S tímto materiálem, označeným v Nizozemí jako Forton-Jesmonite PGRG (Polymer-Modified Glass Fiber Reinforced Gypsum), se počítá i pro aplikace v exteriéru.

Materiály s vláknovou výztuží se v zahraničí zabývalo několik dalších výzkumných týmů, např. Singh a Garg [10] zkoumali materiál na bázi fosfosádry s přidavkem strusky/popílku a cementu/vápna. Jeden z materiálů, označený jako WRGB, vyztužovali vlákny  $\varnothing$  8 až 10  $\mu$ m délky 50 mm a dávkováním 4 % hm. Zkoumaly se snímky skleněného vlákna po zatížení teplotou. Byl zjištěn dobrý kontakt mezi vlákny a maticí. Yu-Fei [11] měřil na stěnových panelech ze sádry vyztužené skleněnými vlákny pevnost v tlaku, modul pružnosti, součinitel teplotní délkové roztažnosti a požární odolnost. Fudali a kol. [12] vyztužovali sádrové panely skleněnými vlákny a měřili ohybovou pevnost.

Guozhong a kol. [13] používali bavlněná vlákna pro vyztužení materiálu na bázi sádra/struska a měřili modul pružnosti, pevnost v ohybu suchého a mokrého vzorku, vlhkostní absorpční součinitel vody. U sádrovláknitých desek, kde bychom mohli hledat jistou analogii, jsou plniva nedílnou součástí finálního výrobku. Například desky FERMACELL jsou vyráběny ze sádry vyztužené vlákny z recyklovaného papíru. Do sádrokartónových desek se jako plnivo přidává drcený odpad vzniklý při jejich výrobě [7].

Chung a Zheng [14] zkoumali elektrický odpor uhlíkových vláken v kompozitním materiálu na bázi sádry. Tento materiál obsahoval  $\alpha$ -sádro, uhličitán vápenatý (3 % hm.), portlandský cement (5 % hm. sádry) a již zmíněná vlákna délky 3 mm a  $\varnothing$  12  $\mu$ m. Jako další přísady byly použity kyselina citrónová 0,05 % (retardér), síran hlinitý 0,5 % (přísada pro zvýšení pevnosti), vodní součinitel byl 0,34. Měřil se elektrický odpor v závislosti na množství vláken a přísadách. Singh a Garg [15] vyztužovali upravenou sádro skleněnými vlákny a určovali např. objemovou hmotnost, ohybovou pevnost v závislosti na čase, pevnost v tahu a součinitel tepelné vodivosti. Taha [16] stabilizoval sádro portlandským

cementem (do 11 % hm.) a určil modul pružnosti, objemovou hmotnost a pevnost v tlaku.

V Polsku se prováděly pokusy s materiálem, který obsahoval v různých hmotnostních koncentracích fosfosádry (30–70 %), popílek (15–70 %), vápno (5–15 %), písek (do 65 %) a vodní sklo. Na vzorcích se zkoumaly především mechanické vlastnosti v závislosti na poměru jednotlivých složek [17]. Další možností je např. výroba desek na bázi dřevosádra tloušťky 10,0–11,5 mm, kde se k sádře přidává dřevěná hmota ve formě třísek z odpadního dřeva. Při množství třísek 10–15 % hm. bylo dosaženo podobných mechanických vlastností, jaké mají sádrokartónové desky [18], [19]. Kumar [20] vyvíjel levný stavební materiál ve formě cihel (FaL-G) a panelů na bázi popílku, vápna a fosfosádry; množství sádry se pohybovalo od 5 do 30 % hm. Porovnával pevnost v tlaku v závislosti na čase a teplotě, nasákavost a objemovou hmotnost. Podle jeho výsledků se sádra chovala lépe jako pojivo než vápno.

Colak [21] upravoval sádro latexem, a to až do poměru 10 % hm. (latex/sádra), a zároveň měnil i hodnotu vodního součinitele. Měřil objemovou hmotnost, pórovitost, pevnost v tlaku a tahu, dobu tuhnutí. Klein a von Ruffer [22] přidávali do sádry hydratované vápno pro snížení expanze při jejím tuhnutí. Murat a Attari [23] upravovali sádro jílovými minerály, jako je kaolin, metakaolin, Ca-montmorilonit, muskovit, mastek, a jako další přísadu použili křemenný písek. Uvedli také pevnost v ohybu a tlaku v závislosti na přísadě, její koncentraci, času a vlhkosti prostředí. Singh a Garg [24] zkoumali směsné sádrové pojivo odolné proti vodě; tento materiál se skládal z fosfosádry, strusky, portlandského cementu a organického retardéru. Dále porovnávali s běžným sádrovým pojivem objemovou hmotnost, nasákavost, pH a pevnost v tlaku v období 1 až 28 dní. Nový materiál neměl jen výrazně lepší vlhkostní vlastnosti, ale dosahoval vyšší pevnosti. Verbeek a du Plessis [25] zkoumali kompozitní materiál na bázi fosfosádry, do kterého byl přidán vermikulit, fenolformaldehydová pryskyřice a katalyzátor. Po vytvoření směsi byly vzorky lisovány tlakem 1 MPa.

Jak je vidět, zlepšením užitných vlastností sádry se zabývalo relativně velké množství výzkumných týmů na celém světě. Věnovaly se však vždy pouze specifické problematice a rozsáhlejší sada parametrů nových kompozitních materiálů na bázi sádry nebyla v žádném z citovaných případů stanovena. Bez širších znalostí mechanických, tepelných a vlhkostních vlastností není ovšem možné uvažovat o výraznějším uplatnění materiálů a výrobků na bázi sádry. Znalost základních parametrů materiálů je nezbytná např. při návrhu obvodového pláště na bázi energosádry a komplexní analýze funkčnosti obvodového pláště [26].

## Metody

Použité metody je možné rozdělit do dvou úrovní. První sloužila k výběru vhodné kombinace plastifikátoru (Melement F 4000, Peramin SMF 20) [1] a hydrofobizační přísady (Imesta IBS 47, Zonyl 301 a Zonyl 9027) [2] v sádrové směsi a určení množství polypropylénových vláken. Ve druhé úrovni byly stanoveny mechanické, tepelné a vlhkostní vlastnosti dvou vytvářených směsí (s těmito vlákny a bez nich) a následně porovnány s vlastnostmi vzorků z neupravené energosádry.

Základními vlastnostmi, podle kterých se vybíraly perspektivní přísady pro úpravu vlastností energosádry, byly mechanické vlastnosti – pevnost v tahu a pevnost v tlaku – a nasákavost. Mechanické vlastnosti se ověřovaly v souladu s ČSN 72 2301 [27]. Zkouška pevnosti v tahu za ohybu se provádě

děla na normových těliscích o rozměrech 40 x 40 x 160 mm standardním tříbodovým ohybem. Pevnost v tlaku byla stanovena na zlomcích tělísek po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu, zatěžovací plocha lisu byla 40 x 40 mm. Nasákavost byla stanovena klasickým trojrozměrným experimentem. Vzorky byly uloženy do plastové nádoby s horní plochou 1 cm pod hladinou vody. Následně se vzorek v pravidelných intervalech vyjímal z lázně a vážil až do ustálení hmotnosti.

Ve druhé části prací byly detailně stanoveny mechanické, tepelné a vlhkostní vlastnosti upravené sádry. Pevnost v tahu za ohybu a v tlaku se určovala v intervalech: 2 hodiny, 1 den, 3 dny, 7 dní, 14 dní a 28 dní. Při této zkoušce se také sledovala vlhkost vzorků. Zkouška se prováděla na zařízení WPM 100 kN, rozsah stupnice 0–20 kN [1]. Výsledná pevnost v tlaku jedné sady (tří vzorků) byla vypočtena jako aritmetický průměr výsledků šesti zkoušek po vyloučení největší a nejmenší hodnoty.

Objemová hmotnost, hustota matrice a otevřená pórovitost byly stanoveny využitím experimentu s vakuovou pumpou a stanovením Archimédovy hmotnosti, pro kontrolu byla objemová hmotnost stanovena vážením a měřením lineárních rozměrů vzorků. Součinitel tepelné vodivosti, měrná objemová tepelná kapacita a součinitel teplotní vodivosti byly ověřovány pomocí přístroje ISOMET 2104. Měření bylo provedeno na krychlích s hranami 70 mm pro několik vlhkostních stavů, aby bylo možné stanovit závislost těchto parametrů na obsahu vlhkosti ve vzorcích. Z vlhkostních vlastností v hygroskopické oblasti byl určen pomocí stacionární metody cup bez teplotního spádu (s prostředím 5/30 % a 35/90 % relativní vlhkosti) faktor difúzního odporu vodní páry [28]. Sorpční a desorpční izoterma vlhkosti byla určena exsikátorovou metodou, přičemž byla simulována různá relativní vlhkost pomocí roztoků solí.

Z transportních parametrů kapalné vlhkosti byl stanoven součinitel absorpce vody a průměrná hodnota součinitele vlhkostní vodivosti v jednoduchém experimentu na vzorcích 50 x 50 x 25 mm. Vzorek na kovové konstrukci, izolovaný proti vodě a vlhkosti na čtyřech stěnách pláště, byl umístěn nad nádobu s vodou tak, aby jeho spodní čelo bylo ponořeno 2 mm pod hladinou. Konstrukce se vzorkem byla současně položena na vahách propojených s počítačem, umožňujícím automatickou registraci dat. V dalším experimentu byl stanoven součinitel vlhkostní vodivosti v závislosti na vlhkosti. Pro zjištění obsahu vlhkosti byla použita metoda založená na principu měření změny kapacity kondenzátoru [29], jehož dielektrikem je zkoumaný materiál. K měření byl použit kapacitní senzor, plošná sonda měla tvar deskového kondenzátoru s rozměry 20 x 40 mm, měřicí frekvence byla 250 až 350 kHz. Vlhkostní profily byly určeny při simulování jednorozměrného transportu vlhkosti v horizontální poloze, aby byl vyloučen vliv gravitace. Měření probíhalo na vzorcích izolovaných na všech stranách kromě obou čel po délce každých 5 mm. Poslední čtení bylo provedeno, když fronta vlhkosti dosáhla přibližně poloviny délky vzorku. Poté byl vzorek rozřezán a skutečné rozložení vlhkosti ve vzorku určeno gravimetrickou metodou. Ze získaných výsledků byla vytvořena kalibrační křivka. Souhrnná kalibrační křivka pro sádro byla určena z hodnot měření na šesti vzorcích, aby byla získána přesnější data. Vlhkostní profily byly potom určeny zpětně pomocí této kalibrační křivky. Součinitel vlhkostní vodivosti byl vypočítán z vlhkostních profilů Matanovou metodou [30].

## Materiály a vzorky

Energosádra z elektrárny Počerady se vyrábí z odpadního energosádrovce a je v současné době dostupná ve velkém

množství. Dalším argumentem pro její použití je i skutečnost, že jde o nízkoenergetický a ekologický materiál. Vodní součinitel voda/sádra pro referenční sadu S0 byl 0,627, což odpovídá normální konzistenci podle ustanovení [27]. V souladu s touto normou byla energosádra zaříděna jako pojivo G-13 B III.

Výroba vzorků se řídila instrukcemi normy [27]. Měření probíhalo v laboratorních podmínkách s teplotou  $25 \pm 1$  °C a relativní vlhkostí  $50 \pm 2$  %. Vzorky byly sušeny při maximální teplotě 40 °C. Ve spolupráci s VUT v Brně (tým prof. Rovnaníkové) byly vytypovány přísady a jejich nevhodnější kombinace v sádrové směsi společně s vodním součinitelem (tab. 1).

Tab. 1. Složení sádrových směsí

Materiál	Typ přísady/ Plnivo	Příspěvek/ Plnivo	Množství [% hm.]	Vodní součinitel
S0	–	–	–	0,627
S1	plastifikátor	Peramin SMF 20	0,5	0,500
S3	hydrofobizační	Imesta IBS 47	0,5	0,627
S6	plastifikátor	Peramin SMF 20	1	0,500
	hydrofobizační	Imesta IBS 47	1	
S7	plastifikátor	Peramin SMF 20	1	0,500
	hydrofobizační	Imesta IBS 47	1	
	polypropylénová vlákna	Fibrecrete	1	

Peramin SMF 20 je plastifikační přípravek, který bychom mohli označit jako „superplastifikátor“. Patří do skupiny výrobků na bázi melaminu, které se běžně používají do betonových směsí. Přípravek, dodávaný švédskou firmou PERSTORP AB jako prášek, se dává od 0,3 do 1,0 % hm. Podle technického listu je určen pro maltové směsi na bázi cementu nebo sádrovce a betonu. Nemá, resp. má jen velmi malý, retardační účinek. Pro sadu zkušebních těles S1 byl použit v koncentraci 0,5 % hm., pro sady S6 a S7 v koncentraci 1 % hm. Příslušné množství bylo přidáno k sádre a za sucha promícháno.

Imesta IBS 47 je hydrofobizační přísada od firmy IMESTA, Dubá u České Lípy. Přípravek je podle technického listu přímo určen k hydrofobizaci sádry a sádrových směsí. Má bílou barvu a zamíchává se do suché sádry před smísením s vodou. Dávkování výrobce stanoví 0,5–2,0 % hm. suché sádry. Tento přípravek byl použit pro výrobu směsí S3 v množství 0,5 % hm. a u sádrových směsí S6 a S7 1 % hm.

Do „finální“ sádrové směsi S7 byla přidána polypropylénová vlákna Fibrecrete výrobce STACHENA, Kolín. Vlákna  $\varnothing 18$   $\mu\text{m}$  a délky 4 mm jsou na povrchu lubrikována. Na stavbách se přidávají do čerstvé betonové směsi. V běžné dávce  $0,6 \text{ kgm}^{-3}$  je pak obsaženo více než 200 miliónů vláken. Podle výrobce brání vzniku smršťovacích trhlin v počátečních tuhnutí a tvrdnutí směsi, čímž zlepšují mrazuvzdornost, vodotěsnost a odolnost betonu vůči klimatickým a chemickým vlivům. Mají zvýšit lomovou a rázovou houževnatost a odolnost vůči únavovému namáhání a omezení obrusnosti povrchu. Polypropylénová vlákna byla přidána do směsi S7 v množství 1 % hm. suché směsi.

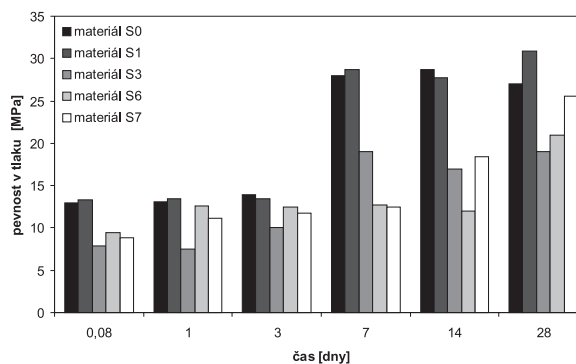
## Výsledky

Základní vlastnosti, konkrétně objemová hmotnost, hustota matrice a otevřená pórovitost, zkoumaných materiálů pro maximální sušící teplotu 40 °C jsou uvedeny v tab. 2. U materiálu S1 byla objemová hmotnost vyšší asi o  $100 \text{ kgm}^{-3}$  v porovnání s referenční sadou S0, otevřená pórovitost se u materiálu S1 naopak snížila. V porovnání s materiálem S0 se objemová hmotnost pro materiál S3 mírně snížila, ale otevřená pórovitost se zvýšila. U materiálů S6 a S7, kde by se měla do jisté míry projevit kombinace plastifikátoru a hydrofobizační přísady, došlo také k nárůstu objemové hmotnosti asi o  $100 \text{ kgm}^{-3}$  v porovnání s referenční sadou. Výraznější rozdíly se projeví u otevřené pórovitosti; tyto změny korespondují se změnami objemové hmotnosti, největší rozdíl byl mezi materiály S6 a S0.

Tab. 2. Porovnání základních vlastností

Materiál	Objemová hmotnost	Hustota matrice	Otevřená pórovitost [% objemu]
	[ $\text{kgm}^{-3}$ ]		
S0	1 170	1 900	38
S1	1 270	1 950	35
S3	1 100	1 900	42
S6	1 280	1 900	33
S7	1 265	1 880	33

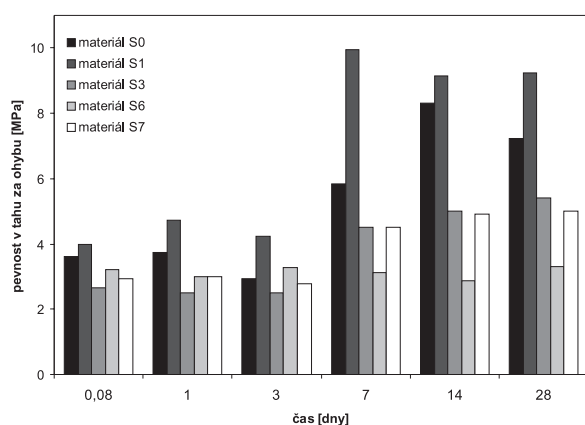
Základní mechanické vlastnosti – pevnost v tlaku a pevnost v tahu za ohybu – jsou uvedeny na obr. 1 a obr. 2. Z výsledků prezentovaných na obr. 1 je patrné, že u většiny materiálů se dvouhodinová, jednodenní a třídenní pevnost téměř neliší, pak dochází k výraznějšímu nárůstu. Pro materiály S0 a S1 se pevnost v tlaku zdvojnásobila. Poněkud jinak se chovaly materiály S6 a S7, kdy se dá podle získaných hodnot vysledovat časová závislost pevnosti v tlaku, která má vzrůstající tendenci ve sledovaném období.



Obr. 1. Pevnost v tlaku v závislosti na čase

U materiálu S1 s přidavkem plastifikátoru se zvýšila pevnost v tlaku v porovnání s neupravenou energosádrą (materiálem S0) po 28 dnech přibližně o 5 MPa. Naopak u materiálu S3 pevnost v tlaku v porovnání s referenčním materiálem klesla, 28denní pevnost se snížila o 8 MPa. Kombinace plastifikátoru a hydrofobizační přísady u materiálu S6, a hlavně S7, který obsahuje navíc polypropylénová vlákna, vedla ke zlepšení pevnosti v tlaku a 28denní pevnosti jsou nižší již jen o 6 MPa, resp. 1,5 MPa v porovnání s referenčním materiálem S0, což můžeme považovat za pozitivní jev.

Obdobně je na obr. 2 porovnána pevnost v tahu za ohybu v závislosti na čase pro zkoumané materiály. Zvolené intervaly jsou identické jako v předchozím obrázku. Můžeme pozorovat, že redukce vodního součinitele u materiálu S1 měla za následek zvýšení pevnosti v tahu za ohybu v porovnání s referenčním materiálem S0. Trendy nárůstu pevnosti v tahu za ohybu měly obdobný charakter jako u pevnosti v tlaku. Pro první tři měřené úseky byly hodnoty pro jednotlivé materiály téměř stejné. Pak následoval nárůst mezi 3. a 7. dnem; ten byl nejvyšší pro materiál S1, v porovnání s materiálem S0 se hodnota pevnosti v tahu za ohybu u tohoto materiálu po 28 dnech zvýšila o 2 MPa. Hydrofobizační přísada u materiálu S3 vedla ke snížení pevnosti v porovnání s referenčním materiálem, zde se pevnost v tahu za ohybu snížila asi o 2 MPa. U materiálu S6 došlo ještě k výraznějšímu poklesu, a to o 4 MPa. Kombinace plastifikátoru a hydrofobizační přísady zde neměla tak pozitivní vliv jako u pevnosti v tlaku. Jistého zlepšení bylo dosaženo u materiálu S7, který v porovnání s materiálem S6 obsahuje polypropylénová vlákna. Zde byla naměřena pevnost v tahu za ohybu o 2,2 MPa nižší než u referenčního materiálu S0.



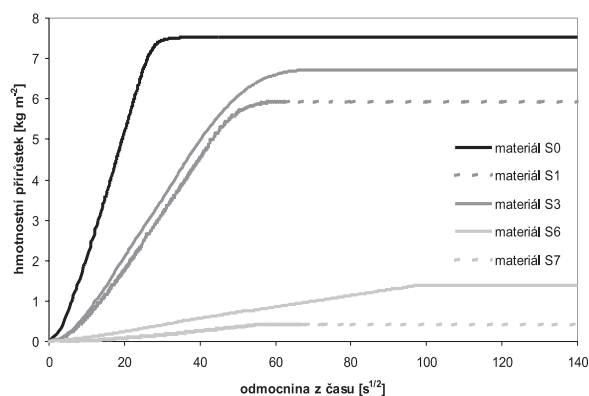
Obr. 2. Pevnost v tahu za ohybu v závislosti na čase

Z vlhkostních vlastností jsou na obr. 3 znázorněny výsledky získané při absorpčním jednorozměrném experimentu, které simulují chování materiálů při kontaktu s vodní hladinou. Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tab. 3. Porovnání s referenčním materiálem ukazuje, že přísady výrazným způsobem ovlivnily vlhkostní absorpční součinitel a průměrnou hodnotu součinitele vlhkostní vodivosti. U materiálu S1 měl plastifikátor pozitivní vliv, protože vlhkostní absorpční součinitel se snížil asi o polovinu a průměrná hodnota součinitele vlhkostní vodivosti se snížila asi na třetinu. V podstatě

Tab. 3. Vlhkostní vlastnosti

Materiál	Vlhkostní absorpční součinitel [kgm <sup>-2</sup> s <sup>-1/2</sup> ]	Průměrný součinitel vlhkostní vodivosti [m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]	Faktor difúzního odporu vodní páry [-]	
			5/30 % rel. vlhkosti	35/90 % rel. vlhkosti
S0	0,300	6,1 E-7	14,3	13,1
S1	0,138	1,6 E-7	14,2	13,2
S3	0,144	1,2 E-7	15,1	14,7
S6	0,017	2,7 E-9	18,1	17,2
S7	0,009	7,6 E-10	18,5	17,5

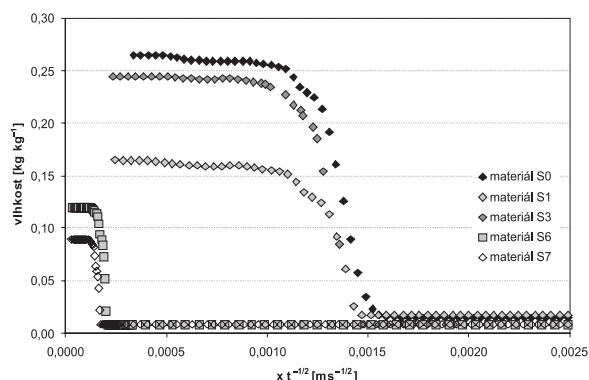
podobné výsledky byly zjištěny u materiálu s hydrofobizační přísadou S3. Výraznější pozitivní snížení vlhkostních vlastností bylo zjištěno u materiálů S6 a S7 v porovnání s referenčním materiálem, kde došlo k redukci vlhkostního absorpčního součinitele o jeden až dva řády a k redukci průměrné hodnoty součinitele vlhkostní vodivosti o dva a tři řády.



Obr. 3. Výsledky absorpčního experimentu

Hodnoty faktoru difúzního odporu vodní páry, naměřené pro dvě různá prostředí – 5/30 a 35/90 % relativní vlhkosti, jsou uvedeny v tab. 3. V porovnání s materiálem S0 byly téměř identické pro materiály S1 a S3, o 30 % vyšší pak byly u vzorků S6 a S7. Tyto trendy byly obdobné pro oba sledované stavy, mírně vyšší hodnoty byly naměřeny pro prostředí s relativní vlhkostí 5/30 %.

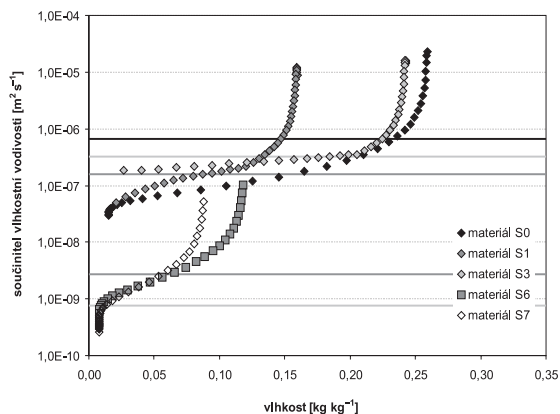
Vlhkostní profily, upravené pomocí Boltzmannovy transformace, jsou uvedeny na obr. 4. Po úpravě je možné porovnávat na svislé ose maximální hodnoty hmotnostní vlhkosti.



Obr. 4. Vlhkostní profily upravené pomocí Boltzmannovy transformace

Z výsledků je patrné, že maximální vlhkost byla v souladu s pórovitostí materiálů (tab. 2). Na vodorovné ose je ukázán postup vlhkosti materiálem. Jak je vidět, bylo dosaženo velice rozdílných výsledků. Do poloviny délky vzorku, 150 mm, dorazila vlhkost u referenčního materiálu S0 za několik hodin, u materiálu S7 to trvalo asi 10 dní. Porovnání součinitele vlhkostní vodivosti v závislosti na hmotnostní vlhkosti je uvedeno na obr. 5. U materiálů S6 a S7 došlo proti referenčnímu S0 ke snížení hodnot součinitele vlhkostní vodivosti o dva řády. Průměrné hodnoty součinitele vlhkostní vodivosti z tab. 3 jsou uvedeny na obr. 5.

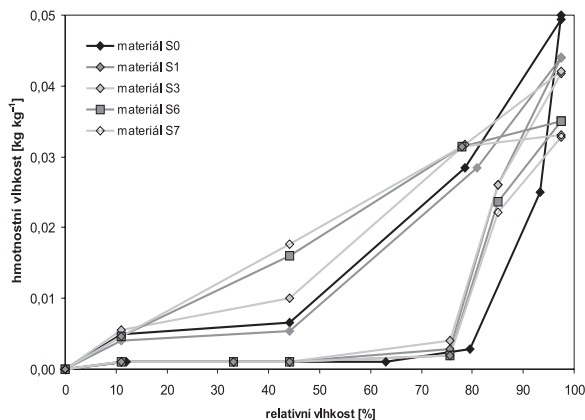




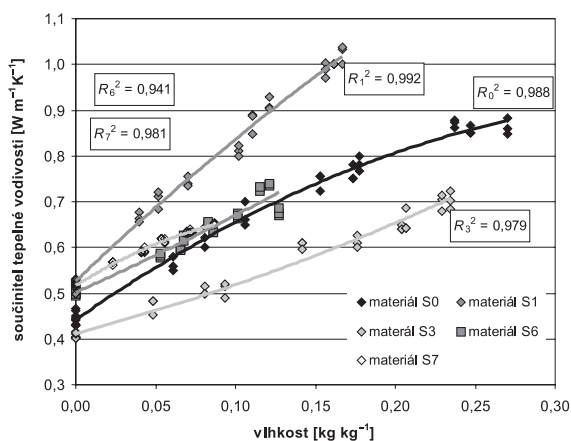
Obr. 5. Součinitel vlhkostní vodivosti

Při měření sorpčních izoterm vlhkosti, uvedených na obr. 6, bylo zjištěno, že materiál S0 absorboval maximálně  $0,05 \text{ kg kg}^{-1}$ , u ostatních byla tato hodnota ještě nižší – nejnižší pro S7. U ostatních materiálů, kromě S1, se zvýšily hodnoty desorpčních izoterm vlhkosti v porovnání s materiálem S0. Z tepelných vlastností je na obr. 7 nejprve porovnávána závislost součinitele tepelné vodivosti na hmotnostní vlhkosti.

Z výsledků je patrné, že průběh závislosti součinitele tepelné vodivosti na vlhkosti ve sledované oblasti nemá vždy přímkový charakter. Nejpřesnější vyjádření je pomocí regresní křivky ve tvaru polynomu druhého stupně. U refe-



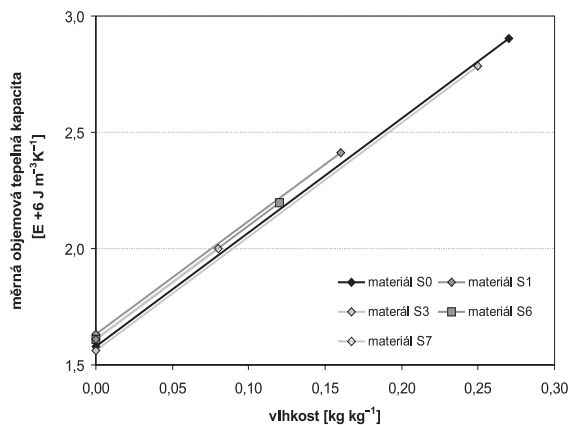
Obr. 6. Adsorpční a desorpční izotermny vlhkosti



Obr. 7. Závislost součinitele tepelné vodivosti na hmotnostní vlhkosti

renčního materiálu S0 a materiálu S7 je tato závislost konkávního charakteru a u ostatních konvexního, resp. téměř přímkového. Hodnoty spolehlivosti  $R^2$  se pohybují mezi 0,941 až 0,992. Také je zřejmé, že maximální hodnoty součinitele tepelné vodivosti jsou závislé na vlastnostech materiálu, resp. jeho schopnostech akumulace vody. Z hlediska těchto průběhů se pak nejlépe při porovnání s referenční sadou S0 chová materiál s hydrofobizační přísadou S3. Horší vlastnosti pak vycházejí u upravených materiálů S6 a S7 a ještě nepříznivější jsou pro materiál S1 s plastifikátorem. U referenčního materiálu se hodnota součinitele tepelné vodivosti, naměřená při nulové vlhkosti, zvýšila asi na dvojnásobek, u ostatních materiálů je tomu také přibližně tak.

Hodnoty měrné objemové tepelné kapacity v závislosti na hmotnostní vlhkosti jsou uvedeny na obr. 8. Všechny závislosti mají přímkový charakter, protože byly počítány podle směšovacího pravidla z hodnot naměřených v suchém stavu. Hodnocení dosažených výsledků je stejné jako v předchozím případě. Maximální hodnoty jsou také závislé na příslušné hmotnostní vlhkosti. Pro větší názornost jsou v tab. 4 uvedeny základní tepelné vlastnosti, které odpovídají uložení materiálu v laboratorním prostředí s relativní vlhkostí  $50 \pm 2 \%$  a teplotou  $25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Obr. 8. Závislost měrné objemové tepelné kapacity na hmotnostní vlhkosti

Tab. 4. Základní tepelné vlastnosti, přirozený stav

Materiál	Součinitel tepelné vodivosti [ $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ ]	Měrná objemová tepelná kapacita [ $\text{J m}^{-3} \text{K}^{-1}$ ]
S0	0,43	1,58 E+6
S1	0,53	1,63 E+6
S3	0,40	1,56 E+6
S6	0,51	1,61 E+6
S7	0,50	1,61 E+6

## Diskuze

Základní vlastnosti – objemová hmotnost a otevřená pórovitost – byly ovlivněny především vodním součinitelem. U materiálů S1, S6 a S7 s plastifikační přísadou Peramin SMF 20 byl tento efekt patrný, protože v porovnání s materiálem S0 se zvýšila objemová hmotnost, otevřená pórovitost se naopak snížila. Opačného efektu bylo dosaženo po přidání hydrofobizační přísady u materiálu S3.

U pevnosti v tlaku a v tahu za ohybu se projeví vlivy popsané u základních vlastností, kde se zvyšující se hodnotou otevřené pórovitosti klesaly mechanické charakteristiky. Dalším vlivem byl efekt hydrofobizačních přísad, které díky specifickým vlastnostem obecně snižují pevnost materiálů. U materiálů S6 a S7 šlo o kombinaci obou vlivů. Zvýšené množství plastifikátoru (v porovnání s materiálem S1) redukovalo negativní vliv vyššího množství hydrofobizační přísady (materiál S3). V porovnání s materiálem S3 byla pak pevnost téměř stejná a u materiálu S7, který navíc obsahoval polypropylénová vlákna, byla 28denní pevnost vyšší.

Jedním z rozhodujících činitelů u vlhkostních vlastností byl druh a množství přísady, které ovlivnily základní vlastnosti – především otevřenou pórovitost. S nižší hodnotou pórovitosti se zlepšovaly parametry transportu kapalné vlhkosti, to platí pro materiál S1 v porovnání s materiálem S0. U materiálu S3 pak šlo o vliv hydrofobizační přísady na úpravu pojiva, u materiálu S3 (při použité koncentraci 0,5 % hm.) nebyl tento vliv výrazný. U materiálů S6 a S7 došlo opět ke kombinaci vlivu plastifikátorů a hydrofobizačních přísad. Stejná hydrofobizační přísada jako u materiálu S3, ale v dvojnásobné koncentraci (1,0 % hm.) a v kombinaci se sníženou hodnotou otevřené pórovitosti, výrazným způsobem zpomalila transport kapalné vlhkosti při simulaci jedno-rozměrného absorpčního experimentu, to je zřetelné při porovnání hodnot absorpčního koeficientu a průměrné hodnoty součinitele vlhkostní vodivosti. Tyto výsledky potvrzují i naměřené vlhkostní profily a průběh součinitele vlhkostní vodivosti v závislosti na hmotnostní vlhkosti. Při porovnání průměrného součinitele vlhkostní vodivosti a součinitele vlhkostní vodivosti v závislosti na vlhkosti je patrné, že se tyto průběhy pro materiály, které nejlépe vedou vodu (S0 a S3), protínají ve vyšší hodnotě, než je tomu pro ostatní materiály, které lépe brání pronikání kapalné vlhkosti.

Faktor difúzního odporu vodní páry zůstal pro srovnatelná prostředí pro materiály S0, S1 a S3 téměř stejný, z toho je patrné, že úprava tento parametr neovlivnila. Vyšší hodnoty v porovnání s referenčním S0 byly naměřeny pro materiály S6 a S7. Při transportu plynné vlhkosti měla rozhodující vliv hydrofobizační přísada v kombinaci se sníženou hodnotou otevřené pórovitosti.

Průběh a hodnoty sorpčních a desorpčních izoterm vlhkosti byly opět závislé na základních vlastnostech a přísadách. U vzorků s hydrofobizační přísadou došlo ke snížení maximální hodnoty nasorbované vlhkosti, přičemž nejvýraznější byl tento efekt u materiálu S7. To je nepochybně pozitivní výsledek. Tvar desorpční izoterm u těchto materiálů však byl méně příznivý než u referenčního S0. To je pravděpodobně dáno hydrofobizační přísadou, ale i velikostí pórů a jejich tvarem, z těchto důvodů pak resorbovaly tyto materiály v porovnání s materiálem S0 méně vlhkosti.

Výsledky ověřování tepelných vlastností korespondovaly s hodnotami otevřené pórovitosti. Tepelné vlastnosti se zlepšovaly s rostoucí hodnotou otevřené pórovitosti. Studované parametry se zhoršovaly také vlivem zvyšující se hmotnostní vlhkosti. Při celkovém hodnocení vlivu přísad je na základě měření vlastností upravené sádry a jejich porovnání s vlastnostmi referenční sádry možno formulovat následující závěry. U použitého plastifikátoru PERAMIN SMF 20 (materiál S1, S6 a S7) byla nalezena vhodná koncentrace a možnost kombinace s hydrofobizační přísadou Imesta IBS 47. Se změnou základních vlastností po přidání plastifikační přísady byly pozitivně ovlivněny mechanické vlastnosti, zlepšeny byly i vlhkostní vlastnosti v oblasti transportu kapalné vody, i když ne příliš výrazným způsobem. Zhoršeny byly naopak tepelné vlastnosti.

U hydrofobizačních přípravků se ukázalo, že praktické aplikace při úpravě vlhkostních vlastností energosádry má i hydrofobizační přísada IMESTA IBS 47 (materiály S3, S6 a S7), i když při koncentraci 0,5 % hm. (materiál S3) byl vliv na vlhkostní vlastnosti nepatrný, toto řešení se neukázalo příliš vhodným. Pokles součinitele vlhkostní vodivosti upraveného materiálu byl výrazně nižší než u dalších dvou hydrofobizačních přípravků [2]. Mechanické vlastnosti se zhoršily, ale ne tak výrazně jako u jiných typů hydrofobizačních přísad, to do jisté míry svědčí i o tom, že hydrofobizace u materiálu S3 nebyla příliš účinná.

Kombinace plastifikátoru PERAMIN SMF 20 a hydrofobizační přísady IMESTA IBS 47 u materiálu S6 vedla ve vyšších koncentracích (1 % hm.) výrazným způsobem ke zlepšení vlhkostních vlastností. Došlo ke snížení transportu i akumulace vlhkosti při zachování mechanických vlastností na přijatelné úrovni. V souladu se změnami základních vlastností se zhoršily tepelné parametry. Přidání polypropylénových vláken u materiálu S7 vedlo k dalšímu zlepšení mechanických a vlhkostních vlastností energosádry v porovnání s materiálem S6.

## Závěr

Z prezentovaných výsledků je patrné, že se podařilo najít přísady, kterými je možné výrazným způsobem upravovat užitné vlastnosti energosádry. Ukázalo se, že do jisté míry je možné upravovat sledované vlastnosti i vzájemnou kombinací jednotlivých přísad. Typickým příkladem je vliv plastifikátoru a hydrofobizační přísady. Polypropylénová vlákna se také osvědčila a může jít o perspektivní materiál pro úpravu především mechanických vlastností.

Předpokladem použití nových materiálů na bázi energosádry ve stavebnictví v širším měřítku, např. v již zmiňovaných obvodových pláštích, je nepochybně podrobnější analýza. Údaje prezentované v tomto článku ovšem mohou přispět k tomu, že např. počítačová simulace teplotně vlhkostního chování obvodového pláště může být reálným přínosem.

Článek vznikl za podpory projektu MPO ČR FT-TA 3/005.

## Literatura

- [1] Tesárek, P. – Jiříčková, M. – Černý, R. – Rovnaníková, P.: Mechanické, tepelné a vlhkostní vlastnosti energosádry modifikované plastifikátory. *Stavební obzor*, 15, 2006, č. 4, s. 114–117.
- [2] Tesárek, P. – Černý, R. – Rovnaníková, P.: Mechanické, tepelné a vlhkostní vlastnosti energosádry modifikované hydrofobizátory. *Stavební obzor*, 15, 2006, č. 5, s. 141–143.
- [3] Rubio-Avalos, J. C. – Manzano-Ramírez, A. – Luna-Bárceñas, J. G.: Flexural Behavior and Microstructure Analysis of Gypsum-SBR Composite Material. *Materials Letters* 59, 2005, pp. 230–233.
- [4] Colak, A.: Density and Strength Characteristics of Foamed Gypsum. *Cement and Concrete Composites* 22, 2002, pp. 193–200.
- [5] Tazawa, E.: Effect of Self-Stress on Flexural Strength of Gypsum-Polymer Composites. *Advanced Cement Based Materials* 7, 1998, pp. 1–7.
- [6] Kuplík, V.: Chování sádry v různých provozních podmínkách. [Sborník], seminář „Sádra v památkové péči“, Praha, STOP, 2002, s. 14–22.
- [7] Lejsek, L.: Využití sádry ve stavebnictví. [Sborník], seminář „Sádra ve stavebnictví“, Brno, ČSVTS, 1967, s. 28–48.
- [8] Tomasik, M.: Modyfikowanie spoiw gipsowych dodatkami. *Cement Wapno Gyps* 3, 1984, pp.78–83.

- [9] Bijen, J. – Van der Plas, C.: Polymer-Modified Glass Fibre Reinforced Gypsum. *Materials and Structures* 25, 1992, pp. 107–114.
- [10] Singh, M. – Garg, M.: Microstructure of Glass Fiber Reinforced Water Resistant Gypsum Binder Composites. *Cement and Concrete Research* 23, 1993, pp. 213–220.
- [11] Yu-Fei, W.: The Effect of Longitudinal Reinforcement on the Cyclic Shear Behavior of Glass Fiber Reinforced Gypsum Wall Panels: Tests. *Engineering Structures* 26, 2004, pp. 1633–1640.
- [12] Fudali, K. – Konopacka, D. – Gustaw, K.: Własności elementów gipsowych zbrojonych włóknem szklanym. *Cement Wapno Gips* 10, 1982, pp. 136–141.
- [13] Guozhong, L. – Yanzen, Y. – Zhongjian, Z. – Jaunquan, L. – Changchun, L.: Properties Study of Cotton Stalk Fiber/Gypsum Composite. *Cement and Concrete Research* 33, 2003, pp. 43–46.
- [14] Chung, L. D. D. – Zheng, Q. J.: Electronic Properties of Carbon Fiber Reinforced Gypsum Plaster. *Composites Science and Technology* 36, 1989, pp. 1–6.
- [15] Singh, M. – Garg, M.: Glass Fibre Reinforced Water-Resistant Gypsum-Based Composites. *Cement and Concrete Composites* 14, 1992, pp. 23–32.
- [16] Taha, R.: Environmental and Engineering Properties of Flue Gas Desulfurization Gypsum. *Transportation Research Record* 1424, 1990, pp. 14–19.
- [17] Quant, B. – Knop, M. – Sulek Z.: Kompozyt fosfogipsovy – nowy material v budownictwie. *Cement Wapno Gips* 3, 1989, pp. 36–38.
- [18] Olejarz, J. – Wójcik, M.: Możliwość wytwarzania płyt gipsowo-drzewnych. *Cement Wapno Gips* 7-8, 1983, pp. 202–204.
- [19] Kacer, T. – Dyczek, J. – Westfal, L.: Wiazanie gipsu zarobionego z wody technologiczna zawierajaca substancje organiczne z produktu płyt gipsowo drzewnych. *Cement Wapno Gips* 4-5, 1981, pp. 118–121.
- [20] Kumar, S.: A Perspective Study on Fly Ash-lime-gypsum Bricks and Hollow Blocks for Low Cost Housing Development. *Construction and Building Materials* 16, 2002, pp. 219–250.
- [21] Colak, A.: Characteristics of Acrylic Latex Modified and Partially Epoxy-Impregnated Gypsum. *Cement and Concrete Research* 31, 2001, pp. 1539–1547.
- [22] Klein, D. – von Ruffer, C.: Grundlagen zur Herstellung von Formengips. *Keramische Zeitschrift* 49, 1997, s. 275–281.
- [23] Murat, M. – Attari, A.: Modification of Some Physical Properties of Gypsum Plaster by Addition of Clay Minerals. *Cement and Concrete Research* 21, 1991, pp. 378–387.
- [24] Singh, M. – Garg, M.: Relationship between Mechanical Properties and Porosity of Water-resistant Gypsum Binder. *Cement and Concrete Research* 2, 1996, pp. 449–456.
- [25] Verbeek, C. J. R. – du Plessis, B. J. G. W.: Density and Flexural Strength of Phosphogypsum-polymer Composites. *Construction and Building Materials* 19, 2005, pp. 265–274.
- [26] Tesárek, P. – Maděra, J. – Rovnaníková, P. – Černý, R.: FGD Gypsum: A Building Material with Perspectives, [CD-ROM - sborník], konference „Research and Teaching of Physics in the Context of University Education“, Nitra: Slovenská poľnohospodárska universita v Nitre, 2005, pp. 39–42.
- [27] ČSN 72 2301 Sádrová pojiva – Klasifikace, Všeobecné technické požadavky, Zkušební metody. Praha, Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1979, 19 s.
- [28] prEN ISO 12572 Hygrothermal Performance of Building Material and Products- Determination of Water Vapour Transmission Properties. European standard, CEN April 2000.
- [29] Semerák, P. – Černý, R.: Kapacitní metoda pro měření vlhkostní vodivosti stavebních materiálů. *Stavební obzor*, 6, 1997, s. 102–103.
- [30] Drchalová, J. – Černý, R.: Non-Steady-State Methods for Determining the Moisture Diffusivity of Porous Materials. *Int. Comm. Heat and Mass Transfer* 25, 1998, pp. 109–116.

**Tesárek, P. – Mňahončáková, E. – Tydlitát, V. – Černý, R.: Composite Material on the Basis of Flue Gas Desulphurization Gypsum**

A new composite material on the basis of flue gas desulphurization gypsum which has been designed using modifications of gypsum binder by plasticizer, hydrophobizer and PP fibres is studied in the paper. Basic, mechanical, thermal and hygric properties of the material have been determined and compared with those of reference gypsum without any modifications and gypsum modified by either plasticizer or hydrophobizer only.

**Tesárek, P. – Mňahončáková, E. – Tydlitát, V. – Černý, R.: Kompositmaterial auf Basis von REA-Gips**

Der Artikel behandelt ein neues Kompositmaterial auf Basis von REA-Gips, das durch Modifikation des Gipsbindemittels mit Hilfe eines Plastifikators, eines Hydrophobierungszusatzes und Polypropylenfasern entstanden ist. Bei diesem Material wurden die grundlegenden, mechanischen, wärme- und feuchtigkeitstechnischen Eigenschaften festgestellt, die dann mit den Eigenschaften von nichtmodifiziertem und nur mit Plastifikator oder nur mit Hydrophobierungszusatz modifiziertem Referenzgips verglichen wurden.

Cena Siemens  
Werner von Siemens Excellence Award



Uzávěrka přihlášek do desátého ročníku soutěže společnosti Siemens o nejlepší diplomové, doktorské a výzkumné práce se blíží. Soutěžit lze v oborech zaměřených na výrobu energie, její přenos a rozvod, automatizační techniku, informační a komunikační technologie, mechatroniku, elektromagnetickou kompatibilitu, techniku ve vztahu k životnímu prostředí, dopravní techniku, medicínskou přístrojovou techniku a její aplikace, osvětlovací techniku, technologie budov. Cenu je možné udělit i za výjimečný přínos v jiných technických kategoriích. Vyhodnoceny budou čtyři diplomové práce, každá s odměnou 15 000 Kč, čtyři doktorské práce s odměnou po 20 000 Kč a výzkumný projekt s odměnou 70 000 Kč. Uzávěrka přihlášek je 31. října 2007.

[www.siemens.cz/cenasiemens](http://www.siemens.cz/cenasiemens)

# Vliv sušící teploty na vlastnosti zatvrdlé energosádry

## Tepelné a mechanické vlastnosti

Ing. Pavel TESÁREK, Ph. D.  
Ing. Eva MĚNAHONČÁKOVÁ, Ph. D.  
RNDr. Vratislav TYDLITÁT, CSc.  
prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

V článku je prezentován experimentální výzkum, který se zabývá vlivem sušící teploty na vlastnosti zatvrdlé energosádry. Porovnávány jsou režimy sušení s maximálními teplotami 40 °C a 80 °C a jejich vliv na základní a tepelné vlastnosti vzorků energosádry, jichž část je připravena v základní, neupravené podobě, a druhá část je modifikována přísadami.

### Úvod

Sádra je jedním z nejstarších stavebních materiálů, které lidstvo používá již několik tisíciletí. V současné době se používá v interiérových aplikacích především pro pomocné stavební práce nebo v podobě sádrových omítek, v posledních desetiletích potom při „suché“ výstavbě k výrobě sádrokartónových a sádrovláknitých desek. Důvody, proč se nepoužívá i v exteriérových aplikacích, souvisejí se stabilitou zatvrdlé sádry (sádrovce). Předpokládá se:

- že působením povětrnostních podmínek (relativní vlhkosti, deště, mrazu) se materiál rozpadne. Dojde k jeho postupné degradaci, což je typické i pro jiné stavební materiály;
- že její stabilita je do 40 °C. Všeobecně je přijímán názor, že nad touto teplotou dochází k rozkladu zatvrdlé sádry, která vznikla jako pevná struktura po smísení s vodou a zamíchání.

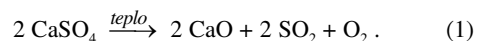
Následně se budeme tímto problémem zabývat. Závěry by mohly objasnit vliv teploty na stabilitu sádry a najít možnosti jejího širšího uplatnění, např. i v exteriérových aplikacích.

Teplotní stabilita soustavy síranu vápenatého a vody ( $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), resp. dvou sloučenin této soustavy, sádrovce – dihydrátu ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) a sádry – hemihydrátu ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ ), je spojena s chemicky vázanou a volnou vodou, která je jejich součástí. Třetí sloučenina – anhydrit ( $\text{CaSO}_4$ ) je již bez vody [1], [2]. Teplotní stabilita zatvrdlé sádry by se dala rozdělit podle aplikované teploty na dvě oblasti – první od 25 do 100 °C a druhou nad 100 °C. Hraniční teplota 100 °C souvisí s odpařováním volné vody z materiálu, což je obecně známý jev.

Věnujme se nyní v krátkosti oblasti teplotní stability zatvrdlé sádry nad 100 °C. Díky tomu, že zatvrdlá sádra má dobré tepelné vlastnosti a uvolňování chemicky vázané vody je endotermní reakce, probíhá dehydratace při teplotách nad 100 °C velice pomalu, a proto lze považovat sádru za nehořlavou (odolnou požáru). Po určitou dobu chrání tato reakce proti působení vysokých teplot a ohně [3]. Účinkem vysoké teploty na povrchu zatvrdlé sádry (resp. sádrovce) dochází k dehydrataci za vzniku vnitřní clony tvořené vodní párou. Teplota těchto míst pak nepřekročí 100 °C, dokud se neod-

paří veškerá voda, proto je tento proces velice pozvolný. Hmotnost 1 kg hydratované sádry obsahuje asi 210 cm<sup>3</sup> krystalové vody, která se při zahřívání uvolňuje. Po dehydrataci je sádra poréznější, čímž se zlepšuje její tepelné vlastnosti [4]. Mechanické vlastnosti (pevnost) se s rostoucí teplotou zhoršují, graf poklesu pevnosti v závislosti na teplotě uvedl Kupilík [5]. Je z něj patrné, že při zahřívání nad 100 °C dochází k prudkému poklesu pevnosti (asi o 46 %), při zvýšení na 200 °C se pevnost snižuje již o 60 % původní hodnoty, v rozmezí teplot 200–300 °C se začíná objevovat množství vlasových trhlin. Po dosažení 400 °C klesá pevnost na 39 % původního stavu, při teplotě 700 °C klesá již téměř na nulu.

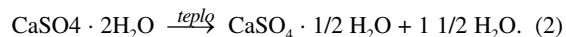
Odolnost sádry proti ohni lze zvýšit vláknitými komponenty nebo nanášením omítky na ocelové pletivo. Zabrání se rozpadu sádry po překročení teploty 900 °C, kdy dochází k rozkladu síranu vápenatého podle rovnice



Vznikající oxid vápenatý je schopen sekundární hydratace za značeného zvětšení objemu, které vede k úplnému rozpadu sádry. Popsané efekty se s úspěchem využívají v rámci protipožárních opatření, např. k ochraně ocelových a dřevěných konstrukcí pomocí sádrovláknitých a sádrokartónových desek.

V literatuře je uvedeno několik způsobů, jak určit stupeň hydratace síranu vápenatého, např. pomocí diferenčního kalorimetru bylo určováno množství sádrovce v sádrovém pojivu [6]. Několik prací se také věnuje počítačové simulaci dehydratace sádrokartónových desek při požáru, např. Bermiloudi and Le Meur [7], Ang a Wang [8]. Příčkovou konstrukci na bázi sádrokartónové desky na dřevěném roštu zkoumali Mehaffey a kol. [9]. Odolnost těchto desek při požáru může být zvýšena impregnací, např. na bázi metylpalmitanu (MeP) a metylstearanu (MeS) [10]. Hudson-Lamb a kol. [11] porovnávali experimentální měření a modely dehydratace sádry, resp. sádrovce.

Nyní se podíváme na chování zatvrdlé sádry (sádrovce) při teplotách do 100 °C. V tomto případě je podstatná teplota, na jakou se materiál ohřívá při sušení. Po překročení kritické teploty dochází k rozkladu (dehydrataci sádrovce na sádru), resp. dehydrataci dihydrátu na hemihydrát, podle vztahu



Rovnice však má platnost pouze v případě, že je z výchozího materiálu ohřevem odstraněna právě 1 1/2 H<sub>2</sub>O, tedy že z dihydrátu vzniká právě hemihydrát. Může ovšem nastat i situace, kdy je překročena teplota, při níž se začíná uvolňovat chemicky vázaná voda, ale neuvolní se celé množství 1 1/2 H<sub>2</sub>O a látka se dostává do stavu mezi dihydrátem a hemihydrátem.

Kritickou teplotou, kdy dihydrát (sádrovec) přestává být stabilní, je podle většiny pramenů teplota okolo 40 °C, např. Schulze a kol. [12] a Řičánek [13] uvádějí teplotu 42 °C. Šatava [14] se dlouhodobě zabýval vlastnostmi sádry a ověřoval sušení vzorků také při 40 °C. Tento názor ovšem není přijímán jednoznačně. Kupilík [5] ve svém článku uvádí převzatý příklad, znázorňující pokles pevnosti v tlaku při ohřevu až po 70 °C. Podle něho začíná proces dehydratace až nad 70 °C (158 °F). Stejnou teplotu uvádí i Wirsching [15]. Experimenty provedené diferenční teplotní analýzou (DTA) potvrzují, že je relativně obtížné oddělit chemickou a volně vázanou vodu. Ve výsledcích se pro vzorky sušené na teplotu pod 80 °C objevují dva píky, které je relativně složité oddělit, podrobněji viz Turk a Bounini [16]. Stejní autoři porovnávali evropské i světové národní a regionální normy, které se zabývají sušicí teplotou nutnou pro odstranění volné vody v dihydrátu. „Normové“ teploty se pohybují mezi 35 a 50 °C. Faktory ovlivňujícími výrazným způsobem odstranění volné vody jsou chemické a fyzikální vlastnosti vzorku a prostředí, v němž je sádra sušena.

ČSN EN ISO 12 570 [17] specifikuje teploty sušení pro stavební materiály při určení hmotnostní vlhkosti vzorků. Sušení při 40 ± 2 °C je určeno pro materiály, u nichž může vyšší teplota vést k uvolnění krystalizační vody (sádra). Podle ČSN EN ISO 12 859 [18] se sádrové tvárnice suší až do ustálení hmotnosti, což je podle definice hmotnost, která se po dalších 24 h nemění o více než 0,1 %. Pro vysušení stanovuje tato norma dvě metody – při první jsou vzorky uloženy ve větrané místnosti při teplotě 23 ± 2 °C a relativní vlhkosti 50 ± 5 %, druhá spočívá v uložení při teplotě 40 ± 2 °C.

Problémy s aplikací sádry v exteriéru jsou spojeny s teplotním rozkladem sádrovce a souvisejí s předpokladem, že teplota na povrchu stěn budov může překročit působením slunečního záření kritických 40 °C.

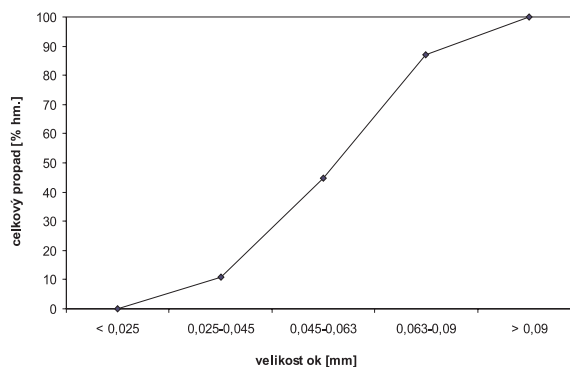
## Metody

Pro ověření vlivu sušicího režimu vzorků byly naměřeny a porovnány základní a tepelné vlastnosti. Ze základních vlastností to byla objemová hmotnost, otevřená pórovitost a hustota matrice získaná sycením vzorků vodou pod vakuem a jejich vážením pod vodní hladinou. U vzorků vyrobených ze sádrových směsí s hydrofobizačními přísadami byly určeny měření a vážením. Tepelné vlastnosti (součinitel tepelné vodivosti a měrná objemová tepelná kapacita) se ověřovaly multifunkčním přístrojem ISOMET 2104 [19].

## Materiály, vzorky a sušicí režimy

Energosádra (β-sádra), vyráběná z odpadního energosádrovce v elektrárně Počerady, byla podle ČSN 72 2301 [20] zaříděna jako G-13 B III [21]. Výsledky síťového rozboru za sucha uvádí obr. 1. Ve spolupráci s týmem prof. Rovnákové z Ústavu chemie Fakulty stavební VUT v Brně byly vytipovány nevhodnější přísady a plniva a jejich koncentrace v sádrové směsi. Společně s vodním součinitelem pak bylo navrženo složení směsí (tab. 1). Jako přísady byly použity dva plastifikátory a tři hydrofobizační přípravky, zkoumán byl jejich vliv na sádrové pojivo.

**Peramin SMF 20** (PERSTORP AB, Švédsko) je plastifikační přípravek, který bychom mohli zařadit do skupiny „superplastifikátorů“. Patří do skupiny výrobků na bázi melaminu, které se běžně používají i do betonových směsí. Dodává se v prášku a dává se v množství 0,3 až 1,0 % hm. Podle technického listu výrobce je přípravek určen pro maltové



Obr. 1. Síťový rozbor energosádry

směsi na bázi cementu nebo sádrovce a betonu. Nemá, resp. má jen velmi malý retardační účinek. Pro sadu zkušebních těles S1 byl použit v koncentraci 0,5 % hm. Příslušné množství plastifikátoru bylo přidáno k sádře a za sucha promícháno.

Tab. 1. Složení sádrových směsí

Materiál	Typ přísady	Název přísady	Množství [% hm.]	Vodní součinitel
S0	–	–	–	0,627
S1	plastifikátor	Peramin SMF 20	0,5	0,5
S2	plastifikátor	Melment F 4000	0,2	0,5
S3	hydrofobizační přísada	Imesta IBS 47	0,5	0,627
S4	hydrofobizační přísada	Zonyl 9027	5% roztok	0,627
S5	hydrofobizační přísada	Zonyl 301	5% roztok	0,627

Práškový **Melment F 4000** (DEGUSSA CONSTRUCTION POLYMERS GmbH, Trostberg, Německo) je také „superplastifikátor“ na bázi melaminu. Výrobek je určen k plastifikaci a redukcí vodního součinitele u materiálů na bázi cementu a pro sádrová a anhydritová pojiva. Doporučené dávkování podle výrobce je 0,2–2,0 % hm. Pro sadu zkušebních těles S2 bylo do sádry přidáno 0,2 % hm. plastifikátoru a za sucha promícháno.

**Imesta IBS 47** je hydrofobizační přísada od české firmy stejného jména (IMESTA, Dubá u České Lípy). Přípravek je podle technického listu přímo určen k hydrofobizaci sádry a sádrových směsí. Dodává se ve formě bílého prášku, který se zamíchává do suché sádry před smísením s vodou. Dávkování výrobce stanoví v množství 0,5–2,0 % hm. suché sádry. Přípravek byl použit pro výrobu směsí S3 v koncentraci 0,5 % hm.

**Zonyl 9027** je druhým hydrofobizačním přípravkem (DU PONT, USA) ve formě roztoku. Podle výrobce vytváří ochrannou povrchovou clonu odpuzující oleje a vodu pro porézní materiály typu kámen, dlaždice, malty a beton. Pro směs S4 byl přípravek aplikován jako 5% roztok v záměsové vodě.

**Zonyl 301** (DU PONT) ve formě roztoku je určen především pro velmi porézní materiály. Ve směsi S5 byl tento

hydrofobizační přípravek aplikován jako 5% roztok v záměsové vodě.

Všechny vzorky zatvrdlé sádry byly vyrobeny v souladu s technologickým postupem stanoveným normou. Sádrová kaše s přísadami, vytvořená ručním mícháním metličkou s pěti smyčkami, byla nalita do kovových forem natřených ochranným prostředkem. Takto přímo byla odlita většina vzorků. Další vzorky byly na potřebné rozměry upraveny řezáním a broušením, čtyři týdny uloženy v konstantních laboratorních podmínkách s teplotou  $23 \pm 1$  °C a relativní vlhkostí  $40 \pm 2$  %, a teprve následně na nich probíhalo měření.

Podrobněji je nutno popsat problém určení suchého stavu materiálu, tedy stavu s nulovou vlhkostí, konkrétně teploty pro vysoušení vzorků. Problém teplotní stability sádry, resp. sádrovce, byl již rozebrán v úvodu, kde jsou popsány dva názory na sušící teplotu. Pro měření bylo tedy nezbytné stanovit počáteční podmínky, tj. teplotu pro dosažení suchého stavu vzorků. I s ohledem na prozkoumání variantních řešení bylo rozhodnuto použít vzorky dvou různých teplotních režimů vysoušení – pracovně označených jako teplota sušení 80 °C a 40 °C. Jde o maximální teplotu použitou při sušení vzorků.

První skupina vzorků (teplota sušení 80 °C) byla vysoušena v týdenních cyklech s postupným zvyšováním teploty. Počáteční teplota byla první týden 40 °C, pak 60 °C, a nakonec 80 °C. U druhé skupiny vzorků byla použita sušící teplota 40 °C.

## Výsledky experimentů

Základní vlastnosti zkoumaných materiálů (objemová hmotnost, hustota matrice a otevřená pórovitost) pro teplotu sušení 80 °C a 40 °C jsou uvedeny v *tab. 2* a *tab. 3*. Při tep-

Tab. 2. Základní vlastnosti (teplota sušení 80 °C)

Materiál	Objemová hmotnost	Hustota matrice	Otevřená pórovitost
	[kgm <sup>-3</sup> ]		[% objemu]
S0	1 019	2 530	60
S1	1 124	2 495	55
S2	1 089	2 577	58
S3	998	2 530	61
S4	962	2 530	62
S5	930	2 530	63

Tab. 3. Základní vlastnosti (teplota sušení 40 °C)

Materiál	Objemová hmotnost	Hustota matrice	Otevřená pórovitost
	[kgm <sup>-3</sup> ]		[% objemu]
S0	1 170	1 900	38
S1	1 270	1 950	35
S2	1 250	1 935	35
S3	1 100	1 900	42
S4	1 060	1 900	44
S5	1 120	1 900	41

lotě sušení 80 °C (*tab. 2*) došlo v porovnání s neupraveným materiálem S0 ke změně objemové hmotnosti pro vzorky S1 a S2, tedy materiály, které obsahují plastifikační přísady. Redukce vodního součinitele z hodnoty 0,627 na 0,500, tedy asi o 20 %, se projevila zvýšením objemové hmotnosti asi o 10 %. Opačný trend mělo použití hydrofobizačních přísad u materiálů S4 a S5, při zachování hodnoty vodního součinitele 0,627 u nich došlo k mírnému poklesu objemové hmotnosti v porovnání s referenčním materiálem, především pak u materiálu S5.

U materiálu S3 nebyla hydrofobizace příliš účinná, a proto jsou hodnoty podobné jako pro S0. Hustota matrice, měřená v experimentu vakuovou pumpou, je stejná pro materiály S0, S1 a S2 – zjištěné rozdíly jsou v rámci chyby měření (10 %). Tento výsledek potvrzuje i vhodnost použité metody a skutečnost, že hydrofobizace nesplnila stanovený účel. Obdobné efekty byly pozorovány i u otevřené pórovitosti. Obecně lze konstatovat, že použití plastifikátorů vedlo k poklesu otevřené pórovitosti v porovnání s referenčním materiálem u materiálu S1 asi o 10 %. Pro materiály S3, S4 a S5 jsou hodnoty otevřené pórovitosti nepatrně vyšší než u S0.

Z porovnání výsledků základních vlastností je možno odvodit vliv použitých přísad na další parametry, především na mechanické a tepelné, ale důležitou roli mohou sehrát i v oblasti vlhkostních vlastností. Pro materiály vysušené při 40 °C bylo dosaženo výsledků uvedených v *tab. 3*. U materiálů S1 a S2 při teplotě sušení 40 °C byla objemová hmotnost vyšší asi o 100 kgm<sup>-3</sup> v porovnání s referenční sadou S0. U sad S3 až S5 došlo naopak ke snížení. Hustota matrice pro materiály, u kterých byla vypočtena z experimentu s vakuovou pumpou (S0 až S2), byla téměř stejná. Výraznější rozdíly se projeví u otevřené pórovitosti – tyto změny korespondují se změnami objemové hmotnosti.

Při srovnání sušících teplot 80 a 40 °C (*tab. 2, tab. 3*) je zřejmé, že pro vzorky vysušené při 80 °C jsou hodnoty objemové hmotnosti nižší, otevřená pórovitost vyšší a hustota matrice také vyšší v porovnání pro stejné materiály, které byly vysušeny při 40 °C. Vyšší otevřená pórovitost by mohla nasvědčovat, že byla již odbourána (částečně, nebo zcela) chemicky vázaná voda, resp. 1 1/2 H<sub>2</sub>O. Tím došlo ke zvětšení objemu pórů, a tím také klesla objemová hmotnost. Se změnou těchto základních vlastností se předpokládá, že dojde k výrazným změnám i u ostatních vlastností.

U referenčního materiálu S0 byla naměřena objemová hmotnost 1 019 kgm<sup>-3</sup> pro teplotu sušení 80 °C, materiály firmy GYPSTREND [22] uvádějí objemovou hmotnost tvárnic z lité sádry 840–1130 kgm<sup>-3</sup>, podle ČSN 73 0540-3 je objemová hmotnost sádrokartónu 750 kgm<sup>-3</sup>. Podobně je tomu u otevřené pórovitosti 60 % pro materiál S0, kde Klein a von Ruffer [23] uvedli hodnotu otevřené pórovitosti 55 % pro sádru s vodním součinitelem 0,67 až 0,72. Získané hodnoty jsou tedy ve shodě s výsledky uváděnými v literatuře pro materiály se sádrovým pojivem.

Z tepelných vlastností jsou v *tab. 4* a *tab. 5* uvedeny hodnoty součinitele tepelné vodivosti a měrné objemové tepelné kapacity pro oba sušící režimy. Hodnoty v *tab. 4* byly ověřeny pro vzorky vysušené a volně uložené v laboratorním prostředí s relativní vlhkostí  $50 \pm 2$  % a teplotou  $23 \pm 1$  °C po dobu tří měsíců. Z *tabulky 4* je patrné, že po vystavení teplotě 80 °C jsou základní tepelné vlastnosti vzorků téměř stejné pro většinu materiálů. Rozdíly jsou v rámci chyby měření, která je v tomto případě 10 %. Výraznější rozdíly nenastaly ani po vystavení vzorků prostředí s relativní vlhkostí 50 %. Jinak je tomu v *tab. 5*, kde jsou uvedeny výsledky naměřené na přirozeně vlhkých vzorcích materiálů sušených při teplotě 40 °C, uložených v laboratorním prostředí

s teplotou  $23 \pm 1$  °C a relativní vlhkostí  $50 \pm 2$  %. Zde se zřetelně projevil vliv přísad na základní vlastnosti z tab. 3. Obecně lze konstatovat, že s rostoucí otevřenou pórovitostí se zlepšovaly tepelné vlastnosti.

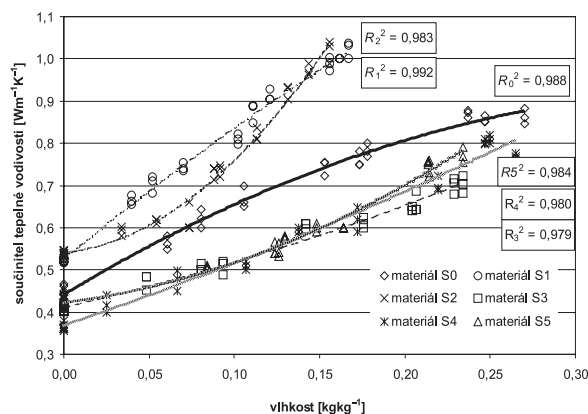
Tab. 4. Součinitel tepelné vodivosti a měrná objemová tepelná kapacita

Materiál	Součinitel tepelné vodivosti [Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]		Měrná objemová tepelná kapacita [Jm <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup> ]	
	suchý vzorek	50 % rel. vlhkosti	suchý vzorek	50 % rel. vlhkosti
S0	0,21	0,22	1,48 E+6	1,49 E+6
S1	0,22	0,22	1,50 E+6	1,50 E+6
S2	0,22	0,23	1,51 E+6	1,50 E+6
S3	0,22	0,22	1,48 E+6	1,48 E+6
S4	0,22	0,21	1,45 E+6	1,46 E+6
S5	0,2	0,21	1,46 E+6	1,46 E+6

Tab. 5. Součinitel tepelné vodivosti a měrná objemová tepelná kapacita, přirozený stav (teplota sušení 40 °C)

Materiál	Součinitel tepelné vodivosti [Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]		Měrná objemová tepelná kapacita [Jm <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup> ]	
	suchý vzorek	50 % rel. vlhkosti	suchý vzorek	50 % rel. vlhkosti
S0	0,21	0,22	1,48 E+6	1,49 E+6
S1	0,22	0,22	1,50 E+6	1,50 E+6
S2	0,22	0,23	1,51 E+6	1,50 E+6
S3	0,22	0,22	1,48 E+6	1,48 E+6
S4	0,22	0,21	1,45 E+6	1,46 E+6
S5	0,2	0,21	1,46 E+6	1,46 E+6

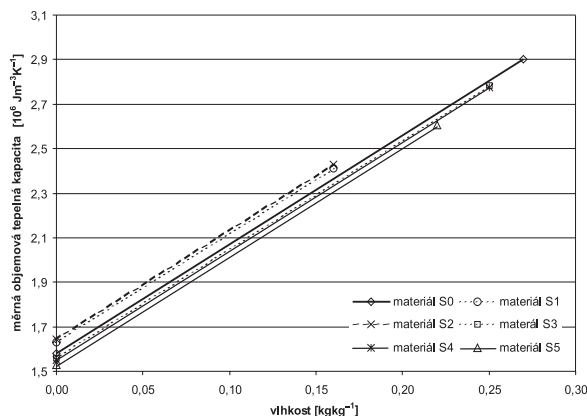
Porovnání závislosti součinitele tepelné vodivosti na hmotnostní vlhkosti na vzorcích sušených při 40 °C uvádí obr. 2. Z výsledků je patrné, že většina ve sledované oblasti



Obr. 2. Závislost součinitele tepelné vodivosti na hmotnostní vlhkosti (teplota sušení 40 °C)

nemá vždy charakter přímky. Nejpřesnější vyjádření je regresní křivkou ve tvaru polynomu druhého stupně. U referenčního materiálu S0 je tato závislost konkávního charakteru, u ostatních konvexního, resp. téměř přímkového. Hodnoty spolehlivosti R<sup>2</sup> se pohybují mezi 0,941 a 0,992. Také je zřejmé, že maximální hodnoty součinitele tepelné vodivosti závisí na vlastnostech materiálu, resp. na jeho schopnostech akumulace vody. Z hlediska průběhu se pak nejlépe při porovnání s referenční sadou S0 chovají materiály s hydrofobizačními přísadami S3, S4 a S5. Horší vlastnosti pak vycházejí u upravených materiálů s plastifikátory S1 a S2. U referenčního materiálu se hodnota součinitele tepelné vodivosti, zjištěná při nulové vlhkosti, zvýšila asi na dvojnásobek, u ostatních materiálů je to podobné. Pro vzorky vysušené při 80 °C nemohla být tato závislost určena, protože při zvlhčení vodou jich většina popraskala.

Hodnoty měrné objemové tepelné kapacity v závislosti na hmotnostní vlhkosti opět pro vzorky vysušené při 40 °C uvádí obr. 3. Pro vzorky vysušené při maximální teplotě 80 °C platí to, co již bylo uvedeno při stanovení součinitele tepelné vodivosti v závislosti na vlhkosti. Všechny závislosti mají samozřejmě charakter přímky, protože byly počítány podle směšovacího pravidla z hodnot naměřených v suchém stavu. Hodnocení dosažených výsledků je stejné jako v předchozím případě. Maximální hodnoty jsou závislé na příslušné hodnotě hmotnostní vlhkosti.



Obr. 3. Závislost měrné objemové tepelné kapacity na hmotnostní vlhkosti (teplota sušení 40 °C)

Tepelné vlastnosti vzorků v přirozeném stavu a v prostředí s relativní vlhkostí 50 % jsou výrazně lepší u materiálů vysušených při 80 °C, konkrétně to platí pro součinitel tepelné vodivosti stanovený na vzorcích vysušených při 80 °C a vzorcích uložených v prostředí s teplotou  $23 \pm 1$  °C a relativní vlhkostí  $50 \pm 2$  %.

Z tepelných vlastností Mehaffey a kol. [9] uvádějí součinitel tepelné vodivosti sádky  $0,25 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , Sultan [24]  $0,25 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  pro rozsah teploty 20–100 °C. Oba autoři zkoumali chování stěny ze sádkokartónových desek při zatížení požárem. V porovnání s těmito hodnotami jsou naměřené výsledky nižší, naproti tomu jsou vyšší než ty, které publikovali Mrovec a Perková [22], kteří uvádějí součinitel tepelné vodivosti tvárnic ze sádky  $0,20 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ . Hodnoty tepelných vlastností korespondují s hodnotami otevřené pórovitosti. Tyto parametry se zhoršují vlivem zvyšující se hmotnostní vlhkosti, což je jev typický pro porézni stavební materiály.

Hodnoty součinitele tepelné vodivosti z literatury, které jsou uvedeny výše, jsou v porovnání s materiálem S0, který byl sušený při 40 °C, o více než 50 % nižší a spíše odpovídají hodnotám naměřeným na vzorcích sušených při 80 °C.

Podle ČSN EN 12 859 je součinitel tepelné vodivosti pro zatvrdlé sádrové hmoty (při teplotě 23 °C a relativní vlhkosti 50 %) s objemovou hmotností 900 kgm<sup>-3</sup>: 0,3 Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>, pro 1 000 kgm<sup>-3</sup>: 0,34 Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>, pro 1 100 kgm<sup>-3</sup>: 0,39 Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>, pro 1 200 kgm<sup>-3</sup>: 0,43 Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup> a pro 1 300 kgm<sup>-3</sup>: 0,47 Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>. Tyto hodnoty jsou ve velmi dobré shodě s hodnotami zjištěnými na materiálech sušených při 40 °C. Materiál S0 má podle tab. 3 objemovou hmotnost 1 170 kgm<sup>-3</sup> a hodnota součinitele tepelné vodivosti byla stejná jako ta, kterou uvádí ČSN EN 12 859 pro materiály s objemovou hmotností 1 200 kgm<sup>-3</sup>.

## Závěr

Výsledky měření společně se skutečností, že na vzorcích vysušených při 80 °C nemohly být provedeny zkoušky pevnosti (většina těles byla poškozena trhlinami), ukázaly, že jednoznačně lépe se jeví materiál vysušený při 40 °C. Materiál vysušený při 80 °C má sice výrazně lepší tepelné vlastnosti, zejména součinitel tepelné vodivosti, ale ty se v širším měřítku nedají uplatnit. Řešením by bylo jeho umístění např. jen tam, kde by se nemohl dostat do kontaktu s kapalnou vlhkostí nebo vysokou plynnou vlhkostí. Takové omezení však přináší z hlediska použití ve stavebním průmyslu mnoho problémů.

Dlouhodobější sušení při 80 °C se pro sádrové výrobky nejvíce jako příliš vhodné, sušící teplota je příliš vysoká a dochází k odvodu chemicky vázané vody při dehydrataci dihydrátu na hemihydrát. Po kontaktu s kapalnou vlhkostí nebo ve styku s prostředím s vysokou relativní vlhkostí naopak dochází opět k hydrataci a přeměně hemihydrátu na dihydrát, tato přeměna však vede ke vzniku trhlin.

Článek vznikl za podpory výzkumného záměru MŠMT ČR MSM:6840770031.

## Literatura

- [1] Henning, O. – Lach, V.: Chemie ve stavebnictví. Praha, SNTL 1983, s. 136–139.
- [2] Škvára, F.: Sádrové maltoviny, Technologie anorganických pojiv I, Část 2. Vzdušné maltoviny, ostatní anorganická pojiva, technologické výpočty. Praha, VŠCHT, 1995, s. 120–145.
- [3] Kašník, F.: Výroba sádry v ČSSR a možnost dalšího rozvoje. In: Sádra ve stavebnictví, Brno, Československá vědecko-technická společnost, 1967, s. 4–27.
- [4] Lejsek, L.: Využití sádry ve stavebnictví. In: Sádra ve stavebnictví, Brno, Československá vědecko-technická společnost 1967, s. 28–48.
- [5] Kupilík, V.: Chování sádry v různých provozních podmínkách. [Sborník], seminář „Sádra v památkové péči“, Praha, STOP 2002, s. 14–22.
- [6] Hurmanic, M. – Roggendorf, H.: Charakterisierung von Rauchgas-und Natur-Rohgipsen, Zement-Kalk-Gips, 11, 1990, pp. 550–556.
- [7] Bermiloudi, A. – Le Meur, G.: Mathematical and Numerical Analysis of Dehydration of Gypsum Plasterboards Exposed to Fire. Applied Mathematics and Computation, 163, 2005, pp. 1023–1041.
- [8] Ang, C. N. – Wang, Z. C.: The Effect of Water Movement on Specific Heat of Gypsum Plasterboard in Heat Transfer Analysis under Natural Fire Exposure. Construction and Building Materials, 18, 2004, pp. 505–515.
- [9] Mehaffey, J. R. – Cuerrier, P. – Carisse, G.: A Model for Predicting Heat Transfer through Gypsum Board/Wood-Stud Walls Exposed to Fire. Fire and Materials, 18, 1994, pp. 297–305.
- [10] Feldman, D. – Banu, D. – Hawes, D. W.: Development and Application of Organic Phase Change Mixtures in Thermal Storage Gypsum Wallboard. Solar Energy and Solar Cells 36, 1995, pp. 147–155.
- [11] Hudson-Lamb, D. L. – Strydom, C. A. – Potgieter, J. H.: The Thermal Dehydration of Natural Gypsum and Pure Calcium Sulphate Dihydrate (Gypsum). Thermochemical Acta 282/283, 1996, pp. 483–492.
- [12] Schulze, W. – Fischer, W. – Lach, V.: Necementové malty a betony. Praha, SNTL 1990, s. 20–31.
- [13] Řičánek, M.: Sádra a její vlastnosti. [Sborník], seminář „Sádra v památkové péči“, Praha, STOP 2002, s. 4–13.
- [14] Šatava, V.: Studie procesu tvrdnutí suspenzí sádry. [Doktorská dizertační práce], Praha, VŠCHT, 1968, 180 s.
- [15] Wirsching, F.: Drying and Agglomeration of Flue Gas Gypsum. In: The Chemistry and Technology of Gypsum. Philadelphia, American Society for Testing and Materials 1984, pp. 161–174.
- [16] Turk, D. H. – Bounini, L.: The Effect of Sorbet Water on the Determination of Phase Composition of CaSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O Systems by Various Methods. Chemistry and Technology of Gypsum, Philadelphia, American Society for Testing and Materials, 1984, pp. 49–56.
- [17] ČSN EN ISO 12 570, Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků – Stanovení vlhkosti sušením při zvýšené teplotě. ČNI, 2001, 12 s.
- [18] ČSN EN 12 859 (ČSN 72 3610) Sádrové tvárnice – Definice, požadavky a zkušební metody. ČNI, 2002, 22 s.
- [19] Tesárek, P. – Černý, R. – Prchalová, J. – Rovnaníková, P.: Thermal and Hygric Properties of Gypsum: Reference Measurements. Thermophysics 2003, Bratislava, Slovak Academy of Science, 2003, pp. 52–57.
- [20] ČSN 72 2301 Sádrová pojiva – Klasifikace, Všeobecné technické požadavky, Zkušební metody. Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1979, 17 s.
- [21] Tesárek, P. – Černý, R. – Rovnaníková, P. – Kolísko, J.: Mechanické, tepelné a vlhkostní vlastnosti nemodifikované energosádry – 2. část. Stavební obzor, 13, 2004, č. 8, s. 242–245.
- [22] Mrovec, J. – Perková, J.: Sádrové příchokové tvárnice SUPER-BLOK – Pokyny pro projektanty [online]. Technické podklady firmy GYPSTREND, s. r. o., [cit. 2006-6-2]. <<http://www.gypstrend.cz/projektanty.htm>>
- [23] Klein, D. – von Ruffer, C.: Fundamentals for the Production of Moulding plaster. Tile and Brick International, Vol. 13, No. 3, 1997, pp. 205–217.
- [24] Sultan, M. A.: Model for Predicting Heat Transfer through Noninsulated Unloaded Steel-Stud Gypsum Board Wall Assemblies Exposed to Fire. Fire Technology, 32, 1996, pp. 239–259.

Tesárek, P. – Mňahončáková, E. – Tydlitát, V. – Černý, R.: Effect of Drying Temperature on Properties of Hardened Flue Gas Desulphurization Gypsum – Basic and Thermal Properties

This paper presents the outcomes of experimental research dealing with the effect of drying temperature on the properties of hardened flue gas desulphurization gypsum. Two thermal drying regimes, with the maximum temperatures of 40 °C and 80 °C, are analyzed with a particular attention to their influence on basic and thermal properties of the specimens of flue gas desulphurization gypsum, a part of which is prepared in a basic, unmodified form and another part is modified using additives.

Tesárek, P. – Mňahončáková, E. – Tydlitát, V. – Černý, R.: Der Einfluss der Trocknungstemperatur auf die Eigenschaften erhärteten REA-Gipses – grundlegende und thermische Eigenschaften

Im Artikel wird eine experimentelle Untersuchung vorgestellt, die sich mit dem Einfluss der Trocknungstemperatur auf die Eigenschaften erhärteten REA-Gipses befasst hat. Es werden zwei Temperaturregimes mit einer Maximaltemperatur von 40 °C a 80 °C und deren Einfluss auf die grundlegenden und die thermischen Eigenschaften von REA-Gips-Proben verglichen, von denen ein Teil in grundlegender nicht modifizierter Form und ein anderer Teil mit Zusätzen modifiziert vorbereitet ist.



# Klasifikace sádrového pojiva podle ČSN 72 2301

*Ing. Pavel TESÁREK, Ph. D.  
Ing. Eva MNAHONČÁKOVÁ, Ph. D.  
RNDr. Vratislav TYDLITÁT, DrSc.  
prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha*

ČSN 72 2301 [1] je norma, podle které se klasifikují sádrová pojiva již asi třicet let. Klasifikace se řídí podle jemnosti mletí, počátku a doby tuhnutí a pevnosti v tlaku po dvou hodinách. Sádrovými pojivy, která jsou klasifikována v tomto článku, jsou dva výrobky firmy GYPS-TREND.

## Úvod

Normu ČSN 72 2301 Sádrová pojiva – Klasifikace, Všeobecné technické požadavky, Zkušební metody vydalo Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření v Praze. Schválena byla 11. ledna 1978 s účinností od 1. července 1980 a nahrazovala ČSN 72 2301 z 20. dubna 1971. V podstatě u nás zavedla normu RVHP s označením ST SEV 826-77, platnou pro většinu členských států od období ledna až června 1980.

Původní norma, resp. její překlad, byla doplněna o čl. 01 až 05, platné pouze v tehdejší ČSSR, šlo o jakési národní dodatky [1]. Článek č. 01 specifikoval, že sádra vyráběná u nás se používá převážně pro výrobu desek (zejména příčkových a plášťových) a jako stavební pojivo pro práce zednické a instalatérské. Dále uváděl, že se zde vyrábí pouze sádra třídy G3 a třída pevnosti se určuje podle pevnosti v tlaku v megapascálech po dvou hodinách. Článek č. 02 specifikoval označení sádrového pojiva v technické komunikaci, jež mělo obsahovat název, třídu jakosti, označení normy, podle které byla sádra klasifikována – ČSN 72 2301 (ST SEV 826-77), a označení výrobce. Příklad je uveden v článku č. 03. Článek č. 04 obsahuje poznámku o přísadách. Podle jeho ustanovení se při výrobě sádry v ČSSR povoluje přidávat pouze přísady regulující tuhnutí, a to nejvýše 1 % z hmotnosti sádry. A konečně článek č. 05 specifikoval zkušební vzorky, odběr vzorků atd.

Vlastní norma, vypracovaná Výzkumným ústavem maltovin a osinkocementu, Praha–Radotín, pracoviště Brno, se skládá z kapitol věnovaných klasifikaci a všeobecným technickým požadavkům, pravidlům přejímky, zkušebními postupy, odběru a přípravě zkušebních vzorků, stanovení jemnosti mletí, stanovení počátku a doby tuhnutí sádrové kaše normální konzistence, stanovení pevnosti v tlaku a pevnosti v ohybu, balení, označování, dopravě a skladování a odpovědnosti výrobce. Během její platnosti byly provedeny pouze dvě úpravy, první v dubnu 1981, druhá v září 2003 [3]. Změna a – 4/1981 v článku č. 01, že se v ČSSR vyrábí sádra třídy G2 a G3 [2]. Změna Z 2 ze září 2003 specifikovala podmínky skladování sádrového pojiva, zároveň byla touto změnou zrušena kapitola o odpovědnosti výrobce za jeho vlastnosti. Změnu zpracoval Výzkumný ústav maltovin Praha, normalizační sekce Brno, a Technická normalizační komise: TNK 39-Maltovinová pojiva, vápence, sádrovce.

Výrobek, který je prodáván na trhu, musí splňovat normové požadavky a označení, v našem případě je toto označení dáno klasifikací. Sádra se v současné době využívá ve stavebním průmyslu téměř výhradně v interiérových aplikacích. Podle ČSN 72 2301 byla již námi klasifikována energosádra z elektrárny Počerady [4].

## Kritéria podle normy

Základní zatřídění sádrového pojiva je provedeno podle:

- pevnosti v tlaku po dvou hodinách [MPa],
- počátku a konce tuhnutí normové sádrové kaše,
- jemnosti mletí.

Podle pevnosti v tlaku po dvou hodinách je možno zařadit sádrové pojivo do dvanácti skupin (G-2 až G-25). Nejmenší pevnost v tlaku musí odpovídat požadavkům pro jednotlivé třídy, tedy hodnotě minimální pevnosti po dvou hodinách. Dalším kritériem je doba tuhnutí, přičemž se rozlišují druhy rychle tuhnoucí, normálně tuhnoucí a pomalu tuhnoucí (značení A až C), kritériem je počátek a doba tuhnutí v minutách. Podle jemnosti mletí se pojivo dělí na hrubě, středně a jemně mleté, s označením jemnosti I až III. Posuzuje se zbytek na sítu s otvory  $\varnothing$  0,2 mm.

## Oblasti použití

Podle normy je sádrové pojivo klasifikováno a tříděno do pěti „možných oblastí použití“, s doporučením třídy a druhu sádrového pojiva:

- výroba sádrových stavebních výrobků všech druhů (G-2 až G-7 všechny doby tuhnutí a jemnosti mletí);
- výroba tenkostěnných stavebních výrobků a dekorativních prvků (G-2 až G-7 jemně a středně mleté, rychle a normálně tuhnoucí);
- provádění omítkových prací, spárování a speciální účely (G-2 až G-25 normálně a pomalu tuhnoucí, středně a jemně mleté);
- výroba forem v porcelánovém nebo fajánsovém průmyslu a v jiných oblastech průmyslu, a rovněž v lékařství (G-5 až G-25 jemně mleté, normálně tuhnoucí);
- pro lékařské účely (G-2 až G-7 rychle tuhnoucí i normálně tuhnoucí, středně a jemně mleté).

## Metody stanovení parametrů

Metodika je součástí normy a byla již popsána [4], zde se pokusíme v základních rysech specifikovat jednotlivé metody. Pevnost v tlaku po dvou hodinách je základním kritériem při klasifikaci sádrového pojiva. Zkouška spočívá ve stanovení nejmenšího zatížení, při němž dojde k porušení vzorku, tedy překročení pevnosti v tlaku. Stanovení pevnosti se provádí na normových vzorcích (trámečcích) o rozměrech 40 x 40 x 160 mm zhotovených ze sádrové kaše normální konzistence pro příslušný vodní součinitel, určený při zkouš-

ce pro stanovení normální konzistence sádrové kaše. Pro výrobu trámečků se používá nerezová forma, rozdělená do tří oddílů. V každé sadě se tedy vyrábějí tři trámečky. Zkouška se provádí dvě hodiny po smíchání sádrového pojiva s vodou. Sádra je v průběhu 20 s vsypána do misky s vodou. Při sypání a následně 60 s po dosypání veškeré sádry se směs intenzivně promíchává ručním míchadlem až do stejnorodosti kaše. Následně je kaše vлита do formy. K odvodu vzdušnosti je forma pětikrát setřesena, po 15 minutách po skončení tuhnutí jsou vzorky zbaveny forem, označeny a uloženy. Zkoušení pevnosti v tlaku se běžně provádí na šesti polovinách vzorků získaných po zkoušení pevnosti v ohybu, zkouška pevnosti v tahu se provádí jako první. Zkušební trámečky jsou umístěny mezi dvěma destičkami takovým způsobem, aby boční hrany, které při zhotovení přiléhaly k podélným stěnám formy, se nacházely na rovinách destiček. Tím je omezen vliv nepřesnosti geometrie na ploše trámečku, která byla seříznuta. Při dané zkoušce bylo postupováno standardně. Z přístroje byla odečtena hodnota síly v kilonewtonech, která odpovídá zatěžovací ploše lisu 40 x 40 mm, pevnost v tlaku byla vypočítána podle známých vztahů. Výsledná pevnost v tlaku jedné sady byla vypočtena jako aritmetický průměr výsledků šesti zkoušek po vyloučení největší a nejmenší hodnoty.

Stanovení jemnosti mletí spočívá v určení hmotnostního podílu sádrového pojiva většího než 0,2 mm, tedy takového, které zůstane na sítu s otvory  $\varnothing$  0,2 mm. Ze vzorku o hmotnosti 150 g, umístěného v sušárně po dobu 1 hodiny při teplotě 50 °C, byly odebrány dvě části o hmotnosti 50 g a prosévány. Prosévání bylo považováno za ukončené, jestliže sítem po dobu 1 minuty neprošlo více než 0,05 g sádry. Jemnost mletí  $j$  vzorku se stanoví jako poměr zbytku na sítu původní hmotnosti vzorku podle vzorce

$$j = \frac{m_{0,2}}{m_c}, \quad (1)$$

kde  $m_c$  je hmotnost celého vzorku,  $m_{0,2}$  hmotnost zbytku na sítu 0,2 mm.

Při stanovení počátku a doby tuhnutí sádrové kaše bylo nejdříve nutné určit normální konzistenci, která je závislá na vodním součiniteli, tedy poměru hmotnosti voda/sádra [kgkg<sup>-1</sup>]. Norma předepisuje použití pro výrobu vzorků právě sádrovou kaši normální konzistence, specifikovanou průměrem roztečení sádrové kaše po zvednutí válce. Válec o vnitřním průměru 50 mm a výšce 100 mm je vyroben z nereza-  
vějího kovu s hladkým vnitřním povrchem. Průměr roztečení byl změřen pravítkem ihned po zvednutí válce ve dvou na sebe kolmých směrech. Z těchto dvou hodnot byl vypočten aritmetický průměr. Jestliže průměr roztečení kaše neodpovídá 180 mm  $\pm$  5 mm, zkouška se opakuje se změněným vodním součinitelem. Podstata metody pro stanovení počátku a doby tuhnutí spočívá ve stanovení intervalu od počátku styku sádrového pojiva s vodou do počátku a ukončení tuhnutí sádrové kaše. Při zkoušce se používá Vicatův přístroj s hmotností pohyblivé části 300 g, kuželovitý prstenec z plastu a destička ze skla o rozměrech 100 x 100 mm. Kuželový prstenec, umístěný na skleněné destičce, byl naplněn sádrovou kaší. Jehla pohyblivé části přístroje byla nastavena tak, aby se dotýkala povrchu sádrové kaše. Ponořovala se jednou za 30 s počínaje celou minutou. Počátek doby tuhnutí byl stanoven počtem minut od okamžiku přidání sádrového pojiva do vody do okamžiku, kdy volně spuštěná jehla po ponoření do kaše poprvé nedosáhla povrchu skleněné destičky. Doba tuhnutí byla určena časem od okamžiku při-

dání sádrového pojiva do vody do okamžiku, když volně spuštěná jehla se ponořila do hloubky nejvýše 1 mm. Počátek a doba tuhnutí byly vyjádřeny v minutách.

### Materiál a vzorky

Zkoumána byla dvě sádrová pojiva společnosti GYPS-TREND, s. r. o. (dříve Sádrovcové doly, s. p., Kobeřice). První pojivo je označeno výrobcem jako „bílé“ a druhé jako „šedé“. Pracovní označení námi zkoumaného pojiva bylo Kobeřice-bílé a Kobeřice-šedé. Chemické složení obou je uvedeno v tab. 1. Odběr i výroba vzorků pro jednotlivé zkoušky probíhala podle normy [1]. Vzorky byly odebrány z igelitových pytlů (5 kg), ve kterých sádrové pojivo dodává výrobce na trh.

Tab. 1. Chemické složení zkoumaných sádrových pojiv

Složka	Hmotnostní obsah [%]	
	Kobeřice-bílé	Kobeřice-šedé
CaSO <sub>4</sub> · 1/2 H <sub>2</sub> O + CaSO <sub>4</sub>	95,0 – 99,0	80,0 – 95,5
SiO <sub>2</sub>	0,2 – 0,6	8,0 – 12,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,2 – 0,7	1,0 – 2,5
MgO	0,0013	0,2 – 1,0

### Výsledky

Zkouška byla provedena pro obě pojiva vždy dvakrát, pokaždé téměř s identickým výsledkem. Podle klasifikace normy byly oba vzorky zařazeny jako pojivo jemně mleté s označením jemnosti mletí – III. Výsledky zkoušky jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2. Stanovení jemnosti mletí

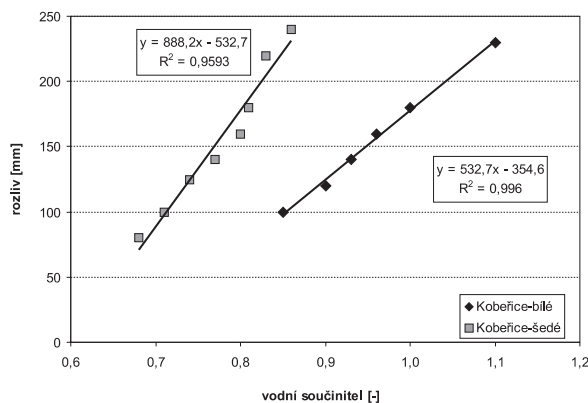
Vzorek	Hmotnost navážky	Zbytek na sítu 0,2 mm	
	[g]	[%]	[g]
Kobeřice-bílé			
1	50	0,55	1,1
2	50	0,71	1,34
průměr	–	–	<b>1,22</b>
Kobeřice-šedé			
1	50	1,02	2,04
2	50	0,94	1,88
průměr	–	–	<b>1,96</b>

Závislost rozlivu na vodním součiniteli je uvedena na obr. 1. Při zkoušce jsme pro sádrové pojivo Kobeřice-bílé použili vodní součinitel v rozmezí hodnot 0,85 až 1,10 a pro Kobeřice-šedé 0,68 až 0,86. Podle získaných výsledků by se dala závislost rozlivu  $l_r$  [mm] (průměru roztečení) na vodním součiniteli  $v$  [-] vyjádřit rovnicemi přímelek, a to:

$$\text{Kobeřice-bílé} \quad l_r = 532,7v - 354,6, \quad (2)$$

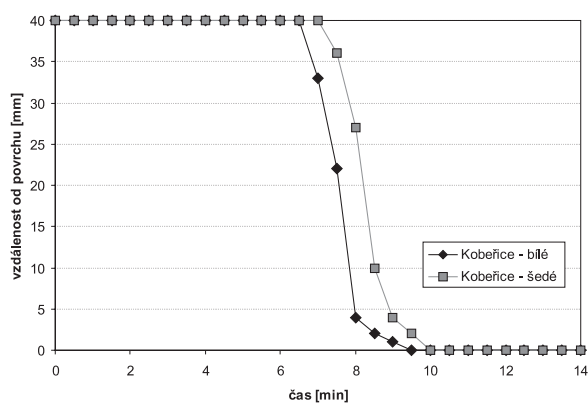
$$\text{Kobeřice-šedé} \quad l_r = 888,2v - 532,7. \quad (3)$$

Normovým požadavkům, resp. hodnotě rozlivu 180 mm  $\pm$  5 mm, nejlépe odpovídala hodnota vodního součinitele 1 pro pojivo Kobeřice-bílé a 0,81 pro pojivo Kobeřice-šedé. Stanovené hodnoty byly zvoleny v souladu s normou a použity při výrobě vzorků pro ostatní měření.



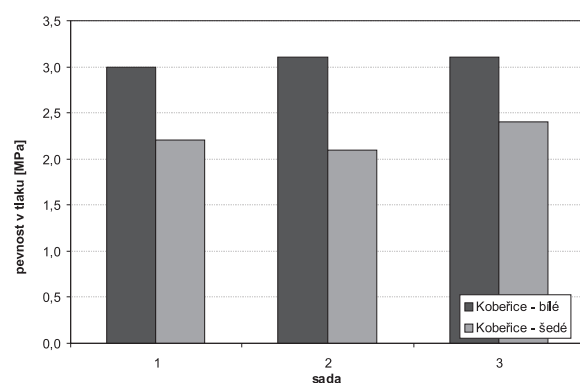
Obr. 1. Závislost rozlivu na vodním součiniteli

Vicatovým přístrojem byl stanoven počátek a doba tuhnutí sádrové kaše normální (normové) konzistence. Zkouška byla provedena vždy na třech vzorcích, na obr. 2 je uveden



Obr. 2. Výsledky Vicatovy zkoušky na stanovení počátku a konce tuhnutí sádrové kaše

pouze typický průběh. Hodnota 40 mm na svislé ose odpovídá stavu, kdy jehla pronikla až na dno prstence naplněného sádrovou kaší a dotkla se skla. Naopak hodnota 0 odpovídá stavu, kdy se jehla přístroje zastavila o povrch vzorku. Podle výsledku zkoušky jde v obou případech o normálně tuhnoucí pojivo, kterému odpovídá označení doby tuhnutí B. Počátek doby tuhnutí pro pojivo Kobeřice-bílé byl 6,5 minuty a pro Kobeřice-šedé 7 minut, konec tuhnutí pojiva Kobeřice-bílé byl 9,5 minuty a pro Kobeřice-šedé 10 minut.



Obr. 3. Pevnost v tlaku po 2 hodinách

Průměrné hodnoty pevnosti v tlaku pro jednotlivé sady jsou znázorněny na obr. 3 – u pojiva Kobeřice-bílé byla vypočtena hodnota 3,1 MPa, u pojiva Kobeřice-šedé 2,2 MPa. Průměrná hodnota je pro všechny tři sady vyšší než minimální hodnota 3 MPa, resp. 2 MPa. Sádrová pojiva byla tedy zaříděna do skupiny s pevností v tlaku jako G-3, resp. G-2.

Podle klasifikace normy byla námi zkoumaná pojiva zaříděna (tab. 3, tab. 4) následovně:

- Kobeřice-bílé jako G-3 B III, podrobněji sádra třídy G-3, středně tuhnoucí, jemně mletá;
- Kobeřice-šedé jako G-2 B III, podrobněji sádra třídy G-2, středně tuhnoucí, jemně mletá.

Tab. 3. Klasifikace sádrového pojiva Kobeřice-bílé

Ukazatel	Pevnost v tlaku [MPa]	Tuhnutí [min]		Zbytek na sítu 0,2 mm [%]
		počátek	konec	
naměřené hodnoty	3,1	6,5	9,5	1,22
mezí hodnoty podle ČSN	minimálně 3	počátek nejdříve 6	doba nejpozději 30	maximálně 2
zařazení podle ČSN	G-3	B		III

Tab. 4. Klasifikace sádrového pojiva Kobeřice-šedé

Ukazatel	Pevnost v tlaku [MPa]	Tuhnutí [min]		Zbytek na sítu 0,2 mm [%]
		počátek	konec	
naměřené hodnoty	2,2	7	10	1,93
mezí hodnoty	minimálně 2	počátek nejdříve 6	doba nejpozději 30	maximálně 2
zařazení podle ČSN	G-2	B		III

Podle doporučení jsou pro tyto třídy a druhy sádrového pojiva vhodné všechny oblasti v normě uvedené.

## Diskuze

Podle našich výsledků a technických listů výrobce byla obě zkoumaná pojiva zaříděna shodně. Jedinou výjimkou je jemnost mletí, která byla podle technických listů označena jako II, my jsem pojivo zařídili jako III, tedy jako pojivo jemně mleté. Sám výrobce však na technických listech většinou uvádí jisté rozmezí hodnot.

Kritická analýza ČSN 72 2301 byla již popsána [4], nyní se pokusíme ji zhodnotit s ohledem na naše výzkumné práce v oblasti sádry a sádrových pojiv. V tomto asi čtyřletém období byly nejen zkoumány základní, mechanické tepelné a vlhkostní vlastnosti, ale byla provedena i kalorimetrická měření [5]. V současné době je v platnosti i další norma, týkající se sádrových výrobků, konkrétně ČSN EN 12859 (72 3610) – Sádrové tvárnice – Definice, požadavky a zkušební metody [6].

Celá problematika je složitější v tom, že sádrová pojiva nejsou většinou čisté hemihydráty síranu vápenatého. Obsahují různé příměsi, které buď vznikají při výrobě sádry (při technologickém procesu), nebo jsou obsaženy ve výchozí surovině. Velký problém je pak především u chemosádrovců, které vznikají při výrobě kyselin fosforečné, citrónové, fluorovodíkové nebo borité jako vedlejší produkty. Síran vápenatý byl produkován již dříve, většinou však nebyl dále využíván a byl problém s jeho uložením [7]. K menším zdrojům patří i čištění vod, výroba oxidu titaničitého ( $\text{TiO}_2$ ) a chloridu hořečnatého ( $\text{MgCl}_2$ ). Při všech těchto procesech vzniká velice kvalitní síran vápenatý s čistotou okolo 95 %. Problémy s jeho využitím jsou spojeny s nepatrnou velikostí částic těchto sádrovců a přítomností nežádoucích příměsí z chemické výroby (stopy citronanů, hydroxidů železa, hexafluorokřemičtanů a fosforečnanů), i když pouze v malé koncentraci [8]. Problémem u uměle vyrobených sádrovců (především fosfosádrovce) může být také uvolňování radonu ( $^{222}\text{Rn}$ ). Všechny další složky, které obsahují sádrové pojivo, ho výrazným způsobem ovlivňují. Při technologickém zpracování – dehydrataci dihydrátu na hemihydrát – dochází při překročení běžně používaných teplot (110 až 160 °C, tedy za kalciinačních podmínek) ke vzniku  $\beta$ -anhydritu III, ten vzniká za běžného atmosférického tlaku při teplotách nad 290 °C. Naopak při nižších teplotách může dojít k tomu, že část dihydrátu nebude dehydratována, protože nebudou splněny kalciinační podmínky [9].

Stanovení zbytku na sítu s oky  $\varnothing$  0,2 mm je základním indikátorem vhodnosti technologického způsobu výroby – mletí. Velikost částic sádry může mít také vliv na strukturu zatvrdlé sádrové kaše, jistou roli může mít velikost částic i na velikost vodního součinitele. Šatava uvádí [10], [11], že vlastnosti sádrové hmoty závisí především na struktuře výchozí suspenze hemihydrátu. Prostor, který ve výchozí sádrové suspenzi zaujímá pevná fáze (hemihydrát), je po hydrataci vyplněn novou pevnou strukturou (dihydrátem). Volná místa nezaplňovaná pevnou fází se po hydrataci a vysušení stávají póry. Z jeho závěrů pak jednoznačně vyplývá vliv velikosti částic na konečnou strukturu pevné hmoty, tvaru částic, jejich náhodného uspořádání a vodního součinitele. Dalším faktorem může být teplota při hydratační reakci nebo způsob zpracování sádrové kaše. Otázkou zůstává, proč byla stanovena citovaná normou velikost zrn 0,2 mm jako hraniční hodnota a hmotnostní podíl velikosti zrn o tomto rozměru rozhoduje o jemnosti mletí.

Stanovení počátku a doby tuhnutí sádrové kaše spolu s určením její normální konzistence je vhodné především z technologického hlediska a uplatní se při výrobě sádrových prvků. Konzistence je jedním ze základních faktorů při výrobě prvků na bázi sádry. Zpracovatelnost, počátek a dobu tuhnutí zajisté ovlivní velikost částic, čistota sádrového pojiva, různé příměsi a nečistoty, ale i obsah anhydritu a sádrovce, které vznikají při výrobě, mohou mít podstatný vliv na vlastnosti sádrové směsi. Také korelace mezi vodním součinitelem a pevnostními charakteristikami je obecně známa, a nejen pro sádrová pojiva, ale i pro jiné materiály, jako jsou malty a betony. Ze současného pohledu by bylo zajímavé vědět, jak tvůrci normy stanovili rozliv, resp. jeho hodnotu 180 mm, podle které se určuje normální konzistence sádrové kaše, která se pak používá pro další zkoušky. Možná, že šlo jen o jakousi smluvní hodnotu. Při provádění této zkoušky se sádrová směs s normovým rozlivem jeví jako relativně hodně tekutá, z technologického hlediska by se dala použít nižší hodnota vodního součinitele, která by zaručila vyšší pevnost v tlaku. Zkouška pomocí Vicatova přístroje je jednoduchá na provádění, otázkou je její vhodnost pro sádrová

pojiva. Sama zkouška byla původně navržena pro cement [12]. Z praktického důvodu by bylo vhodnější používat při stanovení konzistence prstence než kovový váleček.

Pevnost v tlaku po dvou hodinách od smíchání sádrového pojiva s vodou je rozhodující kritérium při celé klasifikaci, protože do značné míry rozhoduje o možnostech jeho praktického využití. Otázkou je, proč byla zvolena tato doba. Z výsledků našeho výzkumu je patrné, že časová závislost pevnosti v tlaku a pevnosti v tahu za ohybu je celkem výrazná, u většiny zkoumaných směsí se dvouhodinová, jednodenní a třídenní pevnost téměř neliší, ale pak mezi třídenní a sedmidenní pevností dochází k prudkému nárůstu (asi o 100 %). V dalším období, po 28. dnech, se pevnost již nezvyšovala [5]. Závislost pevnosti na předchozích kritériích – jemnosti mletí a stanovení normální konzistence kaše – je pak jednoznačná a potvrzuje ji i Šatava [10].

### Závěr

ČSN 72 2301 je v současné době jedinou normou pro klasifikaci sádrového pojiva. Na základě poznatků z našeho výzkumu v oblasti sádry a práce s touto normou bylo v diskusi uvedeno několik připomínek. Je však nutno podotknout, že tvůrci normy vykonali dobrou práci při její přípravě a stanovené požadavky poskytují dobré základní informace o klasifikovaném sádrovém pojivu. Podle ní je možné též provádět základní porovnávání jednotlivých sádrových pojiv a do jisté míry navrhnout jejich nevhodnější uplatnění, i když ze současného hlediska se zdá rozdělení na nevhodnější oblasti použití zastaralé. Vzhledem k současným trendům zkušebnictví, zlepšenému technickému vybavení laboratorů a novým požadavkům na materiály se ukazuje nutnost tuto normu upravit. Důležitá je v tomto směru i skutečnost, že se používá i u nás stále více výrobků na bázi sádry.

**Článek byl vytvořen za podpory projektu MPO ČR FT-TA3/005.**

### Literatura

- [1] ČSN 72 2301 Sádrová pojiva. Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření 1979, 13 s.
- [2] ČSN 72 2301 Sádrová pojiva. Změna a) 4/1981. Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření 1980, 1 s.
- [3] ČSN 72 2301 Sádrová pojiva. Změna Z 2. ČSN, 2003, 1 s.
- [4] Tesárek, P. – Černý, R. – Rovnaníková, P. – Kolísko, J.: Mechanické, tepelné a vlhkostní vlastnosti nemodifikované energosádry – 2. část. *Stavební obzor*, 13, č. 8, 2004, s. 242–245.
- [5] Tesárek, P. – Černý, R. – Drchalová, J. – Rovnaníková, P. – Kolísko, J.: Mechanické, tepelné a vlhkostní vlastnosti nemodifikované energosádry – 1. část. *Stavební obzor*, 13, č. 5, 2004, s. 138–142.
- [6] ČSN EN 12859 (72 3610) – Sádrové tvárnice – Definice, požadavky a zkušební metody. ČSN, 2002, 29 s.
- [7] Hegner, P.: Odpadní sírany vápenaté z chemických výroben. [Sborník], konference „Sádra ve stavebnictví“. Brno, ČSVTS, 1967, s. 130–135.
- [8] Škvára, F.: Sádrové maltoviny, Technologie anorganických pojiv I, Část 2. Vzdušné maltoviny, ostatní anorganická pojiva, technologické výpočty. [Učební text], Praha, VŠCHT, 1995, s. 120–145.
- [9] Wirsching, F.: Calcium Sulfate, In: Ullmanns Encyclopedia of Industrial Chemistry, Vol. 6, Weinheim, Wiley-VCH Verlag 1983, pp. 90–94.
- [10] Šatava, V.: Studie procesu tvrdnutí suspenzí sádry. [Doktorská dizertační práce], Praha, VŠCHT, 1968, 89 s.
- [11] Šatava, V.: Strength and Microstructure of Cast Gypsum. *Ceramics – Silikáty*, 40, No. 2, 1996, pp. 72–76.
- [12] ČSN EN 196-3 Metody zkoušení cementu, Stanovení dob tuhnutí a objemové stálosti. ČSN, 1993, 10 s.

Tesárek, P. – Mňahončáková, E. – Tydlitát, V. – Černý, R.:  
Classification of Gypsum Binder Using ČSN 72 2301

ČSN 72 2301 is a standard used for classification of gypsum binders for the last 30 years or so. The classification is performed according to several criteria, namely grinding fineness, initial and final setting times and compressive strength after two hours.

Tesárek, P. – Mňahončáková, E. – Tydlitát, V. – Černý, R.:  
Klassifizierung von Gipsbindemittel nach ČSN 72 2301

Nach der tschechischen Norm ČSN 72 2301 werden Gipsbindemittel bereits seit den dreißiger Jahren klassifiziert. Zu den Bewertungskriterien gehören die Mahlfeinheit, der Beginn und die Dauer der Erstarrung sowie die Druckfestigkeit nach zwei Stunden.

## • výstavy

### PRAGOBUILDING 2008

V lednu příštího roku budou moci návštěvníci Výstaviště v pražských Holešovicích posoudit novou koncepci výstavních akcí zaměřených na stavebnictví a bytový fond. Pragobuilding zastřešuje a sjednocuje osvědčené výstavy s novým projektem do jednoho termínu a místa. Nejde o klasický stavební veletrh, ale o soubor odborných výstav s vyhraněným profilem, který mapuje cíleně vybranou aktuální problematiku z oblasti stávajícího stavebního fondu i nové výstavby s důrazem na žhavé současné téma – bydlení. Akce představí soubor šesti specializovaných výstav zřetelně odlišených, ale umístěných pod jednou střechou v hale před Průmyslovým palácem:

- **PANELOVÝ DŮM A BYT**  
regenerace, rekonstrukce, financování  
2. ročník – výtahy, zateplovací systémy, řešení interiérů
- **MONTOVANÉ STAVBY**  
výroba, dodávka, realizace  
1. ročník – konstrukční systémy, komplectace, stavby na klíč
- **SLUŽBY PRO STAVEBNICTVÍ**  
servisní služby, outsourcing  
3. ročník – vše pro stavební a projekční firmy, pro developery
- **TÝDEN FACILITY MANAGEMENTU**  
(společně s IFMA CZ)  
7. ročník – konference a výstava

- **PRAGOTHERM**  
vytápění, energetika a úspory energií  
35. ročník – vše pro vytápění obytných objektů
- **OKNA – DVEŘE – SCHODY**  
9. ročník – okna, dveře, schody, jejich součásti a stavební prvky

Současně se koná desátý ročník mezinárodního veletrhu **STŘECHY PRAHA**.

Doprovodnou akcí je Středoevropská konference o energetické hospodárnosti a obnovitelných zdrojích energie **CEEERES '08**. Se svými příspěvky na konferenci vystoupí řada předních českých odborníků. Účastníci tak budou mít příležitost seznámit se s nejnovejšími trendy v revitalizaci panelových domů, ale také s možností využití solárních kolektorů, tepelných čerpadel a dalších alternativních zdrojů energie. Zájemci o účast na konferenci, kteří se přihlásí elektronicky nejpozději čtrnáct dní před jejím konáním, dostanou vstupenku na Pragobuilding zdarma. Jediným omezením je kapacita přednáškového sálu.

Pro studenty středních a vysokých škol se zaměřením na stavitelství, stavebnictví, architekturu a design vyhlásil pořadatel akce Incheba Expo Praha společně se Státním fondem rozvoje bydlení neanonymní jednokolovou **Soutěžní přehlídku návrhů na revitalizaci panelových domů realizovaných na území ČR ve druhé polovině dvacátého století**. Přihlášené práce budou vystaveny v rámci výstavní akce Panelový dům a byt.

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

	<h1>PRAGOBUILDING</h1> <p>SOUBOR SPECIALIZOVANÝCH VÝSTAV A SET OF SPECIALISED EXHIBITIONS</p> <h2>24. - 26. 1. 2008</h2>		<p>PANELOVÝ DŮM A BYT MONTOVANÉ STAVBY SLUŽBY PRO STAVEBNICTVÍ FACILITY MANAGEMENT PRAGOTHERM OKNA-DVEŘE-SCHODY</p>
---	--	--	---

## • projekty

### Administrativní budova E

Poslední objekt dokončující uliční frontu BB Centra Sever, administrativní budova E, se nachází přímo u nájezdové rampy na magistrálu směrem do centra. Pozice budovy v první linii vůči velmi zatížené dopravní tepně vyvolala nutnost řešit odraz hluku z dopravy od pláště objektu. „Způsob tohoto řešení se stal obdobně jako u nedávno dokončené budovy Gamma architektonickým motivem. Originálním řešením se v tomto případě stal systém prolamované fasády a použití akusticky pohltivých materiálů. Část plochy tohoto speciálního obvodového pláště odráží hluk do travnatého svahu mezi dálnicí a rampou, část ploch pod vysokým úhlem vzhůru tak, aby se utlumil ve výšce. Systém fasády takto nakládá s neutlumitelnými částmi pláště, prosklenými a zbytkovými plochami. Hlavní plocha této fasády je pohltivá z perforovaného kovového pláště, za nimiž jsou speciální akusticky pohltivé materiály“, říká Jan Aulík, autor architektonické podoby budovy.



Akustická fasáda tvoří přeponu trojúhelníkového konceptu objektu, zbylé dvě fasády, obrácené dovnitř území, mají prosklené pláště s nepravidelným rastrováním. Trojúhelníková půdorysná stopa budovy ukrývá atrium prosvětlující vnitřní prostory sedmipodlažního domu. Atrium je současně komunikačním a společenským centrem domu s panoramatickými výtahy, zelení a dalšími oživujícími prvky. Součástí objektu jsou odpočinkové a parkové plochy, zčásti před vstupem do budovy, zčásti ve formě střešní zahrady chráněné atikou akustické fasády.

Dispoziční koncept budovy umožňuje otevřené variabilní uspořádání i samostatné kanceláře. Podzemní parkoviště ve tvaru čtyřpodlažní šroubovice bez přídavných ramp využívá centrální tvar objektu. Technické vybavení objektu s umělým větráním a chlazením je řešeno progresivním způsobem přesného chlazení (VRV systém).

*Tisková informace*

## • dizertace



### Vliv smršťování na průhyb železobetonových konstrukcí

*Ing. Martin Stránský*

V dizertační práci je předložena metoda na výpočet vlivu smršťování betonu na dlouhodobý vývoj deformací, která je porovnána s výsledkem experimentu. Rozebírají se parametry vstupující do výpočtu a hodnotí se jejich vliv.

### Modelování plastického chování betonu různého stáří

*Ing. Michaela Frantová*

V práci se modeluje beton raného stáří, což souvisí s požadavky praxe na zatěžování betonů v tomto stadiu tuhnutí a tvrdnutí. Využívá se Chenův model plasticity.

### Vtisknutí uměleckých rysů modelům generovaným počítačovou technologií

*Ing. Michal Kasík*

Práce je příspěvkem k problému tvorby osobitého a uměleckého ztvárnění prezentací a počítačových vizualizací architektonických návrhů ve fázi jejich studijního zpracování. Autor předložil množství rozpracovaných teoretických a praktických principů tvorby vhodné metodiky pro aplikování světla a stínu jako důležitých výtvarných složek při vnímání architektury pomocí nefotorealistického renderingu.

### Efektivnost kontrolního systému jakosti

*Ing. Barbora Menclová*

V práci se v analytické části i aplikačních příkladech hodnotí efektivnost kontrolního systému na bázi benchmarkingu. Formulují se samostatné syntetické návrhy.

### Sociálně ekonomické aspekty typologie hospicových domů

*Ing. Naděžda Malkovská*

Práce na konkrétních realizacích staveb ukazuje schopnost formulovat syntetické návrhy. Interdisciplinární práce podává ucelený pohled na hospice jako architektonicko-ekonomický, sociální a kulturní prvek.

## SANACE A REKONSTRUKCE STAVEB 2007

24. a 25. října 2007, VŠB-TU Ostrava

# STAVEBNÍ OBZOR

## ROČNÍK 16 ČÍSLO 09/2007

### Navigace v dokumentu

#### OBSAH

Macháček, J. <b>Informační a komunikační technologie ve stavebním vzdělávání</b>	<b>257</b>
Kohoutková, A. – Teplý, B. <b>Komplexní přístup ke vzdělávání v oblasti navrhování konstrukcí na životnost</b>	<b>261</b>
Černý, R. – Konvalinka, P. – Doležel, T. – Rybár, P. <b>Počítačová analýza průběhu teplot v betonu</b>	<b>264</b>
Tesárek, P. – Mňahončáková, E. – Tydlitát, V. – Černý, R. <b>Vliv sušicí teploty na vlastnosti zatvrdlé energosádry – vlhkostní vlastnosti</b>	<b>267</b>
Kopecký, L. – Němeček, J. – Kuklík, P. – Bittnar, Z. – Machovič, V. <b>Tranzitní zóna cementového tmelu mezi PET výztuží a betonem</b>	<b>271</b>
Pernicová, R. – Černý, R. – Pavlíková, M. <b>Vliv hydraulických a pucolánově aktivních přísad na mechanické vlastnosti vápenných omítek</b>	<b>274</b>
Husáková, V. – Wasserbauer, R. <b>Biodegradace hydroizolací v základech staveb</b>	<b>278</b>
Suchá, J. – Pospíšil, J. – Závacký, E. <b>Ověření nivelace a nivelačních přístrojů pro měření svislých posunů staveb na brownfields</b>	<b>281</b>

**9 • 2007**

**ročník 16**

# 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

- Macháček, J.  
**Informační a komunikační technologie ve stavebním vzdělávání** ..... 257
- Kohoutková, A. – Teplý, B.  
**Komplexní přístup ke vzdělávání v oblasti navrhování konstrukcí na životnost** ..... 261
- Černý, R. – Konvalinka, P. – Doležel, T. – Rybár, P.  
**Počítačová analýza průběhu teplot v betonu** ..... 264
- Tesárek, P. – Mňahončáková, E. – Tydlitát, V. – Černý, R.  
**Vliv sušící teploty na vlastnosti zatvrdlé energosádry – vlhkostní vlastnosti** ..... 267
- Kopecký, L. – Němeček, J. – Kuklík, P. – Bittnar, Z. – Machovič, V.  
**Tranzitní zóna cementového tmelu mezi PET výztuží a betonem** ..... 271
- Pernicová, R. – Černý, R. – Pavlíková, M.  
**Vliv hydraulických a pucolánově aktivních přísad na mechanické vlastnosti vápenných omítek** ..... 274
- Husáková, V. – Wasserbauer, R.  
**Biodegradace hydroizolací v základech staveb** ..... 278
- Suchá, J. – Pospíšil, J. – Závacký, E.  
**Ověření nivelace a nivelačních přístrojů pro měření svislých posunů staveb na brownfields** ..... 281

## CONTENS

- Macháček, J.  
**Information and Communication Technology in Civil Engineering Education** ..... 257
- Kohoutková, A. – Teplý, B.  
**Education in Durability of Structures: A Complex Approach** ..... 261
- Černý, R. – Konvalinka, P. – Doležel, T. – Rybár, P.  
**Computer Analysis of the Course of Temperature in Concrete** . . . 264
- Tesárek, P. – Mňahončáková, E. – Tydlitát, V. – Černý, R.  
**Effect of Drying Temperature on Properties of Hardened Flue Gas Desulfurization Gypsum – Hygric Properties** ..... 267
- Kopecký, L. – Němeček, J. – Kuklík, P. – Bittnar, Z. – Machovič, V.  
**Interfacial Transition Zone of Cementitious Binder between Polymer Reinforcement and Concrete** ..... 271
- Pernicová, R. – Černý, R. – Pavlíková, M.  
**Effect of Hydraulic and Pozzolanic Admixtures on Mechanical Properties of Lime Plasters** ..... 274
- Husáková, V. – Wasserbauer, R.  
**Biodegradation of Waterproofing Membranes in Foundations** ..... 278
- Suchá, J. – Pospíšil, J. – Závacký, E.  
**Testing of Levelling and Levelling Devices for the Measurement of Vertical Displacements of Constructions in Brownfields** ..... 281

## INHALT

- Macháček, J.  
**Informations- und Kommunikationstechnologien im bautechnischen Bildungssystem** ..... 257
- Kohoutková, A. – Teplý, B.  
**Ausbildung auf dem Gebiet der Lebensdauer von Konstruktionen – komplexes Herangehen** . . . 261
- Černý, R. – Konvalinka, P. – Doležel, T. – Rybár, P.  
**Computeranalyse des Temperaturverlaufs in Beton** . . . . . 264
- Tesárek, P. – Mňahončáková, E. – Tydlitát, V. – Černý, R.  
**Der Einfluss der Trocknungstemperatur auf die Eigenschaften erhärteten REA-Gipses – Feuchtigkeitseigenschaften** ..... 267
- Kopecký, L. – Němeček, J. – Kuklík, P. – Bittnar, Z. – Machovič, V.  
**Die Übergangszone aus Zementleim zwischen einer PET-Bewehrung und dem Beton** ..... 271
- Pernicová, R. – Černý, R. – Pavlíková, M.  
**Der Einfluss hydraulischer und puzolanisch aktiver Zusatzstoffe auf die mechanischen Eigenschaften von Kalkputzen** . . . . . 274
- Husáková, V. – Wasserbauer, R.  
**Biologische Zersetzung von Abdichtungen gegen Wasser in Gebäudefundamenten** . . . 278
- Suchá, J. – Pospíšil, J. – Závacký, E.  
**Überprüfung des Nivellements und der Nivellierinstrumente zur Messung der vertikalen Verschiebungen von Bauwerken auf "Brownfields"** ..... 281

## REDAKČNÍ RADA

### Předseda:

prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.

### Místopředseda:

doc. Ing. Alois MATERNA, CSc.

### Členové:

prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.

doc. Ing. Miloslav PAVLÍK, CSc.

doc. Ing. Pavel HÁNEK, CSc.

prof. Ing. J. PROCHÁZKA, CSc.

doc. Ing. Milan HUML, CSc.

Ing. Vlastimil ROJÍK

doc. Ing. Vladimír JELÍNEK, CSc.

Ing. Karel SVOBODA

Ing. Jiří KALA, Ph. D.

doc. Dr. Ing. Miloslav ŠLEZINGR

doc. Ing. J. KORYTÁROVÁ, Ph. D.

Ing. Milan ŠMAK, Ph. D.

Ing. Karel KUBEČKA

Ing. Ludvík VÉBR, CSc.

Ing. Libor MATĚJKA, CSc., Ph. D.

doc. Ing. Josef VITÁSEK, CSc.

doc. Ing. Jaroslav NOVÁK, CSc.

prof. Ing. Jiří WITZANY, DrSc.

doc. Ing. Luděk NOVÁK, CSc.

Ing. Renata ZDAŘILOVÁ

doc. Ing. Miloslav NOVOTNÝ, CSc.

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://www.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](mailto: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 Ředitelstvem pošt Praha, č. j. NP 144/1994, ze dne 21. 10. 1994. Do sazby 8. 10. 2007. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

## Informační a komunikační technologie ve stavebním vzdělávání

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

Článek se zabývá výsledky pracovní skupiny SP6 projektu Socrates TN EUCEET II. Tento vzdělávací projekt byl zahájen v roce 1998, má za sebou 7 let intenzivní činnosti, na projektu spolupracovalo 132 partnerů (z toho 101 univerzit) a výsledky jsou publikovány v 6 knižních svazcích i elektronicky [2]. Projekt je přímo navázán na činnost asociace AECEF, založené na Fakultě stavební ČVUT v roce 1992.

### Úvod

Pracovní skupina složená z 22 členů mezinárodního projektu EUCEET II vycházela z rozsáhlé předchozí zprávy [1], která se zabývala hodnocením současného stavu výuky v oblasti stavebního vysokoškolského vzdělávání a jejího vývoje s ohledem na nové potřeby a možnosti informačních a komunikačních technologií (ICT). Výsledkem je zpráva [2], která popisuje současnou situaci v zemích účastníků skupiny. Ukazuje klíčové poznatky ze zavádění ICT ve výuce v posledním desetiletí a jejich význam pro současné a budoucí aplikace. Zpráva rovněž uvádí vhodné příklady uplatnění ICT ve výuce z vybraných univerzit. I když inovace v ICT se zrychlují, možnosti použití nových technologií ve výuce se zavádějí poměrně pomalu, neboť vyžadují od univerzit, akademiků i studentů příslušnou znalost a zavedení softwaru i hardwaru. Navíc jde o otázku nákladů a atraktivity takového přístupu pro všechny zúčastněné. Je však zřejmé, že inovace v ICT zostřují mezinárodní konkurenci a postupně ovlivní celý vzdělávací sektor.

Předkládaný článek stručně uvádí komentář k hlavním výstupům zprávy pracovní skupiny SP6 [2].

### Používání ICT na univerzitách v Evropě

S rozšířením internetu (od zavedení prvního multimediálního prohlížeče *NCSA Mosaic* v roce 1990) jsou webové stránky stále důležitějším nástrojem ICT. Z průzkumu v rámci projektu plyne, že 42 % akademiků předkládá studentům výukový materiál nějakou webovou formou, ale pouze 23 % je aktivních v elektronické výuce (e-learning včetně CMS, tj. systému pro správu obsahu). Úroveň využití internetu je velmi rozdílná, od vystavení sylabů po multimediální interaktivní přístup, a ukazuje se, že dosud v této oblasti záleží především na nadšení jedinců. Průzkum dále ukázal, že lektoři používající e-learning mají s jeho zaváděním především

problémy finanční a časové, zatímco ostatní akademici takový problém nepociťují a poukazují spíše na obavy týkající se kvality výuky a ztráty osobního kontaktu.

### Nástroje pro e-learning

Pracovní skupina se zabývala ICT pro vzdělávání spočívající v elektronickém přístupu, přičemž kromě e-learningu (označujícího obvykle výuku pomocí internetu nebo intranetu) komentovala celé spektrum elektronických technologií vhodných pro vzdělávací proces.

### Komunikace založená na internetu

Nové technologie (např. síť třetí generace UMTS – Universal Mobile Telecommunications System) zvyšují rychlost i kapacitu spojení pro hovory, data, video i komunikace skupin osob. Patří sem:

- *e-mail* jako volně přístupný a nejběžnější způsob komunikace;
- *on-line fórum*, umožňující diskusi uzavřeným nebo veřejným skupinám;
- *instant messaging* (IM), které na rozdíl od e-mailu umožňuje uživateli odesílat a přijímat zprávy v reálném čase (řádově v milisekundách), sledovat připojení účastníků, posílat jim zprávy, soubory a chatovat. Umožňuje videokonference a potřebné služby. Stále populárnější je např. Skype, IRC, MSN Messenger atd.;
- *chatrooms*, což je on-line komunikace více lidí najednou na internetu v reálném čase. Moderní systémy umožňují audio i video komunikaci, použití vzdělávacích her a vzdělávacího materiálu;
- *webcasting*, obecně znamenající poskytování živého audio nebo videa, které jsou streamované, a tudíž brané jako vysílání na internetu. Umožňuje pořádat levné videokonference a přenos učebních materiálů.

### Databáze

Jde o soubory informací a znalostí, které lze vyhledávat, upravovat a hodnotit pomocí databázových systémů (DBMS – Database Management System). Práce s daty a jejich propojení v sítích umožňuje využít ve výuce dostupné zdroje. S tím souvisí:

- *vyhledávač* (*search engine*), tj. software k nalezení určité informace v počítačovém systému (v počítači nebo na internetu). Na základě požadavku lze získat seznam odpovídajících referencí. Vyhledávače jsou katalogové (např. Seznam) a fulltextové (např. Google) a pravidelně se aktualizují;

- *katalogy*, které umožňují výměnu obsahu nebo výukového materiálu (např. katalog Seznamu). Použití obsahu může být volné, může umožňovat společnou práci, nebo může být placené;
- *galerie* jako datové banky obrázků k prohlížení nebo vyhledávání grafických dokumentů v redukované velikosti. Vícenásobné zobrazení, popř. připojená informace (text, klíčová slova), umožňuje rychlé stáhnutí obrázků.

#### Authorware

Tyto autorské systémy pro vývoj interaktivních multimediálních programů na osobních počítačích umožňují editaci a práci s multimédií (obrázky, animace, simulace, cvičení), interaktivní a dynamickou práci bez speciálních programovacích znalostí. Například Macromedia Authorware (<http://www.amsoft.cz/Produkty/Adobe/authorware/main.html>) umožňuje tvorbu e-learningových aplikací, interaktivních katalogů a publikací, populárně naučných elektronických publikací, interaktivních vzdělávacích kurzů, digitálních stánků nebo nejrůznějších simulátorů. Nově lze do Authorware importovat také prezentace vytvořené v populárním programu Microsoft PowerPoint.

#### Simulace a hry

Simulace a hry ve vzdělávání imitují skutečnost pro účely přípravy a tréninku. Multimediální zdroje umožňují vytvořit modely virtuální reality k experimentování s jejími vlastnostmi. Obecně sem patří:

- *fyzická simulace*, která u reálného objektu umožňuje získat cenné poznatky o jeho chování;
- *virtuální simulace*, generovaná na počítači, zahrnuje potřebné fyzikální nebo ekonomické parametry, umožňuje ověřovat a hodnotit všechny potřebné vlastnosti;
- *hry*, vytvářející motivační a soutěžní prostředí pro studenty. Příkladem jsou manažerské hry pro podporu vzdělávání.

#### Nástroje pro hodnocení

Pro hodnocení znalostí a zkušeností lze rozlišit dva hlavní přístupy:

- *souhrnné hodnocení* se provádí na konci kurzu ke zjištění celkových znalostí a umožňuje klasifikaci;
- *výchovné (průběžné) hodnocení* se provádí v průběhu kurzu, dává zpětnou vazbu ke zjištění úrovně pochopení látky studentem a může ovlivnit další postup výuky. Tento způsob může použít učitel, popř. i samotný student pro vlastní hodnocení.

Objektivní hodnocení umožňují písemné testy (případně násobné testy s odpovědí ano/ne), které jsou též základem elektronického zkoušení. Subjektivní hodnocení zahrnuje prezentace, eseje, volné odpovědi.

#### Systém pro správu obsahu (CMS – Content Management System)

CMS je software zajišťující správu dokumentů, nejčastěji webového obsahu. Umožňuje v dané struktuře podle vzoru jednoduše zpracovat potřebný materiál a automaticky ho publikovat. Rozhraní CMS obvykle umožňuje definovanými pravidly stylizovat obsah do žádoucí podoby. Pro CMS se někdy používají i termíny *redakční* či *publikační systém*.

#### Systém pro řízení výuky (LMS – Learning Management System)

LMS je software obsahující aplikace, které zpravidla integrují nejrůznější on-line nástroje pro komunikaci a řízení

studia (nástěnka, diskuzní fórum, chat, tabule, evidence atd.), a zároveň zpřístupňují studentům učební materiály či výukový obsah on-line nebo i off-line (např. placené Blackboard, Microsoft Class Server – zavedený VIC na ČVUT, WebCT, nebo volné, jako je Moodle, OLAT, apod.). LMS obsahuje jednoduché navigační menu, osobní přístupová práva a obvykle zahrnuje položky:

- *organizace a harmonogram* – základní informace, programy kurzů, hodnocení, aktuality;
- *administrace* – on-line zápis studentů, evidence, popř. platby;
- *obsah kurzů* – vzdělávací materiály on-line, doplňkové nástroje, databáze, knihovna;
- *hodnocení, akreditace* – hodnotící nástroje, profily studentů, samohodnocení apod.;
- *nástroje k vytváření kurzů a komunikaci* – obsahují též návody a pomoc;
- *evidence výkonu* – kvalita, výsledky (pro dokumentaci a statistické hodnocení).

#### Vzdělávací blogy

Weblog (neformálně blog) je webová stránka obsahující periodické příspěvky (text, audio, obrázek, video), často používaná jako živý časopis. Autor se nazývá blogger (popř. bloger). Použití blogů se rozšiřuje mezi veřejností a studenty, blog lze snadno založit např. na <http://blog.cz/>. Výhodou je možnost rychlého zveřejnění a přímé odezvy publika.

#### Wikipedie – otevřená encyklopedie

Otevřená internetová encyklopedie je mnohojazyčná webová encyklopedie s otevřeným obsahem, na jejíž tvorbě spolupracují dobrovolní přispěvatelé z celého světa. Jejím cílem je tvorba a celosvětové šíření volně přístupných encyklopedických informací. Je jedním z projektů Nadace Wikimedia, s nimiž je vzájemně provázána. Wikipedie funguje na principu wiki, což znamená, že nový článek může vložit a takřka libovolný článek může změnit víceméně kdokoli s přístupem na web, nicméně obsah je do jisté míry garantován administrátory. Wikipedie funguje zhruba v 60 jazycích.

#### Cíle použití ICT ve stavebním vzdělávání

Možnosti nových technologií je nutné sledovat s ohledem na rozumné a efektivní cíle. Potřeby vysokoškolských učitelů a studentů se mohou lišit.

#### Cíle pro vzdělání studentů

Vzdělání studentů pro jejich uplatnění v praxi vyžaduje používání nejmodernějších a výkonných softwarových nástrojů. Dlouhodobě se používají počítačové návrhové a grafické softwary typu CAD, CAM a virtuální simulace, jaké umožňují např. výpočty metodou konečných prvků. V sou-

Tab. 1. Hlavní rozdíly mezi „výukou“ a „učením se“

„Výuka“	„Učení se“
fakta	řešení problémů
individuální úsilí	týmová spolupráce
složení testu	umění učit se
získání titulu	trvalé zlepšování
jednotlivé předměty	interdisciplinární přístup
obdržení informací	kombinované zpracování informací
ICT není součástí vzdělávání	ICT je součástí vzdělávání

časnosti je k profesionálnímu výkonu nutné používat ICT pro schopnost rychlé adaptace na inovace. Obecně se přijímá názor, že vzdělávání se mění z přístupu „výuka“ (teacher-centred) na „učení se“ (student-centred), *tab. 1*.

Přístup „učení se“ jednoznačně vyžaduje použití ICT. Nárůst možností moderních technologií rovněž umožňuje trvalé a celoživotní vzdělávání. Vzhledem k trvalé přístupnosti většiny multimédií se vzdělávání stává nezávislé na prostoru a čase a vede k distanční a multidisciplinární formě.

### Cíle pro potřeby akademiků

Pracovní zatížení a nedostatek času vysokoškolských učitelů se stávají problémem. Moderní ICT ulehčují přípravu učebních materiálů i prezentaci. Úsporu času může zajistit studijní materiál určený pro samovýuku a různé způsoby komunikace se studenty.

Elektronické průběžné hodnocení studentů může umožnit modifikaci kurzu a optimalizaci výsledků. K posouzení kvality porozumění látky jsou vhodné samohodnotící nástroje dostupné v LMS.

Je zřejmé, že dostupnost nejnovějších zdrojů v ICT rozšiřuje spolupráci a výměnu informací ve vzdělávání i výzkumu v globálním měřítku. Volné i komerční zdroje tak otevírají nové možnosti vzdělávání.

### Příklady použití ICT ve stavebním vzdělávání

Zpráva [2] uvádí zkušenosti tří autorů týkající se e-learningových aktivit na vlastních univerzitách.

*R. Reinecke* popisuje Virtuální univerzitu Bayern, VHB (www.vhb.org). Jde o multimediální kurzy doplňující výuku 9 bavorských univerzit a 17 polytechnik. Webové on-line kurzy jsou bez poplatku přístupné studentům a zaměstnancům bavorských univerzit. V současnosti je nabízeno 83 předmětů a 48 modulů. Kurzy jsou propojeny s encyklopediemi, simulacemi, katalogy, virtuálními laboratořemi atd. Student může absolvováním kurzu získat příslušné kredity. Zkouška k absolvování kurzu je osobní, na univerzitě. Náklady projektu v letech 2000–2002 činily 11,2 M€, a poté ročně 3,6 M€. Čtenář může nahlédnout např. do virtuálního kampusu Bavaria (www.vcb.de).

*K. Kuijen* popisuje použití softwaru Blackboard na TU Delft (komerční LMS), dostupný studentům, akademikům a hostům. Autor systém spravuje a doplnil jej o řadu vlastních modulů, např. pro promítání filmů. Zkušenost s dobře naplněným Blackboardem je vyčtečná. Motivace studentů se zvýšila díky kvalitním informacím použitím prezentací v Power Pointu, fotografií a filmů, Blackboardu jako referenčního softwaru a společnými diskuzemi. Univerzita vyvíjí v rámci softwaru Blackboard nové možnosti: přednášky na webu (v HTML), kombinace s multimédií pomocí authorware, filmové přednášky s využitím webové kamery, videokonference, použití vzdělávacích her, studium na zkoušku pro nové studenty.

*J. Bujňák* popisuje využití volného softwaru Moodle v prostředí Žilinské univerzity. Elektronické vzdělávání na Slovensku je koordinováno ministerstvem školství a vychází z plánu EU (eEurope+) a doporučení EUA. Byly vytvořeny stanovy přiřazující aktérům v elektronickém vzdělávání nové úlohy: student používá distanční a elektronické zdroje; akademici hledají nové modely výuky, elektronickou komunikaci a zdroje informací; organizátoři odpovídají za koordinaci, vývoj kurzů, vytvoření LMS; nové úkoly mají dodavatelé softwaru, serverů, počítačová centra atd. Analyzován

byl proces výuky, přípravy materiálů a hodnocení. Proces přeměny tradiční výuky na elektronické vzdělávání může být brzděn akademiky, kteří nejsou s novými možnostmi ICT obeznámeni. Jak bylo uvedeno, univerzita používá volně přístupný software Moodle. Vyhovuje základním požadavkům studentů, akademiků i administrativy (<http://vzdelavanie.utc.sk>), poskytuje hodnocení znalostí, zkoušení i hodnocení kurzů.

### Požadavky

Zavedení ICT pro vzdělávání je podmíněno požadavky jak technologie, tak vstupujících aktérů. Neustálý vývoj ICT vyžaduje dostatečnou podporu univerzity. Student musí být více kontrolován, zda není pasivní nebo není frustrován (pokud není zkušební) obsluhou softwaru, popř. odstraňováním problémů při jeho aplikaci. Je samozřejmostí, že musí mít dostatečný přístup k potřebnému hardwaru i softwaru.

Z hlediska univerzity a vysokoškolských učitelů je nutné vytvořit sekci informačních technologií, která pomáhá učitelům snížit požadavky na expertní znalosti těchto systémů na minimum. Učitelé mají být jasně vedeni instrukcemi tvorby kurzů, motivováni kvalitním výsledkem a mít záruku podpory při problémech. Hlavní činnost se potom soustřeďuje na obsah kurzů a srozumitelnost pro studenty. Důležitým aspektem celého procesu jsou náklady na nákup, vývoj, školení a údržbu systémů. Je vhodné je považovat za investici do budoucna, a proto je nutné vyhodnotit použitelnost systému pro určitý časový horizont. Ukazuje se, že internet, globální konkurence a možnost výběru místa studia nevyhnutelně vede univerzity k hledání nových cest vzdělávání.

### Doporučení pracovní skupiny EUCEET

Na základě diskuzí v pracovní skupině byla navržena následující doporučení pro univerzity zavádějící ICT ve vzdělávání:

- definovat cíle zavedení ICT;
- analyzovat současný stav (jaké zdroje a zkušenosti jsou k dispozici);
- začít s nejjednoduššími kroky (zlepšit systém bez totální změny);
- použít odpovídající a obecně prostředky (např. podle doporučení z odpovídající oblasti);
- přijmout požadavky na náklady, čas a počítat s případnými problémy;
- vytvořit kvalitní podporu (podle počtu uživatelů a zavedených systémů).

Definice cílů vede k řadě možností a systémů. Systémy obvykle nejsou kompatibilní a jde o velkou investici, která vede k reorganizacím a rušení jiných používaných systémů. Vybraný systém má mít všeobecně sdílené rozhraní a být diskutován se zkušenými uživateli.

V počáteční fázi je nutné předpokládat problémy vedoucí až k frustracím uživatelů, které je nutné řešit soustavnou pomocí a konzultacemi.

Moderní univerzity mají zavedený LMS a kvalitní středisko informačních technologií, které umožňují akademikům věnovat se vzdělávací a vědecké činnosti, aniž by museli neustále sledovat nejnovější technologický vývoj ICT. Zavedení elektronického vzdělávání neznamena stoprocentní elektronické prostředí, ale umožnění „učení se“, kde e-learning i tradiční výuka mají své místo.

**Literatura**

- [1] Holmes, P. – Angelides, D. – Bratteland, E. – Lemos, L.: Report of the WGE, Innovation in Teaching and Learning in Civil Engineering. EUCET, ed. I. Manoliu, Vol. 3, 2002, pp. 113–214.
- [2] Kuijen, K. – Bujňák, J. – Reinecke, R.: ICT in Civil Engineering Education. EUCET II, Vol. 6, ed. I. Manoliu, 2006, pp. 75–98, <http://www.euceet.utcb.ro/>

**Macháček, J.: Information and Communication Technology in Civil Engineering Education**

This paper deals with activities and results of working group SP6 of Socrates project TN EUCET II. This educational project started in 1998, has been running for seven years full of intensive activities, involves 132 partners (among them 101 universities) and its outcomes have been published in six volumes as well as electronically [2]. The project is closely tied to activities of the AECEF (Association of European Civil Engineering Faculties) established at the Faculty of Civil Engineering of the Czech Technical University in Prague in 1992.

**Macháček, J.: Informations- und Kommunikationstechnologien im bautechnischen Bildungssystem**

Der Artikel befasst sich mit den Ergebnissen der Arbeitsgruppe SP6 des Projektes Socrates TN EUCET II. Dieses Bildungsprojekt wurde 1998 begonnen und hat 7 Jahre intensiver Tätigkeit hinter sich. Am Projekt haben 132 Partner mitgearbeitet (davon 101 Universitäten), und die Ergebnisse sind in 6 Buchbänden und auch elektronisch veröffentlicht [2]. Das Projekt ist direkt mit der Tätigkeit der Assoziation AECEF verknüpft, die 1992 an der Fakultät Bauwesen der TU Prag gegründet wurde.

**• projekty****Administrativní budova Trianon**

Na nároží ulic Budějovická a Vyskočilova v Praze 4 vyrůstá nová budova s celkovou plochou 23 000 m<sup>2</sup>. K dispozici bude 18 500 m<sup>2</sup> administrativních prostor, v přízemí obchody a restaurace a podzemní garáže s 298 parkovacími místy. S dokončením stavby se počítá počátkem roku 2009.



Autorem projektu je pražská architektonická kancelář Pa-ta & Frýdecký Architekti, vlastníkem budovy investiční fond Union Investment Real Estate AG (dříve DIFA). Stavební práce zajišťuje HOCHTIEF Development Czech Republic.

*Tisková informace*

**Spolek Česká technika**

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

Dobrovolná nepolitická organizace absolventů všech fakult a oborů ČVUT Česká technika byla založena v roce 1995 se zaměřením na zvýšení prestiže ČVUT a jeho absolventů. Podobně jako obdobné spolky u významných univerzit v zahraničí nabízí členství absolventům a přátelům, kteří mají zájem o minulost a současnost mateřské vysoké školy, chtějí přispět k jejímu rozvoji a podporovat zdejší pedagogickou a vědeckou činnost. Předsednictvo spolku spolupracuje s vedením ČVUT. Navazuje hlubší vazby mezi oblastmi technického vzdělávání, vědy a výzkumu a praktických aplikací v průmyslu. Pro své členy organizuje přednášky špičkových odborníků z různých vědních oborů a exkurze do předních podniků a institucí. Prostřednictvím mezinárodní spolupráce, osobních kontaktů a za podpory vedení ČVUT se dále zaměřuje na pomoc členům v různých oblastech: získávání dlouhodobých i krátkodobých studijních pobytů v zahraničí, přístup k zahraniční literatuře a databázím, výměnu pedagogických a vědecko-výzkumných zkušeností, zprostředkování účasti na řešení mezinárodních vědeckotechnických projektů a na zahraničních odborných akcích.

Spolek vítá všechny, kteří mají trvalý pocit sounáležitosti s Alma Mater ČVUT a kteří chtějí vytvářet neformální společenství lidí s podobnými, navzájem provázanými zájmy – ať už jde o pedagogy, nebo pracovníky vědecko-výzkumné základny a průmyslu. Jejich znalosti a zkušenosti poslouží rozvoji ČVUT a podpoře pedagogické i vědecké činnosti s cílem vychovávat vyspělé technické odborníky s potřebným manažerským a humanitním vzděláním.

## Komplexní přístup ke vzdělávání v oblasti navrhování konstrukcí na životnost

doc. Ing. Alena KOHOUTKOVÁ, CSc.  
ČVUT – Fakulta stavební, Praha

prof. Ing. Břetislav TEPLÝ, CSc.  
VUT – Fakulta stavební, Brno

Teorie v oblasti navrhování a hodnocení životnosti staveb ve vztahu k udržitelnému rozvoji a efektivnímu využívání energií se v posledních letech pozitivně projevila rozvojem progresivních metod, nových postupů a novými nástroji v řadě činností, nejenom technických, nýbrž i ekonomických, řídicích, manažerských a dalších. Zatím však příslušné znalosti nejsou odborné komunitě natolik známy, aby tyto nástroje mohly být dostatečně efektivně využívány. Výuka na technických vysokých školách tyto skutečnosti respektuje jen omezeně – otázky životnosti se objevují v nabídce základních studijních programů jen v malém počtu předmětů, často jen okrajově, bez potřebné komplexnosti; také v kurzech celoživotního vzdělávání inženýrů to zatím není obsaženo. Tento článek vznikl ve snaze současnou situaci popsat a snad také přispět k jejímu zlepšení.

### Hodnocení životnosti konstrukcí vs. současné i připravované mezinárodní předpisy, doporučení a praktické důsledky

V poslední době vystupuje do popředí nutnost projektovat konstrukce na specifickou (požadovanou) životnost, objektivněji hodnotit a srovnávat alternativní řešení, popř. omezit rizika důsledků nevhodných řešení. Přitom jde často o významné ekonomické, popř. také sociálně-kulturní dopady. Postupy umožňující takový způsob navrhování nosných stavebních konstrukcí však nejsou v současných stavebních předpisech přímo zahrnuty. V nedávném období se však objevily, resp. se připravují, mezinárodní dokumenty a doporučení, zaměřené tímto směrem:

(1) v Japonsku „Doporučení pro navrhování na trvanlivost a konstrukční praxi železobetonových konstrukcí“, publikované v roce 2004 Japonským institutem pro architekturu JAI (v japonštině, částečně v angličtině [1]);

(2) na betonové konstrukce zaměřená práce [2] – součást budoucího fib Model Code;

(3) od roku 2004 připravovaný nový, obecněji zaměřený dokument ISO [3]. Popis zásad tohoto standardu viz [4].

Všechny tyto dokumenty (nebo alespoň jejich hlavní části) jsou založeny na pravděpodobnostním přístupu, tj. vyžadují práci s náhodnými veličinami, s výpočetními modely a vedou k odhadům pravděpodobnosti dosažení mezních stavů trvanlivosti (viz např. [7]), tj. k vyšší kvalitě informací. Poznamenejme ještě, že životnost je ovlivněna zásadně již při projektování a výstavbě objektu, a dále pak kvalitou údržby po dobu provozu [8].

Další závažnou okolností, vedoucí k nutnosti zvyšování povědomí stavebních inženýrů, je to, že v poslední době se v řadě států objem prostředků vydávaných na opravy a re-

konstrukce přibližuje objemu prostředků spotřebovávaných na novou výstavbu (někde již je tento poměr dokonce vyšší). To signalizuje trend ke zvýšení životnosti staveb a zvýšení jejich užítku jako benefit cílového majitele. Vypovídá to ovšem také o četnosti případů, kdy konstrukce nebyly původně navrženy/provedeny s dostatečnou kvalitou. Pro porovnání se nyní pokusme uvést potřebná data o českém stavebnictví.

Při pohledu na údaje o objemech stavební produkce, každoročně zveřejňované Českým statistickým úřadem, zjistíme, že v roce 2006 byly provedeny stavební práce za 463 060 mil. Kč. Rozhodující podnikovou základnu stavebnictví tvořilo 2 482 podniků s 20 a více zaměstnanci, které provedly stavební práce za 320 867 mil. Kč, tj. o 6,6 % více než v roce 2005 (tab. 1).

Tab. 1. Stavební práce v roce 2006 [10]

Ukazatel	Hodnota [mil. Kč běžných cen]	Index
stavební práce podle dodavatelských smluv celkem	320 867	106,6
v tuzemsku	312 742	105,3
nová výstavba, rekonstrukce a modernizace	272 882	106,0
z toho: pozemní stavitelství	164 483	109,0
inženýrské stavitelství	108 399	101,6
opravy a údržba	37 832	106,3
z toho: pozemní stavitelství	17 688	89,0
inženýrské stavitelství	20 144	128,6
ostatní práce	2 028	51,8

Hlavním faktorem růstu stavební produkce i nadále zůstal nárůst produkce pozemního stavitelství, kde pokračovala intenzivní výstavba bytových a rodinných domů, která se opírala zejména o dynamický vývoj na trhu hypoték a úvěrů ze stavebního spoření s finanční podporou mladým manželům. Růst produkce byl dále ovlivněn realizací developer-ských stavebních projektů zahraničních investorů, zaměřených především na výstavbu administrativních a multifunkčních center. Další růst produkce inženýrského stavitelství byl ovlivněn zejména výstavbou dálnic a rekonstrukcí a modernizací železničních tratí včetně jejich uzlů. Nová výstavba, včetně rekonstrukcí a modernizací investičního charakteru, činila rozhodující část stavební produkce (85 %):

- bytové budovy 18,7 % (obytné a rodinné domy a nástavby a přístavby),
- budovy výrobní 17,0 % (tovární haly, budovy pro zemědělství, obchod a dopravu),

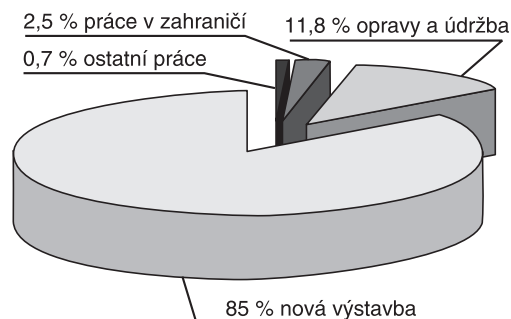
- budovy nevýrobní 21,6 % (obchodní centra, školní, zdravotnické a administrativní budovy),
- inženýrské stavby 41,2 % (silnice, dálnice, mosty, tunely),
- vodohospodářské stavby 1,5 % (hráze, jezy a stupně, nádrže na tocích, plavební komory).

Pokud chceme vědět, jak se liší naše podmínky od evropských, je třeba zdůraznit, že stále existuje menší podíl bytové výstavby, který však postupně roste, a vysoký podíl inženýrské výstavby. Co je nejdůležitější z pohledu diskutovaného tématu, existuje stále, na rozdíl od vyspělých států, výrazně menší podíl oprav a údržby (pouze 11,8 %) a trend se zatím nemění (tab. 2). Čtenář si jistě povšiml, že tento údaj je poněkud zavádějící – ve třetím řádku tab. 1 jsou obsaženy i rekonstrukce a modernizace a kromě toho významný podíl činnosti malých firem (do 20 zaměstnanců), který v bilanci není zahrnut, je jistě zaměřen na údržbu, opravy, rekonstrukce apod. Nezbyvá než odpovídající objemy prací odhadem přičíst k výše uvedenému a jistě bychom se přiblížili hodnotě 30 % místo 11,8 %. Přitom nelze tvrdit, že u nás není dost potenciálních zakázek pro opravy a rekonstrukce – připomeňme jen notoricky známou situaci u panelových domů, popř. památkových objektů. U mostních staveb pak bylo nedávno konstatováno [11], že např. na silnicích I. tř. v roce 2006 bylo 700 mostů v bezvadném stavu, ale 760 jen v uspokojivém stavu, 210 mostů pak dokonce ve špatném stavu. Silnice II. a III. tř. mají situaci ještě horší: 3 750 stav uspokojivý, 1 300 špatný a 350 dokonce velmi špatný. Je tedy zřejmé, že stavebnictví bude potřebovat dobré odborníky, kteří budou projektovat a provádět ve značné míře práce zaměřené na opravy a rekonstrukce s životností lepší, než se dělo doposud. U nové výstavby by mělo rozhodovat hledisko dlouhodobého užítu, tj. hodnocení životního cyklu objektu – opět práce pro odborníky znalé postupů a technologií vedoucích k optimalizaci nákladů a užítu po celou dobu technického života stavby. Tomu pak musí samozřejmě předcházet kvalifikovaná rozhodnutí o alokaci zdrojů, což předpokládá schopnost posoudit všechny důležité souvislosti a rizika.

Je tedy vidět, že naznačená problematika životnosti staveb si zasluhuje velkou pozornost, tj. i systematické řešení v oblasti vzdělávání, a je také zřejmé, že na tento trend je nutno připravovat studenty/absolventy stavebních fakult – není to zatím běžné a v tradičních kurzech stavebního inženýrství to nebývá zahrnuto dostatečně podrobně a ve všech souvislostech. Některé části jsou zmiňovány jen okrajově, jiné již podrobněji, i když často jen pro omezený počet posluchačů (např. teorie spolehlivosti [5]). Jako příklad ze zahraničí může sloužit příspěvek [6], kde jsou popsány zkušenosti s výukou specializovaných kurzů o životnosti konstrukcí, které probíhají již sedm let ve Španělsku (Barcelona). Bylo by vhodné neprodleně tomuto trendu přizpůsobit výuku i u nás.

Tab. 2. České stavebnictví – vývoj indexu [10]

Ukazatel	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
stavební práce celkem	108,4	104,2	95,9	92,9	93,2	105,6	109,1	102,6	109	108,9	105,8	106,6
nová výstavba, rekonstrukce a modernizace	110,7	105,5	96,9	91,5	93,6	106,7	109,0	101,8	108,3	110,0	107,2	106,0
oprava a údržba	96,7	98,6	92,7	103,1	88,6	93,1	101,2	114,1	114,7	98,7	95,3	106,3
pozemní stavitelství	–	–	–	–	–	–	106,3	98,6	106,8	109,5	102,7	106,7
inženýrské stavitelství	–	–	–	–	–	–	111,1	112,1	113,0	106,6	109,9	105,0



Obr. 1. Struktura objemu stavebních prací v 2006 (podniky s více než 20 zaměstnanci)

### Důsledky a souvislosti navrhování na životnost

Nejprve stručně zmíníme několik disciplín, jejichž aktivní aplikace je ve výše zmíněných souvislostech žádoucí, resp. nutná. Spolehlivost patří k základním požadavkům při navrhování či posuzování stavebních konstrukcí, ale je nutno přiznat, že v současných předpisech a normách je kvantifikace spolehlivosti konstrukcí jaksi skryta – při postupu podle metody dílčích součinitelů spolehlivosti míru spolehlivosti explicitně nestanovujeme. Projektant nemůže tedy v tomto ohledu vyhodnocovat alternativy konstrukčních řešení, porovnávat, optimalizovat, případně navrhnout konstrukci s nějakou specifickou, předem zadanou hodnotou míry spolehlivosti (která může být popsána teoretickou pravděpodobností poruchy, resp. indexem spolehlivosti, a odpovídá některému z mezních stavů [7]). Bylo by jistě účelné, kdyby inženýr měl dostatečné znalosti o pravděpodobnostní problematice a mohl se lépe orientovat v různých návrhových situacích. Navíc Eurokód připouští možnost navrhovat konstrukce pomocí plně pravděpodobnostních metod. Použití takových metod však vyžaduje znalost statistických a pravděpodobnostních postupů a také vyžaduje statistická hodnocení nejistot obsažených ve vstupních veličinách.

Pravděpodobně hlavním trendem světového stavebnictví se stala snaha o trvale udržitelný rozvoj, tj. nutnost zaměřit se na optimalizaci užitných hodnot stavebního objektu a jeho ekonomické, energetické a ekologické (!) náročnosti. Je proto nutno mj. přihlížet k nákladům za celý životní cyklus objektu a konstrukce navrhovat již s ohledem na životnost. Životnost stavebního prvku, konstrukce, objektu je doba, po kterou mají být splněny požadované funkce a potřebná míra spolehlivosti při běžné (plánované) údržbě – je to tedy značně „individuální“ hodnota. Součinnost ekonomických disciplín je nezbytná. V ČR se tak zatím neděje v potřebné míře

– opět zejména v důsledku nepřipravenosti projekce, stavebního průmyslu (a také stavebníků!). I zde je totiž pravděpodobnostní přístup nutný [8].

Další oblastí, kde je nutno respektovat pravděpodobnostní kategorie a techniky, je analýza rizika, která obvykle také vede k nutnosti propojit pravděpodobnostní informace s ekonomickými. Znalost kvantifikovaného rizika je nezastupitelná při moderních způsobech rozhodování, např. pro účelnou alokaci finančních zdrojů. Základní informace o analýze rizika viz např. [9].

Z tohoto výčtu je jistě důležitost šíření znalostí souvisejících s pravděpodobnostními přístupy zřejmá. Jde totiž o to, abychom do analýz, rozhodování a při řídicích činnostech mohli zahrnout také vliv nevyhnutelných/přirozených nejistot a neurčitostí.

### Výuka v minulých letech a současný stav

Na základě informací o současných studijních plánech Stavebních fakult ČVUT v Praze a VUT v Brně lze konstatovat, že silně převažující část výuky v bakalářských studijních programech vytváří znalosti téměř výhradně o navrhování a výstavbě nových objektů. Disciplínám souvisejícím s opravami, rekonstrukcemi, vazbou na technologie a ekonomickými souvislostmi je věnováno podstatně méně prostoru – zpravidla ve specializovaných předmětech na magisterské úrovni studia. Vztah k plánování údržby, udržitelnému rozvoji, úsporám energií a recyklaci stavebních materiálů lze sice najít v řadě předmětů vyučovaných v oborech stavebního inženýrství a v obecné rovině navrhování konstrukcí se v sylabech uvádějí základní principy navrhování z hlediska životnosti, bohužel bez vyústění do konkrétních rozborů širších důsledků.

Poněkud lepší situace je v oblasti výuky metod pro analýzu rizik – např. k akreditaci se připravuje ucelená část studijního plánu na Fakultě stavební ČVUT v Praze.

### Výhledy a doporučení

Vzhledem k aktuálnosti a širokému spektru aplikací otázek životnosti v inženýrství se domníváme, že v nejbližší době by mělo dojít ke změnám ve studijních plánech stavebních fakult nebo alespoň k zařazení či posílení relevantních předmětů:

- u bakalářského studia na úrovni ucelené soustavy základních principů otázek životnosti;
- u magisterských a inženýrských studií, kde půjde o seznámení s pokročilejšími metodami a reálnými aplikacemi (přízpusobenými podle oborů), které by mohlo či mělo vést k zavedení samostatného studijního oboru nebo studijního programu podle zvyklostí na dané fakultě;
- v doktorandských studijních programech by měl být k dispozici stále dostatek témat dizertačních prací se vztahem k řízení životnosti, podpořený spektrem předmětů, které by umožnily doktorandům získat komplexní znalosti pro další rozvíjení výzkumné činnosti, popř. uplatnění v praxi v řídicích funkcích;
- informace by neměla zůstat izolována v samostatných předmětech, ale návaznost a aplikace musejí být zmiňovány i v dalších předmětech budujících znalosti konstrukční, materiálové, ekonomické a manažerské;
- pro překlenutí současné nedostatečné informovanosti inženýrů v praxi bude vhodné zařadit do škály celoživotního vzdělávání také odpovídající tematiku, pravděpodobně ve spolupráci fakult s profesními organizacemi, jako jsou ČKAIT nebo ČSSI.

Článek vznikl za podpory projektu č. 103/06/1567 GA ČR.

### Literatura

- [1] Noguchi, T. – Kanematsu, M. – Masuda, Y.: Outline of Recommendations for Durability Design and Construction Practice of Reinforced Concrete Buildings in Japan. In Proc. of 7th CANMET/ACI Intern. Conference (edit by V. M. Malhotra), Montreal, 2006, pp. 347–373.
- [2] fib Model Code 2007: Part “Service Life Design”, fib Bulletin, No. 34, 2006.
- [3] ISO WD 13823 „General Principles on the Design of Structures for Durability“ (technická komise ISO/TC 98, Bases for Design of Structures, subkomise SC 2, WG 10).
- [4] Holický, M.: Pravděpodobnostní ověřování a optimalizace trvanlivosti. Stavební obzor, **15**, 2006, č. 6, s. 164–168.
- [5] Teplý, B.: O vzdělávání v teorii spolehlivosti stavebních konstrukcí a pravděpodobnostních přístupech. Stavební obzor, **12**, 2003, č. 4, s. 119–121.
- [6] Casas, J. R.: Educating Structural Engineers on Service Life Issues. A Perspective. European Symposium on Service Life and Serviceability of Concrete Structures ESCSA-2006, Helsinky, (CD), pp. 377–382.
- [7] Teplý, B.: Mezní stavy včera, dnes a zítra. Stavební obzor, **14**, 2005, č. 7, s. 193–196.
- [8] Teplý, B.: Trvanlivost – náklady – spolehlivost konstrukcí. Beton TKS, 3/2005, s. 3–5.
- [9] Tichý, M.: Rizikové inženýrství. Stavební obzor, č. 9/94, 9/95 a 1/96.
- [10] Český statistický úřad, [www.czso.cz/csu/csu.nsf/informace/Csta021207analiza07.doc](http://www.czso.cz/csu/csu.nsf/informace/Csta021207analiza07.doc)
- [11] Kaas, T.: Strategie a koncepce ŘSD ČR v mostním stavitelství ve vztahu k výstavbě a opravám mostů na silniční a dálniční síti ČR. [Sborník], sympozium „Mosty 2007“, s. 22–26.

### Kohoutková, A. – Teplý, B.: Education in Durability of Structures: A Complex Approach

Advanced trends in assessment and design of buildings for durability, considering sustainability issues, are briefly described. They impact the technical, economic as well as management activities. The current university curricula do not reflect these trends to a suitable extent; the durability and service life questions should be treated in a more detailed and complex way.

### Kohoutková, A. – Teplý, B.: Ausbildung auf dem Gebiet der Lebensdauer von Konstruktionen – komplexes Herangehen

Der Artikel skizziert fortschrittliche Verfahren zur Bewertung und Planung von Gebäuden auf Dauerhaftigkeit hin unter Berücksichtigung der nachhaltigen Entwicklung, welche Einfluss auf die technische, wirtschaftliche und Leitungstätigkeit haben. Die gegenwärtigen Hochschulrichtlinien berücksichtigen diese Entwicklungstrends nicht in einem geeigneten Ausmaß. Es ist notwendig, sich den Fragen, die die Dauerhaftigkeit und Lebensdauer betreffen, ausführlicher und komplexer zu widmen.



## Počítačová analýza průběhu teplot v betonu

prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.  
doc. Ing. Petr KONVALINKA, CSc.  
Ing. Tomáš DOLEŽEL  
ČVUT – Fakulta stavební, Praha

Ing. Pavel RYBÁŘ  
Valbek, spol. s r. o., středisko Plzeň

Článek se zabývá počítačovým vyšetřováním teplotního namáhání prostého betonu, provedeným na základě charakteristických experimentů. Experimenty jsou prováděny na zkušebních válcových tělesech a na základě výsledků je identifikován součinitel teplotní vodivosti v různých teplotních podmínkách.

### Úvod

Beton je jedním ze základních a nejrozšířenějších konstrukčních materiálů používaných ve stavebnictví. Pro ekonomicky hospodárný návrh konstrukcí je nutno znát co nejpřesněji nejen jeho mechanické, ale i termofyzikální parametry. Beton je výrazně nehomogenní materiál, jehož makroskopické vlastnosti jako celku jsou ovlivněny vlastnostmi jednotlivých komponentů, tj. především druhem použitého pojiva a plniva, dále pak obsahem vlhkosti, pórovitostí aj. Pro dokonalý matematický popis, potřebný k přesnému modelování chování takového materiálu, je tedy zapotřebí značné množství parametrů. V tomto článku se zaměříme především na stanovení součinitele teplotní vodivosti prostého betonu s určitým obsahem vlhkosti v závislosti na teplotě. Pro přesný výpočet rozložení teplotně vlhkového pole je nutno uvažovat materiálové charakteristiky jako funkce teploty, obsahu vlhkosti, času, případně dalších veličin, a nejen jako konstantní hodnoty.

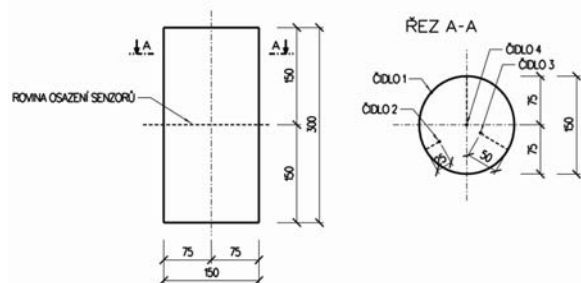
Ideálním způsobem, jak popsat tyto komplexní jevy – jakými transportní procesy v heterogenních pórovitých materiálech bezpochyby jsou – je vytvořit matematický model na mikroskopické úrovni. To by ovšem vyžadovalo modelovat jednotlivé atomy a jejich vzájemné interakce. Tento postup ovšem není v současnosti výpočetně uskutečnitelný. Možností, jak optimalizovat výpočetní náročnost na straně jedné a přesnost na straně druhé, je modelování na mezoskopické úrovni, tj. provést simulace na reprezentativním objemu materiálu, tyto výsledky statisticky vyhodnotit a použít je jako charakteristiky „homogenního“ materiálu.

### Experimenty

Základním vzorkem použitým při experimentech byl betonový válec Ø 150 mm a výšky 300 mm, tedy klasický vzorek pro stanovení pevnosti v prostém tlaku. Vzorek byl vyzrálý s ustáleným obsahem vlhkosti. V polovině výšky byla v různé hloubce od povrchu (25 mm, 50 mm a 75 mm) osazena tři čidla schopná registrovat teplotu. Další senzor byl umístěn na povrchu vzorku (obr. 1).

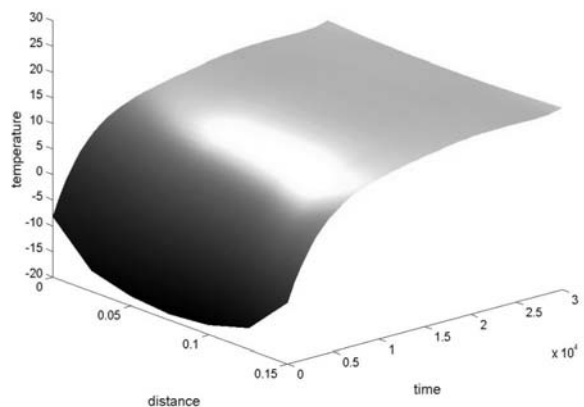
Vzorek byl následně vystaven třem cyklům, které představovaly běžné tepelné namáhání reálných konstrukcí. V prvním experimentu byl vzorek z počáteční teploty 23 °C mra-

zen na konečnou teplotu -17 °C, při druhém experimentu rozmrazil z teploty -17 °C na teplotu 16 °C. Třetí experiment představoval cyklické zmrazení a rozmrazání v rozmezí před-



Obr. 1. Rozmístění teplotních čidel

chozích teplot. V průběhu tepelného zatěžování čidla kontinuálně registrovala teplotu v intervalech 30 s. Výsledný průběh teploty v místech osazení jednotlivých senzorů a rozložení teplotního pole ve vzorku materiálu pro experiment 2 znázorňuje obr. 2.



Obr. 2. Rozložení teplotního pole ve vzorku při experimentu 2

### Matematické řešení

Při matematickém modelování transportu tepla [1] vycházíme z obecného tvaru rovnice vedení tepla (současný transport kapalné vlhkosti, vodních par či solí není uvažován)

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} - \text{div}(\lambda \cdot \text{grad} T) = G(x, t),$$

kde  $G(x, t)$  je funkce představující rozložení vnitřních zdrojů tepla (chemických reakcí, průchod elektrického proudu apod.);

- $G(x, t)$  – teplota v místě  $x$  a čase  $t$ ;  
 $t$  – čas [s];  
 $\rho$  – hustota [ $\text{kgm}^{-3}$ ];  
 $c$  – měrná tepelná kapacita [ $\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ];  
 $\lambda$  – součinitel tepelné vodivosti [ $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ].

Někdy se pracuje se součinitelem teplotní vodivosti  $a = \frac{\lambda}{\rho c}$  [ $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ ].

Není-li prostředí homogenní, jsou obecně hustota, měrná tepelná kapacita i součinitel tepelné vodivosti funkcemi polohy, tj.  $c = c(x)$ ,  $\lambda = \lambda(x)$ ,  $\rho = \rho(x)$ . Měrná tepelná kapacita i tepelná vodivost jsou obecně také funkcemi teploty, ovšem pro nepřilíši široký rozsah teplot lze tuto závislost zanedbat.

Na základě experimentálního uspořádání můžeme tuto obecně trojrozměrnou úlohu zjednodušit a dále uvažovat jako úlohu jednorozměrnou. Při matematickém modelování jednorozměrného transportu tepla bez vnitřních zdrojů tepla můžeme obecný tvar rovnice vedení tepla upravit do tvaru

$$a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{\partial T}{\partial t}. \quad (1)$$

Nahradíme-li derivace příslušnými diferenčními podíly v souladu se schématem na obr. 3, pak

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{T_{i-1,j+1} - 2T_{i-1,j} + T_{i-1,j-1}}{h^2} \quad (2)$$

a

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \lim_{\tau \rightarrow 0} \frac{T_{i,j} - T_{i-1,j}}{\tau}. \quad (3)$$

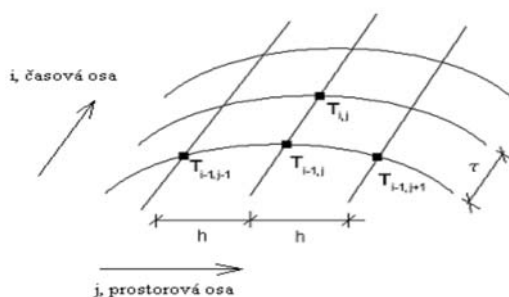
Dosazením vztahů (2) a (3) do rovnice vedení tepla (1), dostaneme vztah

$$a(T_{i-1,j}) \frac{T_{i-1,j+1} - 2T_{i-1,j} + T_{i-1,j-1}}{h^2} = \frac{T_{i,j} - T_{i-1,j}}{\tau}, \quad (4)$$

po jehož úpravě

$$\Rightarrow a(T_{i-1,j}) = \frac{h^2(T_{i,j} - T_{i-1,j})}{(\tau T_{i-1,j+1} - 2T_{i-1,j} + T_{i-1,j-1})}. \quad (5)$$

Teplota v jednotlivých časoprostorových uzlech je známa (experimentálně stanovena). Dostáváme tedy vztah, jehož aplikací můžeme v kterékoliv oblasti teplotního pole vypočítat příslušnou hodnotu součinitele teplotní vodivosti  $a$  pro teplotu  $T_{i-1,j}$ . Ve výsledné rovnici (5) představuje  $h$  velikost



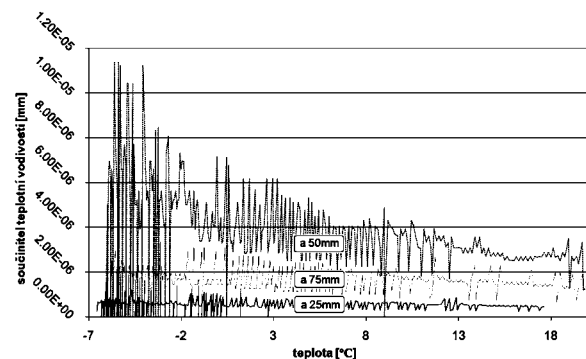
Obr. 3. Schéma

prostorového „kroku“ a  $\tau$  velikost časového „kroku“. Zároveň by měla platit podmínka stability ve tvaru  $0 < r < 1/2$ , kde  $r = a\tau/h^2$ .

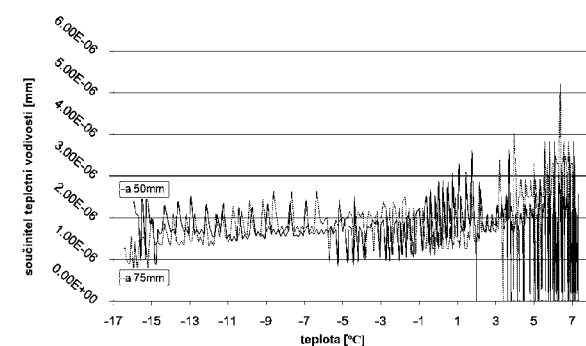
Využitím uvedených matematických vztahů byl na základě experimentálně stanovených dat vypočten průběh součinitele teplotní vodivosti v závislosti na teplotě v místech osazení čidel 2, 3 a 4, tedy pro senzory umístěné uvnitř materiálu. Pro statistické vyhodnocení byl dále použit jen průběh v ose válce nejméně ovlivněný kolísáním teploty v okolním prostředí. Proložení regresními křivkami byly získány funkční předpisy závislosti součinitele teplotní vodivosti na teplotě.

Vyhodnocení experimentu bylo rozděleno do dvou částí, a to na stanovení součinitele teplotní vodivosti v oblasti kladných, a následně v oblasti záporných teplot. V první části tedy byla použita data z experimentu 1 a příslušné větve z experimentu 3. Druhá část byla zaměřena na experiment 2 a „rozmrazovací“ větve experimentu 3.

Grafy na obrázcích 4 a 5 znázorňují průběh vyhodnocených součinitelů teplotní vodivosti v závislosti na teplotě. Je patrný rozdíl ve velikosti součinitelů teplotní vodivosti v místech jednotlivých „řezů“. Tento rozptyl hodnot mohl být způsoben rozdílnou vlhkostí po délce vzorku, případně jako projev výrazné nehomogenity materiálu vzorku. Pro vyhodnocení součinitelů teplotní vodivosti byl uvažován průběh v místě osazení senzoru 4, kde byl nejméně ovlivněn kolísáním teploty ve vnějším prostředí.



Obr. 4. Experiment 1 – průběh součinitele teplotní vodivosti v závislosti na teplotě v místě osazení sond (kladné teploty)



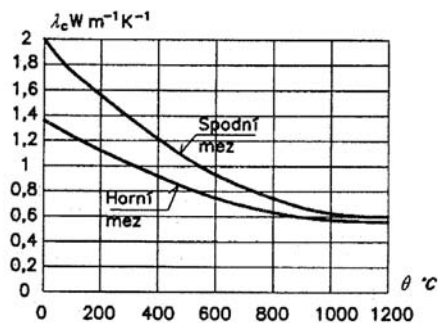
Obr. 5. Experiment 2 – průběh součinitelů teplotní vodivosti v závislosti na teplotě v místech čidel 3 a 4 (záporné teploty)

Nulové hodnoty součinitele teplotní vodivosti, které jsou místy na grafech patrné, byly vypočteny na základě shodných teplot v příslušném řezu ve dvou po sobě následujících časech. To není teoreticky pro neustálené teplotní pole možné. Hodnoty byly zaznamenány nejspíše chybou čidla.

## Vyhodnocení

Na základě získaných výsledků byl stanoven součinitel teplotní vodivosti prostého betonu hodnotou  $1,256 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  (pro  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ ) v oblasti teplot nad bodem mrazu, resp. hodnotou  $1,532 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  (pro  $-8 \text{ }^\circ\text{C}$ ) v oblasti teplot pod bodem mrazu. Součinitel teplotní vodivosti v oblastech pod bodem mrazu vyšel tedy větší než pro kladné teploty. S největší pravděpodobností se projevil rozdíl mezi tepelnou vodivostí jednotlivých fází vody, která má v kapalném stavu vodivost  $0,55 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  a v pevném skupenství, tedy pro led, je součinitel tepelné vodivosti  $2,3 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ . Čím větší bude obsah kapalné vlhkosti v materiálu, tím větší bude její vliv na tepelnou vodivost, zejména při teplotách pod bodem mrazu.

Pokud porovnáme vypočtenou hodnotu součinitele tepelné vodivosti  $2,38 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  s normovou hodnotou  $1,3 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  podle ČSN 73 0540-3 Tepelná ochrana budov, část 3, resp. s hodnotami podle EN 1992-1-1 (obr. 2), je patrné, že uvažováním [4] předepsané hodnoty by vedlo v tomto případě při výpočtu ke stanovení chybného rozložení teplotního pole. Vhodnější je tedy použít údajů normy [5].



Obr. 6. Teplotní vodivost betonu  $\lambda_c$

Jedním z funkčních požadavků pro používání konstrukcí vytvořených pomocí kombinace dvou rozdílných materiálů je jejich blízká teplotní roztažnost. Hodnoty tepelné vodivosti mohou být ovšem diametrálně odlišné, jak je tomu například u železobetonu. Součinitel teplotní roztažnosti betonu je  $10 \cdot 10^{-6}$ , betonářské oceli  $12 \cdot 10^{-6}$ , tedy jak je patrné, hodnoty velice blízké [5]. Součinitel tepelné vodivosti prostého betonu jsme stanovili  $2,38 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , hodnota pro ocel je  $58 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  [5], tedy čísla zcela odlišná. Proto tam, kde může dojít k tepelnému namáhání, je nutno posoudit vliv rozdílné rychlosti deformace vlivem tepelného namáhání např. na napjatost.

## Závěry a doporučení

Uvažování průběhu součinitele teplotní vodivosti jako funkce závislé na teplotě se jistě neuplatní při návrzích a posouzení běžných konstrukcí vystavených minimálnímu tepelnému namáhání, kde je dostačující uvažovat součinitel teplotní vodivosti konstantní hodnotou. Uvažování konstantní hodnoty nelze naopak doporučit u konstrukcí namáhaných extrémní teplotou, např. při požárech a jiném mimořádném tepelném zatížení, kdy podcenění závislosti může vést k výpočtu chybného rozložení teplotního pole v materiálu.

Specifickou situací, kdy je třeba zohlednit vzrůst hodnot součinitele teplotní vodivosti, je v případě materiálu obsahujícího vlhkost a vystaveného působení teplot pod bodem mrazu. Zejména v oblasti kolem bodu mrazu, kde dochází k fázové změně vody na led, lze očekávat skokové zvýšení teplotní vodivosti [2], [3].

Článek vznikl za podpory výzkumného záměru MŠMT MSM 6840770031.

## Literatura

- [1] Míka, S. – Příklad, P.: Numerické metody řešení parciálních diferenciálních rovnic, Stacionární rovnice. Praha, ZČU, 1997.
- [2] Mrlík, F.: Stavební fyzika 2, stavební tepelná technika. Brno, VUTUM 2000.
- [3] Rybár, P.: Experimentální a počítačová analýza přenosu vlhkosti ve stavebním materiálu s povrchovou úpravou. [Diplomová práce], Praha, ČVUT, 2004.
- [4] ČSN 73 0540-3 Tepelná ochrana budov, část 3. ČSN, 2005.
- [5] EN 1992-1-1. ČNI, 2006.
- [6] Procházka, J.: Navrhování betonových konstrukcí 1. Praha, ČBS, 2005.

Černý, R. – Konvalinka, P. – Doležel, T. – Rybár, P.: Computer Analysis of the Course of Temperature in Concrete

This article describes the computer analysis of thermal stress of plain concrete, based on characteristic experiments. The experiments were conducted on tube-shaped test specimens. Based on the experiments, the coefficient of thermal diffusivity in various temperature conditions was identified.

Černý, R. – Konvalinka, P. – Doležel, T. – Rybár, P.: Computeranalyse des Temperaturverlaufs in Beton

Der Artikel befasst sich mit einer Computeruntersuchung der Temperaturbeanspruchung unbewehrten Betons, die auf der Basis charakteristischer Experimente durchgeführt wurde. Die Versuche werden an Prüfkörpern durchgeführt, und auf ihrer Grundlage wird die Wärmeleitfähigkeit unter verschiedenen Temperaturbedingungen identifiziert.

## • vzdělávání



Trainee program pořádají pro studenty posledních dvou ročníků vysokých škol společnosti skupiny Siemens. Během jednoletého až dvouletého adaptačního a rozvojového programu studenti technického nebo ekonomického směru získají díky zkrácenému pracovnímu úvazku praktické zkušenosti v různých odděleních a budou jim poskytnuta odborná školení. Předpokladem zařazení do programu, který začíná vždy v říjnu, je výborná znalost českého jazyka, komunikativní znalost anglického jazyka, německý jazyk je vítán. Nezbytný je iniciativní a aktivní přístup k řešení problémů, ochota učit se a zájem o sebevzdělávání. Předností jsou i komunikační a organizační schopnosti. Společnosti skupiny Siemens nabízejí práci v mezinárodním prostředí, možnost studia a využití cizího jazyka, profesní rozvoj a spolupráci na nových projektech.

*Tisková informace*

# Vliv sušicí teploty na vlastnosti zatvrdlé energosádry

## Vlhkostní vlastnosti

Ing. Pavel TEŠÁREK, Ph. D.  
Ing. Eva MŇAHONČÁKOVÁ, Ph. D.  
RNDr. Vratislav TYDLITÁT, CSc.  
prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

V článku je prezentována druhá část výzkumu, který se zabýval vlivem sušicí teploty na vlastnosti zatvrdlé sádry. Porovnány jsou dva teplotní režimy sušení s maximální teplotou 40 °C a 80 °C a jejich vliv na vlhkostní vlastnosti vzorků energosádry, jejichž část je připravena v neupravené podobě a část je modifikovaná přísadami.

### Úvod

V první části článku bylo pojednáno o vlivu sušicí teploty na základní a tepelné vlastnosti zatvrdlé sádry [1]. Druhá část prezentuje vlhkostní vlastnosti, konkrétně transportní a akumulací parametry kapalně a plynně vlhkosti. Účelem experimentů bylo upřesnit, jak se výrobky ze zatvrdlé energosádry chovají při kontaktu s vlhkostí po předchozím sušení za různých teplot.

V dostupné zahraniční literatuře je možné najít relativně málo údajů nutných pro posouzení vlhkostních vlastností jakéhokoli druhu sádry. Při neznalosti těchto materiálových charakteristik je ovšem seriózní návrh konstrukčních dílů téměř nemožný, protože vlhkost významně ovlivňuje chování sádry. Z vlhkostních vlastností zatvrdlé sádry jsou známy faktor difúzního odporu vodní páry, který stanovil Hanusch [2], a adsorpční a desorpční izotermy vlhkosti, které ověřili Dahl a kol. [3]. Klin [4] prováděl experimenty s propustností vody pro vzorky vyrobené ze sádry s vodním součinitelem sádrové kaše od 0,5 do 1,5.

Z výsledků uvedených v první části článku [1] je zřejmé, že rozdílné sušicí teploty (80 °C a 40 °C) měly výrazný vliv na objemovou hmotnost, hustotu matrice i otevřenou pórovitost materiálu, výrazně ovlivnily i jeho tepelné vlastnosti. Podobné efekty lze předpokládat i u vlhkostních vlastností.

### Metody

Pro ověření vlivu sušicího režimu byly zjištěny základní vlhkostní vlastnosti, a poté stanoveny tyto parametry:

- absorpční vlhkostní součinitel,
- průměrná hodnota součinitele vlhkostní vodivosti,
- faktor difúzního odporu vodní páry,
- adsorpční a desorpční izotermy vlhkosti.

Absorpční vlhkostní součinitel a průměrná hodnota součinitele vlhkostní vodivosti byla stanovena v rámci jednorozměrného experimentu. Při měření faktoru difúzního odporu vodní páry byla použita misková metoda podle prEN ISO 12572 [5]. Měření adsorpčních a desorpčních izoterm vlhkosti je založeno na jednoduchém experimentu, při kterém jsou vzorky umístěny v exsíkátorech, v nichž je udržováno prostředí s konstantní relativní vlhkostí [6].

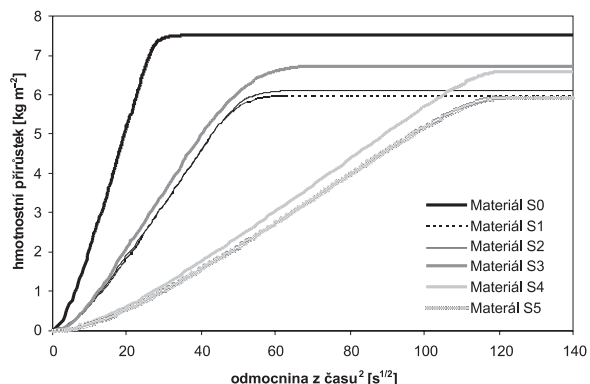
Kromě ověřování vlhkostních parametrů byl proveden i jednoduchý termogravimetrický experiment, při němž bylo 20 vzorků z neupravené energosádry rozměru 30 x 30 x 10 mm umístěno do sušárny. Jako počáteční byla stanovena teplota 25 °C, která odpovídá laboratorní teplotě. Jakmile hmotnost vzorků přestala klesat, byla teplota zvyšována na 45, 65, 85, 95, 115 a 125 °C.

### Materiály, vzorky a sušicí režimy

Výroba vzorků, materiál a výsledné složení směsí bylo popsáno v první části článku [1]. Připomeňme jen, že jde o energosádro (β-sádra) z elektrárny Počeradky, která byla podle ČSN 72 2301 [7] zaříděna jako G-13 B III. Vzhledem k možnosti prozkoumání variantních řešení bylo rozhodnuto použít vzorky pro dva různé teplotní režimy vysoušení. Pracovně byly označeny jako teplota sušení 80 °C a 40 °C a značí maximální použitou teplotu. Vzorky byly po dobu týdne uloženy v konstantních laboratorních podmínkách s teplotou  $23 \pm 1$  °C a relativní vlhkostí  $30 \pm 2$  %, a teprve následně na nich probíhalo měření.

### Výsledky experimentů

Závislost hmotnostního přírůstku vody na 1 m<sup>2</sup> plochy vzorku na odmocnině z času získané při absorpčním experimentu pro oba studované teplotní stavy je uvedena na obr. 1 a obr. 2. Vypočtené hodnoty vlhkostních parametrů jsou uvedeny v tab. 1 a tab. 2. Porovnání materiálů vysoušených při 40 °C (tab. 1) s referenčním materiálem S0 ukazuje, že přísady výrazně ovlivnily sledované vlhkostní vlastnosti – vlhkostní absorpční součinitel a průměrnou hodnotu součinitele vlhkostní vodivosti. Vlastnosti se měnily podle hodnot otevřené pórovitosti a závislosti na použitém hydrofobizačním přípravku. Materiály S1 a S2, tedy ty s přidávkou plastifikátorů, vedly kapalnou vlhkost podstatně pomaleji než základní materiál S0, protože vlhkostní absorpční součinitel klesl asi o polovinu a průměrná hodnota součinitele vlhkostní



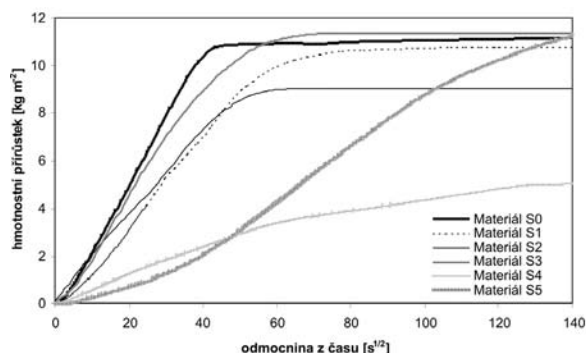
Obr. 1. Výsledky absorpčního experimentu (teplota sušení 40 °C)

vodivosti asi na třetinu. V podstatě podobné výsledky byly zjištěny u materiálu s hydrofobizační přísadou S3. Výraznější zlepšení vlhkostních vlastností bylo u materiálů S4 a S5. Vlhkostní absorpční součinitel je pro tyto dva materiály asi pětkrát nižší a průměrná hodnota součinitele vlhkostní vodivosti asi o řád nižší v porovnání s referenčním materiálem.

Tab. 1. Transportní parametry kapalně vlhkosti (teplota sušení 40 °C)

Materiál	Vlhkostní absorpční součinitel [kgm <sup>-2</sup> s <sup>-1/2</sup> ]	Průměrný součinitel vlhkostní vodivosti [m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]
S0	0,30	6,1 E-7
S1	0,14	1,6 E-7
S2	0,13	1,4 E-7
S3	0,14	1,2 E-7
S4	0,06	1,9 E-8
S5	0,06	2,0 E-8

Podobné výsledky byly získány při simulování absorpčního experimentu i u vzorků vysušených při 80 °C (obr. 2). Můžeme pozorovat rozdílné směrnice v první části průběhu až do ustáleného toku a určit hodnoty vlhkostního absorpčního součinitele pro jednotlivé materiály. Výsledky v první fázi experimentu jsou pro materiály S1 a S2 téměř identické jako pro materiál S0. Maximální dosažená hodnota je ovšem pro materiál S2 výrazně nižší než u S0. U hydrofobizovaných materiálů je patrné, že ve vzorku S3 neměl přípravek Imesta IBS 40 větší vliv na zamezení pronikání vody do materiálu, průběh je téměř identický jako pro referenční materiál S0. U vzorků S4 a S5 byl tento efekt již mnohem výraznější. Směrnice obou průběhů hmotnostních přírůstků vody těchto materiálů jsou pro první část experimentu výrazně nižší než pro ostatní materiály.



Obr. 2. Výsledky absorpčního experimentu (teplota sušení 80 °C)

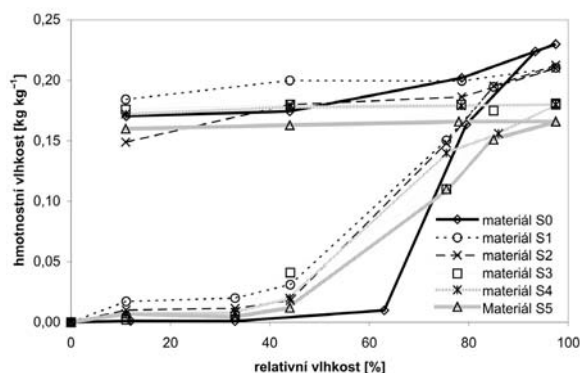
Z vyhodnocení absorpčního experimentu (tab. 2) je patrné, že pro materiály S1 a S2 jsou průměrné hodnoty součinitele vlhkostní vodivosti v porovnání s materiálem S0 řádově stejné. U materiálu S1 došlo ke snížení této veličiny zhruba o 15 %, u materiálu S2 bylo nižší jen zhruba o 3 %, tj. v podstatě zanedbatelné. I zde se tedy projevil vliv snížení otevřené pórovitosti u upravených materiálů a se vzrůstající pórovitostí stoupala průměrná hodnota součinitele vlhkostní vodivosti. U vlivu hydrofobizačních přísad je zřetelná změna hodnoty vlhkostního absorpčního součinitele a ještě podstatně výraznější u průměrné hodnoty součinitele vlhkostní vodivosti. Vzorek S3 má v porovnání s referenčním vzorkem S0 průměrnou hodnotu součinitele vlhkostní vodivosti asi o polovinu nižší, u vzorku S5 činí tento pokles už jeden

řád a u vzorku S4 dokonce téměř dva řády. Hydrofobizace měla tedy zejména u materiálu S4 velmi pozitivní efekt a výrazným způsobem zabránila pronikání vody do materiálu.

Tab. 2. Transportní parametry kapalně vlhkosti (teplota sušení 80 °C)

Materiál	Vlhkostní absorpční součinitel [kgm <sup>-2</sup> s <sup>-1/2</sup> ]	Průměrný součinitel vlhkostní vodivosti [m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]
S0	0,31	2,63 E-7
S1	0,25	2,16 E-7
S2	0,31	2,55 E-7
S3	0,25	1,47 E-7
S4	0,06	7,32 E-9
S5	0,11	2,61 E-8

Sorpční a desorpční izotermy vlhkosti jsou uvedeny na obr. 3 a obr. 4. Z porovnání výsledků pro materiály vysušené při 80 °C (obr. 3) můžeme konstatovat, že se oba materiály S1 a S2 s plastifikátorem chovaly podobně jako referenční materiál S0. Prudký nárůst adsorbované vlhkosti začínal blízko za hranicí 40 % relativní vlhkosti a končil přibližně u 75 % relativní vlhkosti. Maximální hygroskopická hmotnostní vlhkost byla pro oba upravené materiály nižší asi o 10 %, což opět zřejmě souvisí s jejich menší otevřenou pórovitostí. Desorpční izotermy vlhkosti klesaly se snižováním rela-

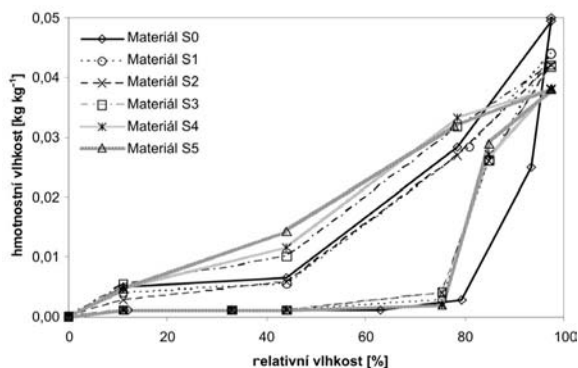


Obr. 3. Adsorpční a desorpční izotermy vlhkosti (teplota sušení 80 °C)

tivní vlhkosti velmi pomalu, výraznější pokles následoval až po snížení relativní vlhkosti na 10 %. Sorpční hystereze byla velmi vysoká u obou materiálů S1 a S2, stejný efekt byl ovšem sledován i u referenčního materiálu S0. U vzorků hydrofobizované sádry došlo ke snížení maximální nasorbované vlhkosti v porovnání s referenčním materiálem, přičemž nejvýraznější byl tento efekt u materiálu S5. To je nepochybně pozitivní výsledek. Je však třeba si všimnout, že tvar desorpční izotermy byl u hydrofobizované sádry méně příznivý než u referenčního materiálu. Je zřejmé, že všechny materiály po vystavení prostředí s vysokou relativní vlhkostí vysychají i v prostředí s velmi nízkou relativní vlhkostí velmi málo a jejich sorpční hystereze je velmi vysoká. Tento jev je výrazný především u hydrofobizovaných materiálů S3 až S5. Desorpční izoterma vlhkosti není uzavřena, protože nasorbovaná vlhkost vedla k přeměně hemihydrátu, který vznikl dehydratací při sušení na 80 °C, na dihydrát.

U materiálů sušených při 40 °C, jejichž adsorpční a desorpční izotermy jsou uvedeny na obr. 4, bylo zjištěno, že materiál S0 nasorboval maximálně 0,05 kgkg<sup>-1</sup>, u ostatních

materiálů byla tato hodnota ještě nižší. Při porovnání průběhu sorpčních izoterm vlhkosti pak v podstatě platí to, co bylo uvedeno u materiálů sušených při 80 °C, ale desorpční izoterm mají jiný tvar.

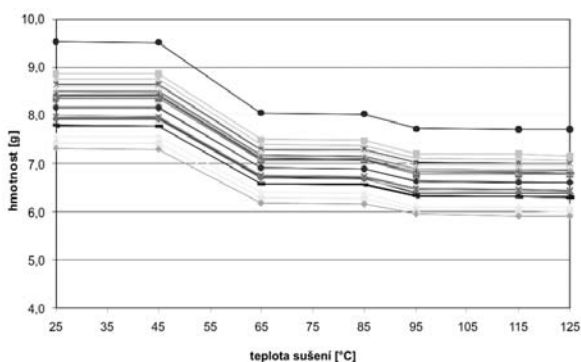


Obr. 4. Adsorpční a desorpční izotermy vlhkosti (teplota sušení 40 °C)

Pro stanovení teploty, za níž dochází k dehydrataci dihydrátu, byl proveden jednoduchý termogravimetrický experiment. Z obrázku 5 je patrné, že skokové změny hmotnosti leží mezi teplotami 45–65 °C a 85–95 °C. Tyto výsledky mohou být reprodukovány tak, že bude vypočítán stupeň přeměny  $s$  [%] podle vztahu

$$s = \frac{m_{25} - m_{\text{suš}}}{m_{25}} \cdot 100, \quad (1)$$

kde  $m_{25}$  je hmotnost přirozeně vlhkého vzorku,  $m_{\text{suš}}$  hmotnost vzorku při teplotě sušení. Takto vypočtené hodnoty jsou jako průměr z 20 hodnot uvedeny v tab. 3. Stupeň přeměny pak můžeme vyjádřit i pro známé hodnoty molární hmotnosti dihydrátu, hemihydrátu a anhydritu síranu vápenatého, převzaté z programu MolCal (tab. 4).



Obr. 5. Závislost hmotnosti vzorků na teplotě sušení (pro 20 vzorků)

Tab. 3. Přeměna zatvrdlé sádry S0 v závislosti na teplotě sušení

Teplota sušení [°C]	Stupeň přeměny [%]
25	0,00
45	0,01
65	15,70
85	15,80
95	18,60
115	18,80
125	18,90

Tab. 4. Přeměna u systému  $\text{CaSO}_4\text{-H}_2\text{O}$

Sloučenina	Molární hmotnost [g mol <sup>-1</sup> ]	Přeměna	
		typ	stupeň [%]
$\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ (DH)	172,2	DH → HH	15,7
$\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ (HH)	145,1	HH → A	21,0
$\text{CaSO}_4$ (A)	136,1	–	–

Z porovnání údajů tab. 3 a tab. 4 vyplývá, že při teplotě sušení 65 °C došlo k přeměně dihydrátu na hemihydrát. Tato teplota je relativně nízká, ale jistou roli zde může hrát i časový faktor [8]. Po maximálním teplotním zatížení 125 °C se vzorky nacházejí ve stavu mezi přeměnou hemihydrátu na anhydrit.

Běžným způsobem, jak odhalit vnitřní změny v materiálech způsobené uvolňováním chemicky vázané a volné vody, jsou metody tepelné analýzy. Rovnaníková a kol. [9] uvedli výsledky zjištěné na vzorcích z energosádry, konkrétně šlo o průběh termogravimetrických křivek a také křivky DTA.

## Diskuze

Při porovnání vlhkostního absorpčního součinitele a průměrné hodnoty součinitele vlhkostní vodivosti je patrné, že rozdíly pro oba stavy nebyly systematické. Pro materiály S1, S2, S3 a S5 byly hodnoty vlhkostního absorpčního součinitele vzorků sušených na 40 °C výrazně nižší (až o polovinu) než u vzorků sušených při 80 °C, u materiálů S0 a S4 však byly téměř identické. Vyšší parametry kapalné vlhkosti souvisejí pravděpodobně se zjištěním, že u většiny vzorků sušených při 80 °C došlo ke vzniku trhlin, které by mohly souviset s hydratací hemihydrátu na dihydrát.

Výrazný rozdíl byl zjištěn u sorpčních a desorpčních izoterm vodní páry. Maximální hodnoty sorpce vodní páry pro prostředí s 97% relativní vlhkostí byly pro vzorky vysušené při 80 °C asi čtyřikrát vyšší než pro materiály sušené při 40 °C. Také desorpční izotermy vlhkosti měly pro obě teploty sušení rozdílný průběh. Hystereze u vzorků vysušených při 80 °C byla velmi vysoká a tyto materiály odevzdávaly vlhkost do okolí velmi málo. Vyšší adsorpce byla způsobena tím, že část „adsorbované“ vody byla chemicky vázaná voda, proto se při desorpci nemohla uvolnit. Pozitivní pro materiály sušené při 40 °C i 80 °C je, že do hodnoty minimálně 44 % relativní vlhkosti nenasorbovaly téměř žádnou vlhkost. Pro referenční materiály S0 (pro 40 °C a 80 °C) by tato hranice mohla být i vyšší, a to až kolem 62 % relativní vlhkosti.

## Závěr

Ověřování ukázalo, že vyšší sušící teplota (80 °C) měla negativní vliv na vlhkostní vlastnosti a v podstatě i na trvanlivost materiálů. Sušení při 80 °C způsobilo dehydrataci dihydrátu na hemihydrát a při kontaktu s vodou došlo v některých vzorcích k vytvoření trhlin. Jejich vznik souvisí se zpětným přechodem hemihydrátu na dihydrát a následnou změnou vnitřní struktury. U vzorků sušených při 40 °C k porušení materiálu nedošlo. Dalším důkazem, že 80 °C je zřejmě příliš vysoká teplota sušení, byly neuzavřené sorpční a desorpční izotermy vlhkosti, kdy vzorky při teplotě 80 °C přijaly tak velké množství vzdušné vlhkosti, že nepochoybně

došlo k hydrataci a přeměně hemihydrátu zpět na dihydrát. Tuto hypotézu je možné podpořit tím, že na některých vzorcích sušených při 80 °C a umístěných v prostředí s relativní vlhkostí 97 % při měření sorpčních a desorpčních izoterem vlhkosti se objevily trhliny.

Výsledky experimentů ukazují, že aplikace materiálů na bázi sádry sušených při 80 °C by byla v praxi problematická. Musela by být striktně dodržena podmínka jejich uložení v místech, kde nemůže dojít ke kontaktu s vodou nebo s vysokou relativní vlhkostí, což je v běžných podmínkách poměrně obtížné.

**Článek byl vytvořen za podpory výzkumného záměru MŠMT ČR MSM:6840770031.**

#### Literatura

- [1] Tesárek, P. – Mňahončáková, E. – Černý, R.: Vliv sušicí teploty na vlastnosti zatvrdlé energosádry – Tepelné a mechanické vlastnosti. *Stavební obzor*, 16, 2007, č. 8, s. 246–250.
- [2] Hanusch, H.: Übersicht über Eigenschaften und Anwendung von Gipskartonplatten. *Zement Kalk Gips*, 5, 1974, pp. 245–251.
- [3] Dahl, S. D. – Kuehn, T. H. – Ramsey, J. W.: Moisture Storage and Non-Isothermal Transport Properties of Common Building Materials. *HVAC and Research* 1, 1996, pp. 42–58.
- [4] Klin, S.: Badania przepuszczalności wody przez gips – Czesc II. *Cement Wapno Gips*, 6, 1989, pp. 109–114.
- [5] prEN ISO 12572: Hygrothermal Performance of Building Material and Products- Determination of Water Vapour Transmission Properties. European Standard, CEN April 2000.
- [6] Tesárek, P. – Černý, R. – Drchalová, J. – Rovnaníková, P.: Thermal and Hygric Properties of Gypsum: Reference Measurements. *Thermophysics* 2003, Bratislava, Slovak Academy of Sciences, 2003, pp. 52–57.
- [7] ČSN 72 2301 Sádrová pojiva – Klasifikace, Všeobecné technické požadavky, Zkušební metody, Praha, Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření 1979, 17 s.
- [8] Wirsching, F.: Drying and Agglomeration of Flue Gas Gypsum. In: *The Chemistry and Technology of Gypsum*, Philadelphia, American Society for Testing and Materials 1984, pp. 161–174.
- [9] Rovnaníková, P. – Bayer, P. – Krmíčková, N.: Vliv zvýšené teploty na vlastnosti sádry. [Sborník], konference „Sádra 2005“, Brno, VUT, 2005, s. 39–43.

**Tesárek, P. – Mňahončáková, E. – Tydlitát, V. – Černý, R.: Effect of Drying Temperature on Properties of Hardened Flue Gas Desulphurization Gypsum – Hygric Properties**

This paper presents partial outcomes of experimental research dealing with the effect of drying temperature on the properties of hardened flue gas desulphurization gypsum. Two thermal drying regimes, with the maximum temperatures of 40 °C and 80 °C, are analyzed with the particular attention to their influence on hygric properties of the specimens of flue gas desulphurization gypsum, a part of which is prepared in a basic, unmodified form and another part is modified using additives.

**Tesárek, P. – Mňahončáková, E. – Tydlitát, V. – Černý, R.: Der Einfluss der Trocknungstemperatur auf die Eigenschaften erhärteten REA-Gipses – Feuchtigkeitseigenschaften**

Im Artikel wird der zweite Teil einer Untersuchung vorgestellt, die sich mit dem Einfluss der Trocknungstemperatur auf die Eigenschaften erhärteten REA-Gipses befasst hat. Es werden zwei Temperaturregimes mit einer Maximaltemperatur von 40 °C a 80 °C und deren Einfluss auf die Feuchtigkeitseigenschaften von REA-Gips-Proben verglichen, von denen ein Teil in grundlegender nicht modifizierter Form und ein anderer Teil mit Zusätzen modifiziert vorbereitet ist.

## • zprávy

### Unikátní tunel zkolaudován

Pod Rohanským ostrovem v Praze byla v červenci zkolaudována nová dopravní stavba. Podzemní komunikace o celkové délce 270 m, realizovaná ve dvou fázích, spojuje kancelářské budovy Danube House, Nile House a bytový dům River Diamond.



Dopravně obslouží i čtyři další objekty, se kterými se v této části ostrova počítá. Délkou se tunel řadí v Praze na čtvrté místo za Strahovský tunel, Mrázovku a Letenský tu-

nel. Stejně jako na každé běžné komunikaci jsou zde i tři kruhové objezdy včetně obvyklého dopravního značení.

Tunel	Délka [m]
Strahovský	2 004
Mrázovka	1 260
Letenský	423
pod Rohanským ostrovem	270
Zlíchov – Radlická	195

Podzemní komunikace výrazně přispívá k městotvorné urbanistické koncepci zástavby Rohanského ostrova. Pomáhá vytvářet klidovou zónu s bezprostředním kontaktem s břehem Vltavy. Projektanty stavby byly architektonická kancelář Kohn Pedersen Fox společně s ateliérem A.D.N.S., dodavatelky se na ní podílely společnosti Strabag a Metrostav.

*Tisková informace*

# Tranzitní zóna cementového tmelu mezi polyethylen-tereftalátovou výztuží a betonem

*RNDr. Lubomír KOPECKÝ  
Ing. Jiří NĚMEČEK Ph. D.  
doc. Ing. Pavel KUKLÍK, CSc.  
prof. Ing. Zdeněk BITTAR, DrSc.  
ČVUT – Fakulta stavební, Praha*

*Ing. Vladimír MACHOVIČ, CSc.  
VŠCHT – Centrální laboratoře, Praha*

Tranzitní zóna mezi cementovým tmelem a výztuží (polymerní vlákna, ocel) je klíčovou oblastí, která determinuje mechanické vlastnosti kompozitních stavebních materiálů na bázi cementu. Bylo zjištěno, že v této zóně převažuje portlandit, ettringit a málo Ca-ionty nasycené C-S-H gely. Je prokázána velmi dobrá korelace mezi minerálním a chemickým složením této zóny a jejími mechanickými vlastnostmi (E-modul apod.).

## Motivace

Tranzitní zóna (ITZ) mezi C-S-H fázemi hydratovaného slínku betonu a výztuží polyethylen-tereftalátovým vláknem (PET) se jeví jako zásadní prostor určující mechanické vlastnosti takového kompozitního materiálu. Její charakter je předmětem exaktních výzkumů předních světových pracovišť. Je motivován zejména rozdílným chemickým a mineralogickým složením a také texturou jednotlivých komponent, porovnáme-li ITZ s cementovým tmelem mimo tuto oblast [2], [1], [8].

Neustále vzrůstající objem výroby PET lahví (cca  $13 \cdot 10^6$  tun za rok) nutí moderní společnost zabývat se jejich využitím. Různé typy vláken, připravených jejich řezáním, lze používat jako netradiční výztuž do stavebních kompozitních materiálů na bázi cementu. Dosud běžně aplikovaná vlákna materiálů vysoké pevnosti a tvrdosti, jakými jsou sklo, grafit atd., zvyšují pevnost a tuhost takovýchto kompozitů, ale zároveň jejich nepoddajnost. Naopak PET výztuže – jako materiály s nízkým modulem tuhosti – usnadňují pružnost cementového kompozitu, a tím i pozitivně modifikují jeho elasticko-plastickou deformaci v žádoucích případech [8]. Řada prací se zabývá souvislostí mezi **E-modulem** vláken a vazbou (adhezí) vláken k cementové matici [9], [10].

## Metody zkoumání

### Příprava vzorků

Byla připravena směs z 200 g portlandského cementu (CEM 42,5 R), 100 g vody, 140 g písku zrnitostní frakce 1,5–2,5 mm, 12 g písku zrnitostní frakce 0,5–1,0 mm a 20 g drceného kameniva frakce 2,6–3,9 mm. Jako výztuž byla přidána PET vlákna v celkovém objemu 2 % hmotnosti. Vlákna o průměrné délce 3 cm a příčném řezu 0,5 mm byla získána z továrny Silon, Planá nad Lužnicí, kde jsou láhve recyklovány. E-modul vláken činil 4–6 GPa. Po 180 dnech hydratace byly připraveny leštěné nábrusy pro instrumentál-

ní analýzu. Obtížnost přípravy perfektně leštěných vzorků je dána jejich komplikovaným složením, zahrnujícím složky diametrálně odlišných mechanických vlastností.

Běžné metody leštění, např. kovů nebo kamene, nebylo možné aplikovat. Bylo nutné se vyhnout broušení a leštění za mokra a postupovat pouze suchou cestou. Proto byla aplikována pouze nejjemnější abraziva (SiC 2000, SIA 8) po dobu 1 minuty, a pak leštění diamantovou pastou cca 1,5 h. Nejvhodnější místa pro ověřování ITZ byla taková, kde vlákno leželo paralelně s povrchem vzorku.

### Metody měření

Ramanovská spektra byla získána pomocí LabRam systému Jobin Yvon, model Labram HR, vybaveného lineárním laserem 532 nm pro excitaci. Sekundární signál byl analyzován spektrografem s holografickou mřížkou ( $600 \text{ gr}\cdot\text{mm}^{-1}$ ), šířka štěrbin 100  $\mu\text{m}$ . Systém byl pravidelně kalibrován silikonovým vzorkem ( $520,5 \text{ cm}^{-1}$ ). Akviziční doba signálu činila 15 s. Krok měření byl 5  $\mu\text{m}$ . Průměrné spektrum bylo získáno ze šesti po sobě se opakujících měřeních.

Mikromechanické vlastnosti tranzitní zóny cementové matrice byly ověřovány nanoindentací – tedy přímým měřením vztahů mezi silou zatlačení velmi ostrého hrotu a hloubkou jeho vtisku. Přístroj Nanotest Nanoindenter od firmy Micro-materials z Velké Británie je opatřen hrotem Berkowich. Vzhledem k heterogenitě matrice v tranzitní zóně je vždy třeba provést větší soubor (matici) vtisků. Maximální zatížení bylo 12 mN, což odpovídá hloubce vtisku okolo 1  $\mu\text{m}$ . Vzdálenost jednotlivých indentů byla 10  $\mu\text{m}$ , rozměry matice pak 80 x 120  $\mu\text{m}$ . Následnou mikroskopickou a mineralogickou mikroanalýzou (ESEM/EDAX) byl identifikován charakter cementové matrice v každém vpichu. Pro stanovení a analýzu elastických vlastností ITZ byly akceptovány pouze vpichy zaměřené do plně hydratované cementové pasty. Elastické vlastnosti byly kalkulovány standardními procedurami [7] z odlehčovací větve indentační křivky. Rozptyl hodnot je dán heterogenitou složení materiálu, jaký se v tranzitní zóně téměř vždy vyskytuje. Výsledky byly statisticky vyhodnoceny pro každou řadu indentů od rozhraní výztuže s cementovým tmelem směrem do matrice.

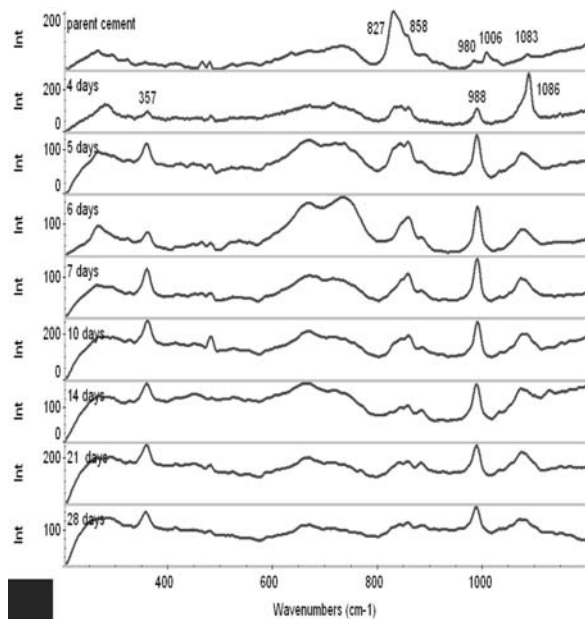
Environmentální rastrovací elektronový mikroskop XL30 ESEM FEI PHILIPS je opatřen sadou detektorů SED (GSE) pro morfologii a BSED (GBSE) pro „fázový kontrast“. Spektrální analýzy sekundárních rentgenových spekter poskytují kvantitativní chemické (prvkové) složení vybraných komponent vzorku. Mineralogický výzkum na mikroúrovni je umožněn elektronovou difrakcí OIM-EBSD, založenou na téměř principu (Braggův princip) jako rentgenová difrakce na krystalech. Systém je vybaven rozsáhlou databází difrakčních dat.



## Výsledky a diskuze

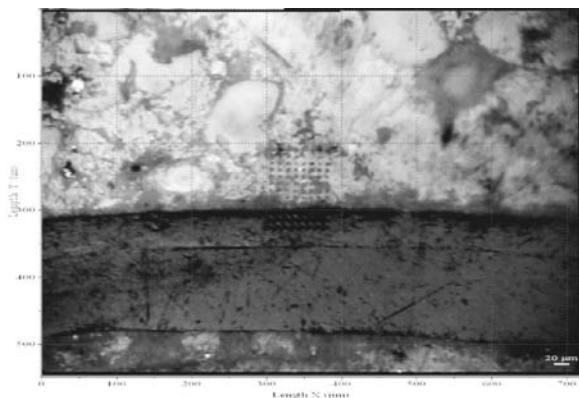
### Mineralogie a chemické složení

Hydratace cementu je popsána mnoha rovnicemi reprezentujícími hydrataci dílčích minerálních fází slínku:  $C_3S$ ,  $\beta$ - $C_2S$ ,  $C_3A$  a  $C_4AF$  (užitá nomenklatura značí: C=CaO, S=SiO<sub>2</sub>, H=H<sub>2</sub>O, A=Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, F=Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, S=SO<sub>4</sub>). Ramanovská mikrospektrometrie je velmi účinnou metodou stanovení některých hydratačních produktů cementářského slínku – především portlanditu – Ca(OH)<sub>2</sub> a ettringitu (C<sub>6</sub>A $\hat{S}$ <sub>3</sub>H<sub>32</sub>). Spektra hydratace v časové periodě od 0 do 28 dní ukazuje obr. 1. Postupná geneze Ca(OH)<sub>2</sub> – pás 357 cm<sup>-1</sup> a ettringitu – pás 988 cm<sup>-1</sup>, a naopak mizení (spotřeba) C<sub>3</sub>S a C<sub>2</sub>S – pás 828 a 858 cm<sup>-1</sup> je markantní.



Obr. 1. Ramanovské spektrum hydratovaného portlandského cementu v intervalu od 0 do 28 dnů

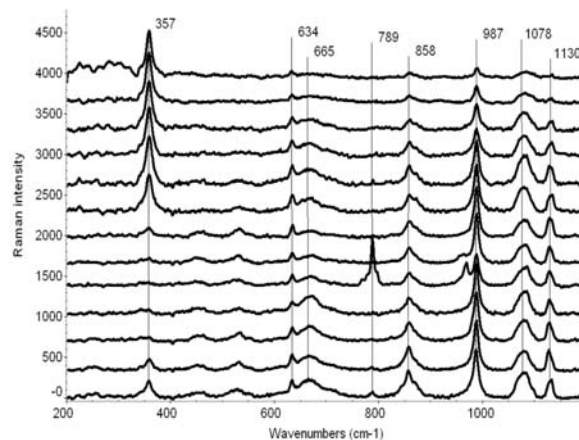
Cílová oblast zkoušek tranzitní zóny mezi PET výztuží a cementovou maticí spolu s maticí indentů je na obr. 2. To též místo bylo podrobeno Ramanovské analýze. Body repre-



Obr. 2. Mikrofotografie cementového tmelu vyztuženého PET s maticí indentů (6 x 15 měřicích bodů) Ramanovského spektra

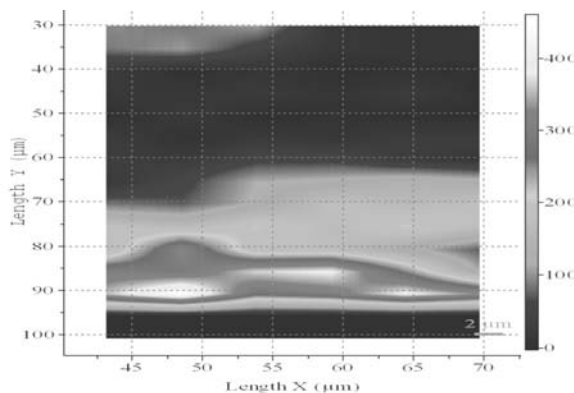
zentují matici indentů 6 x 15 v ekvidistanci 5 μm. Sada Ramanovských spekter (získaných bodovým měřením podle matice z obr. 2) je na obr. 3. Spektra jsou seřazena shora dolů s krokem 5 μm. Dominantní pás 357 cm<sup>-1</sup> odpovídá vibračním vazby O-H v Ca(OH)<sub>2</sub> (portlandit). Nejintenzivnější

pás spektra se objevuje v intervalu od 5 to 30 μm od PET lupínku. Dále od kontaktu intenzita pásu 357 cm<sup>-1</sup> strmě klesá.



Obr. 3. Simultánní grafické zobrazení Ramanovských spekter cementové pasty – testovací body jsou od sebe vzdáleny 5 μm (kontakt s PET výztuží je v horní části)

Distribuce ettringitu (C<sub>6</sub>A $\hat{S}$ <sub>3</sub>H<sub>32</sub>) je reprezentována intenzivním pásem SO<sub>4</sub> na 988 cm<sup>-1</sup> (obr. 4). Je evidentní pokles relativního zastoupení ettringitu s rostoucí vzdáleností od kontaktu s PET lupínkem. Pás alitu (C<sub>3</sub>S) se objevuje na 858 cm<sup>-1</sup> spektra. Jeho obsah stoupá se vzdáleností od kontaktu s PET. Trend zastoupení uhličitanu vápenatého (viz pás CO<sub>3</sub> na 1 080 cm<sup>-1</sup>) je obdobný [9], [5].

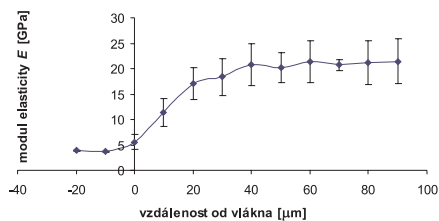


Obr. 4. Mapa intenzity zastoupení ettringitu na 987 cm<sup>-1</sup> v cementové maticí ITZ (černý pás – okraj PET vláknů)

### Mikromechanické vlastnosti, mineralogie a porozita v betonu z portlandského cementu

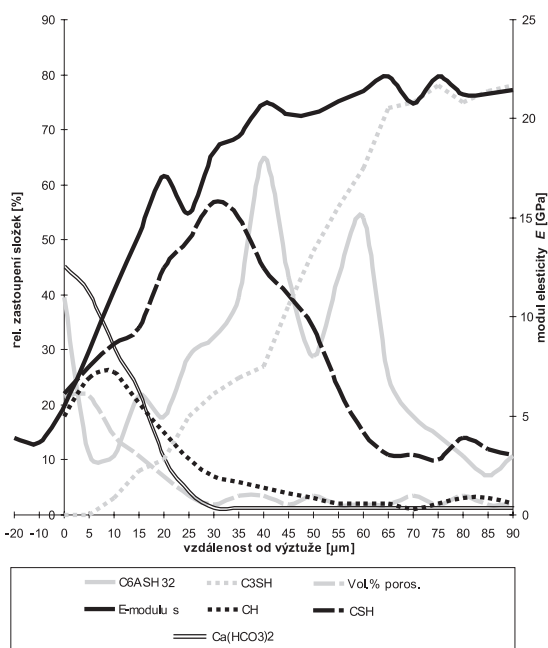
Hodnoty modulu elasticity byly kalkulovány vždy jako průměrné hodnoty jedné ekvidistanční řady indentů od PET vláknů (obr. 5). První tři hodnoty odpovídají modulu elasticity samotného PET. Následující indenty již představují vlastnosti tranzitní zóny, a dále pak cementové matice ve vlastním betonu. Velmi dobře patrná je šířka zóny – zhruba kolem 40 mm od kontaktu s PET. Další indenty – dále od kontaktu – již vykazují E-modul podobný cementové maticí vzdálenějšího tmelu. Rozptýlené hodnoty, vyjádřené standardní odchylkou, je typický pro cementové materiály a je dán jejich heterogenitou na více úrovních (mikroporozita, zbytky nezhydratovaného slínku apod.) [3].

Pro tranzitní zóny jsou typické dva druhy porů – oválné, vyplněné vzduchem vtaženým do cementové kaše při přípravě, velikosti několika desítek mikrometrů v průměru, a ne-



Obr. 5. Distribuce E-modulu cementové pasty ITZ jako funkce vzdálenosti od rozhraní s PET lupínkem (ITZ lze prokázat do vzdálenosti cca 40  $\mu\text{m}$  od kontaktu)

pravidelné, vyplněné segregovanou vodou bohatou na  $\text{Ca}^{2+}$  ionty. Posledně jmenované jsou vesměs vyplněny mikrokrytaly portlanditu a ettringitu [6]. Další typickou vlastností je zastoupení portlanditu a malého množství Ca-nasycených C-S-H fází cementového tmelu. Plně Ca-nasycený gel (tj.  $\text{C}_3\text{-S-H}$  klastry) se vyskytuje pouze v cementovém tmelu bez inkluzí, tedy mimo kontakt s výztuží. Je patrná velmi dobrá korelace mezi distribucí dílčích komponent (produktů hydratace) a E-modulem. Kontaktní zóna s PET, do vzdálenosti cca 10 mm, vykazuje nízké hodnoty E-modulu, oscilující od 5 do 10 GPa, absenci plně Ca-nasycených C-S-H gelů, zvýšený obsah portlanditu a těž  $\text{CaCO}_3$ . Toto je názorný příklad porozity dané hydrofobností povrchu PET vlákna (obr. 6).



Obr. 6. Variace minerálního složení, obsahu C-S-H gelů,  $\text{Ca}^{2+}$  nasycenosti C-S-H gelů, porozity a E-modulu jako funkce vzdálenosti od kontaktu s PET vláknem

## Závěr

Aplikace moderních exaktních metod, v této kombinaci zcela ojedinělých a umožňujících takovýto výzkum kritické oblasti kompozitních materiálů na mikroúrovni, byla podmíněna vývojem specifické metodiky přípravy povrchu vzorků. Zjištěná variace vlastností tranzitní zóny, tj. prostoru mezi PET výztuží a cementovou maticí betonu, je dána specifickými fyzikálně chemickými jevy na tomto rozhraní. Ty vyplývají z hydrofobnosti povrchu PET výztuže. Je pravděpodobné, že existují možnosti, jak tyto, z hlediska pevnosti a soudržnosti materiálu negativní jevy na rozhraní, do značné míry eliminovat. To je předmětem dalšího výzkumu.

Studie vznikla s podporou výzkumného záměru CEZ: MSM 6840770003 "Příprava a výzkum funkčních materiálů a materiálových technologií aplikujících mikro- a nanoskopické metody" a dále projektu č. 106/05/2618 GA ČR "Aplikace Ramanovské mikroskopie pro ověření efektu stárnutí na mikromechaniku betonu vyztuženého PET vlákny".

## Literatura

- [1] Balagru, P. N. – Shah, S. P.: Fiber Reinforced Cement Composites. New York, McGraw-Hill 1992.
- [2] Bentur, A. – Midness, S.: Fibre Reinforced Cementitious Composites. Amsterdam, Elsevier 1990.
- [3] Constantinides, G. – Ulm, F. J. – van Vliet, K.: Materials and Structures, 36, 191, 2003.
- [4] Diamond, S.: The Microstructure of Cement Paste in Concrete, Proc. 8<sup>th</sup> Int. Congr. Chem. Cement, Rio de Janeiro, 1986, pp. 122–147.
- [5] Martinez-Ramirez, S. – Frías, V. – Domino, C. J.: Raman Spectrosc. 37 (2006) 555.
- [6] Maso, J. C.: The Bond between Aggregates and Hydrated Cement Paste. Proc. 8<sup>th</sup> Int. Congr. Chem. Cement, Rio de Janeiro, 1986, pp. 378–380.
- [7] Olivek, W. C. – Pharr, G. M. J.: Material Res. 7, 1564 (1992).
- [8] Peled, A. – Bentur, A.: Geometrical Characteristics and Efficiency of Textile Fabrics for Reinforced Composites, Cem. Concr. Res. 30, 2000, pp. 781–790.
- [9] Tarrida, M. – Madon, M. – Le Rolland, B. – Colombet, P.: Advn. Cem. Bas. Mat. 2 (1995) 15.
- [10] Viksne, A. – Kalnins, M. – Rence, L. – Berzina, R.: Unsaturated Polyester Resins Based on PET Waste products from Glycolysis by Ethylene, Propylene, and Diethylene Glycols and their Mixtures The Arabian Journal for Science and Engineering, Volume 27, 2002, pp. 33–42.

Kopecký, L. – Němeček, J. – Kuklík P. – Bittnar, Z. – Machovič, V.: Interfacial Transition Zone of Cementitious Binder between Polymer Reinforcement and Concrete

The interfacial transition zone (ITZ) between C-S-H phases of hydrated clinker minerals and the reinforcing elements (e.g. polymers or steel fibers) is a fundamental factor determining mechanical properties of the composite material. It was found that portlandite, ettringite and the low Ca-saturated C-S-H phases prevail in the chemical composition of the ITZ. A very good correlation between the chemistry and mineralogy of ITZ and elastic modulus (E-modulus) has been proven.

Kopecký, L. – Němeček, J. – Kuklík P. – Bittnar, Z. – Machovič, V.: Die Übergangszone aus Zementleim zwischen einer PET-Bewehrung und dem Beton

Die Übergangszone zwischen Zementleim und Bewehrung (Polymerfasern, Stahl) ist ein entscheidender Bereich, der die mechanischen Eigenschaften von Verbundbaustoffen auf Zementbasis determiniert. Es wurde festgestellt, dass in dieser Zone Portlandit, Ettringit und einige wenige mit C-S-H-Gelen gesättigte Ca-Ionen überwiegen. Es wird eine sehr gute Korrelation zwischen der mineralischen und chemischen Zusammensetzung dieser Zone einerseits und ihren mechanischen Eigenschaften (E-Modul usw.) andererseits nachgewiesen.

## Vliv hydraulických a pucolánově aktivních přísad na mechanické vlastnosti vápenných omítek

Ing. Radka PERNICOVÁ  
 prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.  
 Ing. Milena PAVLÍKOVÁ, Ph. D.  
 ČVUT – Fakulta stavební  
 Praha

Článek se zabývá vlivem hydraulických a pucolánově aktivních přísad na základní materiálové parametry a mechanické vlastnosti vápenných omítek. Ověřováno bylo sedm typů, jmenovitě omítky s přísadou metakaolinu, popílku, strusky, cementu a hydrofobizátoru. Jako referenční byla vybrána čistě vápenná omítka bez přísad a příměsí. Výsledky experimentů prokázaly, že vápenné omítky s hydraulickými a pucolánově aktivními přísadami vykazují zvýšení konečných pevností při zachování dobré zpracovatelnosti.

### Úvod

Při rekonstrukci historických budov se klade velký důraz na jejich funkčnost a estetický vzhled, přičemž speciální požadavky jsou kladeny na omítky. Kromě klimatických podmínek je třeba brát v potaz i specifikace nosné konstrukce budov, např. neregulované rozložení stavebního materiálu, chemické a biologické napadení, zvýšený obsah vlhkosti. Tyto vlivy mohou nežádoucím způsobem ovlivnit vlastnosti a životnost historických konstrukcí, a proto je důležitá ochrana kvalitními povrchovými vrstvami, které je eliminují a prodlouží dobu mezi opravami.

Primární ochrana konstrukcí historických budov zahrnuje výrobu omítek s výbornými užitnými vlastnostmi, sekundární ošetření jejich povrchu. Jsou-li tato opatření provedena správně, jsou účinná proti pronikání vody, působení agresivních látek z okolního prostředí, popř. při spolupůsobení nových a starších vrstev, avšak jsou finančně náročná. Proto byla navržena aplikace vápenných omítek s přísadou pucolánů, které zlepšují mechanické vlastnosti, přičemž tepelné a vlhkostní parametry materiálu zůstávají téměř beze změny.

Životnost nových povrchových vrstev se většinou odhaduje na základě zkušeností, protože o vlastnostech původních vrstev a jejich spolupůsobení s novými materiály pro seriózní odhad toho není příliš známo. V současné době se dává přednost technologickým či tepelným vlastnostem povrchových vrstev, tedy zpracovatelnosti, přilnavosti a tepelnému odporu, na úkor schopnosti transportu a akumulace vlhkosti a solí, což zkracuje jejich životnost a použitelnost.

Rozhodující vliv na použití omítky má její složení. Pracovníci památkové péče zasahují do výběru stavebních hmot na rekonstrukci památek kulturního dědictví a požadují materiály, které se co nejvíce složením, vzhledem i chováním přibližují omítce původní. Místo přísad na bázi cementu se výroba omítkových směsí orientuje tedy spíše na modifikaci klasických omítek přísadou pucolánových materiálů, jejichž používání je datováno už od starověkého Řecka a Říma. Jako velice vhodný právě pro úpravu zejména mechanických vlastností se jeví metakaolin [1], [4], [5], [6]. Vzní-

ká pálením jílových surovin montmorillonitického nebo kaolinitického typu při nízkých teplotách. Nejčastěji se používá kaolín, který při 600 °C přechází na silně porézní amorfní metakaolin  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ . Pucolánovou aktivitu vykazují i silikátové odpady po spalování organických látek, popílky obsahující reaktivní formy oxidu křemičitého a hlinitého. Využívají se elektrárenské popílky, vysokopecní granulované strusky atd.

V článku jsou studovány základní mechanické parametry vápenných omítek s přísadou buď cementu jako hydraulické přísady, nebo materiálů s pucolánovými vlastnostmi. Pro porovnání byla ověřována i vápenná omítka bez přísad. Na základě výsledků experimentů má být navržena omítka, jejíž vlastnosti budou vyhovovat stanoveným požadavkům.

### Omítkové směsi

Ověřováno bylo několik typů vápenných směsí, čistá vápenná směs, VO, tři rozdílné směsi s přísadou metakaolinu, VOM s přísadou 1/4 hmotnosti vápna, VOM II, s náhradou 1/6 hmotnosti vápna, VOMH, se stejným složením jako VOM II, ale navíc s přísadou stearanu zinečnatého jako hydrofobizátoru. U těchto omítek byl upraven vodní součinitel podle zpracovatelnosti směsí. Dále byly zkoušeny omítky s jinými pucolánovými přísadami, VOP s přísadou popílku, VOST s přísadou strusky a běžná prefabrikovaná omítka s přísadou cementu VOC (tab. 1).

Tab. 1. Složení záměsí vápenných omítek

Směs	Složky [kg]				
	vápno CL 90 Mokrá	písek 0/2mm Bratčice	metakaolin Mefisto K05	stearan zinečnatý	voda
VO	4,80	14,40	–	–	4,80
VOM	4,80	14,40	0,80	–	5,50
VOM II	4,00	14,40	0,80	–	4,80
VOMH	4,00	14,40	0,80	0,02	4,20
			popílek		
VOP	4,00	14,40	0,80	–	3,40
			struska		
VOST	4,00	14,40	0,80	–	3,40
			prefabrikovaná vápenocementová směs		
VOC		40,00		–	7,20

K přípravě směsí byl použit vápenný hydrát CL 90 (Vápenka Mokrá), tříděný křemičitý písek, namíchaný v poměru 1 : 1 : 1 ze tří frakcí 0/2 mm (Heidelberg Cement Group, Brněnské písky, filiálka Bratčice). Jako přísada byla použita

metakaolin Mefisto K<sub>05</sub> (České lupkové závody, Nové Strašecí). Tento vysoce aktivní jemně mletý pucolánový materiál Ø 3 až 5 µm může v plné míře nahradit určitý podíl pojiva. Převládajícími složkami metakaolinu Mefisto K<sub>05</sub> jsou SiO<sub>2</sub> v 58,7 % a Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> v 38,5 % z celkového hmotnostního zastoupení. Kvalita pucolánové přísady na bázi metakaolinu závisí na druhu a zrnitosti suroviny použité k její výrobě, na typu kalcinace vstupní suroviny a jemnosti mletí výsledného produktu. Jako další pucolánová přísada byla použita jemně mletá struska (Kotouč, Štramberk) s obsahem 38,6 % hm. SiO<sub>2</sub> a 7,2 % hm. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a popílek (Elektrárna Třinec) s obsahem 45 % hm. SiO<sub>2</sub> a 23 % hm. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Hydrofobizační přísadu stearan zinečnatý vyrábí Setuza, Ústí nad Labem [5].

Vzorky záměsí byly odlity formou standardních trámeců o velikosti 40 x 40 x 160 mm. Po odformování byly trámký udržovány v prostřední s vysokou relativní vlhkostí, a zároveň pravidelně vlhčeny jemným rozprašovačem po dobu 28 dní, aby došlo k reakci všech složek záměsí. Pro zjištění základních parametrů byly nařezány vzorky požadované velikosti, pro stanovení mechanických vlastností byly použity trámký původní velikosti.

## Metody měření a výsledky

### Základní parametry

Základní charakteristiky záměsí, jako je objemová hmotnost, hustota, pórovitost či maximální nasákvavost, se zjišťovaly běžnými metodami [6]. Hustota vzorku se měřila héliovým pyknometrem. Experimenty probíhaly za konstantních podmínek v klimatizované laboratoři při 23 ± 1 °C a relativní vlhkosti 25 až 30 %. Jako počáteční byla brána hmotnost vysušeného materiálu.

Výsledky prezentované v tab. 2 jsou průměrnou hodnotou tří až pěti měření, chyba je u všech maximálně 1 %. Objemová hmotnost jednotlivých vzorků se značně liší, nejvyšší hodnotu má omítka s přidavkem popílku, kde je pozorován nárůst o 21,5 % v porovnání s čistě vápennou omítkou. Přídavek metakaolinu způsobil nepatrný nárůst objemové hmotnosti, poněkud vyšší způsobil při náhradě vápenného pojiva, vyšších hodnot pak dosahují omítky s přidavkem strusky. U prefabrikované směsi s přidavkem cementu naopak klesla objemová hmotnost o téměř 6,5 % v porovnání s čistě vápennou omítkou. Z výsledků je patrné, že přidáním metakaolinu se hustota vápenné omítky téměř nemění. Nepatrně nižší hustoty si můžeme povšimnout u omítek sanačních a vápenné omítky s popílkem. Rozdíly u jednotlivých záměsí demonstrují nejzřetelněji značně odlišné hodnoty otevřené pórovitosti. Proti čistě vápenné omítce klesla póro-

Tab. 2. Základní materiálové parametry vápenných omítek

Typ	Objemová hmotnost	Hustota	Otevřená pórovitost
	$\rho_b$	$\rho$	$\psi$
	[kgm <sup>-3</sup> ]		[%]
VO	1 650	2 575	36,0
VOM	1 670	2 570	35,0
VOM II	1695	2 580	34,0
VOMH	1745	2 625	33,0
VOST	1 815	2 660	32,0
VOP	2 005	2 345	14,5
VOC	1 545	2 555	39,5

vitost u omítek s přidavkem nebo náhradou metakaolinu o 3 až 5 %, u omítky s přidavkem hydrofobizátoru o 8 %, což je pochopitelné, neboť použitím hydrofobizátoru došlo ke snížení vodního součinitele. U omítky s přidavkem strusky klesla pórovitost o 11 %, u omítky s přidavkem popílku dokonce o 60 %, což je částečně způsobeno nižším vodním součinitelem a částečně pucolánovou přísadou. Při stejném poměru vody a pojiva vykazuje omítka s přidavkem popílku mnohem nižší pórovitost než omítka s přidavkem strusky, což potvrzuje fakt, že pucolánová kapacita strusky je až dvacetkrát nižší než pucolánová kapacita popílku. U omítky s přidavkem cementu vzrostla otevřená pórovitost o 9 % proti čistě vápenné omítce. U této omítky nemůžeme, bohužel, posoudit vliv jednotlivých složek záměsí a vodního součinitele, protože výrobce neuvádí potřebné údaje.

### Mechanické parametry

Pevnost v tlaku a v tahu za ohybu se ověřovala na zkušebních tělesech o rozměrech 40 x 40 x 160 mm na mechanickém lisu FT100 podle ČSN EN 196-1 [7]. Měření se provádělo po 7, 14 a 28 dnech vytvrzování. Tělesa byla uložena do stroje kolmo na směr hutnění na válcové podpěry. Zatížení se přenášelo přes zatěžovací válec konstantní rychlostí s výslednou maximální hodnotou síly  $F$ , dosaženou při porušení tělesa. Tlaková zkouška byla provedena na zlomcích trámků z předchozí zkoušky v tahu za ohybu. Výsledkem byl aritmetický průměr šesti hodnot síly dosažené při porušení, popř. rozdrčení tělesa. Pevnost v tahu za ohybu včetně přesnosti měření uvádí tab. 3, pevnost v tlaku tab. 4.

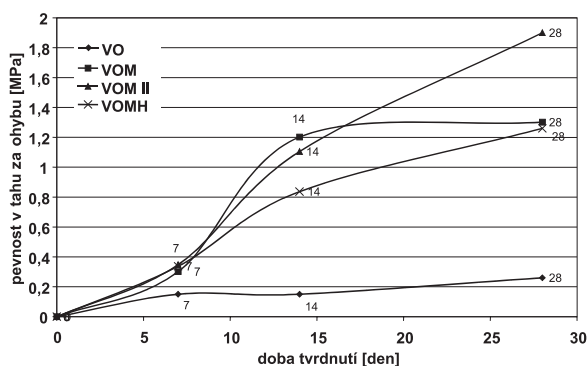
Tab. 3. Pevnost vápenných omítek v tahu za ohybu

Typ	Pevnost [MPa]		
	7 dní	14 dní	28 dní
VO	0,15 ± 0,01	0,15 ± 0,01	0,26 ± 0,02
VOM	0,30 ± 0,03	1,20 ± 0,07	1,30 ± 0,12
VOM II	0,35 ± 0,02	1,11 ± 0,05	1,90 ± 0,13
VOMH	0,34 ± 0,01	0,84 ± 0,05	1,26 ± 0,05
VOC	0,69 ± 0,04	1,29 ± 0,05	1,58 ± 0,16
VOP	0,07 ± 0,00	0,19 ± 0,02	0,29 ± 0,02
VOST	0,19 ± 0,01	0,37 ± 0,02	0,64 ± 0,06

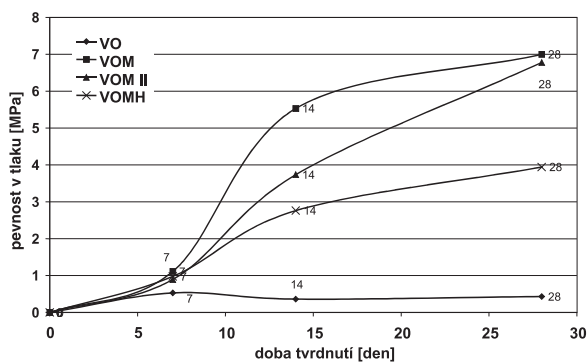
Tab. 4. Pevnost vápenných omítek v tlaku

Typ	Pevnost [MPa]		
	7 dní	14 dní	28 dní
VO	0,53 ± 0,04	0,36 ± 0,02	0,43 ± 0,01
VOM	1,11 ± 0,05	5,53 ± 0,30	7,00 ± 0,15
VOM II	0,90 ± 0,03	3,73 ± 0,10	6,78 ± 0,25
VOMH	0,98 ± 0,05	2,76 ± 0,10	3,94 ± 0,23
VOC	1,99 ± 0,15	2,83 ± 0,25	3,27 ± 0,15
VOP	0,18 ± 0,01	0,36 ± 0,02	0,77 ± 0,02
VOST	0,48 ± 0,02	1,01 ± 0,03	1,74 ± 0,06

Pro názornější ukázkou je na *obr. 1* a *obr. 2* porovnána pevnost v tahu za ohybu a v tlaku omítek s metakaolinem a omítky s metakaolinem a hydrofobizátorem s čistě vápennou omítkou. Je zřejmé, že z počátku se u všech záměsí vyvíjejí pevnosti stejně, ale již po sedmém dni můžeme u směsí obsahujících metakaolin pozorovat značný nárůst. U vápenné omítky s metakaolinem VOM, kdy byl metakaolin přidán do směsi navíc, čímž se zvýšil podíl pojiva ve směsi, můžeme pozorovat prudší vzestup pevnosti než u omítky VOM II, avšak po dosažení konečných pevností, ověřovaných 28. den vytvrzování, dosahují obě téměř shodných hodnot pevnosti v tlaku, u pevnosti v tahu za ohybu došlo k nárůstu o 32 % v případě omítky VOM II, u které byla část vápenného hydrátu nahrazena metakaolinem. V porovnání s čistě vápennou omítkou vzrostla u omítek s obsahem metakaolinu po 28 dnech pevnost v tahu za ohybu pětkrát až sedmkrát a v tlaku šestnáctkrát.



Obr. 1. Pevnost vápenných omítek s metakaolinem v tahu za ohybu

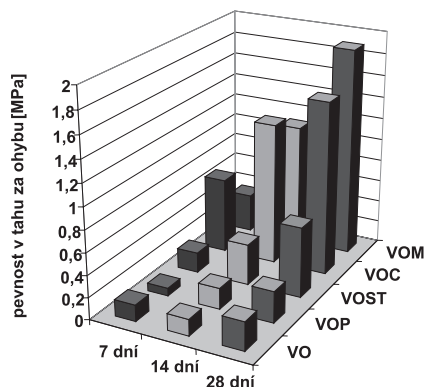


Obr. 2. Pevnost vápenných omítek s metakaolinem v tlaku

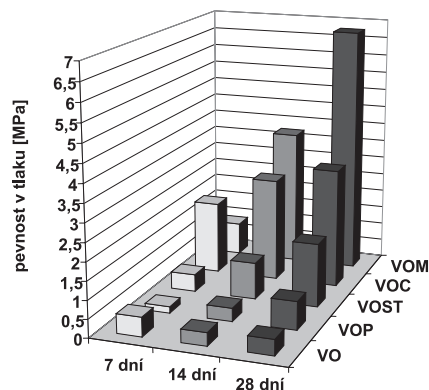
Přidavek hydrofobizátoru umožnil zredukovat množství záměsové vody o 10 %, což vedlo zřejmě k tomu, že nedošlo k úplné hydrataci směsi, a v porovnání se směsí VOM II stejného složení, ovšem bez hydrofobizátoru, dosahuje konečných pevností v tahu za ohybu o 34 % a pevností v tlaku o 42 % nižších.

Jako další pucolánově aktivní materiály byly vybrány popílek a struska a pro porovnání i hydraulické silikátové pojivo cement. Vliv jednotlivých přísad na mechanické vlastnosti záměsí můžeme vidět na *obr. 3* a *obr. 4*. Je zřejmé, že proti základní směsi vápenné omítky vzrostly konečné pevnosti v tahu za ohybu po 28 dnech u všech materiálů obsahujících přísadu. Vápenná omítky s metakaolinem vykazují sedminásobný nárůst, prefabrikovaná vápenocementová omítka

ka šestinásobný nárůst a omítka obsahující strusku téměř trojnásobný nárůst proti vápenné omítce, zatímco přídavek popílku konečnou pevnost v tahu zásadně neovlivnil.



Obr. 3. Pevnost vápenných omítek s přísadami v tahu za ohybu



Obr. 4. Pevnost vápenných omítek s přísadami v tlaku

Na konečných pevnostech v tlaku se přídavek pucolánově aktivních materiálů projevil taktéž, u omítky s přídavkem metakaolinu vzrostla pevnost šestnáctkrát, s přídavkem strusky čtyřikrát, s přídavkem popílku pouze 1,5krát, zatímco vápenocementová omítka dosáhla konečných pevností v tlaku 7,5krát vyšších proti čistě vápenné omítce. Všechny hodnoty jsou ovlivněny především kvalitou přípravy zkušebních těles a ošetřením během vytvrzování. Relativní chyba měření je odhadnuta na max.  $\pm 10\%$  z naměřené hodnoty.

Abychom mohli objasnit chování různých pucolánově aktivních materiálů, bylo nezbytné stanovit jejich pucolánovou kapacitu a aktivitu a zjistit jejich měrný povrch, neboť aktivita amorfního  $\text{SiO}_2$ , obsaženého v pucolánově aktivních materiálech, se výrazně zvětšuje s jeho rostoucím měrným povrchem. Charakteristický jev zvyšování pevností všech vápenných omítek s přídavkem pucolánově aktivního materiálu je způsoben tvorbou gelu CSH, který je charakteristický pro cementová pojiva [8], [9]. Podle literatury [10], [11] je však gel vzniklý pucolánovou reakcí odlišný od gelu vzniklého hydratací cementu, jako v případě ověřované vápenocementové omítky. S přihlédnutím k dosaženým výsledkům se potvrdil trend pozorovaný u cementových kaší a malt s přídavkem pucolánů, kdy pucolánově aktivní materiál se zpočátku chová jako inertní fáze, a teprve v konečných pevnostech se projevuje jeho vliv.

**Závěr**

Provedené experimenty jasně ukazují pozitivní vliv přídavku hydraulického i pucolánově aktivního materiálu na mechanické vlastnosti zkoumaných vápenných omítek. Vzhledem k současným trendům při rekonstrukcích a obnově památek jsou obzvláště důležité příznivé výsledky dosažené použitím metakaolinu jako pucolánové přísady do vápenné omítky, neboť tato omítka může zcela nahradit běžné prefabrikované vápenocementové omítky.

Článek vznikl za podpory projektu č. 103/06/0031 GA ČR.

**Literatura**

- [1] Pernicová, R. – Pavlíková, M. – Pavlík, Z. – Černý, R.: Vliv metakaolinu na mechanické, tepelné a vlhkostní vlastnosti vápenných omítek. [Sborník], „Metakaolin 2007“, VUT FAST, Brno, 2007, s. 70–77.
- [2] Cabrera, J. – Rojas, M. F.: Mechanism of Hydration of the Metakaloline-Lime Water System. Cement and Concrete Research, Vol. 31, 2001, pp. 177–182.
- [3] Rojas, M. F. – Cabrera, J.: The Effect of Temperature on the Hydration Rate and Stability of the Hydration Phases of Metakaolin-Lime-Water Systems. Cement and Concrete Research, Vol. 32, 2002, pp. 133–138.
- [4] Schwarzmann, A.: The Effect of Dehydroxylation/amorphization Degree on Pozzolanic Activity of Kaolinite. Cement and Concrete Research, Vol. 33, 2003, pp. 405–416.
- [5] ČSN EN 12350-6. Zkoušení čerstvého betonu – Část 6: Objemová hmotnost. ČSN, 2000.
- [6] Tydlitát, V. – Tesárek, P. – Kunca, A. – Zuda, L. – Černý, R. – Rovnaníková, P.: Vliv hydrofobizace na vlastnosti vápenné omítky s metakaolinem. Stavební obzor, 14, č. 5, 2005, s. 150–153.
- [7] ČSN EN 196-1 Metody zkoušení cementu. Stanovení pevnosti. ČSN, 2005.
- [8] Sabir, B. B. – Wild, S. – Bai, J.: Metakaolin and Calcined Clays as Pozzolanas for Concrete. Cement and Concrete Composites, Vol. 23, No. 6, 2001, pp. 441–454.
- [9] Shi, C. – Day, R. L.: Pozzolanic Reaction in the Presence of Chemical Activators. Part II – Reaction Products and Mechanism. Cement and Concrete Research, Vol. 30, No. 4, 2000.
- [10] Bensted, J. – Barnes, P.: Structure and Performance of Cements. London and New York, Spon Press 2002.
- [11] Taylor, H. F. W.: The Chemistry of Cements. London, Academic Press 1964.

**Pernicová, R. – Černý, R. – Pavlíková, M.: Effect of Hydraulic and Pozzolanic Admixtures on Mechanical Properties of Lime Plasters**

This paper studies the effect of different hydraulic and pozzolanic admixtures on basic material parameters and mechanical properties of lime plasters. Seven types of various lime plasters, namely those with metakaolin, slag, fly ash and cement addition, are tested. Pure lime plaster is chosen as reference material. Experimental results have shown that lime plasters with pozzolanic and hydraulic admixtures have better mechanical properties than pure lime plaster while keeping the same good workability.

**Pernicová, R. – Černý, R. – Pavlíková, M.: Der Einfluss hydraulischer und puzzolanisch aktiver Zusatzstoffe auf die mechanischen Eigenschaften von Kalkputzen**

Der Artikel befasst sich mit dem Einfluss hydraulischer und puzzolanisch aktiver Zusatzstoffe auf die grundlegenden Materialparameter und die mechanischen Eigenschaften von Kalkputzen. Geprüft wurden sieben Typen, namentlich ein Putz mit Zusatz von Metakaolin, Flugasche, Schlacke, Zement und Hydrophobiermitteln. Als Referenzputz wurde ein reiner Kalkputz ohne Zusatzmittel und Zusatzstoffe gewählt. Die Versuchsergebnisse haben erwiesen, dass Kalkputze mit hydraulischen und puzzolanisch aktiven Zusatzstoffen erhöhte Endfestigkeiten bei Erhaltung der guten Verarbeitbarkeit aufweisen.

ÚTAM AV ČR, v. v. i., CIDEAS Praha, VŠB TU-Ostrava a Dům techniky Ostrava

ve spolupráci

s IA ČR, ČSSI a ČKAIT Ostrava

pořádají

IX. konferenci

## Spolehlivost konstrukcí

8.–9. dubna 2008

ÚTAM AV ČR, Praha

Předmětem příspěvků a diskuzí bude rozvoj pravděpodobnostního posudku spolehlivosti konstrukcí (metoda SBRA) a vytváření předpokladů k uplatnění „integrovaného projektování“ v budoucnosti.

Informace: Dům techniky Ostrava, K. Sommerová, tel. 595 620 118

## Biodegradace hydroizolací v základech staveb

Ing. Veronika HUSÁKOVÁ

prof. Ing. Richard WASSERBAUER, DrSc.

ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

**Předběžné pokusy potvrdily, že i při velmi malých, proti běžnému dávkovému příkonu ze zemského povrchu pouze relativně nepatrně zvýšených, dávkách  $\gamma$ -záření dochází za spolupůsobení mikroflóry u hydroizolačních fólií v relativně krátké době k chemickým změnám, které se ojediněle projevují změnou barvy polymeru.**

### Úvod

Horninové prostředí, které obklopuje podzemí objektu, obsahuje vždy vodu, především ve formě zemní vlhkosti. O konkrétní zátěži podzemních stěnových konstrukcí rozhoduje mnoho faktorů, zejména úprava terénu ovlivňuje infiltraci, složení horniny ovlivňuje propustnost apod. Spolehlivou ochranou podzemních stěnových konstrukcí při libovolném hydrofyzikálním namáhání jsou plastové a asfaltové hydroizolace [1]. Jejich úkolem je bránit pronikání podpovrchové vody do konstrukcí i vnitřních prostor podzemních částí budov. Většinou jde o zpracovaný systém výrobků, který kromě hydroizolačních pásů obsahuje těsnicí pásy do dilatačních spár, různé tvarovky a kotevní prvky. Protože jsou po zabudování nepříístupné, musejí být z rezistentních materiálů s životností odpovídající předpokládané životnosti stavebního díla [2].

Ze zkušeností získaných při kontrole především objektů bytové výstavby z první republiky je zřejmé, že asfaltové hydroizolace v základech staveb vlivem zemní vlhkosti, ale i dalších vlivů, urychleně stárnou, a to přesto, že přístup kyslíku je v těchto místech omezen a oxidační proces probíhá velice pomalu [3]. To potvrzuje i zatím jediná dostupná práce, která se touto problematikou zabývá [4]. Podle autorů dochází v důsledku činnosti půdních mikroorganismů k degradaci vazeb C=O a S-O, což se odráží v postupném znehodnocení mechanických vlastností asfaltových pásů.

Z literatury je rovněž známé, že dlouhodobá expozice půdní mikroflóry v  $\gamma$ -záření o dávkovém příkonu až 5 MGy/h působí významnou selekci a vznik specifických, na toto záření adaptovaných kmenů [5]. To je pro sledovaný problém významné, protože právě slabé  $\gamma$ -záření (v rozsahu 1 až 5  $\mu$ Gy/h), přítomné v půdě všude v celé ČR, pokládáme za blíže neurčený fenomén, který může životnost hydroizolací podstatně měnit. Předpokládáme proto, že pomalé vlhkostní stárnutí, dlouhodobě stimulované nízkými dávkami záření za spoluúčasti půdní mikroflóry, může životnost hydroizolačních pásů významně ovlivnit.

### Metody a materiál

Jako zářiče byly použity zábrusové lahve o objemu 5 l, plněné radioaktivní škvárou o aktivitě 5  $\mu$ Gy. Aktivita byla stanovena dozimetrem PTF2. Na zářiče byly lepicími páska-

mi připevněny pásy o rozměrech cca 25 x 100 mm a expozice:

- v bezuhlíkatém minerálním roztoku, bez radioaktivní náplně, dezinfekce Ajatinem (kontrolní vzorky);
- v bezuhlíkatém minerálním roztoku s přidávkou 0,2 % peptonu, který sloužil jako startér půdní mikroflóry;
- v kompostové zemi nasycené vodou na cca 30 % kapacity; vzorky se zářičem umístěny tak, aby se zemina dotýkala plastu pouze z vnější strany;
- v bezuhlíkatém minerálním roztoku s přidávkou 0,2 % peptonu a se zářičem s nalepenými vzorky. Doba expozice 90 dnů, při teplotě 22 °C.

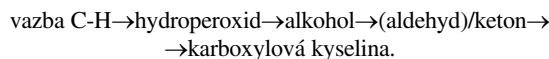
K experimentům byly použity tyto hydroizolační pásy:

- univerzální podkladní protiradonový, vyztužený polyesterovou rohoží z SBS modifikovaného asfaltu Mida Base PV S4;
- hydroizolační Wolfin M z recyklovaného PVC;
- hydroizolační Flagon BT pro ploché střechy a vegetační terasy z měkčeného PVC, odolný proti napadení mikroorganismy;
- hydroizolační Sarnafil 410-12 z měkčeného PVC.

Změny v průběhu expozice v jednotlivých prostředích byly vyhodnocovány na infračerveném spektrografu Shimadzu FTIR-800, případně na infračerveném spektrografu s jednotkou ATR. Mechanické zkoušky byly provedeny na univerzálním zkušebním stroji LabTest 4100 SP1. Zkušební tělesa podle ČSN EN 60811. Zkouška [13] se prováděla při teplotě 23 $\pm$ 2 °C, rychlost oddalování čelistí byla konstantní 30 mm/min.

### Výsledky a diskuze

Oxidace makromolekulárních látek je za normální teploty velice pomalá a je v zásadě určována charakterem uhlíkatého řetězce. Při oxidaci kyslíkem jsou nejodolnější polymery s nasyceným nevětveným řetězcem, nejcitlivější jsou dieno-ové polymery. Při formulování mechanismu oxidace je v současné době aplikována především hydroperoxidová teorie, podle které k primárnímu napadení polymerů dochází na reaktivních uhlících, v místech větvení řetězců nebo v sousedství aktivujících skupin. V principu lze hlavní přeměny polymeru při oxidačních reakcích znázornit schématem [6]

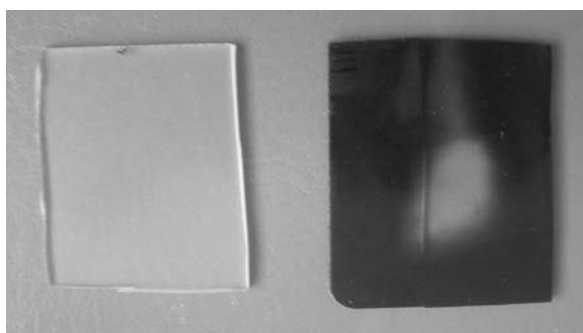
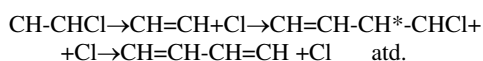


Na základě současných znalostí předpokládáme, v souladu s odbornou literaturou, že radiační oxidace probíhá nejdříve s kyslíkem, který je v polymeru rozpuštěný. Po jeho vyčerpání reaguje s polymerem kyslík, který do něj difunduje během ozařování. Velká rychlost dávkování ovlivní rychlou spotřebu kyslíku v polymeru. Množství dalšího kyslíku, difundujícího do polymeru, je proti původní koncentraci relativně nepatrné a nestačí nahradit původní objem. Proto se vliv kyslíku projevuje při krátkodobém a intenzivním ozařování pouze nepatrně. Naopak, při dlouhodobém ozařování malými dávkami se do polymeru dostává kyslíku dosta-

tek, takže degradace polymeru je podstatně větší než při krátkodobém ozařování velkými rychlostmi (při stejné integrované dávce záření) [7].

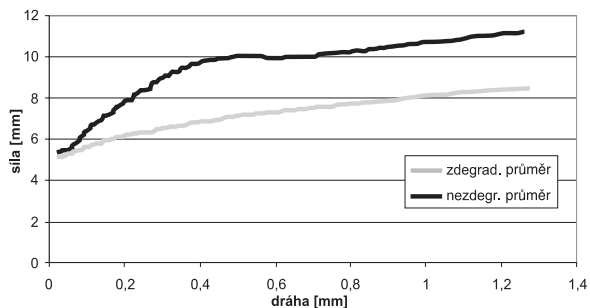
To je také pravděpodobně důvod, proč v práci [8], ve které byly použity velké dávky  $\gamma$ -záření (řádově MGy), nesrovnatelné s našimi dávkami ( $\mu$ Gy), nedošlo k obdobné, případně vyšší destrukci polymeru. Navíc metodika v citované práci byla odlišná. Plasty byly nejdříve ozařovány  $\gamma$ -zářením, a potom zakopány do kompostové země. Náš postup kombinoval všechny degradační činitele (vlhkost, půdní bakterie,  $\gamma$ -záření) současně [9].

Při kombinované expozici hydroizolačních fólií Flagon BT a Sarnafil došlo u obou po tříměsíční expozici v kompostové zemi se zářičem i v bezuhlíkatém minerálním roztoku se zářičem k významnému ztmavění obou plastů. To je zřejmě způsobeno vznikem dvojných vazeb v polymeru se současnou dechlorací PVC [10] (obr. 1).



Obr. 1. Ztmavění hydroizolace Flagon po degradaci v minerálním roztoku s bakteriemi

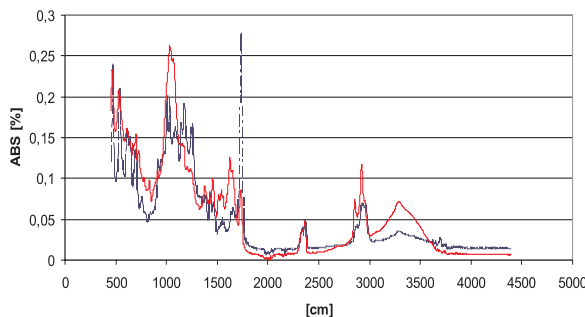
Tahové zkoušky prokázaly významnou změnu modulu pružnosti  $E$  [MPa] a změny v tažnosti  $A_{\text{max}}$  [%] degradovaných materiálů proti materiálům nedegradovaným, což může být způsobeno počínající depolymerací hydroizolačních pásů (obr. 2). Na infračervených spektrech obou materiálů jsme však nepozorovali výrazné změny, což bylo pravděpodobně dáno přítomností změkčovadla, jehož absorpční pás zcela překryl absorpční pás polymeru [11].



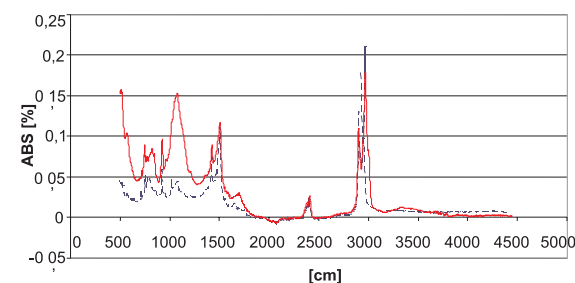
Obr. 2. Změna modulu pružnosti hydroizolace Sarnafil

Zcela jiné výsledky jsme získali u hydroizolačních pásů Wolfin M a Mida Base PV S4. Na infračervených spektrech zestárlého regenerátu Wolfin M jsme pozorovali výrazný pás karbonylu ( $1760 \text{ cm}^{-1}$ ), současně se zvětšil i absorpční pás skupiny OH (karboxylové kyseliny, alkoholy?) při

$3350 \text{ cm}^{-1}$  [8], [12]). O zvyšující se oxidaci polymeru svědčil i výrazný pás při  $1050 \text{ cm}^{-1}$  (pravděpodobně absorpční pás dvojně vazby vinylových derivátů). Na zestárlém asfaltovém pásu Mida Base PV S4 byl nápadný pás alkenů ( $990 \text{ cm}^{-1}$ ), valenční vibrace aromatických uhlíků ( $850 \text{ cm}^{-1}$ ) a slabě se zvětšující pás karboxylových skupin, případně alkoholů při  $3300 \text{ cm}^{-1}$  (obr. 3, obr. 4). Rovněž v tomto případě došlo k výrazným změnám mechanických charakteristik. U zestárlého materiálu Wolfin M klesl modul pružnosti o 40 %, u asfaltového pásu Mida na polovinu, tažnost na dvě třetiny (tab. 1, tab. 2). Degradovaný asfaltový materiál se stával výrazně křehčím, izolace držely pouze na výtuzněm skleněném vlákně.



Obr. 3. Infračervené spektrum hydroizolace Wolfin M po degradaci v kompostové zemi se zářičem  
 - - - wolfin N (vzorek nedegradovaný - původní)  
 — wolfin D (vzorek degradovaný - půda + zářič)



Obr. 4. Infračervené spektrum asfaltového hydroizolačního pásu Mida Base PVS4 po degradaci v kompostové zemi  
 - - - P - původní nedegradovaný vzorek  
 — D - degradovaný vzorek (zemina)

Tab. 1. Změny v mechanických vlastnostech asfaltového pásu Mida Base PVS4 po degradaci v minerálním roztoku a půdě

Zkouška	$F_b$ [N]	$E$ [MPa]	$A_{\text{max}}$	$A_b$	$F_{\text{max}}$ [N]	vzorek
			[%]			
5	0,47	<b>12,91</b>	67,52	<b>734,72</b>	<b>38,42</b>	1-deg. (půda+ zářič)
4	0,37	<b>12,4</b>	77,8	<b>633,44</b>	<b>30,27</b>	2-deg. (min. r.+ zářič)
3	0,4	<b>11,81</b>	74,01	<b>685,95</b>	<b>29,97</b>	3-deg. (min. r.+ zářič)
2	0,84	<b>21,86</b>	58,51	<b>1823,62</b>	<b>45,12</b>	4-nedeg.
1	0,77	<b>21,26</b>	96,91	<b>1615,12</b>	<b>47,14</b>	5-nedeg.

$F_b$  – síla při přetržení vzorku,  $F_{\text{max}}$  – síla na mezi pevnosti,  $E$  – modul pružnosti, max – tažnost při  $F_{\text{max}}$ ,  $A_b$  – tažnost při přetržení vzorku



Tab. 2. Změny mechanických vlastností izolace Wolfin po degradaci v minerálním roztoku a půdě

Zkouška	$F_b$ [N]	$E$ [MPa]	$A_{max}$	$A_b$	$F_{max}$ [N]	Vzorek
			[%]			
8	0,00	<b>5,84</b>	<b>126,10</b>	<b>136,66</b>	<b>20,71</b>	13–deg. (min. roztok+zářič)
7	0,00	<b>6,19</b>	<b>83,40</b>	<b>94,86</b>	<b>17,47</b>	12–deg. (min. roztok+ zářič)
6	0,17	<b>6,13</b>	<b>174,26</b>	<b>182,48</b>	<b>23,67</b>	11–deg. (min. roztok+ zářič)
5	0,34	<b>27,08</b>	<b>56,28</b>	<b>109,60</b>	<b>41,62</b>	10–nedeg.
4	0,27	<b>31,20</b>	<b>52,83</b>	<b>81,10</b>	<b>42,59</b>	9–nedeg.
3	0,34	<b>28,43</b>	<b>51,33</b>	<b>68,17</b>	<b>39,39</b>	8–nedeg.
2	0,17	<b>29,00</b>	<b>49,50</b>	<b>86,34</b>	<b>39,60</b>	7–nedeg.
1	0,17	<b>27,14</b>	<b>54,89</b>	<b>97,26</b>	<b>39,73</b>	6–nedeg.

Zatím nelze přesně říci, zda k této degradaci dochází pouze současným působením slabých dávek  $\gamma$ -záření a dalších činitelů (vlhkost, půdní bakterie), či jen některým ze jmenovaných faktorů. Prozatímní výsledky ukazují na kombinovaný efekt. U jednotlivých expozičních (pouze půda, pouze bakterie, či pouze záření) jsme u materiálů nezaznamenali výraznější změny. Nápadný je také výrazný pik při 1 050  $\text{cm}^{-1}$  na infračervených spektrech, i vzestup vazby OH karboxylových kyselin, případně alkoholů při 3 300  $\text{cm}^{-1}$ , což by mohlo svědčit pro jednotný mechanismus degradace. Protože byly získány výsledky pouze od čtyř, i když odlišných hydroizolačních materiálů, budou nutné další experimenty.

### Závěr

Dosavadní zkoušky potvrdily, že i při velmi malých a proti stálému záření země pouze nepatrně zvýšených dávkách  $\gamma$ -záření dochází, za spolupůsobení vlhkosti a půdní mikroflóry, u asphaltových a plastových hydroizolačních pásů v relativně velmi krátké době k pozorovatelným změnám, které se projevují jak změnou barvy, tak změnami mechanických vlastností.

Článek byl vypracován za podpory projektu VZ1 MSM 684077001 „Spolehlivost, optimalizace a trvanlivost stavebních materiálů a konstrukcí“.

### Literatura

- [1] Kutna, Z.: Sanace vlhkého zdiva budov, Hydroizolace staveb. Praha, H Kursy, 1980.
- [2] Grossmann, M.: Výstavba metro IVC – Zkušenosti z aktivace pojistného injekčního systému. [Sborník], konference „Izolace 2006“. Praha, A.W.A.L. 2006, s. 80–93.
- [3] Massardier-Nageotte, V. – Pestre, C. – Crudard-Praded, T. – Bayard, R.: Aerobic and Anaerobic Biodegradability of Polymer Films and Physico-Chemical Charakterization. Polymer Degradation and Stability, **91**, 3, 620 – 627, 2006.
- [4] Konteva, Ž. P. – Zanina, V. V. – Konteva, A. E. – Kozlova, I. A.: Vlijaniye biokorroznoj aktivnosti grunta na biostojkost izolačionnyh pokrytij. Mikrobiologičeskij žurnal, **58**, 1, 88–96, 1996.
- [5] Eriksen, W. H. – Emborg, C.: Increase of Radiation Resistance of a Soil Microflora Exposed to Long-Term Gamma Irradiation. Applied and Environmental Mikrobiology, **36**, 5, 618–619, 1978.
- [6] Pikner, S. H. a kol.: Povetnostné stárnutie a degradácia plastických hmôt. Bratislava, Alfa 1973.
- [7] Doležel, B.: Odolnost plastů a pryží. Praha, SNTL 1981.
- [8] Sameh, A. S. – Alarighi-Kumar, A. P. – Rao, B. S. M. – Singh, R. P.: Biodegradation of  $\gamma$  Sterelized Biomedical Polyolefins under Composting and Fungi Culture Environments. Polymer Degradation and Stability, **91**, 5, 1105–1116, 2006.
- [9] Husáková, V. – Wasserbauer R.: Stárnutí vybraných hydroizolací za spolupůsobení půdní mikroflóry a nízkých dávek gama záření. [Sborník], konference „Sanace a rekonstrukce staveb“, Brno, 2005, s. 364–368.
- [10] Popíšil, J.: Antioxydanty. Praha, Academia 1968.
- [11] Yabannavar, A. – Bartla, R.: Biodegradability of Some Food Packing Materials in Soil. Soil Biology and Biochemistry, **25**, 11, 1469–1475, 1993.
- [12] Kováč, Š. – Leško, J.: Spektrálne metody v organickej chémii. Bratislava, Alfa 1980, s. 487.
- [13] ČSN EN 60811 Zkouška. ČSNI, 1997.

### Husáková, V. – Wasserbauer, R.: Biodegradation of Waterproofing Membranes in Foundations

The preliminary experiments have verified the fact that the chemical changes which were manifested by the polymer colour change sporadically took place even at very low gamma radiation doses, though these were only slightly increased compared to earth constant radiation. These changes take place in hydroinsulating plastic foils within a relatively short period of time with the soil microflora and moisture cooperation.

### Husáková, V. – Wasserbauer, R.: Biologische Zersetzung von Abdichtungen gegen Wasser in Gebäudefundamenten

Vorläufige Versuche haben bestätigt, dass es auch bei sehr geringen, gegenüber der üblichen Dosiszuführung von der Erdoberfläche nur relativ geringfügig erhöhten Dosen von Gammastrahlung unter Mitwirkung der Mikroflora bei Abdichtungsfolien in relativ kurzer Zeit zu chemischen Veränderungen kommt, die sich vereinzelt durch eine Veränderung der Farbe des Polymers bemerkbar machen.

## Aqua-therm Praha 2007

20.–24. listopadu, Výstaviště Holešovice

Stoupající ceny energií a na ně reagující rozmach nových technologií v oblasti energeticky úsporných zařízení nutí spotřebitele k vyhledávání a vyhodnocování novinek a informací při nákupu zboží. Jednu z ideálních možností, jak načerpat komplexní informace, a zároveň porovnat nabídku na českém trhu, nabízí návštěva veletrhu, který představuje reprezentativní přehlídku firem z oblasti vytápění, klimatizace, měření, regulace a ekologie. Poukaz na zlevněnou vstupenku je možné získat na internetových stránkách veletrhu.

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

# Ověření nivelace a nivelačních přístrojů pro měření svislých posunů staveb na brownfields

Ing. Jitka SUCHÁ, Ph. D.  
doc. Ing. Jiří POSPÍŠIL, CSc.  
ČVUT – Fakulta stavební, Praha

Ing. Emil ZÁVACKÝ  
3G Praha, s. r. o.

Pro sledování svislých posunů bodů je popsána nivelace, některé nivelační přístroje, nivelační latě a další pomůcky. Je věnována pozornost vzniku chyb při nivelaci a eliminaci některých. Měření a porovnání opticko-mechanických a elektronických nivelačních přístrojů bylo provedeno na hrázi odkalovací nádrže v areálu závodu Vápenka Vitošov, s. r. o., po zvýšení hráze o 8 m.

## Úvod

Měření posunů, ať již svislých, nebo vodorovných, se zabýváme z důvodů sledování stavu stávajících i nových objektů v souvislosti s jejich vlivem na blízké okolí. Všechny stavby jsou ovlivňovány různými faktory, které působí na jejich stabilitu a funkčnost. Měření posunů získáváme informace o tom, jak okolní vlivy působí na stavbu, a naopak, jak stavba působí na podloží, zda nemá negativní vliv na okolní objekty, a v neposlední řadě o tom, jak se chová z hlediska bezpečnosti při porovnání naměřených údajů s údaji očekávanými.

Text článku je zaměřen na sledování svislých posunů metodou nivelace a chyby, které mohou negativně ovlivnit její přesnost, a na popis nivelačních přístrojů, jak starších opticko-mechanických, tak nových elektronických.

## Základní údaje o stavbě

Vápenka Vitošov, patří mezi tři největší v České republice, se nachází na severní Moravě v okrese Šumperk, přibližně 7 km od Zábřehu. Separace materiálů se provádí v pračce, nevhodná hlinitá zrna jsou hydraulicky plavena na odkaliště. Projektovaná kapacita odkaliště 551 750 m<sup>3</sup> je v současné době vyčerpána (v provozu od roku 1985). Byla doporučena varianta ukládání kalů v údolí Lužního potoka nad stávajícím odkalištěm spolu se zvýšením základní hráze

o 8 m (obr. 1). Kapacita stávajícího odkaliště byla zvýšena pro uskladnění 1 000 000 m<sup>3</sup> hlinitých podílů do konce životnosti závodu, tj. do roku 2025. Bylo ohraničeno dvěma hrázi, jejichž koruny jsou na kótě cca 348,00 m n. m. Na základě inženýrsko-geologického průzkumu a výpočtu stability bylo možné hráz č. I v jihozápadní části území navýšit o 8 m, tj. vybudovat korunu hráze na kótě 356,00 m n. m. Zvýšení bylo navrženo pouze přísypem vzdušného svahu, pata návodního svahu navazuje na původní korunu hráze na stávající návodní svah. Přísyp tedy nezasahuje do uložených kalů.

Hráz se zvyšovala ve dvou etapách – v první etapě na kótu 350,00 m n. m., ve druhé etapě na kótu 356,00 m n. m. Stabilizační část byla sypána a hutněna ze zemin GM těžných v prostoru vápenky, těsnicí část z odvodněných kalů. Přísyp vzdušného svahu byl oddělen lavičkami, a to na kótě 333,20 m n. m. s šířkou 6 m, na kótě 344,60 m n. m. s šířkou 4 m, koruna hráze na kótě 356,00 m n. m. s šířkou 4 m. Sklon vzdušného svahu od paty hráze po lavičku na kótě 333,20 m n. m. je 1 : 1,3, sklon svahu nad touto lavičkou 1 : 1,5. Sklon návodního svahu je 1 : 1,1. V prostoru oplocení skladu trhavin je vzdušná část paty hráze omezena opěrnou zdí tak, že ochranné pásmo ani oplocení skladu trhavin není stavbou dotčeno [1].

Rozsah objektů měření a pozorování je dán kategorií vodního díla, tj. kategorií č. IV. Pro zjišťování deformací hráze byly dobudovány dva stabilizační měřické body a systém pozorovacích bodů – pět v koruně hráze, tři na první etáži na kótě 344,60 m n. m., dva na druhé etáži na kótě 333,20 m n. m. a dva na opěrné zdi u skladu střeliva.

## Chyby ovlivňující přesnost nivelace

U nivelačních měření se setkáme s nejrůznějšími druhy chyb [3], které jsou geodetům běžně známy. Protože článek má informovat i odbornou veřejnost v oblasti stavebnictví, jsou dále stručně popsány.

Při dlouhém a monotónním měření se měřič dostatečně nesoustředí a dopustí se hrubé chyby. Tyto chyby je nutné z výpočtu odstranit. Proto se zápisníky vypočítají ihned po



Obr. 1. Pohled na hráz z příjezdové cesty

skončení měření, aby bylo možné v případě potřeby měření opakovat. Mezi nejčastější chyby patří omyly při čtení na stupnici (lze odhalit při čtení na nivelační latě se dvěma stupnicemi), chyby při zápisu do nivelačního zápisníku, špatná horizontace přístroje, posunutí nivelační podložky, záměna čtení vpřed a vzad, odečtení podle dálkoměrné rýsky apod. Digitálními nivelačními přístroji s automatickým čtením na latích s čárovým kódem se lze některých z nich vyvarovat. Mohou být vybaveny softwarem, který na chybu upozorní (špatná horizontace – nefunkční kompenzátor, postup čtení – vzad, vpřed atd.). Ale i s moderní technikou je nutné dodržovat správný postup měření.

Chyby, které nelze z měření eliminovat, se považují za nevyhnutelné. Mohou mít systematický charakter (např. chyba z nesvislé polohy latě, ze sklonu záměrné příčky, ze svislé složky refrakce), nebo náhodný (např. chyba z nepřesného urovnání nivelační libely, ze čtení lat'ové stupnice, z přestření dalekohledu).

### Nivelační přístroje a pomůcky

**Zeiss-Jena Ni 007** je opticko-mechanický přístroj vybavený kompenzátozem pracujícím na principu „paralelního posunu“ (obr. 2). Je vhodný pro přesnou nivelaci, jeho směrodatná kilometrová odchylka se uvádí  $\sigma_{km} = 0,7$  mm.



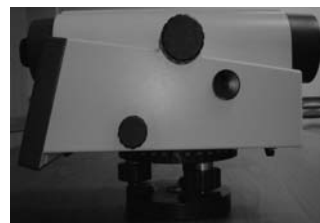
Obr. 2. Zeiss-Jena Ni 007

**Zeiss-Jena Ni 005A** je kompenzátorový nivelační opticko-mechanický přístroj vhodný pro přesnou nivelaci. Jeho směrodatná kilometrová odchylka se uvádí  $\sigma_{km} = 0,5$  mm (obr. 3).

**Sokkia SDL 2** je kompenzátorový laserový elektronický nivelační přístroj určený pro přesné práce (obr. 4). Je distribuován společností Sokkia Co., Ltd., výrobcem však je Carl Zeiss Jena GmbH. Je vybaven senzorem CCD pro snímání úseků latě. Do měřených hodnot se ihned může započítat chyba ze zakřivení horizontu, oprava z refrakce. Dále můžeme nastavit různé metody měření a speciální měřicí programy. Lze také vyrovnat nivelační pořad úměrně délkám jednotlivých záměr, přičemž původní naměřené hodnoty zůstávají v paměti. Výhodou je ukládání dat na paměťovou kartu přístroje a pohodlné ovládání při měření. Přesností se vyrovná nivelačnímu přístroji Zeiss-Jena Ni 007.



Obr. 3. Zeiss-Jena Ni 005A



Obr. 4. Sokkia SDL2

**Wild-Leica DNA03** je kompenzátorový laserový elektronický nivelační přístroj pro přesné práce (obr. 5). Nabízí různé měřické programy, interní paměť má kapacitu 6 000 měření nebo 1 650 přestav. Doba měření je zhruba 3 s, střední směrodatná kilometrová odchylka při měření na invarovou lat' je 0,3 mm.



Obr. 5. Wild-Leica DNA03

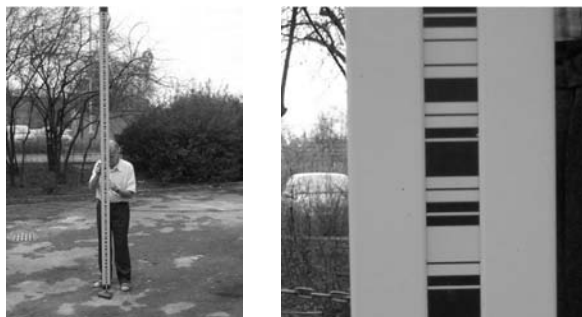
**Nivelační lat' pro opticko-mechanické přístroje** je celistvá dřevěná s invarovým páskem. Délka latě je 3 m,



Obr. 6. Dřevěná nivelační lat' s invarovým páskem

šířka cca 10 cm (obr. 6). Je opatřena dvěma držadly a krabicovou libelou. Na invarovém pásku jsou dvě stupnice vzájemně posunutě o konstantní hodnotu (60 650 desetin milimetru). Dělení stupnice je po 0,5 cm. Patka latě je kovová.

**Latě k elektronickým nivelačním přístrojům** jsou vybaveny čárovým kódem pro automatické odečítání pomocí digitálního přístroje (obr. 7). Jsou z lehkého kovu, vybaveny dvěma držadly a krabicovou libelou. Délka obou latí je 3 m, šířka je cca 10 cm. Patky jsou kovové.



Obr. 7. Nivelační lať s čárovým kódem

Aby nebyl nivelační pořad ovlivněn chybou z nepevného postavení latě ve svislém směru, nestaví se lať přímo na terén, ale na nivelační podložku. Při měření byly použity ploché podložky se dvěma výčnělky. Pro nivelaci se používají lehké stativy, v závislosti na druhu nivelace zasouvací nebo pevné. Pro přesnou nivelaci jsou vhodné pevné stativy.

### Výškové bodové pole

Při měření svislých posunů se body rozdělují na vztažné a pozorované. Vztažné jsou body se známou výškou. Určujeme z nich výšky, a tím také svislé posuny bodů pozorovaných. Vztažným (výchozím) bodem pro nultou etapu pozorování byl bod č. 2072, ověřovacím bodem nivelační značka 2073. Dále byly speciálně pro sledování geodynamických změn stavby vybudovány body SB1, SB2 a SB3. Výška bodů 2073, SB1, SB2 a SB3 byla určena z vyrovnání výškové sítě v roce 2005. Pro sledování výškových změn hráze bylo vybudováno dvanáct bodů s označením K1 až K12. Body K1-K5 jsou umístěny na koruně hráze (obr. 8), K6-K8 na první etáži (obr. 9), K9-K10 na druhé etáži (obr. 10) a K11-K12 na opěrné zdi nad skladem střeliva (obr. 11).

Nultá etapa vycházela ze stávajícího bodového pole v areálu závodu, tedy z bodů 2072 a 2073. Pro první a druhou etapu byly výchozími SB1 a SB2. U bodu SB3 bylo podezření z posunu (je umístěn v blízkosti lesní cesty, kudy projíždějí těžké mechanismy), tudíž byl zvolen jen jako pozorovaný. Body 2072-2073 nemohly být použity z bezpečnostních důvodů, neboť do skladu střeliva a areálu závodu nebyl přístup povolen. Ve třetí etapě byly využity všechny vztažné body, SB3 byl při výpočtu opět zvolen jako pozorovaný.

### Měření ve všech etapách

Zaměření v nulté etapě prováděla geodetická firma Ing. Jiří Olšar – Zeměměřičtví Jeseník v říjnu 2005 podle kritérií pro velmi přesnou nivelaci. Záměry vzad a vpřed byly rozměřovány pásmem, záměry byly kratší než 40 m (vzhledem k místním podmínkám nepřekročily 25 m), postup observace „vzad – vpřed – vpřed – vzad“, přesnost v určení sestavy (rozdíly ve čtení na stupnicích) nebyla větší než 0,1 mm,

měření bylo provedeno jako sdružená nivelace (každý oddíl měřen tam a zpět). K měření sloužil digitální nivelační přístroj WILD-LEICA DNA 03 s příslušenstvím, dvě invarové kódové nivelační latě délky 3 m, optický nivelační přístroj ZEISS NI 007 s příslušenstvím (v. č. 252631), invarové nivelační latě délky 3 m, pásmo, nivelační podložky.

Při zadávání práce se předpokládalo pravidelné pololetní sledování posunů hráze touto firmou. V průběhu času se vedení vápenky z finančních důvodů rozhodlo od pololetního měření ustoupit a další naplánovalo až na podzim následujícího roku, tedy zhruba po roce. Proto bylo nutné v rámci výzkumné práce doplnit měření 1. a 2. etapy. Tato měření se prováděla pouze s pomůckami a přístroji z inventáře Katedry speciální geodézie, ČVUT – Fakulty stavební (digitální nivelační přístroj Sokkia SDL2 s příslušenstvím, dvě invarové kódové nivelační latě délky 3 m, optický nivelační přístroj Zeiss NI 007 s příslušenstvím, invarová nivelační lať délky 3 m, pásmo, nivelační podložky). První etapa probíhala v květnu 2006 podle kritérií pro přesnou nivelaci – záměry vzad a vpřed byly rozměřovány pásmem, záměry byly kratší než 40 m, přesnost v určení jedné sestavy (rozdíly ve čtení na stupnicích) nebyla větší než 0,2 mm a měření se provádělo jako sdružená nivelace.

Zaměření ve druhé etapě probíhalo v srpnu 2006 podle stejných kritérií pro přesnou nivelaci jako v první etapě a se stejnými pomůckami, jen přístroj Zeiss NI 007 byl pro nedostupnost zaměněn typem Zeiss NI 005. Při zpracování výsledků obou etap byla provedena oprava z nestejně délky laťového metru pro invarovou nivelační lať, která byla kalibrována. Délka průměrného laťového metru činí 1 m + 19 μm. Invarové kódové nivelační latě kalibrovány nebyly. Chyba z nevodornosti záměrné přímkou byla v obou etapách eliminována měřickou metodou.

Zaměřením třetí etapy v říjnu 2006 bylo opět pověřeno Zeměměřičtví Jeseník. Kritéria pro přesnou nivelaci byla totožná, k měření byl použit pouze přístroj Zeiss NI 007.

### Výsledky měření

#### ■ 0. etapa

Při zpracování došlo k vyrovnání výškové sítě [4] metodou nejmenších čtverců, váhy byly stanoveny úměrně délkám jednotlivých oddílů. Vektor oprav  $\mathbf{v}$  byl vypočten ze vzorce

$$\mathbf{v}_i = -\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{Q} \cdot [\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{Q} \cdot \mathbf{A}]^{-1} \cdot \mathbf{u} \quad (1)$$

kde  $\mathbf{A}$  je matice plánu,  $\mathbf{Q}$  váhová matice,  $\mathbf{u}$  – vektor uzávěrů. Směrodatná jednotková odchylka

$$S_0 = \pm \sqrt{\frac{\mathbf{v}^T \cdot \mathbf{v}}{n-1}} = \pm 0,0001 \text{ m}, \quad (2)$$

kde  $\mathbf{v}$  je vektor oprav a  $n$  počet oddílů.

Do výpočtu výšek jednotlivých pozorovaných bodů byla zahrnuta korekce z nestejně délky laťového metru, oprava činí 0,01554 mm/m. Oprava z nevodornosti záměrné přímkou byla částečně odstraněna vzhledem ke stejné dlouhým záměrům vpřed a vzad.

Tab. 1. Vyrovnání nulté etapy

Oddíl	Délka [km]	Váha $p_i$	Převýšení	Převýšení	Průměr	Oprava z vyrovnání sítě $v_i$ [mm]	Výsledné převýšení [m]
			Leica DNA 03	Zeiss Ni 007			
101-SB3	0,200	5,0	0,7532	0,7536	0,7534	0,0	0,7534
SB3-102	0,084	11,9	-6,2250	-6,2248	-6,2249	0,0	6,2249
102-103	0,240	4,2	-0,2546	-0,2545	-0,2545	0,0	0,2545
103-SB1	0,153	6,5	8,2009	8,2007	8,2008	0,0	8,2008
SB1-K1	0,081	12,3	-2,6593	-2,6599	-2,6596	0,0	2,6596
K1-K2	0,061	16,4	-0,0656	-0,0659	-0,0657	0,0	0,0657
K2-K3	0,078	12,8	0,0590	0,0583	0,0586	0,0	0,0586
K3-K4	0,069	14,5	0,0186	0,0189	0,0187	0,0	0,0187
K4-K5	0,050	20,0	0,2961	0,2962	0,2962	0,0	0,2962
K5-104	0,080	12,5	-0,4362	-0,4357	-0,4359	0,0	0,4359
104-101	0,107	9,3	0,3130	0,3131	0,3130	0,0	0,3130
104-2072	0,390	2,6	-	-32,3074	-32,3074	x	32,3086
2072-2073	0,240	4,2	-11,6935	-11,6935	-11,6935	-0,2	11,6933
2073-104	0,560	1,8	44,0017	-	44,0017	0,2	44,0019
2072-104	0,500	2,0	32,3088	-	32,3088	-0,2	32,3086
101-SB2	0,096	10,4	6,8534	6,8534	6,8534	-	6,8534
104-105	0,050	20,0	-	-8,6289	-8,6289	0,1	8,629
105-K8	0,071	14,1	-	-2,2244	-2,2244	0,1	2,2245
K8-K7	0,068	14,7	-	0,1800	0,1800	-0,1	0,1799
K7-K6	0,079	12,7	-	0,0035	0,0035	-0,1	0,0034
K6-106	0,080	12,5	-	0,4252	0,4252	-0,1	0,4251
106-K9	0,086	11,6	-	-12,1163	-12,1163	0,1	12,1164
K9-K11	0,084	11,9	-	4,4639	4,4639	-0,1	4,4638
K11-K10	0,080	12,5	-	-4,3721	-4,3721	0,1	4,3722
K1-K12	0,040	25,0	-	-4,2885	-4,2885	0,1	4,2886
K12-2072	0,050	20,0	-	-5,7501	-5,7501	0,1	5,7501

## ■ 1.-3. etapa

Mezní rozdíl mezi převýšením měřeným tam a zpět je vypočten ze vztahu

$$\Delta \max_{\text{mm}} = 3 \cdot \sqrt{R_{\text{km}}} \quad (3)$$

kde  $R_{\text{km}}$  je délka nivelačního oddílu [km] mezi nivelovaným převýšením tam a zpět.

Tab. 2. Mezní rozdíly

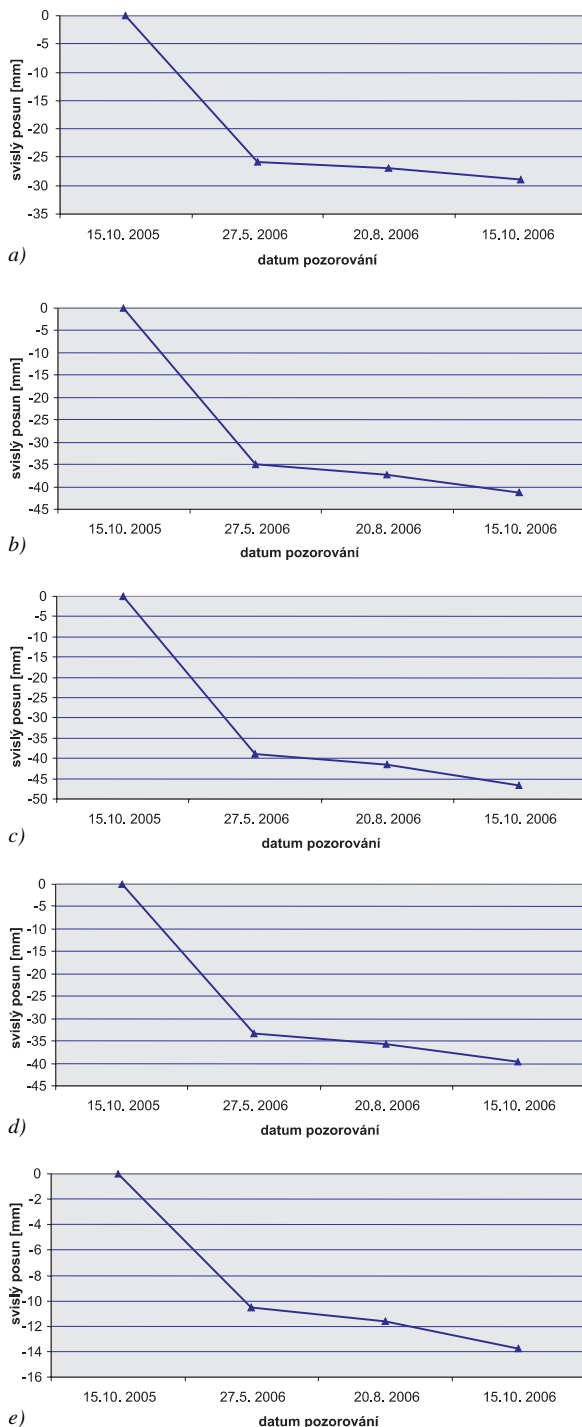
Přístroj	Nivelační pořad	Délka pořadu [km]	Převýšení [m]		Rozdíl [mm]	
			tam	zpět	zjištěný	mezní
<b>Sokkia SDL 2 (v. č.102274)</b>						
1. etapa	SB1-SB2	1,79	4,3814	-4,3776	3,8	5,7
2. etapa		1,89	4,3773	-4,3781	-0,8	5,8
<b>Zeiss Ni 007 (v. č. 194047)</b>						
1. etapa	SB1 - SB2	1,92	4,3825	-4,3783	4,2	5,9
<b>Zeiss Ni 005</b>						
2. etapa	SB1 - SB2	1,89	4,3801	-4,3805	-0,4	5,8

Tab. 3. Mezní rozdíly

Přístroj	Oddíl	Délka [km]	Převýšení [m]		Rozdíl [mm]	
			tam	zpět	pozorovaný	mezní
<b>Zeiss Ni 007 (v. č. 252631)</b>						
3. etapa	101 - 102	0,120	0,3381	0,3377	0,4	1,0
	102 - SB2	0,096	6,8566	6,8568	-0,2	1,0
	102 - SB3	0,160	0,7590	0,7584	0,6	1,2
	101 - K5	0,080	0,4503	0,4503	0,0	0,8
	K5 - K4	0,050	-0,3220	-0,3220	-0,1	0,7
	K4 - K3	0,070	-0,0260	-0,0254	-0,6	0,8
	K3 - K2	0,078	-0,0531	-0,0532	0,1	0,8
	K2 - K1	0,061	0,0779	0,0782	-0,3	0,7
	K1 - SB1	0,081	2,6886	2,6881	0,5	0,8
	101 - 103	0,176	-8,6021	-8,6022	0,1	1,3
	103 - K8	0,118	-2,2343	-2,2342	-0,1	1,03
	K8 - K7	0,069	0,1714	0,1715	-0,1	0,8
	K7 - K6	0,080	0,0109	0,0106	0,3	0,8
	K6 - 104	0,100	0,7660	0,7661	-0,1	0,9
	104 - K9	0,100	-12,4492	-12,4492	0,0	0,9
	K9 - K11	0,084	4,4621	4,4616	0,5	0,9
	K11 - K10	0,080	-4,3693	-4,3691	-0,2	0,8
	K10 - K12	0,040	-4,2855	-4,2854	-0,1	0,6
	K12 - 2072	0,050	-5,7493	-5,7496	0,3	0,7
	2072-a	0,390	-3,9378	-3,9379	0,1	1,9
a-2073	0,560	-7,7556	-7,7562	0,7	2,2	
SB1-SB2	0,730	-4,3790	-4,3783	-0,6	2,6	

Tab. 4. Mezní uzávěry

Přístroj	Vztažné body	Délka pořadu [km]	Převýšení [m]		Uzávěr [mm]	
			zjištěné	z 0. etapy	zjištěný	mezní
<b>Sokkia SDL 2 (v. č.102274)</b>						
1. etapa	SB1 - SB2	1,79	4,3795	4,379	0,5	3
2. etapa		1,89	4,3777	4,379	1,3	3,1
<b>Zeiss Ni 007 (v. č. 194047)</b>						
1. etapa	SB1 - SB2	1,92	4,3804	4,379	1,4	3,1
<b>Zeiss Ni 005</b>						
2. etapa	SB1 - SB2	1,89	4,3803	4,379	1,3	3,1
<b>Zeiss Ni 007 (v. č. 252631)</b>						
3. etapa	2072 - 2073	0,95	11,694	11,6933	-0,4	2,2
	SB1 - SB2	0,666	-4,3787	-4,3785	0,2	1,8
	SB1 - 2073	2,217	46,789	46,7898	0,6	3,4
	SB1 - 2072	1,267	35,095	35,0965	1,1	2,5
	SB2 - 2073	2,093	51,168	51,1683	0,5	3,3
	SB2 - 2072	1,143	39,474	39,475	0,9	2,4

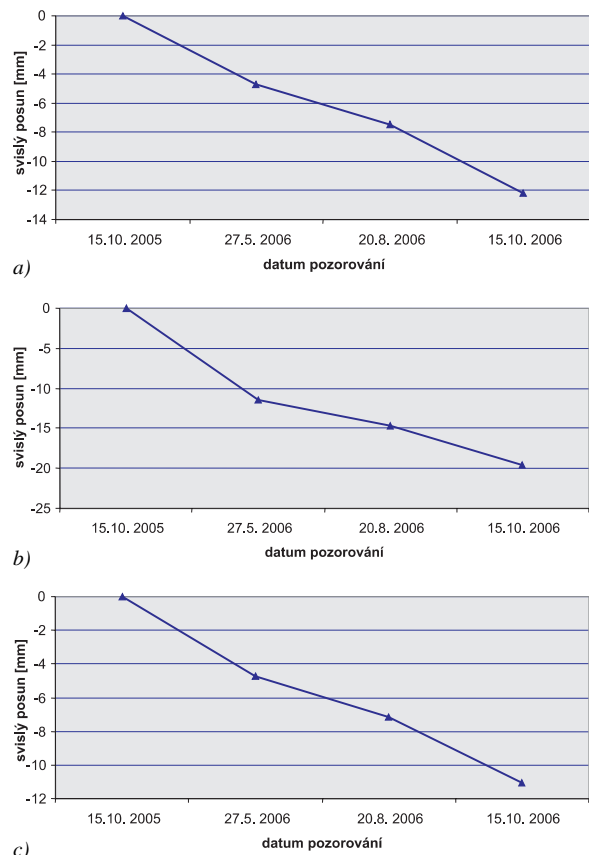


Obr. 8. Svislé posuny bodu na koruně hráze  
a – K1, b – K2, c – K3, d – K4, e – K5

Jakost měření byla posouzena zkouškou uzávěrů výškových polygonů s jejich mezními odchylkami, kde kritériem přesnosti je  $2,25 \cdot \sqrt{F_{km}}$ , přičemž  $F_{km}$  je délka nivelačního oddílu [km].

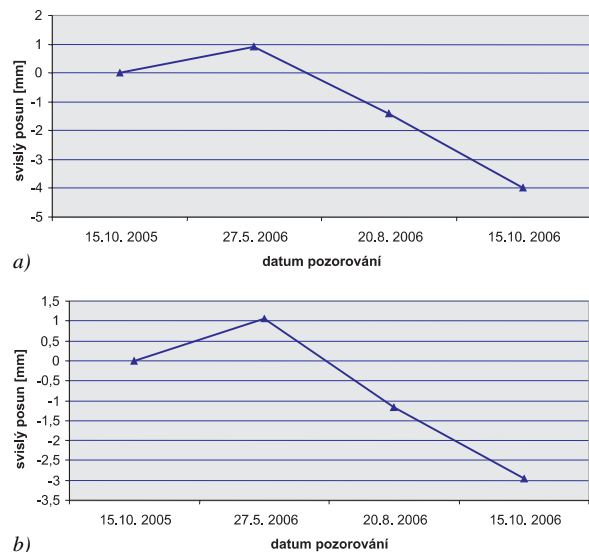
Jak je z grafů vidět, mezi 0. a 1. etapou došlo k výraznému poklesu všech pozorovaných bodů, a to v řádu centimetrů. Největší pokles nastal na bodu K3, hodnota je 38,8 mm. Nejmenší pokles byl zaznamenán na bodu K5 o 10,6 mm. Posuny mezi nultou a první etapou pozorování jsou s největší pravděpodobností způsobeny hutněním vrstvy štěrku a následnou pokládkou asfaltové vrstvy na koruně hráze, které

probíhaly nedlouho po zaměření nulté etapy. Dokončovací práce se prováděly pomocí těžkých strojů (vibračními válci apod.), které se na poklesu pozorovaných bodů výraznou měrou podílely. Mezi první a druhou etapou došlo také k poklesu, ale nikoli tak výraznému. Největší pokles byl pozorován na bodu K3, a to 2,7 mm, nejmenší 1,1 mm na bodu K5. Mezi druhou a třetí etapou byl nejvýraznější pokles opět na bodu K3, a to 5,2 mm. Nejmenší pokles 1,9 mm byl na bodu K1.



Obr. 9. Svislé posuny bodu – první etáž  
a – K6, b – K7, c – K8

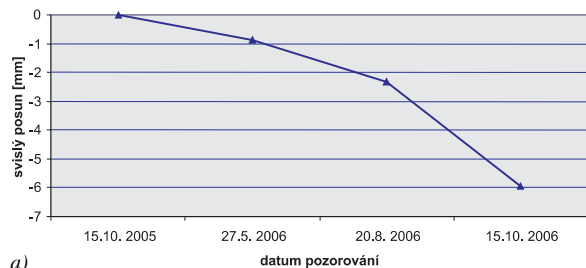
Mezi první a nultou etapou došlo na všech pozorovaných bodech k poklesu. Nejvýraznější nastal na bodu K7 o 11,5 mm,



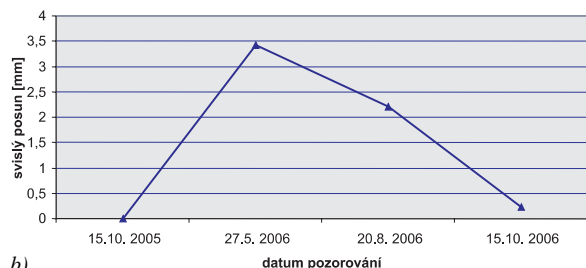
Obr. 10. Svislé posuny bodu – druhá etáž  
a – K9, b – K10

nejméně klesl bod K8, a to o 2,4 mm. Pokles bodů nastal i mezi první a druhou etapou, největší hodnota 3,2 mm byla pozorována na bodu K7, nejnižší 2,4 mm na bodu K8. Mezi druhou a třetí etapou pozorování byl zaznamenán pokles pozorovaných bodů minimálně 4 mm, největší hodnota byla 4,8 mm na bodu K7.

Na pozorovaných bodech na druhé etáži došlo mezi nulou a první etapou pozorování ke zdvíhu obou bodů – na K9 činí zdvih 0,9 mm, na K10 pak 1,1 mm. K poklesu došlo mezi druhou a třetí etapou pozorování. Na bodu K9 o 2,3 mm, na K10 o 2,2 mm. Mezi 2. a 3. etapou pozorování došlo na bodu K9 k poklesu o 2,6 mm, pokles byl také pozorován i na bodu K10. Jeho hodnota je 1,8 mm.



a)



b)

Obr. 11. Svislé posuny bodu – opěrná zeď  
a – K11, b – K12

Z grafů na obr. 11 je vidět, že oba pozorované body také dosáhly změny. Zdvih nastal mezi nulou a první etapou pozorování na bodu K12 o hodnotu 3,4 mm. Na rozdíl od K12 došlo na bodu K11 k poklesu o 0,9 mm. Mezi první a druhou etapou již došlo k poklesu na obou pozorovaných bodech, na bodu K11 o 1,5 mm, na bodu K12 o 1,2 mm. Výraznější pokles nastal i mezi 2. a 3. etapou pozorování, bod K11 klesl o 3,6 mm, bod K12 o 2,0 mm [6].

### Závěr

Cílem článku bylo popsat problematiku sledování svislých posunů a provést porovnání opticko-mechanických a

elektronických nivelačních přístrojů. Práce se realizovala na objektu hráze odkaliště v areálu podniku Vápenka Vitošov. Na základě vypočtených hodnot bylo zjištěno, že na všech dvanácti pozorovaných bodech došlo ke svislým posunům. Nejvýraznější nastaly na koruně hráze mezi 0. a 1. etapou, a to v řádu několika centimetrů. S největší pravděpodobností jsou způsobeny dokončovacími pracemi na koruně hráze, které proběhly nedlouho po zaměření 0. etapy. Posuny na dalších bodech, umístěných na první etáži hráze, byly o něco menší. Nejvýraznější posun, v řádu centimetrů, byl zaznamenán na bodu K7. Posuny na zbývajících dvou pozorovaných bodech první etáže se pohybují řádově v milimetrech. Body na druhé etáži a opěrné zdi hráze vykázaly nejmenší posuny v řádu milimetrů. Tyto posuny mohou být způsobeny „sedáním“ stavby. Z výsledků pozorování lze vyvodit, že se celá stavba pohybuje, proto je vhodné doporučit další sledování v příštích letech. Konečné rozhodnutí je však nutno ponechat statikům.

Úplným závěrem lze říci, že při měření byly dodrženy základní požadavky a podmínky stanovené zvolenou metodou. Vypočtené mezní odchylky byly dodrženy při použití obou typů nivelačních přístrojů. Vzhledem k náročnosti terénu a délce pořadu přibližně 2 km probíhalo měření ve dvou dnech jdoucích po sobě s náročností na čas opticko-mechanických nivelačních přístrojů okolo 20 hodin a u elektronického nivelačního přístroje cca 15 hodin. Časová úspora s elektronickými nivelačními přístroji je jednoznačná, navíc zabudovaný software umožňuje průběžnou kontrolu hrubých chyb a omylů a kontroluje sledované parametry (např. minimální výšku záměry nad terénem). Je zřejmé, že tyto přístroje poskytují vyšší komfort měření a pro měření svislých posunů staveb na brownfields jsou vhodnější než přístroje opticko-mechanické.

Příspěvek byl zpracován v rámci řešení VZ 04 CEZ MSM 6840770005 „Udržitelná výstavba“.

### Literatura

- [1] Bílý, F.: Technická zpráva pro stavbu Vitošov – rozdělení odkaliště. Vitošov, 2001.
- [2] ČSN 73 0405 Měření posunů stavebních objektů. ČSN, 1997.
- [3] Hauf, M. a kol.: Technický průvodce 42 – Geodézie. Praha, SNTL 1982, 544 s.
- [4] Mudra, M.: Technická zpráva k zaměření nulté etapy pro Vápenku Vitošov, s. r. o., 2005.
- [5] Pospíšil, J. – Štroner, M.: Moderní geodetické technologie a přístroje pro nivelaci. Stavební obzor, 15, 2006, č. 1, s. 21–23.
- [6] Závacký, E.: Problematika sledování svislých posunů objektu hráze odkalovací nádrže vápenky Vitošov. [Diplomová práce], Praha, ČVUT, 2006.

Suchá, J. – Pospíšil, J – Závacký, E.: Testing of Levelling and Levelling Devices for the Measurement of Vertical Displacements of Constructions in Brownfields

This paper describes levelling, selected levelling devices, levelling rods and other equipment for the monitoring of vertical displacements of points. It highlights the origin of errors during levelling and their elimination. The measurements and comparison of the results of optical mechanical and electronic levelling devices were carried out on the embankment of the sewage storage basin in the complex of the Vitošov lime plant.

Suchá, J. – Pospíšil, J – Závacký, E.: Überprüfung des Nivellements und der Nivellierinstrumente zur Messung der vertikalen Verschiebungen von Bauwerken auf "Brownfields"

Zur Beobachtung der vertikalen Verschiebungen der Punkte werden das Nivellement, einige Nivellierinstrumente, Nivellierlatten und weitere Hilfsmittel beschrieben. Aufmerksamkeit wird der Entstehung von Fehlern beim Nivellement und ihrer Eliminierung gewidmet. Die Messung und der Vergleich der Ergebnisse der optisch-mechanischen und elektronischen Nivellierinstrumente wurden am Damm eines Klärteichs im Gelände des Kalkwerks Vitošov durchgeführt.

## ● ocenění



### Studentská soutěž

Pro studenty ve školním roce 2006/2007 uspořádala firma Cembrit ve spolupráci s Katedrou konstrukcí pozemních staveb Fakulty stavební ČVUT Praha soutěž na zpracování projektů staveb bytových, občanských a průmyslových, u kterých se využijí a správně aplikují konstrukce z vláknocementových materiálů, vyráběných touto firmou. Všechny 23 přihlášených prací bylo na velmi dobré technické úrovni. Studentům se podařilo vystihnout a využít přednosti vláknocementového materiálu a patřičně vyřešit technické detaily. Odborná porota vybrala ve dvou kolech čtyři finalisty, kteří se v květnu zúčastnili slavnostního předání cen v sídle firmy v Berouně.

Odměnou pro první tři místa bylo pozvání na exkurzi do výrobního závodu Mínerit ve městě Muiala ve Finsku, který je v rámci holdingu Dansk Eternit A/S zaměřen na výrobu vláknocementových fasádních desek. V rámci doprovodného programu si ocenění studenti prohlédli nejznámější památky Helsinek a jejich okolí.

#### 1. místo

**Miroslav Frantes**

*4. ročník, studijní program Architektura a stavitelství*

V rámci architektonického ateliéru navrhl bytový dům na Hanspaulce, jehož jednotlivé byty se barevně prokreslují i na fasádě. Odbornou komisí zaujalo zajímavé řešení provětrávané fasády s použitím vláknocementových desek Cembrit. Pomocí ocelového nosného systému dosáhl neobvyklého a velice zajímavého sklonu fasádních desek, které mají v horní části fasády menší vzdálenost od stěny než v okolí soklu.



#### 2. místo

**Jana Musilová**

*5. ročník, studijní program Konstrukce pozemních staveb*

Do soutěže se přihlásila s dvoupodlažním obchodním centrem, který vypracovala jako ročníkový projekt. Pomocí Cembritových desek různé velikosti vytvořila architektonicky zajímavou nepravidelnou provětrávanou fasádu. Vláknocementový materiál použila i pro obklady stěn v interiéru a jako protipožární obklady nosných ocelových sloupů, což bylo v rámci soutěže největší využití vláknocementového materiálu.



#### 3. místo

**Soňa Korischová**

*3. ročník, studijní program Architektura a stavitelství*

V jedné úloze z předmětu KP3 se věnovala návrhu provětrávané fasády na mezonetovém bytovém domě. Porota ocenila bezchybný návrh konstrukčního řešení fasády i detailní a precizní vypracování výkresové dokumentace včetně tepelně technického posouzení objektu.



konference s mezinárodní účastí

**14. BETONÁŘSKÉ DNY**

a výstava **BETON 2007**

**28.–29. listopadu 2007, Hradec Králové, Kongresové centrum Aldis**



## • literatura

Murtinger, K. – Beranovský, J. – Tomeš, M.

### Fotovoltaika

ERA, Brno, 2007, 112 s., brožovaná, 131 Kč



Fotovoltaika neboli přímá přeměna energie slunečního záření na elektřinu je v poslední době jedním z nejdynamičtěji se rozvíjejících odvětví, jehož produkty se stávají běžnou součástí našeho života. Fotovoltaické články zajišťují provoz většiny kalkulaček a hodinek, objevují se již i ohebné panely našité na batohu nebo oblečení, které udrží mobilní telefon či GPS v provozu i na horské túře. Na indickém či

africkém venkově je fotovoltaický systém zpravidla tím nejjednodušším a nejlevnějším zdrojem elektřiny.

Fotovoltaika již není „kosmickou technologií“ – ohromný růst produkce snížil ceny natolik, že v mnoha případech představuje fotovoltaický systém lepší alternativu, než je připojení k elektrické síti nejen v Africe, ale i ve střední Evropě. Kombinace rostoucích cen energie, snižování energetické náročnosti spotřebičů a klesajících cen fotovoltaických panelů možná již v blízké budoucnosti změní výrazně i oblast „velké“ energetiky. Dvacáté století bylo stoletím atomové energie. Je pravděpodobné, že to následující by se mohlo stát stoletím solární energie. Publikace informuje o vývoji a možnostech využití fotovoltaických článků.

## • literatura



### Systém managementu jakosti v teorii a praxi

Ing. Tomáš Mastný

Dizertace vymezuje aplikaci managementu jakosti pro stavební projekty a analyzuje příčiny vzniku rizik nekvalitního technického i technologického provedení stavebních prací a projektových návrhů.

### Využití fyzikálních modelů pro experimentální výzkum ukládání radioaktivních odpadů

Ing. Vladimír Valeš

Součástí práce byla výstavba a provozování dvou středních fyzikálních modelů bentonitové bariéry z lisovaných prefabrikátů. Během provozování modelů byly po deseti minutách sledovány rozhodující parametry (bobtnací tlak a teplota) a získána data, která se v práci zpracovávají.

### Dynamický komparátor veřejného sektoru

Ing. Eduard Hromada

Dizertace prohlubuje teoretický základ a aplikační možnosti dynamické simulace a diskutuje otázku času k vytváření rozložení pravděpodobnosti technickoekonomických úloh.

## • projekty

### Žižkovské nákladové nádraží změní tvář

Soukromá developerská a investiční společnost Discovery Group se sídlem v Praze oznámila počátkem září, že si pro svůj žižkovský projekt vybrala mezinárodní architektonické studio Hamiltons. To bude odpovědné za vytvoření návrhu projektu, který se bude nacházet v severní části bývalého nákladového nádraží. První fáze projektu Žižkov, který se bude rozkládat na přibližně 4 ha, bude zahrnovat maloobchodní a zábavní centrum a rezidenční prostory. Projekt bude sloužit jako „vstupní brána“ do nové městské čtvrti. Po dokončení všech fází bude disponovat přibližně 120 000 m<sup>2</sup> rezidenčních ploch (přibližně 2 000 bytů), 60 000 m<sup>2</sup> maloobchodních a zábavních ploch, hotelem se 150 lůžky, 10 000 m<sup>2</sup> kancelářských prostor a 1,5 ha parkovacích ploch.



Společnost Hamiltons, která má své sídlo v Londýně, byla vybrána především pro úspěšnou činnost v oblasti projektů přestavby vnitřních částí města. V minulosti se podílela na rekonstrukci a obnově několika městských částí, považovaných za brownfields. Mezi nejzajímavější projekty z poslední doby patří Manchester Victoria Station a Birmingham Eastside ve Velké Británii.

Tisková informace

# STAVEBNÍ OBZOR

## ROČNÍK 16 ČÍSLO 10/2007

### Navigace v dokumentu

#### OBSAH

Kala, Z. <b>Citlivostní analýza</b>	<b>289</b>
Krejčí, T. – Koudelka, T. – Šejnoha, J. <b>Analýza podkladní betonové vrstvy mostovky</b>	<b>295</b>
Šimková, S. <b>Vplyv teploty do 100 °C na železobetonové prvky</b>	<b>300</b>
Satrapa, L. – Králík, M. – Zukal, M. <b>Tlumení energie za přelivy – hydraulický model VD Nyagak</b>	<b>307</b>
Jokl, M. – Šebesta, D. <b>Činitele určující funkci ventilačního systému</b>	<b>310</b>
Hánek, P. – Fuhrland, M. – Pavel, M. <b>K přesnosti nivelace při monitorování stavebních a průmyslových objektů</b>	<b>313</b>
<b>Rejstřík</b>	<b>I–V</b>

**1 0 • 2007**

**ročník 16**

# STAVEBNÍ OBZOR

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



Fakulta stavební  
ČVUT v Praze



Česká komora autorizovaných  
inženýrů a techniků



Český svaz  
stavebních inženýrů



Fakulta stavební  
VUT v Brně



Fakulta stavební  
VŠB TU-Ostrava

<b>OBSAH</b>	<b>CONTENT</b>	<b>INHALT</b>
Kala, Z. <b>Citlivostní analýza</b> ..... 289	Kala, Z. <b>Sensitivity Analysis</b> .... 289	Kala, Z. <b>Empfindlichkeitsanalyse</b> .. 289
Krejčí, T. – Koudelka, T. – Šejnoha, J. <b>Analýza podkladní betonové vrstvy mostovky</b> ..... 295	Krejčí, T. – Koudelka, T. – Šejnoha, J. <b>Analysis of Screeding Concrete Layer of Bridge Flooring</b> ..... 295	Krejčí, T. – Koudelka, T. – Šejnoha, J. <b>Analyse der Unterbetonschicht eines Brückentragwerks</b> ..... 295
Šimková, S. <b>Vplyv teploty do 100 °C na železobetonové prvky</b> ..... 300	Šimková, S. <b>Effect of Temperature up to 100 °C on Reinforced Concrete Elements</b> ..... 300	Šimková, S. <b>Einfluss einer Temperatur bis 100 °C auf Stahlbetonelemente</b> .... 300
Satrapa, L. – Králík, M. – Zukal, M. <b>Tlumení energie za přelivy – hydraulický model VD Nyagak</b> ..... 307	Satrapa, L. – Králík, M. – Zukal, M. <b>Energy Damping beyond Weirs – Hydraulic Models of Nyagak Water Structure</b> ..... 307	Satrapa, L. – Králík, M. – Zukal, M. <b>Drosselung der Energie für Überläufe – hydraulisches Modell des Wasserkraftwerks Nyagak</b> ..... 307
Jokl, M. – Šebesta, D. <b>Činitele určující funkci ventilačního systému</b> ..... 310	Jokl, M. – Šebesta, D. <b>Factors Determining the Functioning of the Ventilation System</b> ..... 310	Jokl, M. – Šebesta, D. <b>Faktoren, die die Funktion eines Lüftungssystems bestimmen</b> ..... 310
Hánek, P. – Fuhrland, M. – Pavel, M. <b>K přesnosti nivelace při monitorování stavebních a průmyslových objektů</b> ..... 313	Hánek, P. – Fuhrland, M. – Pavel, M. <b>Accuracy of Levelling in Monitoring of Building and Industrial Structures</b> ..... 313	Hánek, P. – Fuhrland, M. – Pavel, M. <b>Zur Genauigkeit der Nivellierung beim Monitoring von Bau- und Industrieobjekten</b> ..... 313
<b>Rejstřík</b> ..... I–V	<b>Register</b> ..... I–V	<b>Register</b> ..... I–V

## REDAKČNÍ RADA

### Předseda:

prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.

### Místopředseda:

doc. Ing. Alois MATERNA, CSc.

### Členové:

prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.  
doc. Ing. Pavel HÁNEK, CSc.  
doc. Ing. Milan HUML, CSc.  
doc. Ing. Vladimír JELÍNEK, CSc.  
Ing. Jiří KALA, Ph. D.  
doc. Ing. J. KORYTÁROVÁ, Ph. D.  
Ing. Karel KUBEČKA  
Ing. Libor MATĚJKA, CSc., Ph. D.  
doc. Ing. Jaroslav NOVÁK, CSc.  
doc. Ing. Luděk NOVÁK, CSc.  
doc. Ing. Miloslav NOVOTNÝ, CSc.

doc. Ing. Miloslav PAVLÍK, CSc.  
prof. Ing. J. PROCHÁZKA, CSc.  
Ing. Vlastimil ROJÍK  
Ing. Karel SVOBODA  
doc. Dr. Ing. Miloslav ŠLEZINGR  
Ing. Milan ŠMAK, Ph. D.  
Ing. Ludvík VÉBR, CSc.  
doc. Ing. Josef VITÁSEK, CSc.  
prof. Ing. Jiří WITZANY, DrSc.  
Ing. Renata ZDAŘILOVÁ

**STAVEBNÍ OBZOR**, odborný měsíčník, vydává  
Fakulta stavební ČVUT Praha společně s Fakultou  
stavební VUT Brno, Fakultou stavební VŠB TU  
Ostrava, Českou komorou autorizovaných inženýrů  
a techniků činných ve výstavbě a Českým svazem  
stavebních inženýrů. Řídí redakční rada, vedoucí  
redaktorka Marcela Klímová. Adresa redakce:  
Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel./fax: 224 354 596,  
klimova@fsv.cvut.cz, http://www.fsv.cvut.cz/obzor.  
Vychází každý měsíc kromě července a srpna,  
cena za výtisk je 40 Kč včetně DPH (+ poštovné a  
balné). Objednávky odběru i reklamace přijímá  
Ing. Milan Gattringer, MG DTP, Borovanská 3388, 143 00  
Praha 4, tel./fax: 241 770 220, e-mail: mgdtp@volny.cz.  
Odběr je možné zrušit až po vyčerpání zaplaceného  
předplatného. Inzerce adresujte redakci. Technická  
redakce a realizace: Ing. Milan Gattringer. Podávání  
novinových zásilek povoleno Ředitelstvím  
pošt Praha, č. j. NP 144/1994, ze dne 21. 10. 1994.  
Do sazby 13. 11. 2007. Nevýžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

## Citlivostní analýza

doc. Ing. Zdeněk KALA, Ph. D.

VUT – Fakulta stavební  
Brno

Cílem článku je seznámit čtenáře s citlivostní analýzou Iliji M. Sobola. V úvodní části je uveden stručný přehled historie a tradičních metod, v další části podstata dekompozičního teoremu funkce odezvy a základních myšlenek, ze kterých Sobolova citlivostní analýza vychází. Citlivostní koeficienty jsou doplněny jasným výkladem založeným na metodě Monte Carlo, je uveden přehled jejich základních vlastností a diskutována numerická náročnost jejich výpočtu. V závěru je uveden numerický příklad citlivostní analýzy únosnosti ocelové vzpěry.

### Úvod

Fyzikální systémy nebo výsledky experimentálních měření jsou charakterizovány nezávislými proměnnými, závislými proměnnými a vzájemnými vztahy (relacemi). Vzájemné vztahy jsou zpravidla formalizovány matematickými výpočtovými modely, ve kterých je jedna nebo více proměnných studovaná odezva systému. Matematické modely kromě toho obsahují další parametry, jejichž hodnoty nejsou exaktně známy, ale mohou se měnit v rozsahu, který závisí na našich neúplných vědomostech o studovaném systému. Nadto jsou numerická řešení ještě zatížena numerickými chybami.

Obvykle jsou modely komplexních fyzikálních systémů zatíženy dvěma základními typy neurčitostí:

- stochastickou, která plyne z přirozené proměnlivosti veličin modelu;
- subjektivní nebo vědomostní, jež plyne z neschopnosti zadat exaktní hodnotu parametru, který je ve výpočtu uvažován jako konstanta [13]. Vědomostní (subjektivní) neurčitost se někdy popisuje jako stupeň víry v zadání vhodného parametru, jehož neurčitost je jiného druhu než stochastická [11].

Vliv neurčitosti vstupních parametrů na neurčitost odezvy systému, vyjádřené matematickým modelem, studuje citlivostní a neurčitostní analýza [1]. Obecná definice citlivostní analýzy: „Citlivostní analýza (*sensitivity analysis*) studuje neurčitost výstupu modelu (numerického nebo jiného) způsobenou rozdílnými příčinami neurčitostí modelových vstupů“. „.... „Neurčitostní analýza (*uncertainty analysis*) je spíše zaměřena na kvantifikaci neurčitostí modelových vstupů.“ [15].

Citlivostní a neurčitostní analýzy se používá jako formální metody pro evaluaci dat a modelů, neboť obě umožňují ohodnocení neurčitosti výstupních proměnných a vypovídá-

jí o důležitosti vstupních proměnných a jejich vlivu na sledovaný výstup [16]. Metody citlivostní a neurčitostní analýzy se nejčastěji dělí na deterministické a stochastické, přičemž u modelů s převládající vědomostní neurčitostí se rovněž setkáváme s aplikacemi fuzzy množinové teorie [6].

V tomto článku se zaměříme na stochastickou citlivostní analýzu. Účelem stochastické citlivostní analýzy je posoudit relativní citlivost náhodné proměnlivosti sledovaného jevu k náhodné proměnlivosti jednotlivých vstupních veličin. Určuje se, jak náhodná proměnlivost určité vstupní veličiny ovlivňuje (v porovnání s ostatními) náhodnou proměnlivost sledovaného výstupu (únosnosti konstrukce, pravděpodobnosti poruchy apod.). Citlivostní analýza tak odpovídá také na otázku, které veličiny jsou dominantní, a je jim proto nutno věnovat zvýšenou pozornost při přípravě vstupních hodnot, úvahách a rozhodování o zlepšení technologických postupů a koncipování a organizaci kontrolních činností [7].

### Tradiční metody citlivostní analýzy

Mějme výpočtový model se vstupními veličinami ( $X_1, X_2, \dots, X_M$ ), jejichž rozptyly (nebo neurčitost) jsou nenulové, a sledujme vliv těchto veličin na výstupní veličinu  $Y$  prostřednictvím funkce odezvy  $f$ ,

$$Y(X) = f(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_M) . \quad (1)$$

Tradiční metoda umožňující sledovat vliv změny vstupní veličiny  $X_i$  na změnu výstupní veličiny  $Y$  je parciální derivace  $Y$  podle  $X_i$ :  $\partial Y / \partial X_i$ . Omezením použití parciální derivace je, že nezohledňuje reálný rozptyl vstupní veličiny. Ve stochastické citlivostní analýze se proto někdy používá normalizovaný vztah

$$S_{\partial} = \frac{\sigma_{X_i} \partial Y}{\sigma_Y \partial X_i} , \quad (2)$$

kde  $\sigma_{X_i}$  je směrodatná odchylka vstupní veličiny  $X_i$  a  $\sigma_Y$  je směrodatná odchylka výstupní veličiny  $Y$ .

Dalším tradičním způsobem je sledování korelace mezi vstupem a výstupem. Často je v rámci simulačních metod používán Spearmanův koeficient pořadové korelace [7], [10], [12]. Citlivostní analýza je založena na předpokladu, že veličiny, k nimž je výstup citlivější, budou mít stupeň korelace s výstupem vyšší. Pokud je hodnota Spearmanova korelačního koeficientu kladná, pak s rostoucí hodnotou vstupní veličiny  $X_i$  roste i hodnota výstupní veličiny  $Y$ , v opačném případě s rostoucí hodnotou vstupní veličiny  $X_i$  klesá hodnota výstupní veličiny  $Y$  [7]. Závislost a korelace však nejsou sy-

nonyma [17]. Korelace poukazuje na závislost, ale opak není pravdou [17]. Podmínkou pro použití Spearmanova koeficientu pořadové korelace je, aby výstupní veličina byla monotónně závislá na každé vstupní veličině, v opačném případě není použití korelace vhodným indikátorem citlivosti. Přes všechna omezení se korelace často používá jako indikátor citlivosti u numericky náročných výpočtových modelů, kde jsme u simulačních metod typu MC (např. LHS) omezeni strojovým časem [7].

Citlivostní analýzu, založenou na analýze rozptylu náhodných veličin, poprvé použil Pearson kolem roku 1900. V roce 1973 autoři Cukier a kol. zpracovali citlivostní analýzu založenou na analýze podmíněných rozptylů sledované veličiny [2], přičemž kromě vlivu jedné vstupní veličiny si byli vědomi i přítomnosti interakcí vyšších řádů (vlivu dvojic, trojic atd.) a dekompozičního teoremu [3]. Jejich metoda, známá jako FAST (Fourier Amplitude Sensitivity Test), však neumožňovala vypočítat vliv interakce dvou nebo více vstupních veličin na výstup (to bylo zpracováno až dalšími vědci v roce 1999 [14]).

V roce 1986 zpracovali autoři Hora a Iman analýzu významnosti neurčitosti (uncertainty importance) faktoru  $X_i$ , vycházející z redukce rozptylu modelového výstupu  $Y$ , zapříčiněné fixací vstupní veličiny  $X_i$  na hodnotě uvažované v intervalu neurčitosti této veličiny [5]. Citlivostní koeficient

$$I_i = \sqrt{V(Y) - E(V(Y|X_i))}, \quad (3)$$

kde  $V(Y)$  je rozptyl (variance) výstupní veličiny za předpokladu, že všechny vstupní veličiny jsou uvažovány jako náhodné;  $V(Y|X_i)$  je podmíněný rozptyl výstupní náhodné veličiny, který se počítá pro vstupní náhodné veličiny ( $X_1, X_2, \dots, X_{i-1}, X_{i+1}, \dots, X_M$ ) a fixovanou veličinu  $X_i$ , a  $E(V(Y|X_i))$  je jeho aritmetický průměr, který se počítá pro (nefixovanou) vstupní náhodnou veličinu  $X_i$ .

V roce 1990 navrhli autoři Hora a Iman nový typ citlivostní analýzy založený na vztahu

$$\frac{V(E(\log Y|X_i))}{V(\log Y)}, \quad (4)$$

kde v čitateli je rozptyl aritmetického průměru logaritmu výstupní náhodné veličiny, který se počítá pro vstupní náhodné veličiny ( $X_1, X_2, \dots, X_{i-1}, X_{i+1}, \dots, X_M$ ) a fixovanou veličinu  $X_i$  přes všechny možné realizace  $X_i$ . Výraz ve jmenovateli je rozptyl logaritmu výstupní náhodné veličiny za předpokladu, že všechny vstupní veličiny jsou považovány za náhodné. Výhoda vztahu (4) je v robustnosti, nicméně není snadné konvertovat výsledky citlivostní analýzy log ( $Y$ ) zpět na  $Y$ .

Ucelenou koncepci citlivostní analýzy, umožňující analyzovat vliv libovolné podskupiny vstupních faktorů (dvojic, trojic apod.) na sledovaný výstup, zpracoval ruský matematik Ilja M. Sobol [19], [20]. Sobolovy práce byly inspirovány pracemi [3], přičemž ucelená koncepce byla doplněna jasným výkladem založeným na metodě Monte Carlo.

### Sobolův dekompoziční teorém

Mějme funkci odezvy (1), která je integrovatelná na svém funkčním oboru

$$\Omega^M = (X|0 \leq x_i \leq 1, i = 1; \dots, M). \quad (5)$$

Studujme případ, kdy jsou vstupní náhodné veličiny statisticky nezávislé. Sobolova koncepce je založena na hierarchické dekompozici funkce odezvy (1) do tvaru s rostoucí dimenzí

$$f = f_0 + \sum_i f_i + \sum_i \sum_{j>i} f_{ij} + \dots + f_{12\dots M}, \quad (6)$$

kde každý člen je funkcí pouze vstupních veličin daných indexy  $f_i = f_i(X_i)$ ,  $f_{ij} = f_{ij}(X_i, X_j)$  atd. Každý člen rozkladu funkce  $f$  musí být rovněž integrovatelný na svém funkčním podoboru. Dekompozice (6) není rozvojem do řady, neboť má  $2^M$  (konečný počet) členů:  $f_0$  je konstanta, počet členů  $f_i$  je  $M$ , počet členů  $f_{ij}$  je  $\binom{M}{2}$  atd. Každá vstupní veličina má hustotu pravděpodobnosti  $p_i(x_i) \geq 0$  definovanou na intervalu  $(0;1)$ , mimo tento interval je  $p_i(x_i) = 0$ . Pokud jsou vstupní náhodné veličiny spojitého typu, pak jejich sdružená hustota  $p_i(x_i, \dots, x_M)$  se rovná součinu marginálních hustot  $p_i(x_i) = 0$ ,  $i = 1, \dots, M$ . Z Fubiniovy věty o dvojitěm integrálu vyplývá, že pokud každý člen dekompozice (kromě konstanty  $f_0$ ) má nulovou střední hodnotu

$$E(f(x_i)) = \int_0^1 p_i(x_i) \cdot f(x_i) dx_i = 0, \quad (7)$$

pak jsou všechny členy dekompozice ortogonální v párech

$$E(f(x_i) \cdot f(x_j)) = \int_0^1 \int_0^1 p_i(x_i) \cdot p_j(x_j) \cdot f(x_i) \cdot f(x_j) dx_i dx_j = 0; \quad (8)$$

$i \neq j$ .

V důsledku toho lze členy rozkladu (6) jednoznačně zapsat pomocí podmíněných realizací funkce odezvy

$$f_0 = E(Y), \quad (9a)$$

$$f_i = E(Y|X_i) - E(Y), \quad (9b)$$

$$f_{ij} = E(Y|X_i, X_j) - f_i - f_j - E(Y). \quad (9c)$$

Podmínka, že hustota pravděpodobnosti  $p_i(x_i)$  je mimo interval  $(0;1)$  nulová, není omezující, neboť transformaci každé vstupní veličiny na jiný vhodný typ rozdělení (Gaussovo, lognormální, histogram apod.) lze provést v rámci funkce odezvy (1). Za tímto účelem je praktické hustotu pravděpodobnosti  $p_i(x_i)$  uvažovat v intervalu  $(0;1)$  v co nejjednodušším tvaru s rovnoměrným rozdělením.

Jak je možné dekompozici funkce odezvy (6) využít pro citlivostní analýzu? Je možné provést citlivostní analýzu dosazením deterministických hodnot do (6) a následným porovnáním jednotlivých členů rozkladu  $f_0, f_i, f_{ij}, \dots, f_{12\dots M}$  s velikostí výstupu  $f$ ? Připomeňme, že dekompozice (6) není zpracována na základě analýzy samotné funkce odezvy (1), nýbrž pomocí analýzy změn výstupu  $Y$ , které jsou způsobeny kvantifikovanými změnami vstupních veličin danými funkcemi  $p_i(x_i)$ . Pokud při dekompozici změníme funkci  $p_i(x_i)$ , změní se tím i člen  $f_0$  a všechny členy s indexem  $i$ , tj.  $f_i, f_{ij}$  atd. V podstatě to znamená, že dekompozici funkce odezvy (1) do tvaru (6) lze provést i s algoritmem, u něhož známe pouze vstupy a výstupy (black box), přičemž citlivostní analýzu lze vyhodnotit ve smyslu kvantifikace vlivu změny vstupní veličiny na změnu výstupní veličiny.

**Sobolovy citlivostní koeficienty**

Změna výstupní veličiny  $Y$  je charakterizována směrodatnou odchylkou  $s_Y$  nebo rozptylem  $V(Y) = \sigma_Y^2$ . Jelikož platí (7) a (8), jsou všechny členy dekompozice (6) statisticky nezávislé náhodné veličiny a lze zapsat, že rozptyl  $V(Y)$  se rovná součtu rozptylů jednotlivých členů dekompozice

$$V(Y) = \sum_i V(f_i(X_i)) + \sum_i \sum_{j>i} V(f_{ij}(X_i, X_j)) + \dots + V(f_{12\dots M}(X_1, X_2, \dots, X_M)), \tag{10}$$

kde  $V(f_i(X_i)) = V(E(Y|X_i))$ , atd. Zapišeme-li podíl jednotlivých členů rozkladu (10) na celkovém rozptylu, lze Sobolovy citlivostní koeficienty zapsat ve tvaru

$$S_i = \frac{V(E(Y|X_i))}{V(Y)}. \tag{11a}$$

Sobol navrhl v [21] i alternativní definici  $S_i = \text{corr}(Y, E(Y|X_i))$ , která je založena na výpočtu korelace mezi výstupní náhodnou veličinou  $Y$  a podmíněným náhodným aritmetickým průměrem  $E(Y|X_i)$ . Obdobně jako (11a) lze zapsat i člen

$$S_{ij} = \frac{V(E(Y|X_i, X_j))}{V(Y)} - S_i - S_j. \tag{11b}$$

Citlivostní koeficient  $S_{ij}$  vyjadřuje vliv dvojic na sledovaný výstup. Obdobně je možno zapsat i další Sobolovy citlivostní koeficienty umožňující kvantifikovat interakce vyšších řádů.

$$S_{ijk} = \frac{V(E(Y|X_i, X_j, X_k))}{V(Y)} - S_{ij} - S_{ik} - S_{jk} - S_i - S_j - S_k, \tag{11c}$$

S přihlédnutím ke vztahu (6) lze zapsat dekompozici Sobolových citlivostních koeficientů do tvaru

$$\sum_i S_i + \sum_i \sum_{j>i} S_{ij} + \sum_i \sum_{j>i} \sum_{k>j} S_{ijk} + \dots + S_{123\dots M} = 1. \tag{12}$$

Počet členů v (12) je  $2^M - 1$ , tj. pro  $M = 3$  dostaneme sedm citlivostních koeficientů  $S_1, S_2, S_3, S_{12}, S_{23}, S_{13}, S_{123}$ ; pro  $M = 10$  dostaneme 1 023 citlivostních koeficientů, což je příliš mnoho pro praktické použití. Hlavní překážkou ve stanovení všech členů (12) je však velká numerická náročnost jejich výpočtu.

Jako příklad uvedme výpočet koeficientu  $S_i$  metodou Monte Carlo. Touto metodou je možné vygenerovat  $N$  realizací veličiny  $X_i$ , tj.  $X_i(1), \dots, X_i(N)$ . Poté ke každé realizaci  $X_i(j)$ ,  $j = 1, \dots, N$  vygenerujeme  $K$  realizací vektoru  $X_{-i}$  (všechny s výjimkou  $i$ -té), tj.  $X_{-i}(j, 1), \dots, X_{-i}(j, K)$ . Poznamenejme, že  $K$  může, ale nemusí být rovno  $N$ . Dále je třeba pro každé  $j$  stanovit odhad  $E(Y|X_i)$ .

$$m(j) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K f(X_i(j), X_{-i}(j, k)). \tag{13}$$

Odhad  $V(E(Y|X_i))$  lze získat podle vztahu

$$v = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (m(j) - \bar{m})^2, \tag{14}$$

kde  $\bar{m}$  je odhad aritmetického průměru

$$\bar{m} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N m(j). \tag{15}$$

Velký počet citlivostních koeficientů a numerická náročnost jejich výpočtu zpravidla nedovolují uvádět koeficienty všech řádů, ale pouze citlivostní koeficienty prvního řádu (11a) a tzv. úplný vliv (total effect) vstupní veličiny a jejích interakcí s ostatními na sledovaný výstup. Úplný vliv  $S_{Ti}$  se počítá podle vztahu

$$S_{Ti} = 1 - \frac{V(E(Y|X_{-i}))}{V(Y)} = \frac{E(V(Y|X_{-i}))}{V(Y)}, \tag{16}$$

kde  $V(Y|X_{-i})$  je podmíněný rozptyl výstupní náhodné veličiny, který se počítá pro vstupní náhodnou veličinu  $X_i$  a fixované veličiny  $(X_1, X_2, \dots, X_{i-1}, X_{i+1}, \dots, X_M)$ ;  $E(V(Y|X_{-i}))$  je aritmetický průměr tohoto rozptylu, který se počítá pro (nefixované) vstupní náhodné veličiny  $(X_1, X_2, \dots, X_{i-1}, X_{i+1}, \dots, X_M)$ .

Uvedme stručnou rekapitulaci vlastností Sobolových citlivostních koeficientů:

- jestliže se odstraní variabilita  $X_i$ , tj.  $V(X_i) = 0$ , pak se rozptyl výstupní veličiny  $V(Y)$  sníží minimálně o  $S_i \cdot 100\%$ ;
- pokud jsou mezi veličinami vzájemné interakce, pak  $S_{Ti} > S_i$ , v opačném případě  $S_{Ti} = S_i$ . Rozdíl  $S_{Ti} - S_i$  vyjadřuje, jakou měrou je veličina  $X_i$  „zapletena“ v interakcích s ostatními veličinami;
- pokud je  $S_{Ti} = 0$ , pak proměnlivost vstupní veličiny  $X_i$  nemá na proměnlivost výstupu žádný vliv, tj. může být fixována na jakékoli hodnotě definičního oboru své funkce hustoty pravděpodobnosti, aniž by to mělo vliv na rozptyl výstupní veličiny;
- u aditivních modelů je suma  $S_i$  rovna jedné, u neaditivních je menší než jedna, přičemž rozdíl  $1 - \sum_i S_i$  indikuje přítomnost interakcí vyšších řádů;
- suma  $S_{Ti}$  je větší než jedna u neaditivních modelů, nebo rovna jedné u aditivních modelů.

**Citlivostní analýza únosnosti ocelové vzpěry**

Aplikujme nyní Sobolovu dekompozici na analýzu únosnosti ocelové vzpěry z profilu IPE220. Únosnost  $R$  je možno vypočítat z funkce odezvy

$$\sigma_x = \frac{R}{A} + \frac{R \cdot |e_0|}{(1 - R/F_{cr}) \cdot W_z} = f_y \Rightarrow R, \tag{17}$$

kde  $e_0$  je amplituda počátečního zakřivení prutu ve tvaru jedné půlvlny funkce sinus,  $A$  je plocha průřezu,  $F_{cr}$  je Eulerova kritická síla,  $W_z$  je průřezový modul k ose  $Z$  (osa kolmá k pásnicím, kolem níž je průřez ohýbán při vybočení), a  $f_y$  je mez kluzu. Rovnici (17) je pro hledanou únosnost  $R$  kvadratickou rovnicí s explicitním řešením

$$R = - \frac{\sqrt{A^2 \cdot Q^2 + 2 \cdot A \cdot F_{cr} \cdot W_z \cdot (|e_0| \cdot F_{cr} - f_y \cdot W_z)} + F_{cr}^2 \cdot W_z^2 - A \cdot Q - F_{cr} \cdot W_z}{2 \cdot W_z}, \tag{18}$$

kde  $A = t_2 \cdot b + (h - 2t_2) \cdot t_1, \tag{19a}$

$$F_{cr} = \pi^2 EI_z / (L^2), \quad (19b)$$

$$I_z = (t_2 \cdot b^2 + (h - 2t_2) \cdot t_1^2) / 12, \quad (19c)$$

$$W_z = I_z / (b/2), \quad (19d)$$

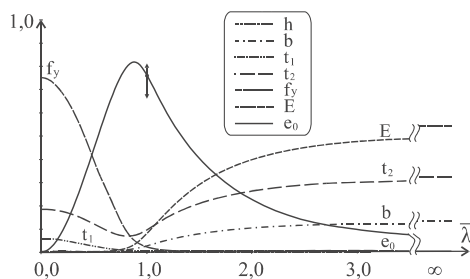
$$Q = |e_0| \cdot F_{cr} + f_y \cdot W_z, \quad (19e)$$

kde  $E$  je modul pružnosti,  $L$  je délka prutu a  $h$  je výška průřezu,  $b$  je šířka pásnice,  $t_1$  je tloušťka stojiny a  $t_2$  je tloušťka pásnice. Vstupní náhodné veličiny jsou přehledně uvedeny v tab. 1.

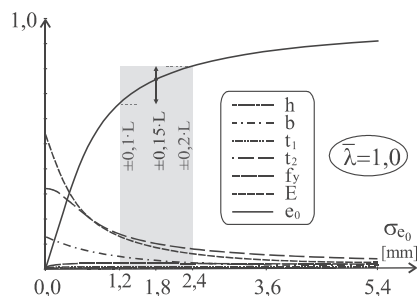
Tab. 1. Vstupní náhodné veličiny

	Symbol	Střední hodnota	Směrodatná odchylka
1.	$h$	220,22 mm	0,9746 mm
2.	$b$	111,48 mm	1,0930 mm
3.	$t_1$	6,2245 mm	0,2467 mm
4.	$t_2$	9,1356 mm	0,4214 mm
5.	$f_y$	297,30 MPa	16,8 MPa
6.	$E$	210,00 GPa	12,6 GPa
7.	$e_0$	–	0,76533 $L$

Statistické charakteristiky  $h$ ,  $b$ ,  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $f_y$  byly uvažovány histogramy podle výsledků experimentálního výzkumu [9]. U modulu pružnosti  $E$  bylo uvažováno Gaussovo rozdělení hustoty pravděpodobnosti se statistickými charakteristikami podle [4], [18]. Směrodatná odchylka Gaussova rozdělení hustoty pravděpodobnosti amplitudy počátečního zakřivení  $e_0$  byla uvažována z předpokladu, že se v tolerančních mezích  $\pm 0,15 \% L$  normy [23] nachází 95 % realizací této náhodné veličiny, přičemž délka prutu  $L$  je parametr výpočtu.



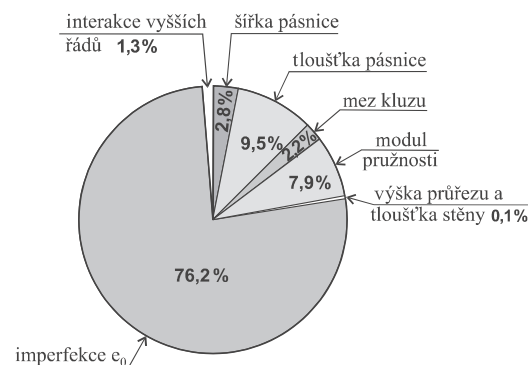
Obr. 1. Sobolovy koeficienty  $S_i$  vs.  $\bar{\lambda}$



Obr. 2. Sobolovy koeficienty  $S_i$  vs.  $\sigma_{e_0}$

Cílem parametrické studie bylo stanovit průběh Sobolových citlivostních koeficientů  $S_i$  v závislosti na bezrozměrné štiřlosti  $\bar{\lambda} = L/(i_z \cdot 93,9)$ , kde  $i_z = 24,8$  mm je nominální hodnota poloměru setrvačnosti profilu IPE220 [22]. Postupovalo se tak, že koeficienty  $S_i$  se počítaly pro délku prutu  $L$ , která se parametricky zvyšovala od nuly s krokem  $\Delta L = 0,094$  mm. V každém kroku se hodnota citlivostního koeficientu  $S_i$  (obr. 1) stanovila jako aritmetický průměr vypočtený z dvaceti realizací koeficientu, přičemž každá realizace byla vypočtena ze základní definice (11a) metodou Monte Carlo pro  $N = K = 100\,000$  simulací. Realizace směrodatných odchylek citlivostních koeficientů  $S_i$  se nacházely v intervalu  $\langle 0; 0,006 \rangle$ , přičemž jejich průběh v závislosti na  $\bar{\lambda}$  je tvarově přibližně podobný průběhům  $S_i$  na obr. 1.

V tabulce 1 byly všechny veličiny stanoveny experimentálně s výjimkou amplitudy počátečního zakřivení  $e_0$ , jejíž směrodatná odchylka  $\sigma_{e_0}$  byla určena podle toleranční normy [23]. Na obrázku 2 je vykreslen průběh Sobolových citlivostních koeficientů  $S_i$  prvního řádu v závislosti na směrodatné odchylce  $\sigma_{e_0}$  prutu délky  $L = 2,35$  m. Šedým pozadím je zvýrazněn interval  $(\pm 0,1 \% L; \pm 0,2 \% L)$ , v němž lze očekávat směrodatnou odchylku, kterou bychom s největší pravděpodobností získali měřením u reálných prutů. Nerovnost  $0,987 < \sum_i S_i < 1$  indikuje přítomnost slabých vyšších interakcí pro všechny řešené štiřlosti; pro srovnání u rámu se dvěma tlačnými sloupy jsme dostali  $\sum_i S_i = 0,84$  [8].



Obr. 3. Sobolovy citlivostní koeficienty  $S_i$  pro  $\bar{\lambda} = 1,0$

Na obrázku 3 jsou citlivostní koeficienty  $S_i$  pro štiřlost  $\bar{\lambda} = 1,0$ . Součet všech koeficientů  $S_i$  je 100 %  $\sum_i S_i \approx 98,7 \%$ , tj. přibližně 1,3 % přísluší interakcím vyšších řádů  $S_{ij}$ ,  $S_{ijk}$  atd. Analýza úplného vlivu  $S_{Ti}$  ukázala, že do vyšších interakcí je „zapletena“ tloušťka a štiřka pásnice.

## Závěr

Z výsledků na obr. 1 je patrné, že u prutů se štiřlostí  $\bar{\lambda}$  je dominantní veličinou mez kluzu  $f_y$ . Pokud je štiřlost prutu rovna nule, jde o úlohu prostého tlaku, kde je únosnost závislá pouze na velikosti meze kluzu a plochy průřezu  $R = f_y \cdot A$ . Pro  $\lambda = 0$  je citlivostní koeficient meze kluzu  $S_{f_y} = 0,75$ , a jelikož jsou interakce vyšších řádů velmi malé, lze citlivostní koeficient plochy průřezu uvažovat přibližně  $S_i \approx 1 - 0,75 = 0,25$ , přičemž dominantní vliv má tloušťka pásnice  $S_{t_2} = 0,183$  a tloušťka stěny  $S_{t_1} = 0,057$ .

Počáteční zakřivení osy prutu (reprezentované amplitudou  $e_0$ ) je dominantní pro štiřlosti  $\bar{\lambda} = \langle 0,47; 1,67 \rangle$ , přičemž maximum citlivostního koeficientu  $\max S_{e_0} = 0,82$  nastává pro  $\bar{\lambda} = 0,88$ . Pro štiřlost  $\bar{\lambda} > 1,67$  je dominantní veličinou modul pružnosti  $E$ . Z geometrických charakteristik je další dů-



ležitou veličinou tloušťka pásnice  $t_2$ . V limitním případě  $\bar{\lambda} = \infty$  (nebo  $e_0 = 0$ ) je únosnost rovna Eulerově kritické síle, tj. je závislá pouze na veličinách  $E$ ,  $t_2$ ,  $b$ , které jsou vstupními veličinami pro výpočet ohybové tuhosti nosníku  $EI_z$  (tuhost proti vybočení). Hodnoty citlivostních koeficientů veličin  $E$ ,  $t_2$ ,  $b$  nejrychleji rostou pro  $\bar{\lambda} \approx \langle 1,0;1,1 \rangle$ , přičemž zároveň nejrychleji klesá citlivostní koeficient amplitudy  $e_0$ . Dalším dělicím bodem je  $\bar{\lambda} \approx 1,2$ , kde citlivostní koeficient meze kluzu klesne téměř k nule. Pro  $\bar{\lambda} \approx 1,2$  je citlivostní koeficient  $e_0$  roven hodnotě 0,5, a tedy i suma citlivostních koeficientů veličin  $E$ ,  $t_2$ ,  $b$  je rovna hodnotě 0,5. Má-li nosník vyšší štíhlost, mají na jeho únosnosti dominantní vliv právě veličiny  $E$ ,  $t_2$ ,  $b$ .

Je však nutno poznamenat, že ve výpočtu byl zanedbán vliv vlastního pnutí. Pokud bychom usuzovali na vliv vlastního pnutí z diferenciace křivek normativní vzpěrné pevnosti  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  normy EC3 [22], jsou tyto křivky nejodlišnější pro  $\bar{\lambda} = 0,83$ . Pro detailnější postihnoutí vlivu této strukturální odchylky by bylo třeba prut modelovat deskostěnovými konečnými prvky a únosnost počítat geometricky nelineárním výpočtem, což je však ve spojení s numericky vysoce náročným výpočtem Sobolových citlivostních koeficientů prakticky nereálné.

Jednou z možností, jak tento problém řešit, je aplikace numerických metod typu „response surface“, přičemž aproximační funkce musí být dostatečně podrobná a počet aproximačních bodů dostatečně vysoký, aby bylo možno postihnout i interakce vyšších řádů. Pokud bychom se přidrželi vztahu (17), lze vliv vlastního pnutí postihnout zvýšením absolutní hodnoty geometrické imperfekce amplitudy  $e_0$ . Tento předpoklad však nemusí být pro podrobnou citlivostní analýzu Sobolovými citlivostními koeficienty úplně výstižný, na což poukázala citlivostní analýza únosnosti zpracovaná pomocí Spearmanových korelačních koeficientů, jejichž hodnoty se u vlastního pnutí a amplitudy  $e_0$  shodovaly pouze přibližně.

Vstupní náhodné imperfekce můžeme rozdělit přibližně do dvou základních skupin [7]. Do první skupiny lze zařadit ty veličiny, jejichž statistické charakteristiky lze výrobou příznivě ovlivnit (mez kluzu, geometrické charakteristiky, vlastní pnutí), a na ty, které nejsou na změny technologie výroby dostatečně citlivé (např. proměnlivost modulu pružnosti  $E$ ). První skupinu veličin je možno ještě dále rozdělit na dvě podskupiny, a to veličiny:

- u nichž můžeme zkvalitněním výroby měnit jak střední hodnotu, tak směrodatnou odchylku [7]. Touto veličinou je např. mez kluzu;
- jejichž střední hodnotu není možno výrazněji měnit, protože by měla přibližně odpovídat nominální hodnotě (geometrické charakteristiky rozměrů průřezu).

Významnými veličinami jsou v této souvislosti mez kluzu, počáteční zakřivení osy prutu a tloušťka pásnice  $t_2$ . O snížení jejich proměnlivosti lze usilovat změnou technologie výroby [7]. Snížení proměnlivosti meze kluzu  $f_d$  lze doporučit zejména u prutů s menší bezrozměrnou štíhlostí [7].

**Příspěvek vznikl v rámci řešení úloh projektů č. 103/07/1067 GA ČR, KJB201720602 AV ČR a výzkumného záměru MSM0021630519.**

## Literatura

- [1] Cacuci, D.: Data Assimilation and Best-Estimate Model Validation Activities in Euratom-Fission Programs. In: Proc. of

- 5th Int. Conf. on Sensitivity Analysis of Model Output, ELTE, Budapest, 2007, pp. 14–15.
- [2] Cukier, R. – Fortuin, C. – Schuler, K. – Petschek, A. – Schaibly, J.: Study of the Sensitivity of Coupled Reaction Systems to Uncertainties in Rate Coefficients, *The Journal of Chemical Physics* 59, 1973, pp. 3873–3878.
- [3] Cukier, R. – Levine, H. – Schuler, K.: Nonlinear Sensitivity Analysis of Multiparameter Model Systems, *Journal of Computation Physics* 26, 1978, pp. 1–42.
- [4] Fukumoto, Y. – Kajita, N. – Aoki, T.: Evaluation of Column Curves Based on Probabilistic Concept. In: Proc. of Int. Conference on Stability, Prelim. Rep., publ. by Gakujutsu Bunken Fukyu – Kai, Tokyo, 1976, pp. 1–37.
- [5] Hora, S. – Iman, R. A.: Comparison of Maximum (Bounding and Bayesian) Monte Carlo for Fault Tree Uncertainty Analysis, Report SAND85-2839, Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico, 1986.
- [6] Chojnacki, E. – Baccou, J. – Destercke, S.: Numerical Sensitivity and Efficiency in the Treatment of Epistemic and Aleatory Uncertainty. In: Proc. of 5th Int. Conf. on Sensitivity Analysis of Model Output, ELTE, Budapest, 2007, pp. 92–93.
- [7] Kala, Z.: Sensitivity Analysis of the Stability Problems of Thin-Walled Structures. *Journal of Constructional Steel Research* 61 (2005), pp. 415–422.
- [8] Kala, Z.: Sensitivity Analysis of Ultimate Response of Steel Plane Frames to Imperfections. *Journal Reliability Engineering & System Safety*, 2008, in review.
- [9] Melcher, J. – Kala, Z. – Holický, M. – Fajkus, M. – Rozlívka, L.: Design Characteristics of Structural Steels Based on Statistical Analysis of Metallurgical Products. *Journal of Constructional Steel Research* 60 (2004), pp. 795–808.
- [10] Menčík, J.: Simulační posuzování spolehlivosti při korelovaných veličinách. [Sborník], konference „Spolehlivost konstrukcí“, Ostrava, 2003, s. 151–156.
- [11] Möller, B. – Reuter, U.: *Uncertainty Forecasting in Engineering*. Berlin – Heidelberg, Springer Verlag 2007, p. 202.
- [12] Novák, D. – Teplý, B. – Shiraishi, N.: Sensitivity Analysis of Structures: A Review. In: Proc. 5th Int. Conf. on Civil and Structural Eng. Computing, Edinburgh, 1993, pp. 201–207.
- [13] Oberkampf, W. L. – Helton, J. C. – Joslyn, C. A. – Wojtkiewicz, S. F. – Ferson, S.: *Challenge Problems: Uncertainty in System Response Given Uncertain Parameters*, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 85, Issues 1–3, 2004, pp. 11–19.
- [14] Saltelli, A. – Tarantola, S. – Chan, K.: Quantitative Model-Independent Method for Global Sensitivity Analysis of Model Output. *Journal Technometrics* 41(1), 1999, pp. 39–56.
- [15] Saltelli, A. – Chan, K. – Scott, M.: *Sensitivity Analysis*, Wiley Series in Probability and Statistics. New York, John Wiley and Sons 2000.
- [16] Saltelli, A. – Tarantola, S. – Campolongo, F. – Ratto, M.: *Sensitivity Analysis in Practice: A Guide to Assessing Scientific Models*. New York, John Wiley and Sons 2004.
- [17] Saltelli, A. – Ratto, M. – Andress, T. – Campolongo, F. – Cariboni, J. – Gatelli, D. – Saisana, M. – Tarantola, S.: *Global Sensitivity Analysis Guiding the Worth of Scientific Models*. New York, John Wiley and Sons 2007.
- [18] Guedes Soares, C.: Uncertainty Modelling in Plate Buckling. *Journal Structural Safety*, 1988, (5), pp. 17–34.
- [19] Sobol', I.: *Multidimensional Quadrature Formulas and Haar Functions*. Moscow, Nauka 1969 (in Russian).
- [20] Sobol', I.: Sensitivity Estimates for Nonlinear Mathematical Models, *Matematicheskoe Modelirovanie* 2, pp. 112–118, 1990 (in Russian, translated in English in Sobol' 1993).
- [21] Sobol', I.: On “Freezing” Unessential Variables. *Vestnik Mosk. Univ. Ser. Mat.* 6, 1996, pp. 92–94.
- [22] EN 1993-1-1:2005(E): Eurocode 3: Design of Steel Structures – Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings, CEN, 2005.
- [23] EN 10034: Structural Steel I and H Sections, Tolerances on Shape and Dimensions, 1995.

**Kala, Z.: Sensitivity Analysis**

The aim of the presented paper is to inform the readers about Ilya M. Sobol's sensitivity analysis. A short review of the sensitivity analysis history and of its traditional methods is given in the introductory part of the paper. The following part presents the nature of the decomposition theorem of the response function, and of fundamental ideas on which Sobol's sensitivity analysis is based. Sobol's sensitivity coefficients are completed by clear explanation based on the Monte Carlo method; an overview of their basic characteristics is presented, and the numerical difficulty of their exacting calculation is discussed. In conclusion, this paper presents a numerical problem of the sensitivity analysis of a steel strut load-carrying capacity.

**Kala, Z.: Empfindlichkeitsanalyse**

Ziel des Artikels ist es, die Leser mit der Empfindlichkeitsanalyse von Ilya M. Sobol vertraut zu machen. Im Einführungsteil des Artikels wird ein kurzer Überblick sowohl der Geschichte, als auch der traditionellen Methoden der Empfindlichkeitsanalyse gegeben. Im folgenden Teil wird das Wesen des Dekompositionstheorems der Antwortfunktion und der Grundideen, von denen die Sobol'sche Empfindlichkeitsanalyse ausgeht, dargestellt. Die Empfindlichkeitskoeffizienten von Sobol werden durch eine klare von der Monte-Carlo-Methode ausgehende Erklärung ergänzt. Es wird ein Überblick der Grundeigenschaften derselben gegeben und es wird der numerische Aufwand zu deren Berechnung diskutiert. Im Schlußteil des Artikels wird ein numerisches Beispiel der Empfindlichkeitsanalyse der Tragfähigkeit einer Stahlstrebe angeführt.

## ● osobní zprávy



### Za doc. Ing. Ladislavem Lambojem, CSc.



Koncem listopadu se odborná veřejnost rozloučila s bývalým děkanem Fakulty stavební ČVUT v Praze, vynikajícím odborníkem v oboru geotechniky.

Doc. Ing. Ladislav Lamboj, CSc., se narodil 26. května 1941 v Praze. V roce 1958 začal studovat na ČVUT – Fakultě inženýrského stavitelství, obor konstrukce a dopravní stavby, kterou ukončil v roce 1963 s vyznamenáním. Na Katedru geotechniky Fakulty stavební ČVUT nastoupil jako pedagogický asistent, od roku 1966 zde působil jako odborný asistent pro obor mechanika zemin a zakládání staveb. V roce 1983 získal vědeckou hodnost kandidáta technických věd v oboru teorie a konstrukce inženýrských staveb. V roce 1989 byl jmenován docentem pro obor mechanika zemin a zakládání staveb. V letech 1990 až 1997 zastával funkci proděkana pro obor konstrukce a dopravní stavby.

V roce 1997 byl Akademickým senátem fakulty zvolen děkanem Fakulty stavební ČVUT. Jeho velmi odpovědné a úspěšné šestileté působení v této funkci skončilo v souladu s ustanovením zákona v roce 2002. Doc. Lamboj předsedal Vědecké radě stavební fakulty, byl členem VR ČVUT, VR dopravní fakulty, VR fakulty architektury, VR Kloknerova ústavu a VR FSv VŠB-TU Ostrava.

Od 1. března 1991 byl doc. Lamboj jmenován do funkce vedoucího Katedry geotechniky Fakulty stavební ČVUT. Řízení a odborný růst katedry přes velké pracovní zatížení nikdy nezanedbával, naopak s plným nasazením se své katedře věnoval ve funkci vedoucího až do roku 2005.

Byl členem České společnosti pro mechaniku, členem Českého a Slovenského výboru pro mechaniku zemin a zakládání staveb, členem International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, členem Českého svazu stavebních inženýrů a předsedou pobočky ČSSI Praha v letech 1996–1997. Byl autorizovaným inženýrem pro obor geotechnika, statika a dynamika staveb a členem Autorizační rady ČKAIT.

Od devadesátých let patřil k nejvýznamnějším osobnostem Fakulty stavební ČVUT. Byl uznávaným odborníkem a pedagogem v oblasti mechaniky zemin a zakládání staveb. Publikoval řadu učebních textů, více než 60 odborných článků a přednesl 40 vyzvaných přednášek doma i v zahraničí. Vypracoval přes 80 expertních posudků a návrhů založení pozemních a inženýrských staveb. Podle jeho metodiky bylo úspěšně založeno mnoho zemědělských staveb na velmi krátkých vrtaných pilotách.

Významná byla jeho normotvorná činnost. Podílel se na zpracování ČSN 73 1001 Základová půda pod plošnými základy, ČSN 73 1002 Pilotové základy a byl vedoucím týmu zpracovatelů ČSN 73 0037 Zemní tlak na stavební konstrukce. Přeložil Eurokód 7 - část 1 a zpracoval k němu Národní aplikační dokument.

Žádný ze spolupracovníků doc. Lamboje nikdy nezapomene na jeho pracovitost, smysl pro povinnost, spravedlnost, korektní jednání, organizačtorské i pedagogické schopnosti a inženýrský cit. Zanechal po sobě nerasmazatelnou lidskou a odbornou stopu, která i do budoucna ukazuje cestu jeho následovníkům. Jeho památka zůstane trvale zachována v myslích a srdcích přátel, žáků a spolupracovníků.

*prof. Ing. Zdeněk Bittnar, DrSc.  
děkan Fakulty stavební ČVUT v Praze*

# Analýza podkladní betonové vrstvy mostovky

Ing. Tomáš KREJČÍ, Ph. D.  
Ing. Tomáš KOUDELKA, Ph. D.  
prof. Ing. Jiří ŠEJNOHA, DrSc.

CIDEAS  
ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

Článek se zabývá počítačovou simulací chování podkladní betonové vrstvy vložené pod izolaci mostovky. Předložená studie sleduje deformaci a poškození vrstvy v raném stadiu vlivem vývinu hydratačního tepla, působení klimatických podmínek a způsobu ošetřování a ukládání betonu. Úloha je řešena metodou konečných prvků ve spojení s modely sdruženého přenosu tepla a vlhkosti, dotvarování a smršťování betonu a skalárního izotropního poškození.

## Úvod

Při sanaci mostovek vyvstává potřeba vybetonování podkladní vrstvy pro izolaci a nové vrstvy vozovky. Podkladní vrstva je ovlivněna řadou jevů, které se projeví zejména intenzivním smršťováním a mohou vést až k odtržení vrstvy od nosné konstrukce vlivem okrajového efektu. Může jít o smršťování autogenní, spojené s hydratačním procesem bez výměny vody s okolím, nebo o smršťování vysycháním. První mechanismus úzce souvisí s vývinem hydratačního tepla a projevuje se během několika dnů, druhý lze sledovat po dobu týdnů až měsíců. Oba značně závisí na teplotě a vlhkosti, a jsou tudíž silně ovlivněny slunečním zářením.

K získání objektivní představy o průběhu smršťování a následném porušování podkladní vrstvy je třeba řešit složitý sdružený problém transportu tepla (energie) a vlhkosti (hmotnosti), který je popsán soustavou silně nelineárních parciálních diferenciálních rovnic v čase a prostoru. Na teplotní vlhkostní analýzu navazuje sledování procesů přetváření a poškození, které se spolu s teplotními dilatacemi, smršťováním a dotvarováním projeví při formulaci konstitutivních rovnic (vztah mezi napětím a přetvořením). Úloha je diskretizována pomocí metody konečných prvků a řešena softwarovým produktem SIFEL (Simple Finite Elements).

Pro pochopení věci je třeba vysvětlit základní pojmy související s transportem tepla a vlhkosti, dále s materiálovým modelem izotropního poškození, který byl pro studovaný případ použit jako plně vyhovující, a konečně s modelem dotvarování a smršťování betonu B3 podle prof. Bažanta [1]. Pro jednoduchost omezíme výklad na jednoosou napjatost, jakkoli konkrétní počítačová simulace je třírozměrná.

## Přenos tepla a vlhkosti

Transportní problémy se obecně řeší jako sdružené nelineární úlohy, které vyžadují simultánní numerickou integraci tří skupin rovnic. První skupinu, označovanou jako transportní rovnice, tvoří Fickův, Darcyho a Fourierův zákon, druhou retenční vztahy a třetí bilanční rovnice. První dvě skupiny postihují materiálové vlastnosti, třetí pak zachování energie

a hmotnosti. Diskretizací transportního problému metodou konečných prvků dostáváme systém nelineárních a nesymetrických rovnic. V tomto případě je vhodné rozšířit numerické řešení soustavy rovnic o Newtonovu – Raphsonovu metodu. Tento fakt výrazně zvyšuje nároky nejen na počítačové zpracování, ale i na hardware počítače (rychlost procesoru, velikost paměti). Proti klasickým úlohám lineární statiky se mění způsob ukládání matic v systému algebraických rovnic. Dále se mění způsob jejich řešení a prodlužuje se doba výpočtu. Jako velmi výhodné řešení se ukazuje použití paralelního programování [2].

Pro numerickou simulaci byl použit fenomenologický přístup podle Künzela a Kiessla [3], kteří zavádějí v materiálovém bodu neznámou veličinu  $h$  – relativní vlhkost [-] a  $T$  – absolutní teplotu [K]. Bilanční rovnice pro energii a hmotnost mohou být zapsány vzorci

$$\left(\rho c + \frac{\partial H_w}{\partial T}\right) \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + h_v \nabla \cdot (\delta_p \nabla (h p_{\text{sat}})) + Q, \quad (1)$$

$$\frac{\partial w}{\partial h} \cdot \frac{\partial h}{\partial t} = \nabla \cdot (D_h \nabla h + \delta_p \nabla (h p_{\text{sat}})), \quad (2)$$

kde  $\rho$  je objemová hmotnost materiálu [ $\text{kg m}^{-3}$ ];  
 $c$  – specifická tepelná kapacita [ $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ ];  
 $H_w$  – entalpie materiálové vlhkosti [ $\text{J m}^{-3}$ ];  
 $t$  – čas [s];  
 $\lambda$  – tepelná vodivost [ $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ ];  
 $h_v$  – specifické výparné teplo [ $\text{J kg}^{-1}$ ];  
 $\delta_p$  – permeabilita vodní páry v porézním materiálu [ $\text{kg m s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$ ];  
 $p_{\text{sat}}$  – tlak nasycených vodních par [Pa];  
 $w$  – obsah vody [ $\text{kg m}^{-3}$ ];  
 $D_h$  – vodivost kapalné fáze [ $\text{kg m s}^{-1}$ ];  
 $Q_j$  – tepelný zdroj [ $\text{W m}^{-3}$ ], který zde zastupuje vývin hydratačního tepla.

Model zanedbává konvekci vodní páry i kapaliny způsobenou rozdílem totálních tlaků a gravitací, jakož i změny entalpie vlivem proudění kapalné fáze. Na levých stranách obou rovnic jsou akumulací členy. Na pravých stranách jsou toky tepla a vlhkosti. V rovnici (1) jde o tok tepla a entalpie difúzí vodní páry. Tok kapalné fáze v rov. (2) je pouze mírně ovlivněn teplotou ve viskozitě kapaliny, a tudíž v její vodivosti  $D_h$ . Tok vodní páry je však simultánně řízen poli teploty i vlhkosti vlivem exponenciální závislosti tlaku nasycené páry na teplotě.

Výhodou tohoto modelu je jeho použití při analýze stavebních konstrukcí za běžných klimatických podmínek a snadné a rychlé uplatnění fyzikálních vlastností materiálů zjištěných v laboratoři. Dodejme, že pro spolehlivé stanovení teplotních a vlhkostních polí je právě experimentální určení fyzikálních vlastností daného materiálu nezbytné.

Künzelův a Kiesslův model byl v programu pro řešení metodou konečných prvků rozšířen o model vývinu hydratačního tepla v betonu a o statisticky zpracovaný soubor klimatických podmínek (zdroj ČHMÚ). Dále byl využit ve spojení s Bažantovým modelem B3, popisujícím dotvarování a smršťování betonu ve sdružené tepelně vlhkově mechanické analýze. Jde o částečně sdruženou úlohu (angl. staggered algorithm), kde jsou v každém časovém kroku přenášena data z tepelně vlhkově části do části mechanické.

### Dotvarování a smršťování betonu ovlivněné změnou teploty a vlhkosti

Základem výpočtů při použití několika různých materiálových modelů, popisujících rozdílné jevy mechanického chování, je rozklad celkové deformace v materiálovém bodě na složky

$$\varepsilon_{\text{tot}} = \varepsilon_{\text{el}} + \varepsilon_{\text{d}} + \varepsilon_{\text{cr}} + \varepsilon_{\text{sh}} + \varepsilon_{\text{t}}, \quad (3)$$

kde  $\varepsilon_{\text{tot}}$  je celková deformace,

- $\varepsilon_{\text{el}}$  – elastická složka deformace,
- $\varepsilon_{\text{d}}$  – složka deformace od poškození betonu (damage),
- $\varepsilon_{\text{cr}}$  – složka deformace od dotvarování betonu (creep),
- $\varepsilon_{\text{sh}}$  – složka deformace od smršťování betonu (shrinkage),
- $\varepsilon_{\text{t}}$  – deformace vlivem změny teploty.

Vlivy smršťování a dotvarování betonu společně s přetvořením od změny teploty mají značný vliv na celkové přetvoření, které je rozhodující pro to, zda k vytvoření trhliny dojde. Oba vlivy jsou v aplikovaném modelu B3 zahrnuty a jsou závislé na teplotě a vlhkosti.

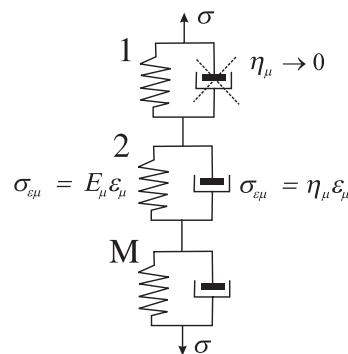
Za předpokladu, že se napětí v konstrukci pohybuje v rámci provozních hodnot (tj. přibližně asi do 40 % pevnosti) a že nedochází k odtěžování (tj. pokles deformací), se dotvarování betonu řídí Boltzmannovým principem superpozice, kde je vyjádřena deformace v závislosti na napětí integrální rovnicí

$$\varepsilon_{\text{cr}}(t) = J(t, t_0) \sigma(t_0) + \int_{t_0}^t J(t, \tau) d\sigma(\tau). \quad (4)$$

Funkce poddajnosti lineárního viskoelastického materiálu  $J$  vyjadřuje deformaci v čase  $t$  od jednotkového napětí  $\sigma = 1$  působícího od času  $\tau$ . Při proměnném napětí je třeba nahradit rovnici (4) vhodným přírůstkovým vztahem. Obvyklá integrální formulace není pro numerické řešení příliš vhodná, neboť vyžaduje uchovávat informace o stavu napětí a deformace ze všech předchozích okamžiků. Z tohoto pohledu je vhodnější převést integrální konstitutivní vztah na diferenciální rovnici. To je možné, pokud je funkce  $J$ , tzv. jádro rovnice (4), vyjádřena ve formě degenerovaných (Dirichletových – Pronyho) řad

$$J(t, \tau) = \sum_{\mu=1}^M \frac{1}{D_{\mu}(\tau)} \{1 - \exp[y_{\mu}(\tau) - y_{\mu}(t)]\}, \quad (5)$$

kde  $y_{\mu}(t) = (t/\tau_{\mu})^{q_{\mu}}$  a  $q_{\mu} = 2/3$ . Funkce  $D_{\mu}(\tau)$  mohou být pro dané vyjádření vztahu (5) získány z naměřených dat, např. metodou nejmenších čtverců. Pro některé speciální tvary funkce  $J$  lze nalézt explicitní vyjádření. Koefficienty  $\tau_{\mu}$  se nazývají retardační časy. Vhodný způsob jejich stanovení je popsán např. v [4]. Celková deformace od dotvarování betonu  $\varepsilon_{\text{cr}}$  je uvažována jako součet deformací jednotlivých členů Kelvinova reologického řetězce, který je vyjádřením degenerovaných jader (5).



Obr. 1. Kelvinův reologický řetězec

Význam symbolů v obr. 1:

$$\eta_{\mu} = \frac{D_{\mu}}{\dot{y}_{\mu}} \quad E_{\mu} = D_{\mu} - \frac{\dot{D}_{\mu}}{\dot{y}_{\mu}}. \quad (6)$$

Podle modelu B3 relativní vlhkost a teplota ovlivňují dotvarování a smršťování dvěma způsoby. Přímou, změnou koeficientu viskozity v konstitutivním modelu, a nepřímou, ovlivněním rychlosti hydratace (stárnutí) betonu. Zmiňované přímé ovlivnění míry dotvarování teplotou  $T$  a vlhkostí  $h$  může být v řetězci popsáno vztahem

$$\frac{1}{\eta_{\mu}(t)} = \frac{\varphi_{\tau} \varphi_h}{\tau_{\mu} E_{\mu}(t)}, \quad \mu = 1, 2, \dots, M. \quad (7)$$

Efekt teploty vychází z konceptu aktivační energie

$$\varphi_{\tau} = \exp\left[\frac{u_c}{R} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right)\right], \quad u_c / R = 5000 \text{ K}, \quad (8)$$

kde  $u_c$  je aktivační energie dotvarování. Efekt vlhkosti vyjadřuje empirický vztah

$$\varphi_h = \alpha_n + (1 - \alpha_n) h^2, \quad \alpha_n \approx 0,1 \div 0,5. \quad (9)$$

Celkové smrštění  $\varepsilon_{\text{sh}}$  uvažujeme jako součet složek “dry-ing shrinkage” (smrštění od vysychání a nasákání)  $\varepsilon_{\text{shd}}$ , autogenní smrštění  $\varepsilon_{\text{sha}}$  (objemové změny během chemických procesů v průběhu hydratace) a karbonatační smrštění  $\varepsilon_{\text{shc}}$  (způsobené reakcí hydroxidu vápenatého cementové pasty se vzdušným oxidem uhličitým). Velmi malé karbonatační smrštění je ve výpočtu zanedbáno. Autogenní smrštění je zavedeno jako materiálový parametr, jehož počáteční hodnota i časový průběh jsou dány experimentálními měřeními na odpovídajících vzorcích betonu. Přetvoření změnou teploty a vlhkosti se tedy skládá z vlivu:

- vysychání a nasákání

$$\dot{\varepsilon}_{\text{shd}} = k \cdot \dot{h}, \quad (10)$$

- teploty

$$\dot{\varepsilon}_t = \alpha \cdot \dot{T}, \quad (11)$$

kde  $k = \varepsilon_{\text{sho}} \psi(1 + r \sigma \text{sign}(\dot{H}))$ ,  $\alpha = \alpha_0(1 + \rho \sigma \text{sign}(\dot{H}))$ ,  $(12)$

přičemž  $\epsilon_{sh0}$  je limitní smrštění v čase  $t_0$  a  $\alpha_0$  délková teplotní roztažnost. Pro relativní vlhkost  $0,4 \leq h < 0,98$  platí

$$(\psi) = E(t_0) / E(t) 3h^2 \quad \text{a} \quad \dot{H} = \dot{h} + c\dot{T} \quad (c \text{ je nezáporná konstanta}). \quad (13)$$

Empirické koeficienty  $r$  a  $\rho$  jsou funkcemi aktuální tahové pevnosti betonu  $f_t$  [5]. Jejich hodnoty se pohybují nejčastěji mezi  $0,1/f_t$  a  $0,6/f_t$  ( $\text{MPa}^{-1}$ ) pro  $r$  a mezi  $1,0/f_t$  a  $2,0/f_t$  ( $\text{MPa}^{-1}$ ) pro  $\rho$ .

**Model izotropního poškození**

Poškození betonu dostatečně vystihuje nejjednodušší skalární izotropní model s Mazarsovým vztahem pro výpočet normy ekvivalentního přetvoření

$$\epsilon_{eq} = \sqrt{\langle \epsilon_a \rangle^T \langle \epsilon_a \rangle}, \quad (14)$$

kde  $\epsilon$  je v třírozměrném vyjádření vektor hlavní deformace a operátor  $\langle \rangle$  značí výběr pouze kladných složek daného vektoru. Deformace  $\epsilon_a$  je ta část celkové deformace, která zůstane po odečtení dotvarování, smršťování a teplotního roztažení.

Evoluční vztah (obr. 2) pro parametr poškození  $\omega$  v závislosti na ekvivalentní deformaci je definován

$$\omega = f(\epsilon_{eq}) = 1 - \left( \frac{f_t}{E \epsilon_{eq}} \right) \exp \left( - \frac{\epsilon_{eq} - \frac{f_t}{E}}{u_f - \frac{f_t}{E}} \right), \quad (15)$$

kde  $u_f$  definuje sklon změkčení a  $f_t$  je aktuální tahová pevnost betonu. Modul pružnosti, tahová a tlaková pevnost be-

tonu závisí na stáří betonu. Napětí se v případě skalárního izotropního poškození a jednoosé napjatosti vypočítá ze vztahu

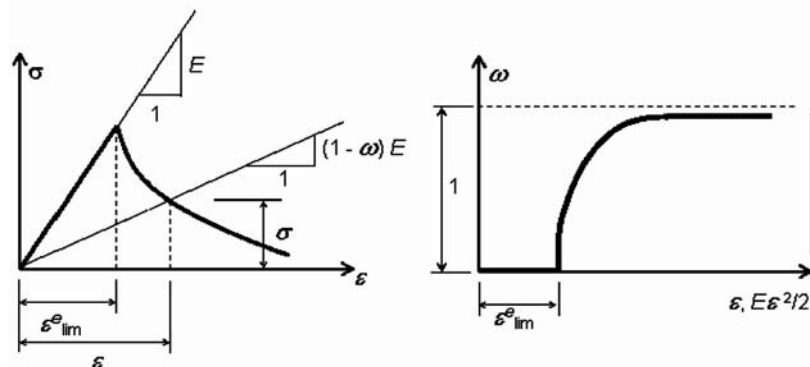
$$\sigma = (1 - \omega) E \epsilon, \quad (16)$$

kde  $E$  je aktuální modul pružnosti [6]. Zobecnění tohoto vztahu na třírozměrnou napjatost lze nalézt v [4].

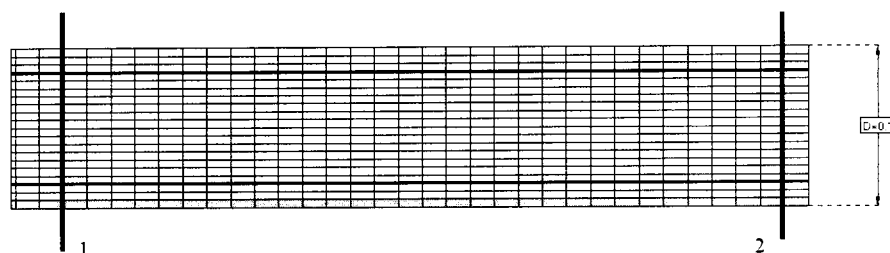
**Výsledky počítačové simulace**

Diskutovaná betonová vrstva slouží jako podklad pro izolaci a další vrstvy vozovky, kde je požadována rovinnost a dokonalá přilnavost ke konstrukci mostu. Tloušťka vrstvy se pohybuje od 40 do 100 mm. Simulace koresponduje s jedním z navrhovaných technologických postupů výstavby aplikovaných na betonovou vrstvu tloušťky 100 mm a vyztuženou při obou površích sítí  $\varnothing 6$  mm s oky 100/100 mm. Vrstva byla po dobu tří dnů kropena a přikryta fólií proti slunečnímu záření, jehož přímé působení na tak tenkou vrstvu by mělo v letním období nedozírné následky. Vrstva byla navíc po 24 hodinách rozdělena na smršťovací segmenty rozměru 4 x 6 m. Ty byly vytvořeny proříznutím do hloubky 40 mm. Dokonalé spojení podkladní vrstvy s nosnou konstrukcí mostu měla zajišťovat adhezni kontaktní vrstva na bázi cementu. Adhezni vrstva je ve výpočtu modelována materiálem podobným betonu se sníženou tahovou pevností ( $f_t = 1,5$  MPa) bez efektu stárnutí a dotvarování. Přítomnost rozptýlené výztuže nebyla ve výpočtu uvažována, neboť nebyly k dispozici materiálové parametry pro beton s mikrovýztuží (nezbytná je pevnost v tahu a modul pružnosti, optimálně i lomová houževnatost).

Třírozměrný model podkladní vrstvy je vytvořen sítí konečných prvků – čtyřúhelníků s lineárními bázovými funkcemi (obr. 3). Přijetím předpokladu rovinné deformace v rovině souměrnosti segmentu se úloha redukuje na dvojrozměrnou. Výztužné sítě jsou diskretizovány jednorozměrnými prvky (tyčemi), rovněž s lineární aproximací. Podepření



Obr. 2. Model izotropního poškození a evoluční vztah mezi  $\omega$  a  $\epsilon$



Obr. 3. Detail sítě konečných prvků s vyznačenými řezy

na levém okraji odpovídá ose symetrie. Podpory okraje pravého simulují proříznutí vrstvy po 24 hodinách od ukončení betonáže. Výpočet sleduje interval od stáří 1 hodiny po dobu 30 dnů, kdy se budou podle předpokladů nanášet vrstvy vozovky.

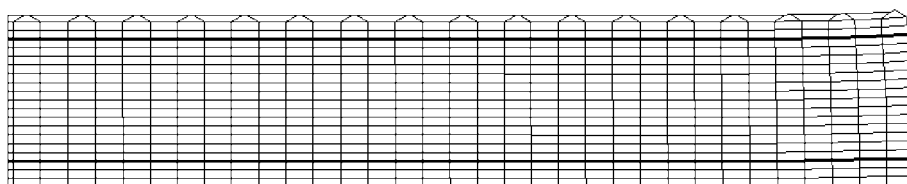
Z rozboru výsledků dojdeme k těmto základním poznatkům:

- gradient teploty po tloušťce desky nabývá v průběhu výpočtu nízké hodnoty. Vývin hydratačního tepla nemá na tak tenkou desku zásadní význam. Významnějším činitelem je proces vysychání;

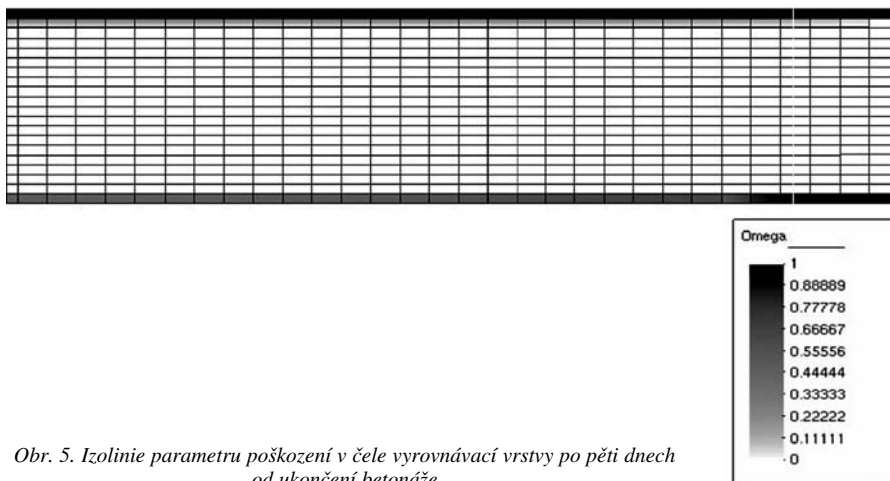
- vlivem smršťování od vysychání se vrstva výrazněji porušuje u horního povrchu (obr. 4);

- v místech dělení na segmenty a na volných okrajích má vrstva tendenci se nadzvednout a odtrhnout od mostovky (okrajový efekt – obr. 5);

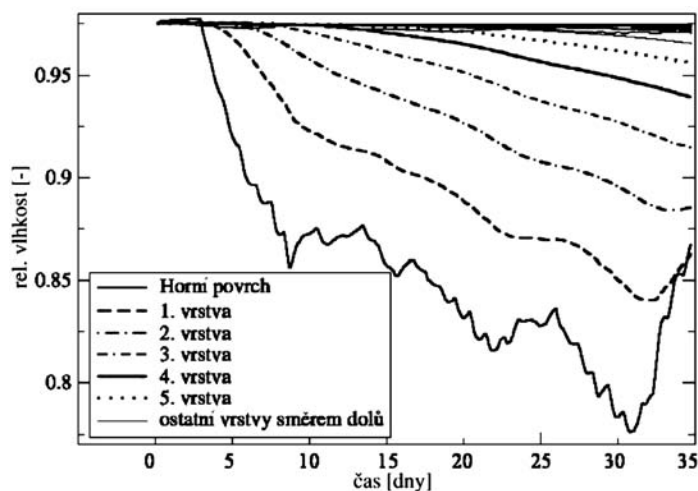
- ošetření betonu musí trvat dostatečně dlouho. Ošetření vlhčením ukazuje na omezení poruch horního povrchu podkladní vrstvy, nicméně nevyklučuje okrajový efekt vedoucí k odtržení poblíž volného okraje. I když se značně poškození horních vrstev silně zredukuje diskrétní a rozptýlenou výztuží, potřebu ošetření tím nahradit nelze. Pro lepší pochopení procesu vysychání je na obr. 6 ukázán časový průběh relativní vlhkosti při horním povrchu podkladní vrstvy. Velmi zřetelný je vliv předpokládaného třídenního vlhčení a zakrytí fólií s následným odkrytím povrchu. Příznivý vliv bude mít utěsnění povrchu hlazením, čímž se sníží difuzivita povrchu. Je třeba upozornit, že v tomto případě nebyl uvažován dostatečně dlouhý interval, aby se plně projevil smršťování vysycháním v interakci s dopadem klimatických



Obr. 4. Detail deformovaného tvaru čela (vpravo) vyrovnávací vrstvy po pěti dnech od ukončení betonáže (vykreslení posunů je 150x zvětšené)



Obr. 5. Izolinie parametru poškození v čele vyrovnávací vrstvy po pěti dnech od ukončení betonáže

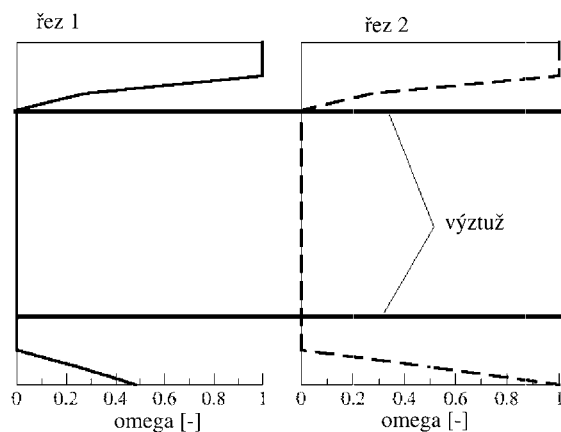


Obr. 6. Vývoj relativní vlhkosti v jednotlivých úrovních vyrovnávací vrstvy

podmínek v letním období (předpokládá se, že radiace je radikálně omezena zastíněním podkladní vrstvy);

- okrajový efekt ukazuje na potřebu kotvení. Kotvení okraje se jeví jako nezbytné a spoléhat se na soudržnost adhezivní vrstvy v oblasti okrajového efektu nedoporučujeme;

- autogenní smršťování lze výrazně potlačit použitím rozptýlené výztuže, kdy se smršťování může dokonce obrátit až v bobtnání, které je důsledkem teplotní dilatace po vývinu hydratačního tepla. Tyto poznatky plynou z měření na cementových pastách [7], a i když v případě betonu nebudou tak výrazné, nelze je ignorovat.



Obr. 7. Profil parametru poškození v čase 8 dnů od ukončení betonáže v typickém poli vrstvy (řez 1) a v čele vrstvy (řez 2)

## Závěr

Uvedená studie dává představu o chování podkladní betonové vrstvy mostovky v prvních několika dnech po betonáži. Hlavní úlohu zde má smrštění ovlivněné hydratací betonu, vysycháním a změnou teploty. Smršťování vysycháním má za následek vytvoření trhlin u horního povrchu vrstvy. Tomu lze čelit vložím diskretní výztuže v kombinaci s mikrovýztuží, dále důkladným ošetřováním betonu a zabráněním dopadu přímého slunečního záření. Příznivý efekt bude mít rovněž utěsnění povrchu hlazením nebo leštěním, čímž se podstatně sníží difuzivita povrchu. Jak v místech přežtu

(dělení vrstvy na segmenty), tak u volných okrajů se objevuje „okrajový efekt“, kdy se vrstva snaží vlivem smrštění odtrhnout a nadzvednout od podkladu (konstrukce mostu). Tento jev ukazuje na potřebu jejího přiměřeného kotvení. Odtržení vrstvy od podkladu bylo prokázáno při rekonstrukcích mostů.

Použitý software na bázi metody konečných prvků využívá předností ověřených přístupů a materiálových modelů, které navíc spojuje ve sdruženou úlohu tepelně vlhkostně mechanickou. Model transportu tepla a vlhkosti, model skalárního izotropního poškození i Bažantův model B3 dotváření a smršťování betonu jsou úzce spjaty s experimentálním měřením a laboratorním zjištěním materiálových parametrů. Pro realistické vystižení odezvy stavební konstrukce je jejich přesné stanovení velmi důležité, byť často obtížné.

Prezentovaný sdružený model je možné použít k popisu chování betonových konstrukcí v počátečním stadiu tuhnutí a tvrdnutí, kdy působící vlivy rozhodují o jejich spolehlivosti a životnosti. Použití modelu je však limitováno výpočetní náročností a nedostatečnou databází fyzikálních vlastností jednotlivých materiálů.

Článek vznikl za podpory projektu č. 1M 0579 MŠMT ČR v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS.

## Literatura

- [1] Bazant, Z. P. – Baweja, S.: Justification and Refinements of Model B3 for Creep and Shrinkage. Updating and Theoretical Basis. Mater. Struc. 28, 1995, pp. 44–50.
- [2] Kruijs, J.: Domain Decomposition Methods for Distributed Computing. Saxe-Coburg Publications, Stirlingshire, 2006.
- [3] Künzel, H. M. – Kiessl, K.: Calculation of Heat and Moisture Transfer in Exposed Building Components. Int. J. Heat Mass Transfer 40, 1997, pp. 159–167.
- [4] Bittnar, Z. – Šejnoha, J.: Numerické metody mechaniky 1. ČVUT Praha, 1992, pp. 52–59.
- [5] Bažant, Z. P. – Křístek, V. – Vítek, J.: Drying and Cracking Effects in Box – Girder Bridge Segment. Journal of Structural Engineering, Vol. 1, No. 118, 1992.
- [6] Pijaudier-Cabot, G. – Jason, L.: Continuum Damage Modeling and some Computational Issues. RFGC – 6/2002, Numerical Modelling in Geomechanics, 2002, pp. 991–1017.
- [7] Litoš, J.: Vliv modifikačních přísad na objemové změny čerstvých cementových past. Beton 2/2007, Beton TKS, 2007, s. 44–46.

Krejčí, T. – Koudelka, T. – Šejnoha, J.: Analysis of Screeding Concrete Layer of Bridge Flooring

This paper is aimed at a computer simulation of the behaviour of the screeding concrete layer of a bridge floor. The presented study goes into deformation and damage processes in an early stage, when hydration heat evolution, impact of climate conditions and curing of concrete play a decisive role. The problem is solved using the finite element method in conjunction with the coupled heat and moisture transfer, concrete creep and shrinkage and the scalar isotropic damage model.

Krejčí, T. – Koudelka, T. – Šejnoha, J.: Analyse der Unterbetonschicht eines Brückentragwerks

Der Artikel befasst sich mit der Computersimulation der unter die Abdichtung der Brückenfahrbahn eingebetteten Betonschicht. Die vorliegende Studie untersucht die Deformierung und Beschädigung der Schicht im Frühstadium des Betons, wenn die Entwicklung der Abbindewärme (Hydratationswärme), die Einwirkung der Klimabedingungen und die Betonbehandlung und -einbringung eine wichtige Rolle spielen. Das Problem wird mittels der Methode der finiten Elemente gelöst, und zwar in Verbindung mit den Modellen des gekoppelten Wärme- und Feuchtigkeitstransports, des Kriechens und Schwindens sowie auch mit dem Modell der isotropen Beschädigung.

## Vplyv teploty do 100 °C na železobetónové prvky

Ing. Slávka ŠIMKOVÁ, Ph. D.

TU – Stavebná fakulta  
Košice

Ťažiskom predkladaného článku je experimentálna a teoretická závislosť medzi vynúteným dĺžkovým pretvorením a ťahovým napätím železobetónových prvkov – vzoriek, ktoré boli spôsobené silovými účinkami výstuže pri teplotnom zaťažení do 100 °C. Podkladom teoretickej závislosti boli nami odvodené matematické vzťahy pre výpočet ťahových napätí a výsledných dĺžkových pretvorení železobetónových vzoriek v závislosti od teploty a stupňa vystuženia. V uvedených vzťahoch boli použité aproximačné funkcie k nameraným hodnotám modulu pružnosti a pomerným dĺžkovým pretvoreniam nevystužených vzoriek.

### Úvod

Betónové konštrukcie sú počas svojej životnosti vystavené rôznym účinkom, akými je nielen mechanické zaťaženie, ale aj vplyv prostredia. Medzi významné vplyvy prostredia patrí pôsobenie vlhkosti a účinky zvýšených a vysokých teplôt.

Obmedzenie možnosti voľného pretvárania železobetónového prvku v dôsledku rôznej teplotnej dĺžkovej rozťažnosti betónu a ocele, ako i teplotného zmršťovania, môže aj v staticky určitom prvku vyvolať vznik napätí. Uvedené napätia môžu nadobúdať nezanedbateľné hodnoty, ktoré je potrebné zohľadniť pri jeho posudzovaní. Skúmaním meniacich sa vlastností betónu v dôsledku teplotných zmien prostredia sa zaoberal aj rozsiahly medzinárodný výskumný projekt PECO [1], na ktorom participovalo naše pracovisko. Cieľom výskumu bolo sledovať jednak vplyv teplôt na fyzikálno-mechanické vlastnosti troch druhov betónu, ktorý bol už použitý na výstavbu obálok jadrových elektrární (Penly, Mochovce, Temelín), ako aj vplyv teplôt a druhu kameniva na fyzikálno-mechanické vlastnosti betónu, ktorého zloženie betónovej zmesi bolo rovnaké. V spolupráci s Ústavom stavebníctva a architektúry v Bratislave bola uskutočnená analýza chemického zloženia kameniva a betónov počas zahrievania a sledovali sa chemické zmeny v betóne. Vlastnosti betónu, ktoré boli predmetom výskumného projektu, boli sledované do teploty 800 °C, pričom vzorky sa z vyšetrovanej teploty vždy ochladili. Cieľom experimentov s rôznym druhom kameniva bolo určenie vhodnosti použitia druhu kameniva v betóne, aby sa docielili najlepšie vlastnosti betónu a jeho možné použitie v obálkach jadrových elektrární. Z hľadiska objemových zmien sa ako najvhodnejší ukázal byť betón s použitím andezitového kameniva. Pri práci na projekte sa ukázala potreba výskumu v oblasti zvýšených teplôt, t. j. teplot do 250 °C, a to nie až po ochladení, ale pri aktuálnej teplote. To vyústilo do projektu VEGA [2], kde bol skúškam podrobený len betón s jedným druhom kameniva – andezitom. Všetky merania boli uskutočnené pri aktuálnej – vyšetrovanej teplote. Jednou z častí výskumného projektu bolo sledovanie vplyvu zvýšených teplôt na pretvorenia a napätosť železobetónových prvkov. V našom výskume sme sa za-

oberali problémom napätosti iba v pozdĺžnom smere, ktorý je dôležitejší, pretože pozdĺžne napätia sa sčítajú s napätiami od zaťaženia pôsobiacich na nosný prvok.

### Experimentálny program

Experimenty, počas ktorých sa sledovalo dĺžkové pretvorenie a moduly pružnosti pri rôznych teplotných hladinách, boli uskutočnené na sérii nevystužených a symetricky vystužených vzoriek – hranolov s rozmermi 100 x 100 x 400 mm. Výstuž z ocele 10 425 (V) bola umiestnená v ich rohoch.

Vplyv teploty na pozdĺžne pretvorenia sa skúmal na hranoloch rozdelených do skupín:

- 4 nevystužené hranoly,
- 4 vystužené hranoly, stupeň vystuženia 1,13 %,
- 4 vystužené hranoly, stupeň vystuženia 2,01 %,
- 4 vystužené hranoly, stupeň vystuženia 2,80 %.

Počet vzoriek bol limitovaný kapacitou použitej klimatizačnej jednotky. Dosiagnutá pevnosť betónu v tlaku na kockách s hranou 150 mm po 30 dňoch ošetrovania činila 54 MPa.

Po ukončení ošetrovania boli vzorky vystavené teplotnému zaťaženiu v klimatizačnej jednotke Feutron, a to v štyroch teplotných cykloch. Každý z nich predstavoval zahriatie na danú teplotu a jej pôsobenie 24 hodín, pričom úrovne teplotného zaťaženia boli 40, 60, 80 a 100 °C. Na každej z úrovní sa merali dĺžkové pretvorenia základní umiestnených na dvoch protiľahlých pozdĺžnych stranách vzoriek príložným deformometrom a boli vykonané skúšky modulu pružnosti betónu.

### Aproximačné funkcie modulu pružnosti a pomerného dĺžkového pretvorenia nevystužených vzoriek

K nameraným hodnotám modulov pružnosti a pretvorení nevystužených vzoriek sme hľadali aproximačné funkcie, ktoré sme využili pri odvodení vzťahov pre výpočet pomerných dĺžkových pretvorení a napätí železobetónových vzoriek v závislosti od teploty a stupňa vystuženia. Vzťah medzi modulom pružnosti a teplotou sa javil byť lineárny, preto sme použili aproximáciu

$$E_c(T) = cT + d, \quad (1)$$

$$E_c(T) = -0,175 T + 36,64. \quad (2)$$

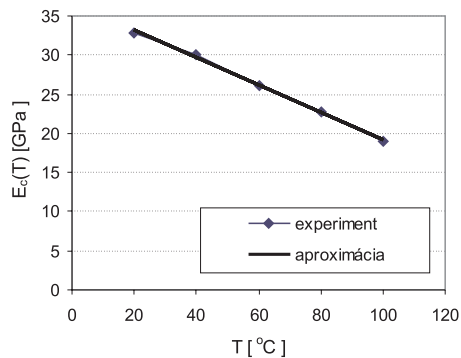
Na nevystužených hranoloch sme merali súčet dvoch zložiek dĺžkového pretvorenia, a to pretvorenie od teplotnej dĺžkovej rozťažnosti  $\varepsilon_{c,T}(T)$  a teplotného zmršťovania betónu  $\varepsilon_{c,sh}(T)$ . Celkové pomerné dĺžkové pretvorenie nevystužených vzoriek v závislosti od teploty  $\varepsilon_c(T)$  dobre popisoval polynóm druhého stupňa v celom sledovanom teplotnom rozsahu

$$\varepsilon_c(T)_{\text{teor}} = -4,6427 \cdot 10^{-5} T^2 + 1,29313 \cdot 10^{-2} T - 0,241397 [\%]. \quad (3)$$

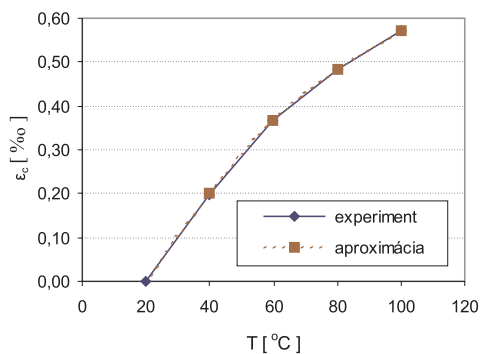
Grafy závislostí medzi modulom pružnosti  $E_c(T)$ , resp. celkovým pomerným dĺžkovým pretvorením  $\varepsilon_c(T)$  nevystuže-



ných hranolov a teplotou  $T$ , získané z experimentov priamym meraním na vzorkách a ich aproximované hodnoty, sú na obr. 1 a obr. 2.



Obr. 1. Modul pružnosti betónu



Obr. 2. Pomerné dĺžkové pretvorenie nevystužených vzoriek

### Súčiniteľ celkového dĺžkového pretvorenia

Pre účely odvodenia teoretických závislostí celkového dĺžkového pretvorenia, resp. ťahového napätia v betóne, od teploty a stupňa vystuženia sme zaviedli veličinu súčiniteľ celkového dĺžkového pretvorenia  $\alpha_c(T)$ . Deriváciou vzťahu (3) podľa  $T$  získame funkciu, ktorú nazveme dotyčnicový súčiniteľ celkového dĺžkového pretvorenia [5]

$$\alpha_c(T) = -9,2854 \cdot 10^{-5} T + 1,29313 \cdot 10^{-2} \quad (4)$$

Ovodená závislosť dotyčnicového súčiniteľa celkového dĺžkového pretvorenia je teda lineárnou funkciou teploty

$$\alpha_c(T) = a T + b \quad (5)$$

Rovnice (2) a (4) sú odvodené z intervalu nami sledovaných teplôt a len pre dané zloženie betónu.

### Pomerné dĺžkové pretvorenie železobetónových prvkov

Pri odvodení matematického vzťahu na výpočet výsledného pretvorenia vystužených prvkov v závislosti od teploty a stupňa vystuženia sme vychádzali z pružného pôsobenia materiálu a predpokladu dokonalej súdržnosti medzi betónom a výstužou. Zanedbali sme vplyv dotvarovania betónu od vyvolaných napätí, ako aj relaxáciu.

Modul pružnosti betónu a jeho súčiniteľ celkového dĺžkového pretvorenia sme považovali za závislé od teploty  $T$ , a to podľa vzťahov odvodených z výsledkov experimentu; pre oceľ sme materiálové charakteristiky považovali v rozsahu nami sledovaných teplôt za konštantné, opierajúc sa o poznatky uvedené v [3] a [4].

Výsledné pomerné dĺžkové pretvorenie  $\varepsilon_v(T_1, T_2)$  prvku – vzorky pri ohriatí z teploty  $T_1$  na  $T_2$  je dané integrálom

$$\varepsilon_v(T_1, T_2) = \int_{T_1}^{T_2} \left\{ \alpha_c(T) + [\alpha_{sT} - \alpha_c(T)] \cdot \frac{\rho \cdot n(T)}{\rho \cdot n(T) + 1} \right\} \cdot dT \quad (6)$$

Dosadením aproximačných funkcií a následnou integráciou dostávame

$$\varepsilon_v(T_1, T_2) = \Delta T \left[ (a T_m + b) - a \frac{\rho E_s}{c} \right] + \frac{\rho E_s}{c} (\alpha_{sT} - b + a \frac{\rho E_s + d}{c}) \cdot \ln \left( \frac{T_2 + \frac{\rho E_s + d}{c}}{T_1 + \frac{\rho E_s + d}{c}} \right) \quad (7)$$

$$\ln \left( \frac{T_2 + \frac{\rho E_s + d}{c}}{T_1 + \frac{\rho E_s + d}{c}} \right) \quad (7)$$

Pre napätie v teplotnom intervale  $(T_1, T_2)$  vyvolané silovými účinkami výstuže platí

$$\sigma_c(T_1, T_2) = \int_{T_1}^{T_2} \left\{ [\alpha_{sT} - \alpha_c(T_m)] \cdot \frac{\rho \cdot n(T)}{\rho \cdot n(T) + 1} \right\} \cdot dT \quad (8)$$

Integrovaním (8) s použitím vety o strednej hodnote

$$\sigma_c(T_1, T_2) = (T_1 - T_2) \cdot [\alpha_{sT} - (a \cdot T_m - b)] \cdot \frac{\rho \cdot E_s}{\rho \cdot \frac{E_s}{E_c(T)} + 1} \quad (9)$$

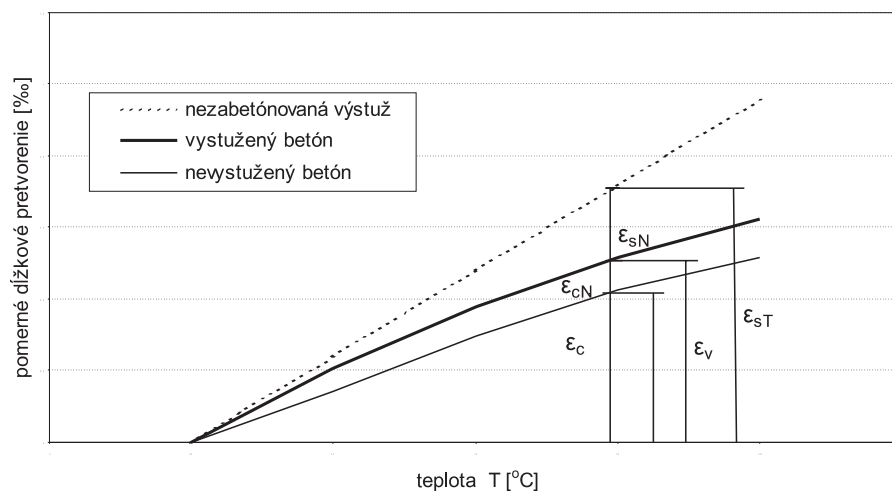
Význam ďalších veličín vo vzťahoch (6) až (9):

- $A_s, A_c$  – prierezové plochy ocele a betónu,
- $\rho = A_s / A_c$  – stupeň vystuženia prierezu,
- $E_s$  – modul pružnosti ocele,
- $n = E_s / E_c$  – pracovný súčiniteľ ocele,
- $T_m = (T_1 + T_2) / 2$  – stredná teplota.

Zistili sme, že do 60 °C sú experimentálne a teoretické hodnoty pomerného dĺžkového pretvorenia vypočítané pomocou vzťahu (7) prakticky zhodné, a to pre každý stupeň vystuženia prierezu. Nad touto teplotou sa rozdiel medzi experimentálnymi a teoretickými hodnotami zväčšuje a je tým väčší, čím sú teplota i stupeň vystuženia vyššie. Experimentálne hodnoty pretvorenia dosahujú vyššie hodnoty pri menšom ťahovom napätí ako hodnoty získané teoretickým výpočtom. Príčinou týchto rozdielov môže byť zanedbanie vplyvu teplotného dotvarovania, prípadne u najvyššieho stupňa vystuženia mohla byť vnútorná štruktúra betónu narušená významnými ťahovými napätiami (trhliny). Podrobné odvodenie vzťahov (6) až (9) je uvedené v [5].

### Pracovné diagramy železobetónových vzoriek v ťahu

Pre jednotlivé stupne vystuženia a sledované teplotné hladiny sme zobrazili závislosť medzi vynúteným pomerným



Obr. 3. Východisková schéma pre tvorbu pracovného diagramu železobetónových vzoriek v ťahu

$\varepsilon_c$  – hodnota pomerného dĺžkového pretvorenia nevystuženého hranola vplyvom teploty,  $\varepsilon_v$  – hodnota pomerného dĺžkového pretvorenia vystuženého hranola vplyvom teploty,  $\varepsilon_{sT}$  – hodnota pomerného dĺžkového pretvorenia nezabetónovanej výstuže vplyvom teploty,  $\varepsilon_{cN}$  – hodnota vynúteného pomerného dĺžkového pretvorenia betónu vplyvom výstuže,  $\varepsilon_{sN}$  – hodnota zadržanej pomernej dĺžkovej deformácie výstuže

dĺžkovým pretvorením  $\varepsilon_{cN}$  od silových účinkov výstuže a ťahovým napätím v betóne  $\sigma_c$ . Je to vlastne časť pracovného diagramu železobetónových vzoriek v ťahu, pri tvorbe ktorého sme vychádzali z úvah zrejmych z obr. 3. Je zjavné, že pre  $\varepsilon_{cN}$  a  $\varepsilon_{sN}$  platí

$$\varepsilon_{cN} = \varepsilon_v - \varepsilon_c, \quad (10)$$

$$\varepsilon_{sN} = \varepsilon_{sT} - \varepsilon_v. \quad (11)$$

Hodnoty  $\varepsilon_c$  a  $\varepsilon_v$  sme získali priamymi meraniami na vzorkách,  $\varepsilon_{sT}$  výpočtom podľa vzťahu platného pre dĺžkovú zmenu v dôsledku teplotnej dĺžkovej rozťažnosti  $\varepsilon_{sT} = \alpha_{sT} \cdot \Delta T$ , kde  $\alpha_{sT}$  je súčiniteľ teplotnej dĺžkovej rozťažnosti ocele; v teplotnom rozsahu 20–100 °C má konštantnú hodnotu  $12 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

V pracovnom diagrame železobetónových vzoriek vytvorenem na základe experimentu bolo napätie  $\sigma_c$  vypočítané pomocou napätia vo výstuži (pretože v teplotnom rozsahu 20–100 °C je modul pružnosti výstuže konštantný a platí Hookov zákon), pričom sme vychádzali z rovnováhy síl v betóne a výstuži.

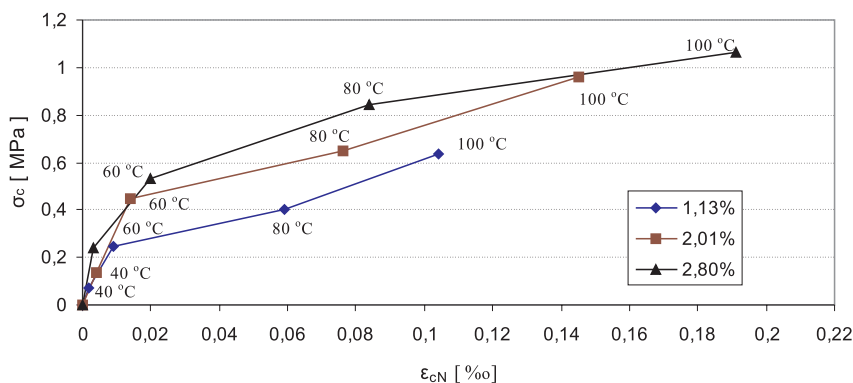
$$\sigma_c = \varepsilon_{sN} \cdot E_s \cdot \rho, \quad \text{kde } \rho = A_s/A_c. \quad (12)$$

Modul pružnosti betónu je možné vyjadriť aj nasledovne

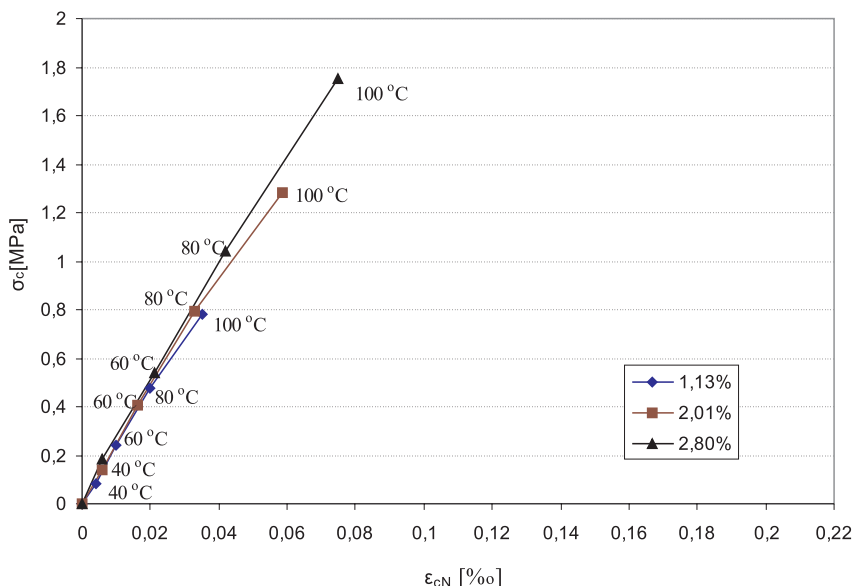
$$E_c = \sigma_c / \varepsilon_{cN}. \quad (13)$$

Na základe vyššie uvedeného sme zostrojili pracovný diagram železobetónových vzoriek v ťahu (závislosť  $\sigma_c - \varepsilon_{cN}$ ), a to pre jednotlivé stupne vystuženia a sledované teplotné úrovne. Na obrázku 4 je pracovný diagram vzoriek v ťahu zodpovedajúci hodnotám pretvorenia  $\varepsilon_{cN}$  a napätí  $\sigma_c$  získaných z experimentu. Nad 60 °C dochádza k výraznému nárastu pretvorenia pri pomalšom náraste napätí. Bodom pracovného diagramu železobetónových vzoriek v ťahu, prislúchajúcim danej teplotnej hladine, zodpovedajú rôzne hodnoty modulu pružnosti betónu, pretože, ako už bolo popísané vyššie, so zvyšovaním teploty sa jeho veľkosť lineárne znižuje. Takto zostrojený pracovný diagram železobetónových vzoriek v ťahu vypovedá o degradácii betónu počas ohrievania.

Pre porovnanie uvádzame pracovný diagram železobetónových vzoriek v ťahu pre tri stupne vystuženia, ktorý zodpovedá pomerným dĺžkovým pretvoreniam  $\varepsilon_{cN}$  a ťahovým napätiam  $\sigma_c$  v betóne vyplývajúcim z nami odvodených vzťahov (obr. 5). Pri výpočte pretvorenia  $\varepsilon_{cN}$  a napätí  $\sigma_c$  sme vychádzali z pružného stavu, a teda z platnosti Hookovho zákona. Mierne zakrivenie súvisí so znižovaním modulu pruž-



Obr. 4. Závislosť medzi pomerným dĺžkovým pretvorením  $\varepsilon_{cN}$  a ťahovým napätím v betóne  $\sigma_c$  (pracovný diagram železobetónových vzoriek v ťahu) pre tri stupne vystuženia – experiment



Obr. 5. Závislosť medzi pomerným dĺžkovým pretvorením  $\varepsilon_{cN}$  a ťahovým napätím v betóne  $\sigma_c$  (pracovný diagram železobetónových vzoriek v ťahu) pre tri stupne vystuženia – teória

nosti betónu počas ohrievania, pričom pre vyšetovaný teplotný interval je závislosť modulu pružnosti od teploty lineárna, v dôsledku čoho už funkčný vzťah medzi pretvorením a napätím lineárny nie je.

Z porovnania pracovných diagramov železobetónových vzoriek v ťahu získaných z experimentu a získaných výpočtom podľa vytvoreného výpočtového modelu vyplýva, že do 60 °C sú hodnoty pretvorenia  $\varepsilon_{cN}$  a napätí  $\sigma_c$  takmer zhodné, a to pre všetky sledované stupne vystuženia. Nad touto teplotou vznikajú rozdiely a je zrejme, že dochádza k odklonu pracovného diagramu získaného z experimentu od pracovného diagramu vyplývajúceho z teoretického výpočtu. Nad touto teplotou dáva teoretický výpočet menšie pomerné dĺžkové pretvorenie  $\varepsilon_{cN}$  pri vyšších ťahových napätiach  $\sigma_c$  ako experiment. Možnou príčinou rozdielov mohlo byť zanedbanie krátkodobého teplotného dotvarovania betónu od vynútených napätí spôsobených teplotným zmršťovaním betónu a ocele. Spomínané zanedbanie teplotného dotvarovania bolo v súlade s STN 73 1230 [4], ktorá uvažuje len teplotné dotvarovanie od dlhodobého pôsobenia zvýšených a vyšších teplôt a uvádza základnú hodnotu súčiniteľa teplotného dotvarovania pre 50, 70, 100 °C a vyššie teploty. Tieto súčinitele sa používajú potom vo vzťahoch pre výpočet pomerného pretvorenia vplyvom dotvarovania uvedených v čl. 2.1.6 STN 73 1201 [8]. Vypočítané pretvorenie od teplotného dotvarovania pri teplotách 80 a 100 °C pre hutný a žiaruvzdorný betón s andezitovým kamenivom podľa uvedených noriem obsahuje tab. 1.

Tab. 1. Pretvorenie vplyvom teplotného dotvarovania

T [°C]	$\varepsilon_{c,cr}$ [%]		
	$\rho = 1,13 \%$	$\rho = 2,01 \%$	$\rho = 2,80 \%$
80	0,002	0,004	0,008
100	0,004	0,008	0,010

Je evidentné, že v súlade s citovanými normami pomerné dĺžkové pretvorenie od krátkodobého dotvarovania dosahuje veľmi malé hodnoty.

V projekte PECO sa skúmal vplyv krátkodobého účinku teplôt (48 h) na dotvarovanie betónu v tlaku na vzorkách rovnakých rozmerov a z betónu s rovnakou receptúrou, aká bola použitá v našom experimentálnom programe. Pri tlaku 5 MPa boli zistené tieto hodnoty pomerného dĺžkového pretvorenia od teplotného dotvarovania:  $\varepsilon_{c,cr} = 0,163 \%$  pre  $T = 80 \text{ °C}$  a  $\varepsilon_{c,cr} = 0,425 \%$  pre  $T = 100 \text{ °C}$ . Je zrejme, že uvedené hodnoty aj pri krátkodobom účinku teplôt sú nezanedbateľné. Ak sa prikloníme k tvrdeniu niektorých autorov [6], že teplotné dotvarovanie v ťahu spočiatku narastá rýchlejšie ako v tlaku, oprávnené môžeme predpokladať, že tak tiež teplotné dotvarovanie vzoriek v ťahu pri zvýšených teplotách v trvaní 24 h je nezanedbateľné.

Okrem zanedbania teplotného dotvarovania betónu v ťahu spomínanými príčinami rozdielov v hodnotách pretvorenia a napätí dosiahnutých v rámci experimentu a vypočítaných podľa (7) a (9) by mohli byť rozdielne moduly pružnosti betónu v tlaku a v ťahu počas pôsobenia zvýšených teplôt, prípadne napätím indukovaná teplotná dĺžková rozťažnosť betónu. Všetky tri uvedené vplyvy (teplotné dotvarovanie betónu, rozdielne moduly pružnosti v tlaku a ťahu a napätím indukovaná teplotná dĺžková rozťažnosť betónu) môžu mať rôzny podiel na spomínaných rozdieloch, avšak ich kvantifikovanie by znamenalo rozsiahly a náročný experimentálny program. Skúsme ale hľadať cestu, ktorou by sme sa priblížili k hodnotám z experimentu pre teploty 80 a 100 °C. Za tým účelom prijímame zjednodušenia a predpokladáme, že rozdiel medzi teoretickými hodnotami a hodnotami pretvorenia z experimentu je spôsobený len teplotným dotvarovaním, a zároveň predpokladáme linearitu v dotvarovaní.

Keďže laboratórium, v ktorom sme realizovali experiment, nebolo vybavené potrebnou technikou pre vykonanie skúšok na teplotné dotvarovanie betónu v ťahu, súčiniteľ dotvarovania sme vyjadrili zo vzťahu platného pre efektívny modul pružnosti [7]. Predpokladali sme ďalej, že uvedená relácia platí aj pre vyjadrenie teplotného dotvarovania v ťahu. Hodnotu  $E_{ce}(T)$  sme pre teploty 80 a 100 °C určili na základe hodnôt pomerných dĺžkových pretvorení nevystužených a vystužených vzoriek získaných z experimentu a pomerných

dĺžkových pretvorení nezabetónovanej výstuže od pôsobiacej teploty, a to vyčíslením vzťahu (13). Potom pre súčiniteľ dotvarovania platí

$$\varphi(T) = \frac{E_c(T) - E_{cej}(T)}{E_{cej}(T)}, \quad (14)$$

kde  $\varphi(T)$  je súčiniteľ dotvarovania betónu, ktorý počas krátkodobého ohrevu považujeme za invariantný v čase;  $E_c(T)$  – modul pružnosti betónu pri danej teplote podľa vzťahu (2).

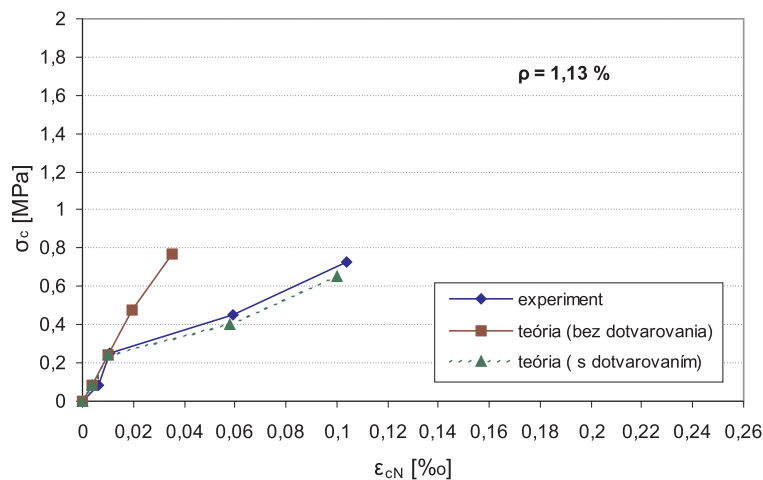
Pretvorenie od teplotného dotvarovania betónu  $\varepsilon_{cN,cr}$  vyjadruje vzťah

$$\varepsilon_{cN,cr} = \varphi(T) \cdot \varepsilon_{cN}. \quad (15)$$

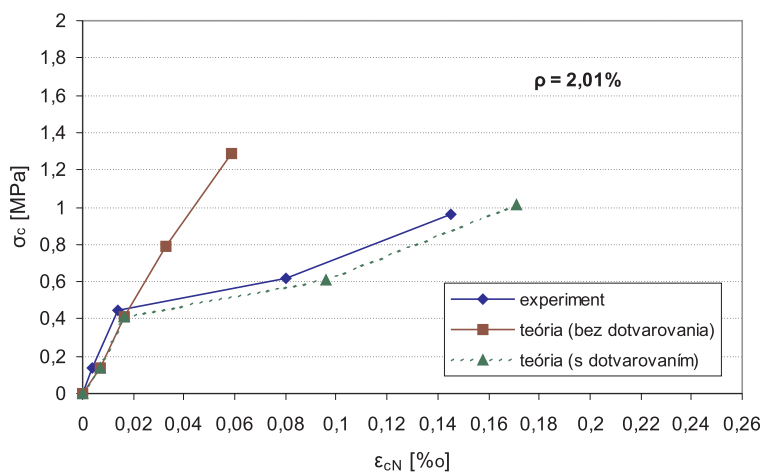
Pre teploty 80 a 100 °C superpozíciou pretvorení  $\varepsilon_{cN}$  a  $\varepsilon_{cN,cr}$  získame výsledné vynútené pomerné dĺžkové pretvorenie

$$\varepsilon_{cNv} = \varepsilon_{cN} + \varepsilon_{cN,cr}. \quad (16)$$

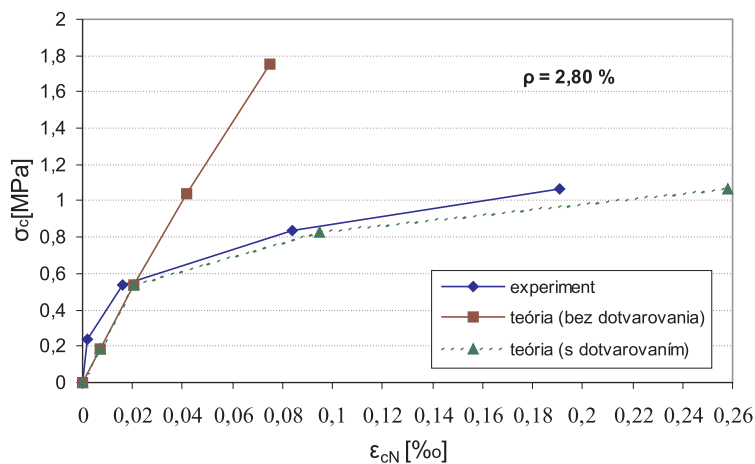
Vplyv dotvarovania betónu na ťahové napätia v betóne zohľadníme tak, že vo vzťahu (9) za  $E_c(T)$  dosadíme hodnoty  $E_{cej}(T)$  pri teplotách 80 a 100 °C.



Obr. 6. Pracovný diagram železobetónových vzoriek v ťahu,  $\rho = 1,13\%$



Obr. 7. Pracovný diagram železobetónových vzoriek v ťahu,  $\rho = 2,01\%$



Obr. 8. Pracovný diagram železobetónových vzoriek v ťahu,  $\rho = 2,80\%$

Na základe vyššie uvedených predpokladov teplotného dotvarovania pri  $T = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$  a výpočtov sme vytvorili pracovné diagramy vzoriek v ťahu pre sledované stupne vystuženia a porovnali ich s diagramami získanými z experimentu (obr. 6, obr. 7, obr. 8).

Ak sa vo výpočte vynúteného pomerného dĺžkového pretvorenia  $\varepsilon_{cN}$  a ťahového napätia v betóne  $\sigma_c$  zohľadní vplyv teplotného dotvarovania pri teplote 80 až  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , medzi pracovnými diagramami železobetónových vzoriek v ťahu, získanými z experimentu a z teoretického výpočtu, sú len malé odchýlky. Výraznejší rozdiel v pretvorení  $\varepsilon_{cN}$  je len u stupňa vystuženia 2,80 %, a to pri teplote  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; jeho hodnota činí 24 %. Pravdepodobnou príčinou uvedeného rozdielu by mohlo byť porušenie pevnosti betónu v ťahu. Len v dôsledku namáhania teplotou bolo vo vzorkách s najvyšším stupňom vystuženia dosiahnuté napätie 1,06 MPa. Uvedené napätie ešte zväčšujú vynútené napätia od zmrašťovania počas ošetrovania. Efektívny modul pružnosti betónu, ktorý sme použili vo výpočte súčiniteľa dotvarovania betónu v ťahu  $\varphi(T)$ , zrejme obsahoval aj vplyv trhlín, a teda vypočítaná hodnota súčiniteľa dotvarovania betónu v ťahu pre vzorky so stupňom vystuženia  $\rho = 2,80\text{ }%$  pri  $T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$  je zrejme nepresná.

### Efektívny modul pružnosti

Každá z kriviek vyššie uvedených pracovných diagramov (obr. 4, obr. 5) bola zostrojená pre daný stupeň vystuženia, ale pre rôzne teploty. Môžeme však postupovať aj ináč, napríklad vytvoriť pracovné diagramy železobetónových vzoriek pri danej teplote, pričom jednotlivé body každej z kriviek budú odpovedať pomernému dĺžkovému pretvoreniu  $\varepsilon_{cN}$  a napätiu  $\sigma_c$  vo vzorke pri danom stupni vystuženia. Zaťažovací režim je diktovaný množstvom prítomnej výstuže. Sklon takto zostrojeného pracovného diagramu by mal odpovedať modulu pružnosti. Ak by sme jednotlivé čiary aproximovali priamkou, potom sklon priamky reprezentuje hodnotu modulu pružnosti. Postupne s rastúcou teplotou sa znižuje sklon čiar pracovného diagramu, teda sa znižuje modul pružnosti. Z obrázkov 4 a 5 je evidentné, že sklon čiar pracovných diagramov železobetónových vzoriek v ťahu, vytvorených na základe experimentu, sa so zvyšovaním teploty nad  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  znižuje rýchlejšie ako sklon čiar pracovných diagramov získaných na základe teoretického výpočtu. Sklon čiar pracovných diagramov z teoretického výpočtu skutočne

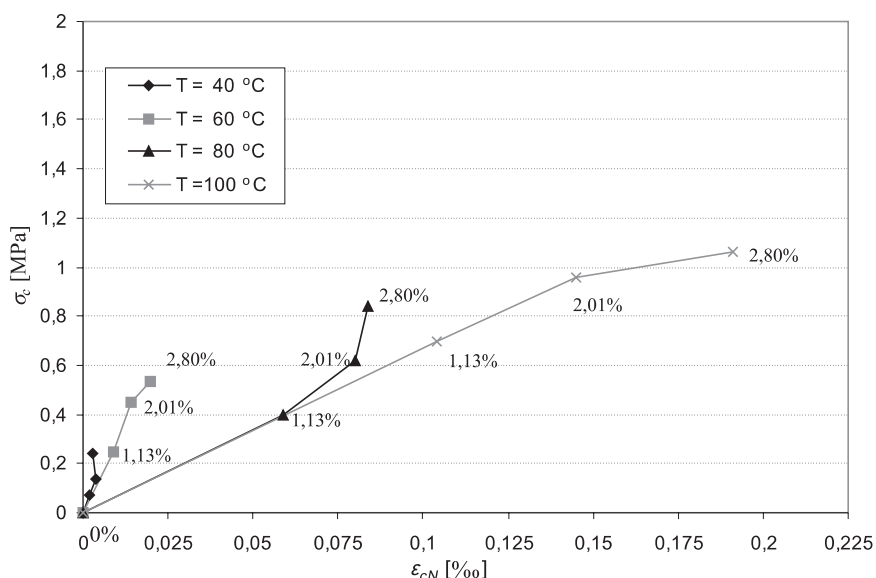
zodpovedá modulu pružnosti v celom sledovanom teplotnom rozsahu, naproti tomu znižovanie sklonu u experimentálnych čiar nad  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  nezodpovedá skutočnému poklesu modulu pružnosti, ale jedná sa, povedzme, o efektívny modul pružnosti, ktorý v sebe zahŕňa teplotné dotvarovanie, prípadne mikrotrhliny a makrotrhliny. Moduly pružnosti vypočítané pomocou vzťahu (13) vyjadrujú buď moduly pružnosti, ak za  $\sigma_c$  a  $\varepsilon_{cN}$  dosadíme hodnoty vyplývajúce z teoretického výpočtu, alebo efektívne moduly pružnosti, ak do uvedeného vzťahu dosadíme hodnoty vyplývajúce z experimentu pri teplotách 80 a  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  (pre hodnoty do  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  sa však bude jednať o moduly pružnosti).

### Závery

Teplotné zaťaženie železobetónových prvkov spôsobuje vznik napätí a pretvorení v betóne a oceli spôsobené rozdielnymi hodnotami súčiniteľov teplotnej rozťažnosti oboch materiálov, teplotným zmrašťovaním a teplotným dotvarovaním betónu, a to aj pri zvýšených teplotách do  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Je preto nezanedbateľným faktorom najmä pre ťahaný betón, kde ovplyvňuje genézu a rozvoj trhlín.

Z rozdielu teplotného pretvorenia voľnej ocelevej výstuže, nevystuženého a vystuženého betónu je možné, vďaka stabilnej hodnote modulu pružnosti ocele v tejto teplotnej oblasti, v železobetónovom prvku určiť dostatočne presnú hodnotu sily, resp. napätia v oceli a v betóne, a to využitím podmienky rovnosti síl v priereze (vo výstuži a v betóne) za predpokladu dokonalej súdržnosti medzi výstužou a betónom. Na základe ťahových napätí v betóne odpovedajúcich jednotlivým stupňom vystuženia, jednotlivým teplotným hladinám a nameraným pomerným pretvoreniami je možné zobraziť časť pracovného diagramu železobetónu v ťahu.

Vytvorený výpočtový model obsahuje (ako vstupné funkcie závislé od teploty) modul pružnosti betónu  $E_c(T)$  a súčiniteľ celkového dĺžkového pretvorenia  $\sigma_c(T)$ , ktorý tu zavádzame ako súčet skutočnej teplotnej rozťažnosti a teplotného zmrašťovania. Uvedené vstupné funkcie boli odvodené z meraní pri teplotách iba do  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , preto ich platnosť môže byť spoľahlivá len v tomto teplotnom intervale. Zároveň sme predpokladali, že pokiaľ sme v pružnej oblasti, modul pružnosti betónu v tlaku získaný uvedenými skúškami je platný aj v ťahu.



Obr. 9. Pracovné diagramy železobetónových vzoriek v ťahu vyplývajúce z experimentu pre  $T = \text{konšt.}$

Výpočty podľa spomínaného modelu s využitím odvodených vstupných funkcií dobre vystihujú procesy prebiehajúce pri ohrievaní do teploty 60 °C bez uváženia teplotného dotvarovania a nad teplotou 60 °C so zohľadnením vplyvu teplotného dotvarovania, ktorý, ako sa ukazuje, je nad uvedenou teplotou nezanedbateľný aj pri jej krátkodobom pôsobení. Z analýzy ťahových napätí (vlastných napätí) vyplýva, že ich hodnoty, najmä ak sa sčítajú s ťahovými napätiami od viazaného zmršťovania počas ošetrovania, môžu byť pri teplote 100 °C také vysoké, že sa v ich pracovnom diagrame pohybujú v oblasti jeho vrcholu, pričom môže byť dosiahnutá medza vzniku trhlin.

V súvislosti s experimentami a ich následným vyhodnotením, ako aj pri tvorbe výpočtového modelu sa ukázala potreba riešenia ďalších výskumných úloh. Je to predovšetkým otázka vzniku a priebehu teplotného zmršťovania, teplotnej rozťažnosti a teplotného dotvarovania betónu v ťahu. To si však vyžaduje náročné skúšky s rôznymi hodnotami nasýtenia betónu vodou v kapilárach – od dokonale vysušenej hmoty až po plne nasýtenú. Ďalej by bolo zrejme veľmi užitočné spresniť pracovný diagram betónu v ťahu na rôznych teplotných hladinách, čo by si žiadalo cieľavedomý experimentálny program, podstatne rozsiahlejší ako bol náš. Výskum by

bolo vhodné zamerať aj na účinky dlhodobého pôsobiacich zvýšených teplôt, ktoré sú v niektorých prevádzkach reálnejšie než ich krátkodobé účinky.

#### Literatúra

- [1] Jávora, T. a kol.: Diagnosis, Safety and Aging of Concrete Structures in NPPs, CEC/ PECO 93 Conclusion Report with the Main Results Obtained during the Period of 5.4.'94 – 5.4.'96, part: Influence of Temperature to the Concrete with Various Amount of Reinforcement.
- [2] Jávora, T. a kol.: Výskumný projekt VEGA-1/4172/97 MŠ, Záverečná správa.
- [3] Juhásová, E. - Hájek, J.: Namáhania betónových komínov a chladiacich veží pri dynamických účinkoch. Bratislava, Veda 1990.
- [4] STN 73 1230 Navrhovanie betónových konštrukcií pre zvýšené a vyššie teploty. ÚNM, 1990.
- [5] Šimková, S. – Priganc, S. – Fecko, L.: Napätosť vystuženého betónového prvku pri zvýšených teplotách. Stavební obzor, 14, 2005, č. 9, s. 274–278.
- [6] Hardened Concrete, Physical and Mechanical Aspects. ACI Monograph No. 6.
- [7] STN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhovanie betónových konštrukcií. Časť 1-1: Všeobecné pravidlá – Všeobecné pravidlá pre pozemné a inžinierske stavby.
- [8] STN 73 1201 Navrhovanie betónových konštrukcií.

#### Šimková, S.: Effect of Temperature up to 100 °C on Reinforced Concrete Elements

The experimental and theoretical dependence between relative length strain and tensile stress (a part of the stress-strain diagram in tension) of steel reinforced prisms which were induced by force effect of reinforcement at the temperatures up to 100 °C is the focus of the presented paper. Mathematical relations for calculating tensile stresses and resulting length strains of steel-reinforced concrete specimens in the dependence on temperature and ratio of reinforcement, derived by the authors, served as a basis of theoretical dependence. In the mentioned relations, approximating functions to the measured values of elasticity modulus and length strains of non-reinforced specimens were used.

#### Šimková, S.: Einfluss einer Temperatur bis 100 °C auf Stahlbetonelemente

Der Schwerpunkt des vorliegenden Artikels ist die experimentelle und theoretische Abhängigkeit zwischen einer erzwungenen Längenänderung und der Spannung von Stahlbetonelementen als Prüfkörpern, die durch die Kraftwirkungen der Bewehrung bei einer Temperaturbelastung bis zu 100 °C verursacht wurden. Grundlage für die theoretische Abhängigkeit waren die von uns abgeleiteten mathematischen Beziehungen für die Berechnung der Zugspannungen und der resultierenden Längenänderungen der Stahlbeton-Prüfkörper in Abhängigkeit von der Temperatur und dem Bewehrungsgrad. In den genannten Beziehungen wurden Approximationsfunktionen zu den gemessenen Werten des Elastizitätsmoduls und zu den relativen Längenänderungen unbewehrter Prüfkörper angewandt.

ÚTAM AV ČR, v. v. i., CIDEAS Praha, VŠB TU-Ostrava a Dům techniky Ostrava  
ve spolupráci  
s IA ČR, ČSSI a ČKAIT Ostrava  
pořádají

IX. konferenci

### **Spolehlivost konstrukcí**

8.– 9. dubna 2008

ÚTAM AV ČR, Praha

Předmětem příspěvků a diskuzí bude rozvoj pravděpodobnostního posudku spolehlivosti konstrukcí (metoda SBRA) a vytváření předpokladů k uplatnění „integrovaného projektování“ v budoucnosti.

**Příhlášky a vložené: Dům techniky Ostrava, K. Sommerová, tel.: 595 620 118**

# Tlumení energie za přelivy – hydraulický model VD Nyagak

*doc. Ing. Ladislav SATRAPA, CSc.*

*Ing. Martin KRÁLÍK, Ph. D.*

*Ing. Milan ZUKAL*

*ČVUT – Fakulta stavební*

*Praha*

Článek uvádí výsledky modelového výzkumu proudění vody za různého uspořádání svodů do dna údolí.

## Úvod

Pro využití energetického potenciálu vodního toku Nyagak v Ugandě byla navržena vodní elektrárna navazující na betonovou přehradu. Celkové řešení vodního díla (elektrárna, přehrada, šterková propust, přívod na elektrárnu a ostatní části) vychází z koncepcí používaných i v České republice. Vodní elektrárna bude využívat průtok a spád získaný jednak výstavbou přehrady, jednak derivací. Přehrada musí být navržena tak, aby splňovala bezpečnostní kritéria kladená na takové vodní dílo.

Jedním z kritérií je bezpečné převedení povodní pod přehradu a utlumení energie vody. Problematika účinného tlumení energie vody přepadající přes přeliv se zejména v národních soustavách s prostorovými jevy proudění efektivně řeší pomocí fyzikálního (hydraulického) modelování. Při předběžném návrhu se předpokládá svod vody pomocí příčných skluzů u vzdušní paty přehrady, které mají soustředit průtok do vývaru. Z různého sklonu údolních svahů vyplývá riziko nerovnoměrného namáhání vývaru. Podmínky proudění za různého uspořádání svodů vody do dna údolí byly předmětem modelového výzkumu v hydraulické laboratoři na Fakultě stavební ČVUT v Praze.

Při projektování VD Nyagak se v základních úvahách kromě způsobů využití vodní energie objevily i další problémy (převádění povodňových průtoků a sedimentů). Jednou z významných částí návrhu přehrady bylo bezpečné převádění povodňového průtoku pod přehradu. Na něm závisí bezpečnost celého vodního díla. Vzhledem k zásobování elektrickou energií oblastí Nebbi District je celé dílo třeba navrhnout tak, aby dodávka energie byla zabezpečena i za mimořádných situacích (povodně a sucha) a nebyla ohrožena přehrada a údolí pod ní.

Koncepce vodní elektrárny vychází z využití průtoků a spádu dané polohou, hydrologickými i dalšími místními podmínkami v Ugandě. Uplatnily se samozřejmě projekční a stavitelské znalosti z České republiky i z celého světa. Průtoky využívané vodní elektrárnou jsou dány základními hydrologickými charakteristikami. Spád získaný přehradou a derivací využívá vodní elektrárna téměř v plném rozsahu (pouze se odečítají ztráty proudění vody v přivaděči). Elektrárna je umístěna níže po toku a voda je přiváděna tlakovým přivaděčem, který má vtok v levé části betonového přehradního tělesa, vedle šterkové propusti.

Pro převádění povodně slouží bezpečnostní přeliv, který je koncipován jako nehrazený, čelní, s hydraulicky vhodně zaoblenou plochou, o třech přelivných polích. Pro ochranu

údolí pod přehradou i pro ochranu samotného tělesa přehrady je vhodné energii přepadající vody za bezpečnostním přelivem snížit na minimum. Na základě hydrotechnického výzkumu byl v projektu navržen tlumicí prostor u paty hráze. Jeho velikost byla optimalizována a dále byla navržena některá další opatření pro snížení energie vody při průchodu povodně přes přehradní těleso – prahy na dně svodu.

## Vodní dílo Nyagak

### Betonová gravitační přehrada

Betonová gravitační přehrada má max. výšku 14,6 m nade dnem řeky a délku v koruně 75,6 m. Výškovou polohu lze charakterizovat kótou koruny přehrady (1 445 m n. m.), koruna přelivu je o 2 m níže.

### Tlumicí prostor u vzdušní paty přehrady

Návrh tlumicího zařízení pod přehradou je možné opřít buď o standardní výpočty (hydraulika objektů), nebo o výsledky fyzikálního modelového výzkumu. Výpočetní metody nejsou pro tento řešený případ vhodné. Jde o prostorový problém střetávání proudů vody, a proto se přistoupilo na návrh tlumicího zařízení pomocí hydraulického modelu s variantami řešení tlumicích prvků.

Šířka tlumicího prostoru se zmenšuje ze šířky všech přelivných polí (3 x 11 m + 2 x 1 m dělicí pilíře) na šířku odpadního koryta (11 m), hloubka je 3,2 m. Šikmé svody jsou dlouhé 12 m a široké 2,5 až 6 m. Sklon pravého svodu je 1 : 2,86, sklon levého svodu 1 : 4,45. Různé sklony pravého a levého svodu jsou dány založením přehrady na rostlé skále.

První úvahy projektanta, týkající se tlumení energie vody pod přehradou, byly založeny na myšlence utlumení energie proudů směřujících proti sobě. Tyto proudy však mají rozdílnou energii vlivem nestejných sklonů vyplývajících ze založení bočních svodů. Proto tlumicí prostor i odpadní koryto jsou namáhány nesymetricky, a tak vzniká šroubovitě proudění vody, které nerovnoměrně namáhá odpadní koryto pod přehradou. Vložením disipačních prvků do tlumicího prostoru se energie vody může utlumit příznivěji (vlny vznikající u stěn tlumicího prostoru se sníží a pulsace vln zmenší).

## Hydraulický model

Model VD Nyagak (těleso hráze, terén v nádrži, nátok na elektrárnu, šterková propust, pilíře na přelivu, skluz, vývar, odpadní koryto a terén pod přehradou) byl navržen a vybudován v měřítku M – 1 : 20 (*obr. 1*). K tomuto měřítku jsme dospěli rozborem geometrických, tíhových, průtokových, časových a kvalitativních podmínek.

Výroba modelu byla koncipována jako stavebnicový systém, který je možné kdykoli jednoduše přeměnit na další variantu tlumení energie pod přelivy. Objektový model byl vytvořen z plastových dílů, jejichž jednoduchá montáž umožnila rychlou výrobu, přestavbu, měření a vyhodnocení. Pro



Obr. 1. Model VD Nyagak – celkový pohled na hráz, skluz, tlumicí prostor a odpadní koryto

projekt: Nyagak vodní elektrárna, projektant: Hydroprojekt CZ, záměr: malá vodní elektrárna, místo: řeka Nyagak blízko Paidha Village

přehledné vyhodnocení a prezentaci byl model barevně koncipován kontrastními odstíny barev. Jednotlivé varianty tlumicích prahů jsou tmavě zbarveny, což znamená nový stav nebo další variantu.

Návrhový průtok  $Q_{1000}$  byl zvolen podle zkušeností z České republiky, kontrolní povodeň  $Q_{10000}$ . Tyto průtoky a také průtoky menších povodní byly na modelu zkoušeny pro prověření výběhu a pulsace hladin v tlumicím prostoru. Ne vždy je návrhový průtok pro bezpečnostní přelivy návrhovým průtokem pro tlumicí zařízení za přelivy.

### Tlumicí prvky

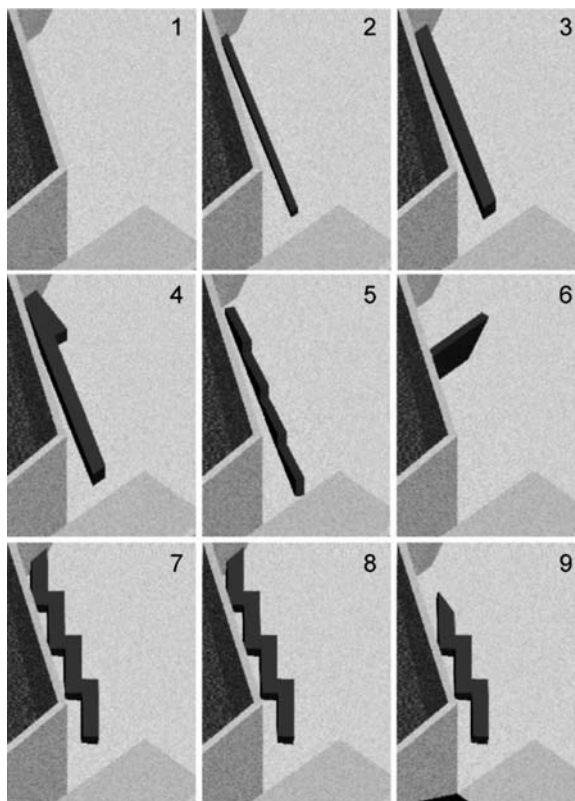
Varianta č. 1 byla odvozena na základě předpokladů, znalostí a zkušeností realizačního týmu na Katedře hydrotechniky FSv ČVUT. Jako základní byla tvořena vývarem a bočními svody. Následující varianty vycházely z prvního návrhu, a navíc byly uprostřed svodů umístěny tlumicí prahy různých tvarů a velikostí. Rychlé vyhodnocení pokusů bylo vyžadováno krátkou dobou danou na hydrotechnický výzkum a brzkým termínem výstavby samotného vodního díla. Celkem bylo vytvořeno devět variant (obr. 2), přičemž varianta č. 1 byla bez tlumicích prahů, varianta č. 6 s jedním příčným a jedním podélným prahem a všechny ostatní s podélnými tlumicími prahy v obou svodech.

Vyhodnocení jednotlivých variant bylo operativní a rychlé, každá další varianta vycházela ze zkušeností získaných z vyhodnocení předešlých variant. Před návrhem nové úpravy tlumicího prahu ve skluzu vždy proběhla odborná diskuze všech výzkumníků a na základě této porady byla vytvořena další varianta.

Další z komplikací řešených v rámci hydrotechnického výzkumu bylo nastavení dolní hladiny (za tlumicím zařízením). Při různých povodňových průtocích bylo proudění říční i bystřinné, a proto bylo nutné přizpůsobit výzkum těmto nedostatečně známým okrajovým podmínkám. Okrajová podmínka dolní vody závisela také na uspořádání dolní stavby a prahu za tlumicím prostorem, proto poslední dvě varianty zohledňovaly i tuto skutečnost. Nastavení dolní hladiny bylo spojeno i s možností či nemožností odstranění vyčnívající skály v korytě pod přehradou.

### Nejúčinnější tlumení energie

Do prostoru osy svodu od levého a pravého přelivného pole byly umístěny stěny stupňovitě zalomené, o výšce 1 m. Stěna na levém svodu se skládala ze čtyř stupňů rozměru



Obr. 2. Varianty výzkumu

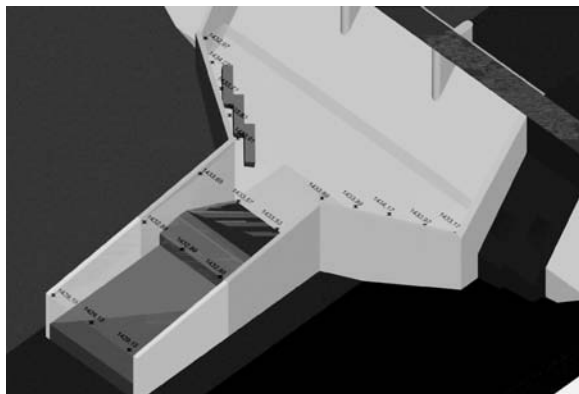
1 – bez prahů, 2 – práh 0,5 x 0,5 m, 3 – práh 1 x 1 m, 4 – práh 1 x 1 m s rozrážecem, 5 – podélné schody, 6 – příčná stěna, 7 – zalomené stěny, 8 – zalomené stěny a přepad přes ostrou hranu do koryta, 9 – krátké zalomené stěny a krátký tlumicí prostor

1 x 4 m (s přesahem 1 m). Stěna na pravém svodu se skládala ze tří stupňů 1 x 4 m (s přesahem 1 m). Délka navrženého prostoru pro tlumení energie byla 13 m od paty přehradního bloku. Nastavení dolní vody bylo pomocí přepadu vody za prahem tlumení energie vody. Při velkých povodňových průtocích docházelo k úspěšnému tlumení energie vody bez velkých pulsací hladiny. Při nízkých povodňových průtocích docházelo v pravém svodu k vlně, která viditelně převyšovala okolní hladinu, nicméně nebyla výše než hladina vody při vyšších průtocích. Tato varianta je velice příznivá z hlediska tlumení energie vody za přelivy (obr. 3, obr. 4).



Obr. 3. Vyhodnocení varianty č. 9 při návrhovém průtoku  $Q_{1000}$





Obr. 4. Pohled do tlumicího prostoru pod přehradou u varianty č. 9 při návrhovém průtoku  $Q_{1\,000}$

### Optimální varianty

Po vyhodnocení všech devíti variant tlumení energie vody a při porovnání výsledků hydraulického modelování vychází nejlepší varianta č. 9. Tato varianta je charakterizována podélnými prahy v ose bočních svodů. Ve svodu pod pravým přelivem byl do osy svodu umístěn práh se třemi zalomenými částmi a s příčným profilem 1 x 1 m. Ve svodu pod levým přelivem byl do osy svodu umístěn práh se čtyřmi zalomenými částmi a s příčným profilem 1 x 1 m. Tlumení energie v tlumicím prostoru i v prostorech svodů bylo nejlepší, nicméně poznámka projektanta ohledně pracnosti výrobky se zdá být opodstatněná. Proto bylo vhodné udělat optimalizační výběr nejvhodnější varianty řešení.

Další vhodnou variantou pro tlumení energie vody i z hlediska pracnosti výroby tlumicích prahů byla varianta č. 3. Je podobná variantě č. 9 s tím rozdílem, že prahy jsou rovné a v celé délce bočních svodů. Prah s příčným profilem o rozměrech 1 x 1 m a rovnými stěnami je vhodný i z hlediska pracnosti výroby. Menší nedostatek varianty č. 3 byl vyhodnocen v pravém svodu, kdy hladina uprostřed svodu je více rozbouraná a pulzující, nicméně bezpečnost a funkčnost celého tlumicího prostoru není omezena ani ovlivněna.

Při návrhu a posouzení jednotlivých variant tlumení energie vody za přelivy je zapotřebí dbát nejen na hydraulické podmínky proudění vody, ale i na ostatní podmínky zahrnující v sobě návrh konstrukce, pracnost a trvanlivost betonových prahů. Provozní podmínky jednotlivých návrhů bylo třeba zkoumat nejen při návrhovém průtoku  $Q_{1\,000}$  a při kontrolním průtoku  $Q_{10\,000}$ , ale i při nižších povodňových průtocích a také při běžných průtocích vody. Pracnost výroby betonové konstrukce je menší, pokud se v konstrukci neobjevují zkosené a zaoblené hrany nebo pokud je možné pro prvek jednoduše vytvořit bednění. Trvanlivost jednotlivých dílů závisí na statickém a dynamickém zatížení, na výběru vhodného materiálu, na vyztužení namáhaných částí konstrukce (v případě prahů – vyztužení drátkobetonem) a na kvalitě provedených prací.

### Závěr

Návrh tlumení energie za přelivy na vodním díle Nyagak je náročný vzhledem k prostorovému uspořádání bezpečnostního přelivu, skluzu, svodu, tlumicího prostoru a odpadního koryta. Nejednoznačné vstupní podmínky dolní vody ztěžují celý návrh a posouzení tlumení energie vody. Nejsi-

toty přenesené do hydrotechnického výzkumu se mohou negativně projevit v návrhu a posouzení vodního díla, a proto je nutné vyzkoušet na modelu všechny možné varianty nepřesných vstupních dat. Netradiční návrh tlumicího prostoru nebyl v České republice dosud použit, nicméně vychází ze zkušeností získaných hydraulickým výzkumem.

Provedený výzkum prakticky ve všech variantách prokázal velmi dobrý tlumicí účinek protisměrných proudů. Na výstupu do koryta je průtok rovnoměrně rozdělený na celou šířku průřezu bez výrazných prostorových jevů. S ohledem na velkou výstupní rychlost proudění je nezbytné velmi kvalitní opevnění koryta za výstupním prahem tlumicího prostoru.

Z provedených experimentů je možno vyvodit závěr, že neúčinnější utlumení energie přepadající vody zajistí úprava se zazubenými prahy ve dně v ose bočních svodů (viz varianta č. 9). Pokud by bylo možné pravobřežní svod více zahloubit, např. o 1 m proti návrhu s mírnějším sklonem dna a větší hloubkou výše na svahu, dosáhlo by se dalšího zmírnění prostorových jevů na hladině.

Jako vyhovující řešení je možno doporučit i uspořádání s prizmatickým prahem 1 x 1 m v ose bočních svodů. V tomto případě však dochází k větším pulsacím hladiny v porovnání s nejvýhodnější variantou č. 9.

**Článek vznikl za podpory výzkumného záměru MSM č. 6840770002 „Revitalizace vodního systému krajiny a měst zatíženého významnými antropogenními změnami“.**

### Literatura

- [1] Kolář, V. – Patočka, C. – Bém, J.: *Hydraulika*. Praha, SNTL/Alfa 1973.
- [2] Havlík, V. – Marešová, I.: *Hydraulika (příklady)*. Praha, ČVUT 1990.
- [3] Čábelka, J. – Gabriel, P.: *Matematické a fyzikální modelování v hydrotechnice*. Praha, Academia 1987.
- [4] Projektová dokumentace pro stavební povolení VD Nyagak. Hydroprojekt CZ, 2007.

**Satrapa, L. – Králík, M. – Zukal, M.: Energy Damping beyond Spill Ways – Hydraulic Model of Nyagak Water Structure**

**This paper presents results of a model examination of water flow in conditions of different arrangements of water drainages into the bottom of the valley.**

**Satrapa, L. – Králík, M. – Zukal, M.: Drosselung der Energie für Überläufe – hydraulisches Modell des Wasserkraftwerks Nyagak**

**Der Artikel führt die Ergebnisse einer Modelluntersuchung der Wasserströmung bei verschiedener Anordnung der Abläufe in den Talgrund an.**

# Činitele určující funkci ventilačního systému

prof. Ing. Miloslav JOKL, DrSc.

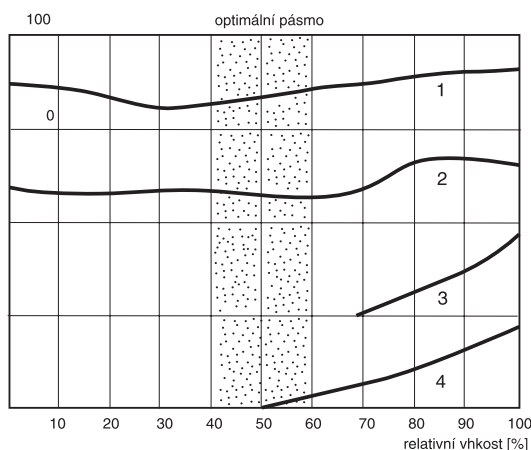
Ing. Daniel ŠEBESTA

ČVUT – Fakulta stavební  
Praha

Účelem článku je seznámit čtenáře s novými poznatky, jež determinují funkci ventilačního systému a jsou rozhodující pro jeho návrh a dimenzování.

## Tepelně vlhkostní mikroklima

U tepelně vlhkostního mikroklimatu jde o dvě složky – teplotu a relativní vlhkost vzduchu, přičemž relativní vlhkost nelze upravovat samostatně, ale pouze jako důsledek úpravy teploty vzduchu. Pro samostatnou úpravu relativní vlhkosti vzduchu při respektování jeho teploty by bylo nezbytné vlhčení a odvlhčování, což je již ovšem úkolem pro klimatizaci. Nezáleží-li na teplotě, pak lze snížit relativní vlhkost na téměř jakoukoli hodnotu. Obvykle je to hodnota pod 60 % s ohledem na tvorbu plísní a likvidaci roztočů (obr. 1).



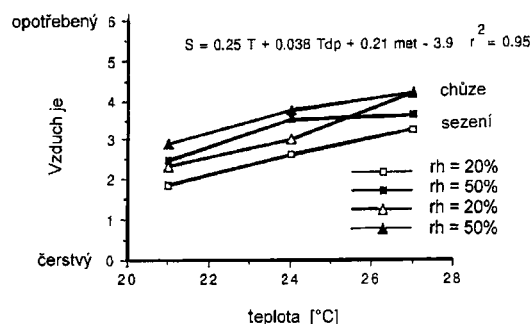
Obr. 1. Přežívající organizmy v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu

1 – stafylococcus, 2 – adenovirus, 3 – plísně, 4 – roztoči

Avšak ani teplota vzduchu není hlavním předmětem větrání, obvykle je to důsledek optimalizace oděrového mikroklimatu. V zimě je hlavním činitelem úpravy teploty vzduchu vytápění, v létě chlazení, tj. opět klimatizace. Je však pozoruhodné, že teplotou vzduchu lze ovlivnit i vnímání jeho kvality, tj. oděrového mikroklimatu. Při poslední návštěvě na Katedře technických zařízení budov Fakulty stavební ČVUT prof. Fanger z Denmark Univerzity of Technology prezentoval zajímavý výsledek jedné ze svých prací [7] – přívodem vzduchu do interiéru o 3 °C chladnějším se vytváří vjem přívodu zcela čistého vzduchu. K obdobným závěrům dospěli Berglund a Cain [3]. Zjistili, že dokonce v čistém vzduchu bez oděrů pocit svěžesti vzduchu klesá s růstem vlhkosti a teploty. Čistý vlhký vzduch byl posuzován jako méně svěží suchý vzduch (obr. 2).

Vliv vlhkosti na vnímání svěžesti vzduchu je však menší než vliv teploty vzduchu. V průměru změna teploty vzduchu

o 1 °C má stejný účinek jako změna rosného bodu o 6 °C. Je zřejmé, že čistý vzduch v dobře větrané místnosti může být vnímán různě, v závislosti na teplotě a vlhkosti. Croome se spolupracovníky [5] zkoumal vliv otevření oken a dveří, tj. výměny vzduchu, na vnímání jeho svěžesti. Zjistil, stejně jako předtím Rodahl [12], že vliv množství venkovního vzduchu vstupujícího do interiéru na pocit svěžesti vzduchu není význačný, resp. měl vliv pouze tehdy, jestliže jeho teplota byla menší než neutrální teplota, tj. optimální teplota korespondující aktivitě člověka. Je zajímavé, že již dříve [2] poukázal na skutečnost, že chladný vzduch v místnosti subjekty považovaly za čerstvý a vzduch v přetopené místnosti za těžký. Také rychlost proudění vzduchu měla pozitivní vliv na pocit jeho svěžesti – vzduch přiváděný okny (vyšší rychlostí) byl vnímán jako svěžeji než přiváděný dveřmi (nižší rychlostí) při téže teplotě.



Obr. 2. POCIT SVĚŽÍHO (ČERSTVÉHO) AŽ TĚŽKÉHO (OPOTŘEBOVANÉHO) VZDUCHU BĚHEM NEPŘETRŽITÉHO SEZENÍ NEBO CHŮZE [3]

## Oděrové mikroklima

Po udělení Nobelovy ceny za fyziologii a medicínu Buckovému a Axelovi za objev receptorů oděrové složky prostředí v roce 2004 se dostává této složce zvýšené pozornosti, i když předtím stejným způsobem zapůsobila práce Herzova o Proustově fenoménu [8]. Z publikovaných prací je zřejmé, že oděry mají v životě člověka větší význam, než se dosud předpokládalo.

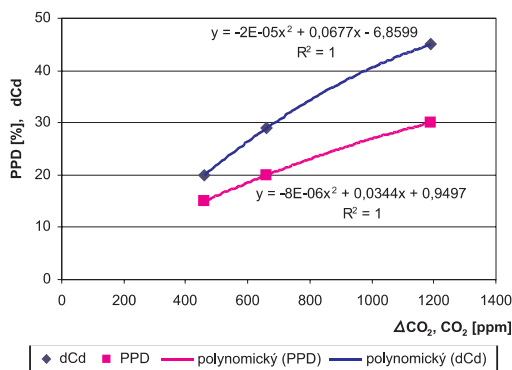
V evropském měřítku se snaží hned dva standardy o kategorizaci vnitřního prostředí na základě oděrového mikroklimatu. Prvním je ČSN EN 13779 Větrání obytných prostor – Základní požadavky na větrací a klimatizační zařízení [6], druhým CEN CR 1752 Ventilation for Buildings [4]. Obě normy volí za základní kritérium koncentraci oxidu uhličitého v interiéru, resp. její zvýšení nad koncentrací ve venkovním vzduchu. Na základě tohoto kritéria zavádějí dvojí klasifikaci interiéru – v prvním případě kategorie IDA1 až IDA4 (kvalita vzduchu vysoká, střední, mírná a nízká), ve druhém případě kategorie A, B, C s podílem nespokojených osob PPD 15, 20 a 30 % (tab. 1). Podíl nespokojených osob PPD lze stanovit i pro všechny kategorie IDA, a rovněž tak vypočítat hladinu oděrového mikroklimatu v decidérech (dCd) [9]. Obě mají analogický průběh s obdobnými funkcemi, přičemž dCd reaguje citlivěji na zhoršující se kvalitu vzdu-

Tab. 1. Klasifikace kvality vnitřního vzduchu (upraveno podle ČSN EN 13 779 a CR 1752)

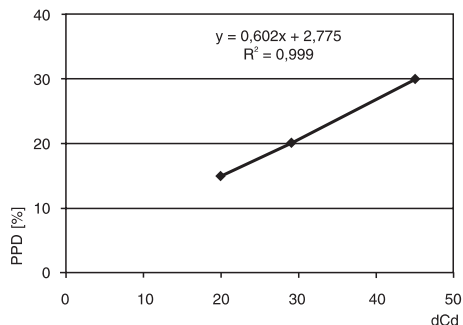
ČSN EN 13 779					PPD [%]	CR 1752			
kategorie	kvalita vzduchu	CO <sub>2</sub> nad vzduchem venku [ppm]	CO <sub>2</sub> v interiéru* [dCd]	venkovní [m <sup>3</sup> /h. p]		kategorie	CO <sub>2</sub> nad vzduchem venku [ppm]	CO <sub>2</sub> v interiéru* [dCd]	venkovní [m <sup>3</sup> /h. p]
IDA 1	vysoká (high)	≤ 400	≤ 17	> 54	10	–	–	–	–
IDA 2	střední (medium)	400–600	17–26	36–54	15	A	460	20	36
IDA 3	mírná (moderate)	600–1 000	26–40	22–36	20	B	660	29	25**
IDA 4	nízká (low)	> 1 000	> 40	< 22	30	C	1 190	45	14

\* pro venkovní vzduch 350 ppm, \*\* klasický normativ Pettenkoferův

chu. Jejich hodnoty jsou srovnatelné s decibely pro hluk (obr. 3). Vzájemná závislost je patrná z obr. 4. Je zřejmé, že oba standardy vycházejí z klasického normativu Pettenkoferova 1 000 ppm v interiéru s korespondujícím množstvím venkovního vzduchu 25 m<sup>3</sup>/h. p a přípouštějí jednak vzduch horší (IDA4, kategorie C), jednak lepší kvality (IDA1, IDA2 a kategorie A). Vždy jde o sedící subjekt (1,2 met) a o administrativní nebytové prostory. Je tudíž otázkou, do jaké míry je lze aplikovat na bytové prostory.



Obr. 3. Porovnání průběhu hodnot PPD a dCd v závislosti na rozdílu koncentrace CO<sub>2</sub> uvnitř a venku (PPD), resp. koncentrace CO<sub>2</sub> v interiéru (dCd)



Obr. 4. Závislost mezi hodnotami PPD a dCd

Vzhledem k tomu, že na tvorbě obou standardů se podíleli pracovníci z Dánska (zvláště z Technical University of Denmark), je zajímavé, co udávají dánské standardy a jaké nové hodnoty jsou pro ně navrhovány.

Dánský standard předepisuje konstantní nepřetržitě nucené odsávání z kuchyně 20 l/s (72 m<sup>3</sup>/h) a 15 l/s (54 m<sup>3</sup>/h) z koupelny. Navrhováno je nucené větrání automaticky ovládané spínačem při dosažení 45 % relativní vlhkosti vzduchu, přičemž se předepisuje pro koupelnu základní ventilace 10 l/s (36 m<sup>3</sup>/h) a zvýšená 20 l/s (72 m<sup>3</sup>/h), pro kuchyň základní 10 l/s (36 m<sup>3</sup>/h) a zvýšená 50 l/s (180 m<sup>3</sup>/h) s přívodem vzduchu do ložnice a obývacího pokoje. Experimentálně bylo ověřeno [1], že při dodržení těchto podmínek v koupelně a kuchyni nepřekročila relativní vlhkost vzduchu 45 % a CO<sub>2</sub> 1 200 ppm (odpovídá kategorii C), v obývacím pokoji 1 000 ppm (odpovídá kategorii B). Je tedy zřejmé, že dánský standard pro dosažení energetických úspor se nerozpakuje počítat s kvalitou vnitřního vzduchu nejen v kat. B, ale i v kat. C. V posluchárnách a administrativních budovách se však dosud senzory CO<sub>2</sub> nastavují na 600 ppm.

Na obě normy reagovala pohotově firma J. Dittrich Electronic, jež nabídla na trh senzor kvality vzduchu (obr. 5).



Obr. 5. Senzor kvality vzduchu (J. Dittrich Electronic)

Dobrou kvalitu vzduchu do 1 500 ppm signalizuje zelené světlo, 1 500–2 500 ppm CO<sub>2</sub> žluté světlo a nad 2 500 ppm červené světlo. Z tohoto příkladu je zřejmé, že standardy by měly vycházet ze skutečné koncentrace CO<sub>2</sub> v interiéru, nikoli z jeho rozdílu vůči venkovní koncentraci.

## Diskuze a závěr

Faktory určujícími funkci ventilačního zařízení jsou tepelně vlhkostní, a především oděrové mikroklima. V odborné literatuře i v nových standardech Evropské unie jsou však zřejmé určité rozpaky při stanovení přípustných hodnot, nesporně způsobené mimořádným tlakem v rámci snah o ener-

getické úspory. To je také zřejmě důvod, proč se normativní hodnoty stále vracejí ke klasické hodnotě Pettenkoferově 1 000 ppm a 25 m<sup>3</sup>/h. p, i když v bytových prostorech se nerozpakují připustit 1 200 ppm. Snahou by mělo být inteligentnější řízení ventilačních zařízení, jež by umožnilo kopírovat změny koncentrace CO<sub>2</sub> změnami výkonu větrání, a tím dosahovat energetických úspor.

#### Literatura

- [1] Afshari, A. – Bergsoe, N. C.: Humidity as a Control Parameter for Ventilation. *Indoor and Built Environment* 2003, 12: 215–216.
- [2] Bedford, T.: *Basic Principles of Ventilation and Heating*. London, H. K. Lewis and Co., 1948.
- [3] Berglund, L. G. – Cain, W. S.: Perceived Air Quality and the Thermal Environment. In: *The Human Equation: Health and Comfort, Proceedings of the ASHRAE/SOEH Conference, IAQ 1989*.
- [4] CEN CR1752 *Ventilation for Buildings: Design Criteria for the Indoor Environment*. CEN, Brussels, 1998.
- [5] Croome, D. J. – Gan, G. – Abwi, H. B.: Evaluation of Indoor Environment in Naturally Ventilated Offices. In: *Research on Indoor Air Quality and Climate. CIB Proceedings, Publications 163, Rotterdam, 1993*.
- [6] ČSN EN 13779 *Větrání nebytových prostor – Základní požadavky na větrací a klimatizační zařízení*. ČSNI, 2005.
- [7] Fang, L. – Wyon, D. P. – Clausen, G. – Fanger, P. O.: Impact of Indoor Air Temperature and Humidity in an Office on Perceived Air Quality, SBS Symptoms and Performance. *Indoor Air* 14, 2004, 74–81.
- [8] Herz, R. S.: Scents of Time. *The Sciences* July/August 2000: 34–39.
- [9] Jokl, M. V.: *Zdravé obytné a pracovní prostředí*. Praha, Academia 2002.
- [10] Jokl, M. V.: Relativní vlhkost a člověk, nové přípustné limity. *Topenářství*, 41, 2007, 5: 26–28.
- [11] Olesen, B. W.: International Standards for the Indoor Environments. *Indoor Air* 14, 2004: 18–26.
- [12] Rodahl, E.: Field Measurements of Air Quality in Relation to Air Flow. In: *Heat Pumps and Air Circulation in Conditioned Spaces. Proceedings of Meetings of Commissions B1, B2, E1, E2, Sept 7–9, 1981, Paris*.

**Jokl, M. – Šebesta, D.: Factors Determining the Functioning of the Ventilation System**

**This paper is aimed to inform about new knowledge which determines functioning of the ventilation system and is decisive for its design and dimensioning.**

**Jokl, M. – Šebesta, D.: Faktoren, die die Funktion eines Lüftungssystems bestimmen**

**Zweck des Artikels ist es, die Leser mit neuen Erkenntnissen bekannt zu machen, welche die Funktion eines Lüftungssystems determinieren und die entscheidend für dessen Entwurf sind.**

## • dizertace



### **Systém managementu jakosti v teorii a praxi**

*Ing. Tomáš Mastný*

Dizertace vymezuje aplikaci managementu jakosti pro stavební projekty a analyzuje příčiny vzniku rizik nekvalitního technického i technologického provedení stavebních prací a projektových návrhů.

### **Využití fyzikálních modelů pro experimentální výzkum ukládání radioaktivních odpadů**

*Ing. Vladimír Valeš*

Součástí práce byla výstavba a provozování dvou středních fyzikálních modelů bentonitové bariéry z lisovaných prefabrikátů. Během provozování modelů byly po deseti minutách sledovány rozhodující parametry (bobtnací tlak a teplota) a získána data, která se v dizertaci zpracovávají.

### **Dynamický komparátor veřejného sektoru**

*Ing. Eduard Hromada*

Dizertace prohlubuje teoretický základ a aplikační možnosti dynamické simulace a diskutuje otázku času a času k vytváření rozložení pravděpodobnosti technickoekonomických úloh.

### **Numerical Solutions of Earth Pressures**

*Ing. Tomáš Koudelka*

V práci je popsán nový způsob výpočtu zemních tlaků pomocí teorie bočního tlaku (GLPT). Metoda je implantována do původního softwaru a následně použita pro řešení stability skalního masivu v Chotkově ulici v Praze, pro simulaci experimentu s pasivním zemním tlakem E3/2 a k výpočtu zemních tlaků na podzemní nekotvenou opěrnou stěnu.

### **Vybrané metody analýzy vlnových polí a jejich aplikace v optické metrologii**

*Ing. Pavel Novák*

Na základě podrobné teoretické analýzy gradientních metod vyhodnocování fáze vlnového pole je navržena nová kalorimetrická metoda určení fáze vlnového pole. Metody byly experimentálně ověřeny a gradientní senzor vlnoplochy zaveden do sériové kontroly optických systémů Meopta.

### **Mikroskopická analýza tvrdosti povrchů materiálů a napařovaných vrstev**

*Ing. Nataliya Murafa*

Práce se zabývá hodnocením křehkosti povrchů a napařovaných vrstev s použitím Vickersovy indentační metody. Jev se sleduje u tří typů povrchů materiálů: monokrystalických křemíkových desek s napařenými vrstvami, ocelových desek s plazmovými nástřiky a tlustých skleněných tabulí.

# K přesnosti nivelace při monitorování stavebních a průmyslových objektů

doc. Ing. Pavel HÁNEK, CSc.

Ing. Bc. Martin PAVEL

ČVUT – Fakulta stavební, Praha

Dipl.-Ing. Matthias FUHRLAND

TU – Fakulta lesního a vodního hospodářství a geověd, Drážďany

Článek je věnován výsledkům ověřování digitálních nivelčních přístrojů pro použití ve stavební a průmyslové geodézii.

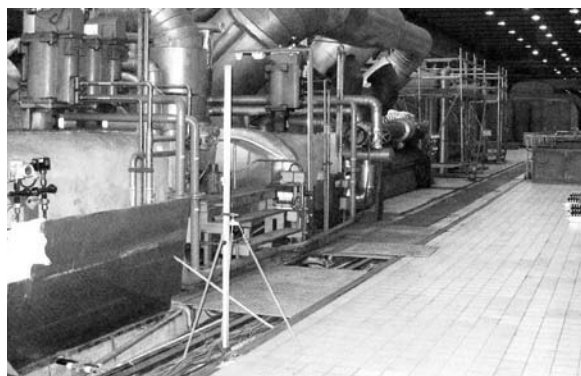
## Úvod

Pracoviště inženýrské geodézie Geodetického ústavu TU Drážďany a Katedry speciální geodézie FSv ČVUT v Praze spojuje kromě společné problematiky též dlouholetá pedagogická a odborná spolupráce. Jejím výstupem je i tento informativní článek, shrnující závěry víceletých zkoušek a ověřování zejména digitálních nivelčních přístrojů pro sledování staveb a v průmyslových provozech.

Podmínky při těchto měřeních jsou mnohdy výrazně odlišné od podmínek při měření tahových nivelací, pro něž jsou přístroje konstruovány. Jde například o dlouhodobé postavení nivelčního přístroje na jednom stanovišti nebo o vlivy související s prostorovými podmínkami a nepřerušným nebo jen zmírněným provozem v okolí sledovaného objektu. Pro úspěšná měření je zapotřebí možné negativně působící vlivy znát a co nejúčinněji je omezit nebo vyloučit.

## Indukované chvění

Při měření v průmyslových halách nebo objektech v exponovaných lokalitách zástavby je veškeré geodetické měření ovlivňováno, ztěžováno nebo výjimečně i znemožněno chvěním, které se na přístroj přenáší z bezprostředního okolí (obr. 1). Jeho zdroje, např. rotační stroje a zařízení, jeřábové dráhy, ale i pouliční dopravu, nelze z ekonomických, organizačních či společenských důvodů zpravidla eliminovat. Tato situace je výrazná při přesných nivelčních měřeních,



Obr. 1. Nivelace v průmyslu

protože kratší dosah přístrojů a technologický postup ztěžují možnost výběru stanoviška. Je nutno konstatovat, že digitální přístroje pro přesnou nivelaci (PN) jsou na indukované chvění výrazně citlivější než přístroje klasické, zejména libelové. Zkušenost autorů dokládá, že při postavení v blízkosti běžícího elektrárenského soustrojí je jediné možné použití právě libelového přístroje. Rozsáhlé studie prokázaly, že přístroj s libelou o citlivosti 5“ reaguje na chvění v porovnání s přístrojem s kompenzátorem v poměru 1 : 1 245 [1]. Výsledky zkoušek několika typů dosud běžně používaných nivelčních přístrojů jsou shrnuty v tab. 1.

Tab. 1. Kritické frekvence chvění [1]

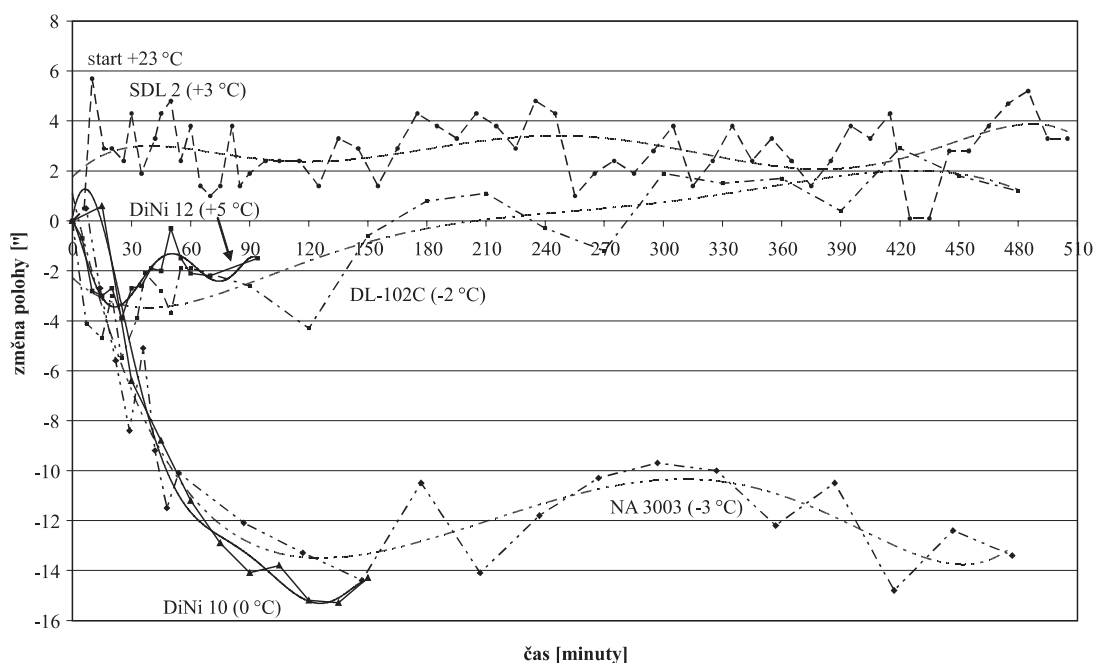
Přístroj / vnější vlivy	Frekvenční rozsah [Hz]
libelový Zeiss (Jena) Ni030	16,0 a 20,0–24,4
kompenzační Zeiss Ni 050	14,0–20,0
digitální Trimble (Zeiss) DiNi 11	20,0 a 40,0
digitální Wild (Leica) NA 3000	18,6–24,2
pouliční automobilová doprava	20–25
projíždějící tramvaj	40–45

Je patrné, že frekvence chvění, vyvolaného pouliční dopravou (20–45 Hz), jsou obdobné rozsahu frekvencí, při nichž se nivelční přístroje stávají nefunkčními (14–40 Hz) [1]. Potom je vhodné a potřebné, třeba i za cenu ověřování, najít takovou kombinaci vnějších podmínek a instrumentária, aby měření mohlo standardně probíhat s očekávanou přesností. V mnohých případech je východiskem pouhé přiložení ruky k hlavě stavivu, použití těžších nebo průmyslových stavivů.

## Změny teploty

Je známo, že veškeré geodetické elektronické přístroje je zapotřebí po uvedení do provozu temperovat, zejména pak po skokových změnách teploty. Po tuto dobu se může poloha záměrné přímký nivelčního přístroje ve svislé rovině výrazně měnit [2], jak dokládá obr. 2. Jsou na něm patrné výsledky celodenního sledování stability záměrné přímký oblíbených digitálních nivelčních přístrojů, které byly z místa dlouhodobého uložení s teplotou +23 °C (např. také z auta) v zimě rychle přeneseny do vnějšího prostředí, jehož průměrná teplota je uvedena v závorce za označením typu (Sokkia SDL, Topcon DL, Wild (nyní Leica) NA, Trimble (dříve Zeiss) DiNi). U této zkoušky bylo zjištěno, že přístroj velmi nepříznivě reaguje i na přechod mezi světlem a stínem.

K obdobným závěrům vedly i zkoušky, při nichž se přecházelo z klimatizované místnosti na letní sluneční žár. Nejmenší stabilita je v prvních 30 minutách po zapnutí přístro-



Obr. 2. Graf nestability polohy záměrné přímky ve svislé rovině

je, je však nutno konstatovat, že novější přístroje (v obr. 2 Sokkia SDL2) jsou podstatně méně citlivé. (Změna polohy záměrné přímky přístroje NA 3000 ve svislé rovině o 7" v prvních 30" po zapnutí představuje na vzdálenost 30 m změnu výšky o 1 mm, u novějšího SDL2 o 6" po 15" představuje na tutéž vzdálenost chybu 0,9 mm!) Z výsledků vyplývá, že ani po uplynutí očekávané doby teploty 20" až 30" nedochází k úplnému ustálení polohy záměrné přímky. Proti klasickým opticko-mechanickým přístrojům je to při větších teplotních rozdílech nevýhoda, zejména v případě měření malého počtu bodů.

### Nivelační lať

Stupnice celistvých latí pro přesnou nivelaci jsou vyznačeny na invarovém pásku, který má součinitel teplotní roztažnosti  $(1-2) \cdot 10^{-6}$ . Pro používání platí řada známých pravidel, která nejsou předmětem tohoto textu. Výsledky rozsáhlého ověřování nivelační soupravy, týkajícího se vlivů vyvolaných vnějšími podmínkami při měření [3], jsou uvedeny v tab. 2. Souprava sestávala z přístroje Sokkia SDL2 (licenční Zeiss DiNi 11), hliníkového stativu a kódové dvoumetrové latě NEDO.

Tab. 2. Vlivy působící na nivelační lať

Vliv	Měření digitálním přístrojem		
	standardní	problematické	nemožné
osvětlení stupnice	> 50 lx	40 lx	30 lx
rychlost větru	< 4 ms <sup>-1</sup>	5,7 ms <sup>-1</sup>	6,5 ms <sup>-1</sup>
stočení latě na vzdálenost 10 m/50 m	70°/50°	80°/60°	90°/80°
zákryt části stupnice – symetricky	0,25 m	0,20 m	0,18 m
zákryt části stupnice – asymetricky	(0,20 + 0,10) m	(0,25 + 0,05) m	(0,30 + 0,00) m
svislost latě – bublina libely	urovnána	výběh o 1/2 průměru	výběh o průměr
nepřesné zaostření na 20 m	±3 m	±5 m	±8 m

### Komentář k tabulce

- Intenzita osvětlení má vliv na čas potřebný pro vyhodnocení kódu latě, při osvětlení 28 lx již není přístroj schopen kód vyhodnotit, kdežto s optickým nivelačním přístrojem je ještě stále možné měřit. S klesající intenzitou osvětlení se může změnit velikost převýšení až o 0,2 mm při záměře délky 20 m. Vliv přezáření stupnice latě intenzivním zdrojem umělého osvětlení (např. v podzemních prostorách) nebyl studován. V praxi se v současnosti začínají používat speciální latě s vnitřním osvětlením.
- Přesnost měření není ovlivněna velikostí úhlu stočení roviny kódové stupnice latě od kolmice k záměrné přímce, na rozdíl od vizuálního čtení klasických číslicových latí, kdy při větším stočení měřič stupnici nevidí. Doba vyhodnocení signálu se zvyšovala s úhlem stočení latě až od natočení o 70°, a to o 1 až 2 s.
- Při nesymetrickém zákrytu části stupnice dochází ke zkreslení výsledků měření, a to nezávisle na jeho umístění. Doba vyhodnocování kódu se měnila v rozmezí od 5,5 do 6,2 s, delší byla při nejmenším viditelném poli a při nesymetrickém zákrytu.

Článek byl zpracován v rámci VZ MSM 6840770001 „Spolehlivost, optimalizace a trvanlivost stavebních materiálů a konstrukcí“.

#### Literatura

- [1] Čakoci, M.: Untersuchungen zum Präzisionsnivellement auf schwingendem Untergrund. [Diplomová práce], TU Dresden, 2006.
- [2] Hánek, P. – Janžurová, I.: Zu Änderungen der Lage der Ziellinie bei Digitalnivellieren. Flächenmanagement und Bodenordnung 62, 2002, No. 1, s. 38–42.
- [3] Pavel, M.: Zkoušky nivelační soupravy Sokkia SDL2 pro úlohy inženýrské geodézie. Geodetický a kartografický obzor 53 (95), 2007, č. 2, s. 21–24.

#### Hánek, P. – Fuhrland, M. – Pavel, M.: Accuracy of Levelling in Monitoring of Building and Industrial Structures

This article reports on the outcomes of verifying digital levelling instruments employed in building and industrial surveying.

#### Hánek, P. – Fuhrland, M. – Pavel, M.: Zur Genauigkeit der Nivellierung beim Monitoring von Bau- und Industrieobjekten

Der Artikel ist den Ergebnissen der Überprüfung digitaler Nivelliergeräte zum Einsatz in der Bau- und Industriegeodäsie gewidmet.

## BUDMA 2008

22.–25. ledna 2008

Poznaň

Sešmáctý ročník mezinárodního stavebního veletrhu BUDMA bude zabírat téměř 43 000 m<sup>2</sup> výstavní plochy a představí nabídku 1 600 firem. Nabídka bude rozdělena do sektorů zahrnujících stěny a podlahy, střechy, stavební chemii, dřevo ve stavitelství, kámen ve stavitelství, fitinky a keramiku, informační technologie pro stavební průmysl a sportovní stavby. Součástí doprovodného programu bude veletrh stavebních strojů, vozidel a vybavení BUMASZ a speciální investiční forum pro regionální rozvoj INVESTFIELD. K dalším akcím patří např. Světlo v architektonických souvislostech, Salon znalců nebo Archispace.

Informace: Progres Partners Advertising,  
tel.: 221 602 324, e-mail: poznan@ppa.cz

## •projekty

### Zelené Město

Počátkem října byly zahájeny práce na výstavbě bytového projektu na pražském Jarově, ležícím na rozhraní Žižkova a Vysočan. Výstavba je plánována ve dvou ucelených etapách, v nichž po dokončení vznikne na území o rozloze 15 ha



téměř tisíc bytových jednotek. Zástavba je koncipována jako soubor 28 samostatných šestipodlažních domů, doplněný dvěma jedenáctipodlažními objekty. Obytné domy jsou usazeny na svazích mělkého údolí pod vrchem Třešňovky, svazujícího se směrem od ulice Spojovací. Téměř polovina stávajících zelených ploch zůstane zachována i po dokončení projektu v podobě parku přístupného i veřejnosti, nebo v podobě vlastních zahrad či zelených teras u bytových jednotek. Předpokládaný termín dokončení první etapy je na podzim roku 2010.

Společnost Zelené Město je členem skupiny Lighthouse Group, mezi jejíž akcionáře patří např. RREEF/Deutsche Bank AG, Globe Trade Centre S. A., Scorpio BSG Ltd. a Alliance Holdings & Developments Limited. Jako dodavatel přípravných prací byla vybrána společnost Hochtief CZ. Urbanistický koncept zpracovalo United Architect Studio, stavební a architektonické řešení objektů zajistila společnost Causa.

Tisková informace

# STAVEBNÍ OBZOR

## ročník 16 – 2007



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

- Antoňů, J. – Kalvoda, P. – Vondrák, J. – Fišer, Z.: Aktuální stav podrobného polohového bodového pole v některých k. ú. Brna, 6/182
- Bartoněk, D.: Program pro podporu výuky v terénu oboru geodézie a kartografie, 6/179
- Geografický informační systém pro podporu výuky v terénu, 7/220
- Bartoňová, K. – Čápová, D.: Ekonomika skladových areálů a logistických center na území Prahy, 5/143
- Bayer, P. – Rovnaník, P. – Zuda, L. – Černý, R.: Tepelné vlastnosti kompozitního materiálu za vysokých teplot, 3/81
- Bayer, P. – Rovnaník, P. – Zuda, L. – Drchalová, J. – Černý, R.: Tepelné, vlhkostní a mechanické vlastnosti kompozitního materiálu zatíženého vysokými teplotami, 4/116
- Bittnar, Z. – Machovič, V. – Kopecký, L. – Němeček, J. – Kuklík P.: Tranzitní zóna cementového tmelu mezi PET výztuží a betonem, 9/271
- Brkl, L. – Kalvoda, P. – Suchá, M. – Vondrák, J.: Subpixelové měření v blízké fotogrammetrii, 3/89
- Bubeníček, M. – Záleský, J.: Základní kritéria a doporučení pro monitoring pórových tlaků ve svazích, 1/20
- Čadil, J. – Kadeřábková, B.: Vývoj stavebnictví a jeho sektorový potenciál, 6/166
- Čápová, D. – Bartoňová, K.: Ekonomika skladových areálů a logistických center na území Prahy, 5/143
- Čápová, D. – Pospíšilová, P.: Komerční investice – kancelářské plochy v Praze, 4/110
- Černý, R. – Bayer, P. – Rovnaník, P. – Zuda, L.: Tepelné vlastnosti kompozitního materiálu za vysokých teplot, 3/81
- Černý, R. – Bayer, P. – Rovnaník, P. – Zuda, L. – Drchalová, J.: Tepelné, vlhkostní a mechanické vlastnosti kompozitního materiálu zatíženého vysokými teplotami, 4/116
- Černý, R. – Konvalinka, P. – Doležel, T. – Rybár, P.: Počítačová analýza průběhu teplot v betonu, 9/264
- Černý, R. – Michálek, P. – Tydlitát, V. – Konvalinka, P.: Nový materiál na bázi hydrofilní minerální vlny se zvýšenou objemovou hmotností, 2/41
- Černý, R. – Pavlík, Z. – Fiala, L. – Pavlíková, M.: Transportní parametry vody a chloridů materiálů historických budov, 6/174
- Černý, R. – Pavlík, Z. – Michálek, P. – Pavlíková, M. – Kopecká, I. – Maxová, I.: Mšenský pískovec z pohledu transportu a akumulace vlhkosti a solí – 1. část, 2/33
- Černý, R. – Pavlíková, M. – Mňahončáková, E. – Padevět, P. – Konvalinka, P.: Měření základních parametrů vysokohodnotného betonu s trhlinami, 4/97
- Černý, R. – Pavlíková, M. – Pernicová, R.: Vliv hydraulických a pucolánově aktivních přísad na mechanické vlastnosti vápenných omítek, 9/274
- Černý, R. – Sobczuk, H. – Suchorab, Z. – Pavlík, Z. – Fiala, L.: Využití homogenizačních principů při kalibraci metody TDR, 3/74
- Černý, R. – Tesárek, P. – Mňahončáková, E. – Tydlitát, V.: Měření hydratačního tepla sádry pomocí dvou různých typů kalorimetrů, 8/225
- Vliv teploty na hydrataci sádry a její stabilitu, 8/231
- Kalorimetrické stanovení obsahu anhydritu III v sádrovém pojivu, 8/235
- Kompozitní materiál na bázi energosádry, 8/239
- Klasifikace sádrového pojiva podle ČSN 72 2301, 8/251
- Vliv sušící teploty na vlastnosti zatvrdlé energosádry energosádry – tepelné vlastnosti, 8/246, – vlhkostní vlastnosti, 9/267
- Doležel, T. – Rybár, P. – Černý, R. – Konvalinka, P.: Počítačová analýza průběhu teplot v betonu, 9/264
- Drchalová, J. – Černý, R. – Bayer, P. – Rovnaník, P. – Zuda, L.: Tepelné, vlhkostní a mechanické vlastnosti kompozitního materiálu zatíženého vysokými teplotami, 4/116
- Fiala, L. – Černý, R. – Sobczuk, H. – Suchorab, Z. – Pavlík, Z.: Využití homogenizačních principů při kalibraci metody TDR, 3/74
- Fiala, L. – Pavlíková, M. – Černý, R. – Pavlík, Z.: Transportní parametry vody a chloridů materiálů historických budov, 6/174
- Fišer, Z. – Žufanová, V. – Vondrák, J.: Alternativní přístup k ověřování přesnosti digitální katastrální mapy, 2/49
- Fišer, Z. – Antoňů, J. – Kalvoda, P. – Vondrák, J.: Aktuální stav podrobného polohového bodového pole v některých k. ú. Brna, 6/182
- Hánek, P. – Fuhrland, M. – Pavel, M.: K přesnosti nivelace při monitorování stavebních a průmyslových objektů, 10/313
- Hejnic, J. – Štěpán, P.: Soutěž o návrh na nový most přes Vltavu mezi Holešovicemi a Trójou, 7/193
- Holický, M. – Marková, J. – Sýkora, M.: Spolehlivost lehkých střech zatížených sněhem, 3/65
- Husáková, V. – Wasserbauer, R.: Biodegradace hydroizolací v základech staveb, 9/278
- Jokl, M. – Šebesta, D.: Činitele určující funkci ventilačního systému, 10/310
- Kadeřábková, B. – Čadil, J.: Vývoj stavebnictví a jeho sektorový potenciál, 6/166



- Kala, Z.: Citlivostní analýza, 10/289
- Kalvoda, P. – Suchá, M. – Brkl, L. – Vondrák, J.: Subpixelové měření v blízké fotogrammetrii, 3/89
- Kalvoda, P. – Vondrák, J. – Fišer, Z. – Antoň, J.: Aktuální stav podrobného polohového bodového pole v některých k. ú. Brna, 6/182
- Kohoutková, A. – Teplý, B.: Komplexní přístup ke vzdělávání v oblasti navrhování konstrukcí na životnost, 9/261
- Konvalinka, P. – Černý, R. – Michálek, P. – Tydlitát, V.: Nový materiál na bázi hydrofilní minerální vlny se zvýšenou objemovou hmotností, 2/41
- Konvalinka, P. – Černý, R. – Pavlíková, M. – Mňahončáková, E. – Padevět, P.: Měření základních parametrů vysokohodnotného betonu s trhlinami, 4/97
- Konvalinka, P. – Doležel, T. – Rybár, P. – Černý, R.: Počítačová analýza průběhu teplot v betonu, 9/264
- Kopecká, I. – Maxová, I. – Černý, R. – Pavlík, Z. – Michálek, P. – Pavlíková, M.: Mšenský pískovec z pohledu transportu a akumulace vlhkosti a solí – 1. část, 2/33
- Kopecký, L. – Němeček, J. – Kuklík, P. – Bittnar, Z. – Machovič, V.: Tranzitní zóna cementového tmelu mezi PET výztuží a betonem, 9/271
- Korytářová, J. – Marková, L.: Ekonomické aspekty použití nových stavebních hmot s odpady – výpočet investičních nákladů stavby, 5/134
- Kotas, P. – Malec, J. – Ryjáček, P. – Vítek, P. – Polák, M.: Nová lávka pro chodce v Praze-Barrandově, 1/2
- Koudelka, T. – Šejnoha, J. – Krejčí, T.: Analýza podkladní betonové vrstvy mostovky, 10/295
- Králík, M. – Zukal, M. – Satrapa, L.: Malá vodní elektrárna Liběchov – obnovitelný zdroj energie, 7/211
- Tlumení energie za přelivy – hydraulický model VD Nyagak, 10/307
- Krejčí, T. – Koudelka, T. – Šejnoha, J.: Analýza podkladní betonové vrstvy mostovky, 10/295
- Křístek, V. – Niewald, J. – Vrablík, L.: Výpočetní analýza chování letmo betonovaného mostu přes Labe v Mělníku, 6/162
- Kuklík, P. – Bittnar, Z. – Machovič, V. – Kopecký, L. – Němeček, J.: Tranzitní zóna cementového tmelu mezi PET výztuží a betonem, 9/271
- Kuklík, P. – Šejnoha, M.: Řešení problému interakce piloty se základovou deskou, 1/14
- Luxemburk, F. – Novotný, B.: Posouzení funkční způsobilosti elastických mostních závěrů, 3/70
- Macháček, J.: Informační a komunikační technologie ve stavebním vzdělávání, 9/257
- Machotka, R.: Lokální kvazigeoid z astronomických měření, 5/146
- Machovič, V. – Kopecký, L. – Němeček, J. – Kuklík, P. – Bittnar, Z.: Tranzitní zóna cementového tmelu mezi PET výztuží a betonem, 9/271
- Malec, J. – Ryjáček, P. – Vítek, P. – Polák, M. – Kotas, P.: Nová lávka pro chodce v Praze-Barrandově, 1/2
- Marková, J. – Sýkora, M. – Holický, M.: Spolehlivost lehkých střech zatížených sněhem, 3/65
- Marková, L. – Korytářová, J.: Ekonomické aspekty použití nových stavebních hmot s odpady – výpočet investičních nákladů stavby, 5/134
- Maxová, I. – Černý, R. – Pavlík, Z. – Michálek, P. – Pavlíková, M. – Kopecká, I.: Mšenský pískovec z pohledu transportu a akumulace vlhkosti a solí – 1. část, 2/33
- Michálek, P. – Pavlíková, M. – Kopecká, I. – Maxová, I. – Černý, R. – Pavlík, Z.: Mšenský pískovec z pohledu transportu a akumulace vlhkosti a solí – 1. část, 2/33
- Michálek, P. – Tydlitát, V. – Konvalinka, P. – Černý, R.: Nový materiál na bázi hydrofilní minerální vlny se zvýšenou objemovou hmotností, 2/41
- Mňahončáková, E. – Padevět, P. – Konvalinka, P. – Černý, R. – Pavlíková, M.: Měření základních parametrů vysokohodnotného betonu s trhlinami, 4/97
- Mňahončáková, E. – Tydlitát, V. – Černý, R. – Tesárek, P.: Měření hydratačního tepla sádry pomocí dvou různých typů kalorimetrů, 8/225
- Vliv teploty na hydrataci sádry a její stabilitu, 8/231
- Kalorimetrické stanovení obsahu anhydritu III v sádrovém pojivu, 8/235
- Kompozitní materiál na bázi energosádry, 8/239
- Klasifikace sádrového pojiva podle ČSN 72 2301, 8/251
- Vliv sušící teploty na vlastnosti zatvrdlé energosádry energosádry – tepelné vlastnosti, 8/246, – vlhkostní vlastnosti, 9/267
- Moudrý, I. – Škramlík, J.: Sledování transportu vlhkosti mikrovlínnou elektromagnetickou metodou, 1/9
- Němeček, J. – Kuklík, P. – Bittnar, Z. – Machovič, V. – Kopecký, L.: Tranzitní zóna cementového tmelu mezi PET výztuží a betonem, 9/271
- Niewald, J. – Vrablík, L. – Křístek, V.: Výpočetní analýza chování letmo betonovaného mostu přes Labe v Mělníku, 6/162
- Novotný, B. – Luxemburk, F.: Posouzení funkční způsobilosti elastických mostních závěrů, 3/70
- Novotný, M. – Šuhajda, K.: Sledování účinnosti mikrovlínného vysoušení pomocí tyčové antény, 4/121
- Novotný, R. – Pech, P.: Zjednodušené řešení roštových základových pasů, 4/101
- Padevět, P. – Konvalinka, P. – Černý, R. – Pavlíková, M. – Mňahončáková, E.: Měření základních parametrů vysokohodnotného betonu s trhlinami, 4/97
- Pavel, M. – Hánek, P. – Fuhrland, M.: K přesnosti nivelace při monitorování stavebních a průmyslových objektů, 10/313
- Pavlík, Z. – Fiala, L. – Černý, R. – Sobczuk, H. – Suchorab, Z.: Využití homogenizačních principů při kalibraci metody TDR, 3/74
- Pavlík, Z. – Fiala, L. – Pavlíková, M. – Černý, R.: Transportní parametry vody a chloridů materiálů historických budov, 6/174
- Pavlík, Z. – Michálek, P. – Pavlíková, M. – Kopecká, I. – Maxová, I. – Černý, R.: Mšenský pískovec z pohledu transportu a akumulace vlhkosti a solí – 1. část, 2/33
- Pavlíková, M. – Černý, R. – Pavlík, Z. – Fiala, L.: Transportní parametry vody a chloridů materiálů historických budov, 6/174
- Pavlíková, M. – Mňahončáková, E. – Padevět, P. – Konvalinka, P. – Černý, R.: Měření základních parametrů vysokohodnotného betonu s trhlinami, 4/97
- Pavlíková, M. – Kopecká, I. – Maxová, I. – Černý, R. – Pavlík, Z. – Michálek, P.: Mšenský pískovec z pohledu transportu a akumulace vlhkosti a solí – 1. část, 2/33
- Pech, P. – Novotný, R.: Zjednodušené řešení roštových základových pasů, 4/101
- Pernicová, R. – Černý, R. – Pavlíková, M.: Vliv hydraulických a pucolánově aktivních přísad na mechanické vlastnosti vápenných omítek, 9/274
- Polák, M. – Kotas, P. – Malec, J. – Ryjáček, P. – Vítek, P.: Nová lávka pro chodce v Praze-Barrandově, 1/2
- Pospíšil, J. – Štroner, M. – Suchá, J.: Ověřování vlastností totálních stanic TOPCON GPT-2006
- 1. část, 2/45
- 2. část, 3/85
- 3. část, 5/152
- Pospíšil, J. – Závacký, E. – Suchá, J.: Ověření nivelace a nivelačních přístrojů pro měření svislých posunů staveb na brownfields, 9/281
- Pospíšilová, P. – Čápková, D.: Komerční investice – kancelářské plochy v Praze, 4/110

- Roller, F. – Studnička, J.:* Ocelobetonové integrované mosty, 7/204
- Rovnaník, P. – Zuda, L. – Černý, R. – Bayer, P.:* Tepelné vlastnosti kompozitního materiálu za vysokých teplot, 3/81
- Rovnaník, P. – Zuda, L. – Drchalová, J. – Černý, R. – Bayer, P.:* Tepelné, vlhkostní a mechanické vlastnosti kompozitního materiálu zatíženého vysokými teplotami, 4/116
- Rybář, P. – Černý, R. – Konvalinka, P. – Doležel, T.:* Počítačová analýza průběhu teplot v betonu, 9/264
- Ryjáček, P. – Vítek, P. – Polák, M. – Kotas, P. – Malec, J.:* Nová lávka pro chodce v Praze-Barrandově, 1/2
- Říha, J.:* Koncepty EIA/SEA – pouhá „nálepka“, nebo „zbytečná chiméra“?, 5/138
- Satrapa, L. – Králík, M. – Zukal, M.:* Malá vodní elektrárna Liběchov – obnovitelný zdroj energie, 7/211
- Tlumení energie za přelivy – hydraulický model VD Nya-gak, 10/307
- Sobczuk, H. – Suchorab, Z. – Pavlík, Z. – Fiala, L. – Černý, R.:* Využití homogenizačních principů při kalibraci metody TDR, 3/74
- Studnička, J. – Roller, F.:* Ocelobetonové integrované mosty, 7/204
- Suchá, M. – Brkl, L. – Vondrák, J. – Kalvoda, P.:* Subpixelové měření v blízké fotogrammetrii, 3/89
- Suchá, J. – Pospíšil, J. – Štroner, M.:* Ověřování vlastností totálních stanic TOPCON GPT-2006
- 1. část, 2/45
  - 2. část, 3/85
  - 3. část, 5/152
- Suchá, J. – Pospíšil, J. – Závacký, E.:* Ověření nivelace a nive-lačních přístrojů pro měření svislých posunů staveb na brownfields, 9/281
- Suchorab, Z. – Pavlík, Z. – Fiala, L. – Černý, R. – Sobczuk, H.:* Využití homogenizačních principů při kalibraci metody TDR, 3/74
- Sýkora, M. – Holický, M. – Marková, J.:* Spolehlivost lehkých střech zatížených sněhem, 3/65
- Šebesta, D. – Jokl, M.:* Činitele určující funkci ventilačního sys-tému, 10/310
- Šejnoha, J. – Krejčí, T. – Koudelka, T.:* Analýza podkladní betonové vrstvy mostovky, 10/295
- Šejnoha, M. – Kuklík, P.:* Řešení problému interakce piloty se základovou deskou, 1/14
- Šimková, S.:* Vplyv teplot do 100 °C na železobetonové prvky, 10/300
- Škramlík, J. – Moudrý, I.:* Sledování transportu vlhkosti mikrovlnnou elektromagnetickou metodou, 1/9
- Šlezinger, M.:* Suchá nádrž na Šumickém potoce, 6/186
- Štěpán, P. – Hejnic, J.:* Soutěž o návrh na nový most přes Vltavu mezi Holešovicemi a Trójou, 7/193
- Štroner, M.:* Rozvinutí snímku válcové plochy do roviny, 2/55
- Vývoj softwaru na zpracování mračen bodů PointClouder, 4/113
- Štroner, M. – Suchá, J. – Pospíšil, J.:* Ověřování vlastností totálních stanic TOPCON GPT-2006
- 1. část, 2/45
  - 2. část, 3/85
  - 3. část, 5/152
- Šuhajda, K. – Novomý, M.:* Sledování účinnosti mikrovlnného vysoušení pomocí tyčové antény, 4/121
- Švec, M. – Vorel, V.:* Geodetické monitorování staveb a metody při měření posunů, 1/25
- Teplý, B. – Kohoutková, A.:* Komplexní přístup ke vzdělávání v oblasti navrhování konstrukcí na životnost, 9/261
- Tesárek, P. – Mňahončáková, E. – Tydlitát, V. – Černý, R.:* Měření hydratačního tepla sádry pomocí dvou různých typů kalorimetrů, 8/225
- Vliv teploty na hydrataci sádry a její stabilitu, 8/231
  - Kalorimetrické stanovení obsahu anhydritu III v sádrovém pojivu, 8/235
  - Kompozitní materiál na bázi energosádry, 8/239
  - Klasifikace sádrového pojiva podle ČSN 72 2301, 8/251
  - Vliv sušící teploty na vlastnosti zatvrdlé energosádry ener-gosádry – tepelné a mechanické vlastnosti, 8/246
    - vlhkostní vlastnosti, 9/267
- Tydlitát, V. – Konvalinka, P. – Černý, R. – Michálek, P.:* Nový materiál na bázi hydrofilní minerální vlny se zvýšenou obje-movou hmotností, 2/41
- Tydlitát, V. – Tesárek, P. – Mňahončáková, E. – Černý, R.:* Měření hydratačního tepla sádry pomocí dvou různých typů kalorimetrů, 8/225
- Vliv teploty na hydrataci sádry a její stabilitu, 8/231
  - Kalorimetrické stanovení obsahu anhydritu III v sádrovém pojivu, 8/235
  - Kompozitní materiál na bázi energosádry, 8/239
  - Klasifikace sádrového pojiva podle ČSN 72 2301, 8/251
  - Vliv sušící teploty na vlastnosti zatvrdlé energosádry ener-gosádry – tepelné vlastnosti, 8/246
    - vlhkostní vlastnosti, 9/267
- Uhrin, M.:* Výstavba metodou top&down v projektu PALLA-DIUM Praha, 5/129
- Vinclerová, S. – Zelenáková, M.:* Zhodnotenie súčasného stavu vybraných úsekov na hrádzi Východoslovenskej nížiny, 7/215
- Vítek, P. – Polák, M. – Kotas, P. – Malec, J. – Ryjáček, P.:* Nová lávka pro chodce v Praze-Barrandově, 1/2
- Vondrák, J. – Fišer, Z. – Antoň, J. – Kalvoda, P.:* Aktuální stav podrobného polohového bodového pole v některých k. ú. Brna, 6/182
- Vondrák, J. – Fišer, Z. – Žufanová, V.:* Alternativní přístup k ověřování přesnosti digitální katastrální mapy, 2/49
- Vondrák, J. – Kalvoda, P. – Suchá, M. – Brkl, L.:* Subpixelové měření v blízké fotogrammetrii, 3/89
- Vorel, V. – Švec, M.:* Geodetické monitorování staveb a metody při měření posunů, 1/25
- Vráblík, L. – Křístek, V. – Niewald, J.:* Výpočetní analýza chování letmo betonovaného mostu přes Labe v Mělníku, 6/162
- Wasserbauer, R. – Husáková, V.:* Biodegradace hydroizolací v základech staveb, 9/278
- Záleský, J. – Bubeníček, M.:* Základní kritéria a doporučení pro monitoring pórových tlaků ve svazích, 1/20
- Závacký, E. – Suchá, J. – Pospíšil, J.:* Ověření nivelace a nive-lačních přístrojů pro měření svislých posunů staveb na brownfields, 9/281
- Zelenáková, M. – Vinclerová, S.:* Zhodnotenie súčasného stavu vybraných úsekov na hrádzi Východoslovenskej nížiny, 7/215
- Zuda, L. – Černý, R. – Bayer, P. – Rovnaník, P.:* Tepelné vlastnosti kompozitního materiálu za vysokých teplot, 3/81
- Zuda, L. – Drchalová, J. – Černý, R. – Bayer, P. – Rovnaník, P.:* Tepelné, vlhkostní a mechanické vlastnosti kompozitního materiálu zatíženého vysokými teplotami, 4/116
- Zukal, M. – Satrapa, L. – Králík, M.:* Malá vodní elektrárna Liběchov – obnovitelný zdroj energie, 7/211
- Tlumení energie za přelivy – hydraulický model VD Nya-gak, 10/307
- Žufanová, V. – Vondrák, J. – Fišer, Z.:* Alternativní přístup k ověřování přesnosti digitální katastrální mapy, 2/49

### ■ fyzika

Sledování transportu vlhkosti mikrovlnou elektromagnetickou metodou (*Škramlík, J. – Moudrý, I.*), 1/9

Počítačová analýza průběhu teplot v betonu (*Černý, R. – Konvalinka, P. – Doležel, T. – Rybár, P.*), 9/264

### ■ technologie staveb

Sledování účinnosti mikrovlnného vysoušení pomocí tyčové antény (*Novotný, M. – Šuhajda, K.*), 4/121

### ■ stavební hmoty

Mšenský pískovec z pohledu transportu a akumulace vlhkosti a soli – 1. část (*Pavlík, Z. – Michálek, P. – Pavlíková, M. – Kopecká, I. – Maxová, I. – Černý, R.*), 2/33

Nový materiál na bázi hydrofilní minerální vlny se zvýšenou objemovou hmotností (*Michálek, P. – Tydlitát, V. – Konvalinka, P. – Černý, R.*), 2/41

Využití homogenizačních principů při kalibraci metody TDR (*Pavlík, Z. – Fiala, L. – Černý, R. – Sobczuk, H. – Suchorab, Z.*), 3/74

Teplotní vlastnosti kompozitního materiálu za vysokých teplot (*Zuda, L. – Černý, R. – Bayer, P. – Rovnaník, P.*), 3/81

Měření základních parametrů vysokohodnotného betonu s trhlami (*Pavlíková, M. – Mňahončáková, E. – Padevět, P. – Konvalinka, P. – Černý, R.*), 4/97

Teplotní, vlhkostní a mechanické vlastnosti kompozitního materiálu zatíženého vysokými teplotami (*Zuda, L. – Drchalová, J. – Černý, R. – Bayer, P. – Rovnaník, P.*), 4/116

Transportní parametry vody a chloridů materiálů historických budov (*Pavlík, Z. – Fiala, L. – Pavlíková, M. – Černý, R.*), 6/174

Měření hydratačního tepla sádry pomocí dvou různých typů kalorimetrů (*Tydlitát, V. – Tesárek, P. – Mňahončáková, E. – Černý, R.*), 8/225

Vliv teploty na hydrataci sádry a její stabilitu (*Tydlitát, V. – Tesárek, P. – Mňahončáková, E. – Černý, R.*), 8/231

Kalorimetrické stanovení obsahu anhydritu III v sádrovém pojivu (*Tydlitát, V. – Tesárek, P. – Mňahončáková, E. – Černý, R.*), 8/235

Kompozitní materiál na bázi energosádry (*Tesárek, P. – Mňahončáková, E. – Tydlitát, V. – Černý, R.*), 8/239

Vliv sušící teploty na vlastnosti zatvrdlé energosádry – tepelné vlastnosti (*Tesárek, P. – Mňahončáková, E. – Tydlitát, V. – Černý, R.*), 8/246

Klasifikace sádrového pojiva podle ČSN 72 2301 (*Tesárek, P. – Mňahončáková, E. – Tydlitát, V. – Černý, R.*), 8/251

Vliv sušící teploty na vlastnosti zatvrdlé energosádry – vlhkostní vlastnosti (*Tesárek, P. – Mňahončáková, E. – Tydlitát, V. – Černý, R.*), 9/267

Tranzitní zóna cementového tmelu mezi PET výztuží a betonem (*Kopecký, L. – Němeček, J. – Kuklík, P. – Bittnar, Z. – Machovič, V.*), 9/271

Vliv hydraulických a pucolánově aktivních přísad na mechanické vlastnosti vápenných omítek (*Pernicová, R. – Černý, R. – Pavlíková, M.*), 9/274

Vplyv teplot do 100 °C na železobetonové prvky (*Šimková, S.*), 10/300

### ■ konstrukce pozemních staveb

Biodegradace hydroizolací v základech staveb (*Husáková, V. – Wasserbauer, R.*), 9/278

### ■ technická zařízení budov

Činitele určující funkci ventilačního systému (*Jokl, M.*), 10/310

### ■ ekonomika a řízení ve stavebnictví

Komerční investice – kancelářské plochy v Praze (*Čápková, D. – Pospíšilová, P.*), 4/110

Ekonomické aspekty použití nových stavebních hmot s odpady – výpočet investičních nákladů stavby (*Marková, L. – Korytářová, J.*), 5/134

Ekonomika skladových areálů a logistických center na území Prahy (*Čápková, D. – Bartoňová, K.*), 5/143

Vývoj stavebnictví a jeho sektorový potenciál (*Kadeřábková, B. – Čadil, J.*), 6/166

### ■ inženýrská informatika

Informační a komunikační technologie ve stavebním vzdělávání (*Macháček, J.*), 9/257

Komplexní přístup ke vzdělávání v oblasti navrhování konstrukcí na životnost (*Kohoutková, A. – Teplý, B.*), 9/261

### ■ stavební mechanika

Spolehlivost lehkých střech zatížených sněhem (*Holický, M. – Marková, J. – Sýkora, M.*), 3/65

Zjednodušené řešení roštových základových pasů (*Novotný, R. – Pech, P.*), 4/101

### ■ betonové konstrukce a mosty

Výpočetní analýza chování letmo betonovaného mostu přes Labu v Mělníku (*Niewald, J. – Vráblík, L. – Křístek, V.*), 6/162

### ■ ocelové konstrukce

Nová lávka pro chodce v Praze-Barrandově (*Kotas, P. – Malec, J. – Ryjáček, P. – Vítek, P. – Polák, M.*), 1/2

Soutěž o návrh na nový most přes Vltavu mezi Holešovicemi a Trójou (*Hejnic, J. – Štěpán, P.*), 7/193

Ocelobetonové integrované mosty (*Roller, F. – Studnička, J.*), 7/204

Citlivostní analýza (*Kala, Z.*), 10/289

### ■ geotechnika

Řešení problému interakce piloty se základovou deskou (*Kuklík, P. – Šejnoha, M.*), 1/14

Základní kritéria a doporučení pro monitoring pórových tlaků ve svazích (*Bubeníček, M. – Záleský, J.*), 1/20

Výstavba metodou top&down v projektu PALLADIUM Praha (*Uhrin, M.*), 5/129

### ■ silniční stavby

Posouzení funkční způsobilosti elastických mostních závěrů (*Novotný, B. – Luxemburk, F.*), 3/70

Soutěž o návrh na nový most přes Vltavu mezi Holešovicemi a Trójou (*Hejnic, J. – Štěpán, P.*), 7/193

Analýza podkladní betonové vrstvy mostovky (*Krejčí, T. – Koudelka, T. – Šejnoha, J.*), 10/295

### ■ hydrotechnika

Malá vodní elektrárna Liběchov – obnovitelný zdroj energie (*Satrapa, L. – Králík, M. – Zukal, M.*), 7/211

Tlumení energie za přelivy – hydraulický model VD Nyagak (*Satrapa, L. – Králík, M. – Zukal, M.*), 10/307

### ■ hydromeliorace a krajinné inženýrství

Koncepty EIA/SEA – pouhá „nálepka“, nebo „zbytečná chiméra“? (*Říha, J.*), 5/138

Suchá nádrž na Šumickém potoce (*Šlezinger, M.*), 6/184

Zhodnotenie súčasného stavu vybraných úsekov na hrádzi Východoslovenskej nížiny (*Vinclerová, S. – Zeleňáková, M.*), 7/215

### ■ geodzie a pozemkové úpravy

Geodetické monitorování staveb a metody při měření posunů (*Švec, M. – Vorel, V.*), 1/25

Ověřování vlastností totálních stanic TOPCON GPT-2006 (*Štroner, M. – Suchá, J. – Pospíšil, J.*)

– 1. část, 2/45

– 2. část, 3/85

– 3. část, 5/152

Alternativní přístup k ověřování přesnosti digitální katastrální mapy (Vondrák, J. – Fišer, Z. – Žufanová, V.), 2/49

Rozvinutí snímku válcové plochy do roviny (Štroner, M.), 2/55

Subpixelové měření v blízké fotogrametrii (Kalvoda, P. – Suchá, M. – Brkl, L. – Vondrák, J.), 3/89

Lokální kvazigeoid z astronomických měření (Machotka, R.), 5/146

Program pro podporu výuky v terénu oboru geodézie a kartografie (Bartoněk, D.), 6/179

Aktuální stav podrobného polohového bodového pole v některých k. ú. Brna (Vondrák, J. – Fišer, Z. – Antoňů, J. – Kalvoda, P.), 6/182

Systém pro podporu výuky v terénu oboru geodézie a kartografie (Bartoněk, D.), 7/220

Ověření nivelace a nivelčních přístrojů pro měření svislých posunů staveb na brownfields (Suchá, J. – Pospíšil, J. – Závacký, E.), 9/281

K přesnosti nivelace při monitorování stavebních a průmyslových objektů (Hánek, P. – Fuhrland, M. – Pavel, M.), 10/313

#### ■ software

Vývoj softwaru na zpracování mračen bodů PointClouder (Štroner, M.), 4/113

Co je digitální úschovna? (–r–), 5/157

#### ■ bienále

Industriální stopy 2007 (–r–), 3/94, 5/160

#### ■ ČVUT

Rozvoj vysokého technického školství do roku 1918 (archív ČVUT), 1/30

Rozvoj vysokého technického školství do dnešních dnů (archív ČVUT), 2/58

Příspěvek s nejlepším využitím pro praxi (–r–), 4/126

Masarykův ústav vyšších studií (–r–), 5/156

Master of Business Administration (–r–), 5/156

Spolek Česká technika (–r–), 9/260

■ **dizertace** 1/13, 2/57, 3/94, 3/95, 3/96, 5/160, 6/192, 7/219, 8/256, 9/288, 10/312

#### ■ Fakulta stavební ČVUT

Podzemní výukové středisko Josef (–r–), 3/93

#### ■ konference

Euroconstruct, 5/156

TECHSTA 2007 (–r–), 6/185

IBT 2007, 7/214

#### ■ literatura

Dvořáková, E. – Fragner, B. – Šenberg, T.: Industriál \_paměť\_východiska (–r–), 2/54

Valeš, M.: inteligentní dům (–r–), 3/73

Murtinger, K. – Beranovský, J.: Energie z biomasy (–r–), 3/88

Davidová, J. – Topenčík, M.: Koncesní zákon (–r–), 4/100

Novák, F. – Kliner, J.: Výstavba telekomunikačních sítí a zařízení (–r–), 4/126

Hošek, Z.: Požární bezpečnost staveb (–r–), 5/159

Pražský industriál (–r–), 6/173

Vorlík, P.: Areál ČVUT v Dejvicích v šedesátých letech (–r–), 8/230

Murtinger, K. a kol.: Fotovoltaika (–r–), 9/288

#### ■ ocenění

Fasáda roku 2007 (–r–), 6/189

Cembrit – studentská soutěž (–r–), 9/287

#### ■ osobní zprávy

Za doc. Ing. Ladislavem Lambojem, CSc. (Bitmar, Z.), 10/294

#### ■ pokyny pro autory, 2/62

#### ■ projekty

Myšák Gallery (–r–), 1/28

Rekonstrukce Škodova paláce (–r–), 1/29

Národní technická knihovna (–r–), 2/40

Administrativní budova Gamma (–r–), 3/88

Promenáda Liberec (–r–), 5/159

Classic 7 Business Park (–r–), 4/109

Nové ústředí ČSOB (–r–), 5/157

D8 Europark (–r–), 5/160

Knihovnicko-informační centrum v Hradci Králové (–r–), 6/187

Nová Brumlovka (–r–), 6/188

Vyšehrad Victoria (–r–), 7/203

Prague Outlet Center (–r–), 7/224

Administrativní budova E (–r–), 8/256

Žizkovské nákladové nádraží změni tvář (–r–), 9/288

Zelené město (–r–), 10/315

#### ■ rekonstrukce

Rekonstrukce Hlavního nádraží v Praze (–r–), 2/60

Obnova Fürstenberské zahrady (–r–), 3/95

Gröbeho vila (–r–), 8/238

#### ■ recenze

Tichý, M.: Ovládání rizika (Šejnoha, J.), 2/59

#### ■ semináře

Celoživotní vzdělávání v požární ochraně (–r–), 1/19, 2/44

#### ■ soutěže

Stavba roku 2007 (–r–), 3/95, 4/128

Porotherm 2007 (–r–), 4/115

Cena Siemens (–r–), 8/245

#### ■ technologie

Recyklace asfaltu (–r–), 5/159

Výtah druhé generace pro panelové domy (–r–), 7/224

#### ■ veletrhy a výstavy

Stavební veletrhy 2007 (–r–), 1/31

bauma 2007 (–r–), 1/32

Strojexpo 2007 (–r–), 2/48

Technika očima technika, 2/58, 4/127

Jaro v Budapešti (–r–), 4/128

Ekologické veletrhy Brno (–r–), 5/145

Pragobuilding (–r–), 8/255

Aquatherm Praha (–r–), 9/280

Budma (–r–), 10/315

#### ■ zprávy

Myslbeek oslavil desáté narozeniny (–r–), 2/54

Tunely na Islandu (–r–), 2/61

Zvířata v ZOO zahřívá voda z nitra Země (–r–), 3/80

CEMEX na českém trhu stavebních materiálů (–r–), 3/86

Den českého stavitelství a architektury (–r–), 4/120, 5/137

www.stavbaserver.cz (–r–), 4/127

Optimalizace traťového úseku zábřeh na Moravě–Krasíkov (–r–), 5/158

Ekoznačení v České republice (–r–), 6/192

Trainee Program (–r–), 9/266