

STAVEBNÍ OBZOR

ROČNÍK 17 ČÍSLO 01/2008

Navigace v dokumentu

OBSAH

Škramlík, J. – Novotný, M. – Šuhajda, K. Měření vlhkosti stavebních materiálů absorpční mikrovlnnou metodou	1
Vimmrová, A. – Svoboda, L. Hybridně lehčí sádrová hmota	8
Kalousková, M. – Šejnoha, M. – Blažek, V. Porovnání dvou metod citlivostní analýzy zemních svahů	11
Šťastná, G. – Kabelková, I. – Stránský, D. Interakce nádrže na vodním toku a městského odvodnění	16
Novotná, E. – Milická, I. – Šejnoha, J. Uplatnění simulace při řešení technicko-ekonomických rizik	21
Suchá, J. – Štroner, M. – Špačková, L. Historické a současné metody zaměření průběhu nadzemních vedení vysokého napětí	26

1 • 2008

ročník 17

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



Fakulta stavební
VUT v Brně



Fakulta stavební
VŠB TU-Ostrava



Česká komora autorizovaných
inženýrů a techniků

OBSAH

Škramlík, J. – Novotný, M.
– Šuhajda, K.
Měření vlhkosti stavebních materiálů absorpční mikrovlnnou metodou 1

Vimmrová, A. – Svoboda, L.
Hybridně lehčená sádrová hmota 8

Kalousková, M. – Šejnoha, M.
– Blažek, V.
Porovnání dvou metod citlivostní analýzy zemních svahů 11

Šťastná, G. – Kabelková, I.
– Stránský, D.
Interakce nádrže na vodním toku a městského odvodnění 16

Novotná, E. – Milická, I.
– Šejnoha, J.
Uplatnění simulace při řešení technicko-ekonomických rizik 21

Suchá, J. – Štroner, M.
– Špačková, L.
Historické a současné metody zaměření průběhu nadzemních vedení vysokého napětí 26

CONTENS

Škramlík, J. – Novotný, M.
– Šuhajda, K.
Measurement of Moisture of Construction Materials by Microwave Absorption Method 1

Vimmrová, A. – Svoboda, L.
Hybrid Light Gypsum Material 8

Kalousková, M. – Šejnoha, M.
– Blažek, V.
Comparison of Two Methods of Sensitivity Analysis of Earth Slopes 11

Šťastná, G. – Kabelková, I.
– Stránský, D.
Interaction of River Dam and Town Sewer 16

Novotná, E. – Milická, I.
– Šejnoha, J.
Application of Simulation to the Solution of Technological and Economic Risks 21

Suchá, J. – Štroner, M.
– Špačková, L.
Historical and Up-to-Date Methods of Surveying of Above-Ground High Voltage Lines Run 26

INHALT

Škramlík, J. – Novotný, M.
– Šuhajda, K.
Messung des Feuchtegehalts von Baustoffen mit dem Mikrowellen-Absorptionsverfahren 1

Vimmrová, A. – Svoboda, L.
Kombiniert leicht gemachte Gipsmasse 8

Kalousková, M. – Šejnoha, M.
– Blažek, V.
Vergleich zweier Verfahren der Empfindlichkeitsanalyse von Erdböschungen 11

Šťastná, G. – Kabelková, I.
– Stránský, D.
Interaktion eines Staubeckens an einem Wasserlauf mit der Stadtentwässerung 16

Novotná, E. – Milická, I.
– Šejnoha, J.
Anwendung der Simulation bei der Lösung technologisch-ökonomischer Risiken 21

Suchá, J. – Štroner, M.
– Špačková, L.
Historische und gegenwärtige Methoden zur Vermessung des Verlaufs oberirdischer Hochspannungsleitungen 26

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 ZDARILOVÁ

STAVEBNÍ OBZOR, odborný měsíčník, vydává Fakulta stavební ČVUT Praha společně s Fakultou stavební VUT Brno, Fakultou stavební VŠB TU Ostrava, Českou komorou autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě a Českým svazem stavebních inženýrů. Řídí redakční rada, vedoucí redaktorka Marcela Klímová. Adresa redakce: Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel./fax: 224 354 596, klimova@fsv.cvut.cz, http://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. 12. 2007. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

Měření vlhkosti stavebních materiálů absorpční mikrovlnnou metodou

Ing. Jan ŠKRAMLÍK, Ph.D.
doc. Ing. Miloslav NOVOTNÝ, CSc.
Ing. Karel ŠUHAJDA, Ph.D.

VUT – Fakulta stavební
Brno

Obsahem článku je aplikace fyzikálních zákonů ke sledování transportu vlhkosti v materiálech uplatněním vlastností elektromagnetického mikrovlnného záření. Výsledky práce by měly prokázat možnost získání vlhkostních parametrů stavebních materiálů nedestruktivní metodou pro racionální návrh konstrukce stavby k vyloučení nežádoucího působení vlhkosti na její užívání.

Úvod

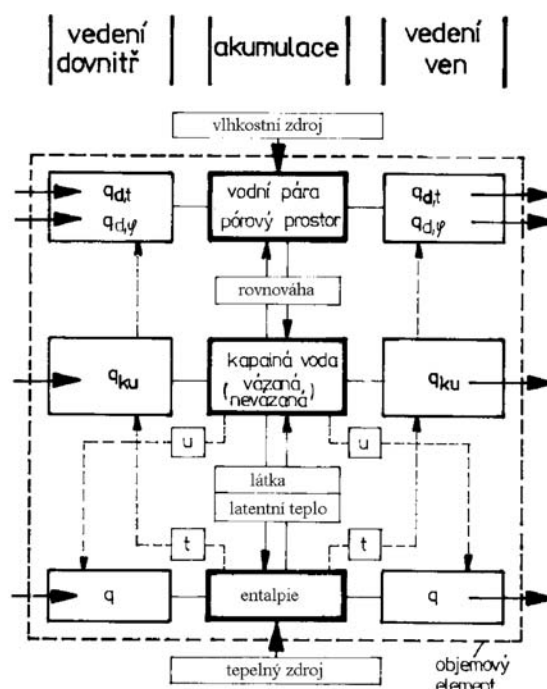
Vlhkost stavebních konstrukcí má vliv na fyzikální vlastnosti materiálů a může způsobit degradaci konstrukce. Kromě několika výjimek nejsou stavební materiály v praxi nikdy v suchém stavu. Vždy obsahují vlhkost, ať už v tuhém, kapalném, nebo plynném skupenství. Vlhkost je veličina proměnlivá, vyvolává různé účinky, např. na tepelně technické vlastnosti. Pro vyjádření předpokládaného nepříznivého vlivu vlhkosti na stavební hmoty ve vztahu ke stavební konstrukci je třeba co nejpřesněji zjistit nejen tepelně izolační schopnosti použitých materiálů, ale zejména jejich vlhkostní charakteristiky. Parametrem, který vyjadřuje přenos vlhkosti v kapilárně porézních látkách, je součinitel kapilární vodivosti.

Šíření vlhkosti v pórovitých látkách

Jednou z vlastností pórovitých materiálů, rozhodujících o jejím použití do stavební konstrukce, je schopnost přijímat a vydávat vodu. Jde o vlhkost, která materiálem protéká, dosycuje ho, případně odvodňuje, a mění se v prostoru i v čase. Mnohé vlastnosti (izolační schopnost, pevnost atd.) závisí na vlhkosti materiálů, a proto je nutné ji nejen respektovat, ale především kontrolovat a usměrňovat.

V kapilárně pórovitých materiálech nastává pohyb vlhkosti difúzí a vodivostí (kapilární vodivostí). Vlhkost materiálu představuje množství vody obsažené v pórovitém prostředí hmoty a vyjadřuje se hmotnostním nebo objemovým poměrem vody k pevné fázi látky. Voda se do porézní hmoty dostává z vnějšího prostředí a za ustálených teplotních a vlhkostních poměrů dochází k rovnováze mezi vlhkostí materiálu a vlhkostí vzduchu. Je-li parciální tlak vodní páry ve

stavebním materiálu menší než v okolním vzduchu, pak materiál ze vzduchu páru přijímá, v opačném případě ji uvolňuje. Rovnovážná vlhkost je charakterizována nulovým při-



Obr. 1. Model působení vnějších vlivů na stavební hmotu

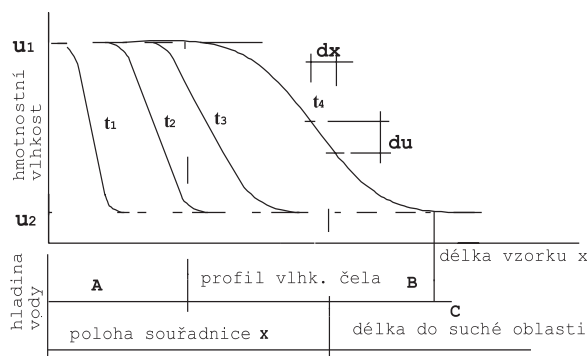
růstkem hmotnosti a teploty v čase. Vliv na součinitel tepelné vodivosti je odlišný podle teploty a obsahu vlhkosti materiálu.

Model působení vnějších vlivů na segment pórovitého staviva je znázorněn na obr. 1. Součinitel vlhkostní vodivosti je ústřední veličinou transportní schopnosti pórovité stavební látky v závislosti na obsahu vlhkosti. Difúzním pochodem vodní páry za teplotního spádu se látkový proces urychluje a zvýšeným teplotním spádem se zvyšuje i difúze.

Součinitel kapilární vodivosti

Pro výpočet součinitele kapilární vodivosti se běžně uplatňuje Matanova metoda, u níž postačí znalost jedné křivky

navlhání (obr. 2), čas od počátku experimentu a souřadnice polohy profilu vlhkovního čela, která odpovídá této křivce. Využívá Boltzmannovu transformaci, kterou je možné použít v případě krátkých časů, kdy se ještě neprojeví okrajová podmínka na suchém konci vzorku a převádí řešení parciální diferenciální rovnice, získané spojením rovnice kontinuity a Lykovovy rovnice pro hustotu toku, na obyčejnou diferenciální rovnici.



Obr. 2. Vlhkostní profily $u(x)$ v intervalech t_x při navlhání měřeného vzorku s vyznačením počátečních a okrajových podmínek pro stanovení součinitele vlhkovní vodivosti [4]

A – souřadnice počátku profilu vlhkovního čela, B – souřadnice jeho délky, C – souřadnice do suché oblasti do ∞ , u_2 – hmotnostní vlhkost vzorku, u_1 – hmotnostní vlhkost materiálu po navlhnutí

Předpoklad průběhu křivek navlhání v časových intervalech t_1 až t_4 po zahájení navlhání a vyjádření hraničních podmínek pro výpočet součinitele vlhkovní vodivosti κ je znázorněn na obr. 2. Na ose x jsou délky jako souřadnice, a to ve vzdálenosti od kontaktu měřeného vzorku s volnou hladinou.

Matanova metoda

Použitím Boltzmannovy transformace postupným integrováním podle souřadnice x (ξ) vyjádříme součinitele vlhkovní vodivosti. Tato souřadnice převádí řešení parciální diferenciální rovnice na řešení obyčejné diferenciální rovnice v nové proměnné η funkci dvou proměnných x, t na funkci na fci ω proměnné η [2]

$$u(x, t) = \omega(\eta), \quad (1)$$

kde ω je nová proměnná za předpokladu, že t je vybraný interval a η je transformace, označená jako Boltzmannova souřadnice [$m \cdot s^{-1/2}$], s okrajovými podmínkami

$$u(0, t) = \omega(0) = u_1, \quad u(x, 0) = \omega(\infty) = u_2.$$

Postupným integrováním podle souřadnice x (ξ) můžeme počítat součinitele kapilární vodivosti zavedením ξ jako substituce vzdálenosti měřené v délce vzorku od bodu na křivce vlhkovního čela du , ve vzorci vyjádřená do ∞ , avšak pro praktické uplatnění je brána do intervalu na měřeném vzorku do vzdálenosti, kde se projeví vlhkost v ustáleném stavu, to je u_2 , to je hodnota relativní vlhkosti měřeného materiálu.

Známe-li rozložení vlhkosti $u(x)$ v daném čase t (tzn. t je konstanta a $u(x)$ je funkce jediné proměnné x), můžeme vy-

jádřit součinitele vlhkovní vodivosti κ jako funkce vlhkosti v délce vlhkovního čela sledovaného vzorku materiálu [2]

$$\kappa(u(x)) = \frac{1}{2tu'(x)} \cdot \int_x^\infty \xi \cdot u'(\xi) d\xi \quad [m^2 s^{-1}], \quad (2)$$

kde t je interval, ve kterém je vlhkost měřena jako funkce křivky $u(x)$ v délce konkrétního vlhkovního čela [s];

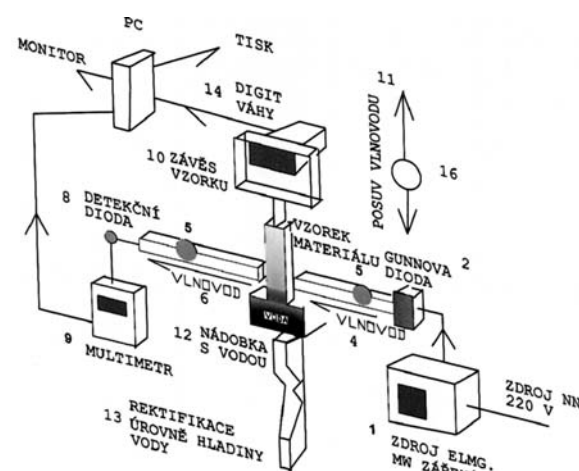
ξ – substituce vzdálenosti měřená v délce vzorku od bodu na křivce vlhkovního čela du ve vzorci vyjádřená do ∞ , avšak pro praktické uplatnění je brána do intervalu na měřeném vzorku do vzdálenosti, kde se projeví vlhkost v ustáleném stavu, to je u_2 , to je hodnota relativní vlhkosti měřeného materiálu [-];

x – souřadnice v délce vzorku a pro identifikaci její přesné polohy jsou potřeba naměřené hodnoty postupu vlhkovního čela, zjištěné od úrovně spodní plochy měřeného vzorku [m];

u' – derivace vlhkosti podle prostorové souřadnice, z počátku bude ∞ a s přibývajícím časem půjde k 0 substitucí x za ξ je u' derivace podle ξ .

Měření vstupních údajů pro výpočet součinitele kapilární vodivosti

Pro měření vstupních údajů k výpočtu součinitele kapilární vodivosti κ byla v Ústavu pozemního stavitelství VUT FAST Brno sestavena měřicí aparatura (obr. 3), využívající elektromagnetické mikrovlnné záření (EMVZ). Měří se propustnost při průchodu vzorkem definované tloušťky 20 mm, která závisí na vlhkosti obsažené ve vzorku. Aparatura je uspořádána tak, že vzorek porézního materiálu ve tvaru kvádru je umístěn mezi vysílací a přijímací vlnovody, jeho nejmenší základna je v kontaktu s vodní hladinou. Vzorkem vztlíná voda a kolmo ke směru vztlínání nejtenčí stranou propustuje paprsek záření. Jeho výšku od vodní hladiny je možné plynule měnit motorovým pohonem pohybu vlnovodů. Pro efektivní sledování transportu vztlínající vlhkosti v materiálu byly nastaveny jednoznačné počáteční a okrajové podmínky.



Obr. 3. Konstrukční schéma měřicí aparatury

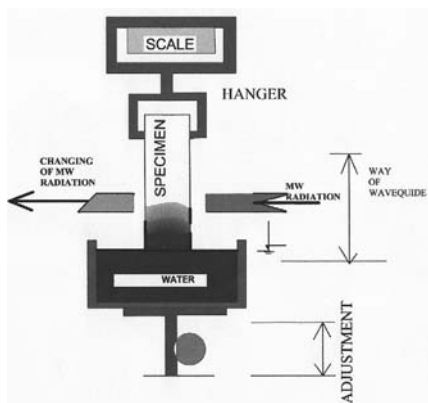
Měřicí aparatura umožňuje detekci veličiny v podobě propustnosti (resp. absorbance) svazku elektromagnetického mikrovlnného záření po průchodu vzorkem konstantní tloušťky, která závisí na obsahu kapalné vlhkosti ve vzorku, sledovat transport vlhkosti, její rozložení a množství v materiálu, a tím stanovit:

- závislost změny intenzity záření na hmotnostní vlhkosti;
- polohu profilu vlhkovstního čela při navlhání na základě změny intenzity záření v závislosti na vlhkosti;
- křivky navlhání v různých intervalech od počátku navlhání vzorku materiálu;
- výsledky měření je možné stanovit v decibelech nebo v milivoltech.

Tok záření je ve vlnovodu soustředěn do úzkého svazku průměru do 3 mm. Maximální výkon mikrovlnného generátoru je v bezpečné oblasti. Mikrovlnné záření, které po průchodu vzorkem dopadá na čidlo přijímače, vyvolá v závislosti na dopadajícím výkonu napěťovou odezvu, která je úměrná dopadajícímu výkonu. Při maximálním výkonu vysílače snímá přijímací anténa a vyhodnocovací jednotka napětí 500 mV.

Princip detekce křivky navlhání

Sledovaný vzorek materiálu je volně zavěšen na vahách mezi vlnovody. Uvedením jeho spodní plochy do kontaktu s vodní hladinou je zahájeno navlhání, a současně je zapisována i hmotnost vnikající vody. Při splnění počátečních i okrajových podmínek je možné zachytit křivky navlhání v krátkých intervalech kontinuálně bez přerušení a bez destrukce vzorku materiálu.



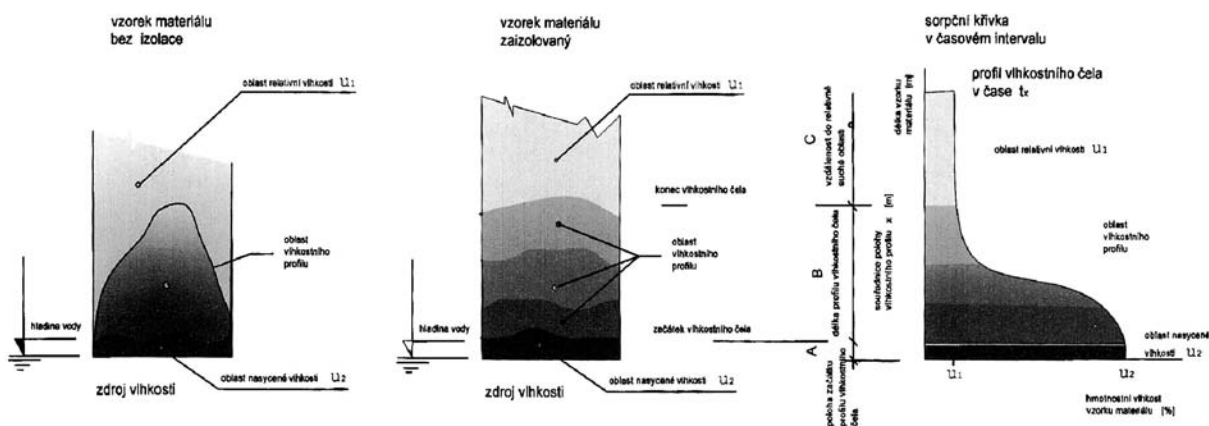
Obr. 4. Princip detekce křivky navlhání měřicí aparaturou

Schéma předpokládaného průběhu navlhání vzorku materiálu, který je uveden spodní plochou do kontaktu s vodní hladinou, je na obr. 5. Vlevo je pohled na vzorek při pronikání vody vzlináním ve svislém směru, vpravo graf vyjadřující množství vody rozložené v délce vzorku v intervalu t_x od počátku navlhání. Představuje rozložení vlhkosti jako křivku navlhání, kde u_2 je hmotnostní vlhkost v zóně těsně u hladiny vody a u_1 relativní hmotnostní vlhkost sledovaného materiálu v ustáleném stavu pro „suchou oblast“. Vlevo je znázorněn předpoklad navlhání a postupu kapalné vlhkosti v případě, že vzorek není po obvodu vodotěsně izolován, a tudíž dochází k odpařování vlhkosti z jeho povrchu.

Interakce záření s vlhkým materiálem

Elektromagnetické mikrovlnné záření, které prochází porézní látkou, je v menší míře pohlcováno pevnou fází dané látky (včetně krystalicky vázané vody) a ve větší míře volnou, tj. chemicky nevázanou vlhkostí, zejména kapalnou vodou v pórech. Pohlčená energie je v obou případech použita na překonání třecích sil, které brání otáčejícím se nebo deformujícím se molekulám přítomným v látce v pohybu. K tomuto pohybu jsou molekuly nuceny pod působením proměnného elektrického pole záření. Čím více se elektricky polární molekuly mohou v jeho proměnném poli natáčet či deformovat a čím je prostředí hustší, tím je tření mezi otáčejícími se nebo deformujícími se molekulami a okolím větší, a tím více je záření pohlčeno a změněno v teplo. Molekulární řetězce v krystalové mřížce porézní látky se nemohou takřka vůbec otáčet ani deformovat, a proto záření takřka vůbec nepohlčují, i kdyby byly velmi polární. Molekulární řetězce na okrajích krystalických zrn (v mezikrystalické fázi) se již mohou více deformovat, a tím je pohlčován (to je případ polykrystalických, tzn. keramických látek, jako je cihelný pálený keramický střep apod.). Polární molekuly vodní páry přítomné v pórech látky se mohou natáčet v poli záření ještě lépe, stejně jako molekuly vody v kapalně fázi. Polární molekuly vody se nalézají ve velmi hustém prostředí, a proto kapalná voda pohlčuje elektromagnetické mikrovlnné záření nejintenzivněji.

Využití elektromagnetického mikrovlnného záření ke sledování transportu vlhkosti je založeno na Lambertově-Beerově zákoně, který vyjadřuje vztah mezi absorbancí, optič-



Obr. 5. Teoretické předpoklady průběhu navlhání vzorku materiálu pro sestavení měřicí aparatury

kou délkou a koncentrací z pohlcující substance. Empiricky odvozený zákon [3] má exponenciální podobu

$$A = \log I_0/I = k \cdot c \cdot s, \quad (3)$$

kde A je absorbance [-];

I_0 – intenzita dopadajícího záření;

I – intenzita záření po projití hmotou;

s – délka materiálu, kterým záření projde (the path length), optická délka [m];

c – molární absorpivita (extinkční koeficient) [$\text{m}^2 \text{mol}^{-1}$];

k – koeficient molární koncentrace látky v roztoku [mol m^{-3}].

Jednotkou je v tomto případě bel [B], častěji decibel [dB], protože jde o dekadické logaritmy, jinak by to byl pro přirozené logaritmy neper [Np]. Tento zákon vychází z předpokladu, že vrstvy stejně velmi malé tloušťky ds zeslabí záření vždy o stejnou poměrnou část dI , úměrnou tloušťce této vrstvy [3].

Bodově fokusovaný svazek elektromagnetického mikrovlnného záření 2,4 GHz o toku I_0 vstupuje do vzorku o tloušťce $s = 20$ mm a na opačné straně vystupuje snížený na hodnotu I . Propustnost t (transmittance), resp. pohltivost A (absorbance), jsou definovány [3] jako podíl

$$t = \frac{I}{I_0}, \text{ resp. } A = \frac{I_0 - I}{I_0} = 1 - t. \quad (4)$$

Propustnost závisí na tloušťce vzorku. Na základě Lambertova-Beerova zákona můžeme stanovit absorpční součinitel α , který na jeho tloušťce nezávisí, a je tedy materiálovou konstantou

$$\frac{dI}{I} = -\alpha \cdot ds, \quad (5)$$

odkud integrací

$$I = I_0 \cdot e^{-\alpha \cdot s}, \quad (6)$$

kde I_0 je okrajová intenzita v místě $s = 0$. Podle Beerova zákona je součinitel α přímo úměrný koncentraci látky, která pohlcuje záření. Logaritmováním integrálního zákona dostaneme

$$\alpha = -\frac{1}{s} \cdot \ln \left(\frac{I}{I_0} \right). \quad (7)$$

Na základě shora uvedeného zákona by bylo možné stanovit absorpční součinitel α , který není závislý na tloušťce vzorku, a je tedy materiálovou konstantou [3]. Absorpční součinitel α má význam v tom, že je stejný pro tentýž (a stejně vlhký) materiál různé tloušťky, a nebylo by tedy nutné pořizovat vzorky definované tloušťky. Kapalná vlhkost a v menší míře i vodní pára, přítomné ve vzorku, snižují jeho propustnost a zvyšují absorpční součinitel pro elektromagnetické mikrovlnné záření. Kapalná vlhkost a v menší míře i pára snižují propustnost mikrovlnného záření t a zvyšují absorpční součinitel α .

Podíl vlhkosti na propustnosti záření

Elektromagnetické mikrovlnné záření, které prochází porézni látkou, je slabě pohlcováno pevnou fází včetně krystalicky vázané vody. Je to proto, že se chemicky vázané mole-

kuly nemohou otáčet a třít o okolní molekuly. Voda a pára, jejíž silně polární molekuly nejsou vázány v krystalové struktuře, jsou naopak cyklicky proměnným elektromagnetickým polem záření orientovány (jejich elektrické dipóly jsou natáčeny proti směru elektrické složky záření), a proto záření a jeho energii pohlcují. Pohlcená energie je použita na překonání třecích sil, které brání otáčející se molekule v pohybu. Čím je prostředí hustší, tím je tření mezi otáčejícími se molekulami a okolím větší. Proto voda pohlcuje záření mnohem více než pára.

Dopadá-li na vzorek keramického páleného střepu cihlového vzorku $2 \times 10 \times 20$ cm v podmínkách ustálené vlhkosti bodově fokusovaný tok elektromagnetického mikrovlnného záření o velikosti I_d , která je reprezentována na snímači jeho výkonu napětovým výstupem 500 mV, sniží se tento tok po průchodu nejtenčí stěnou vzorku na 385 mV. Propustnost materiálu s ustálenou vlhkostí pak je $t = 385/500 = 0,77$ a součinitel absorpce podle (9) je $\alpha = 13,07 \text{ m}^{-1}$. Pro další úvahy je možné předpokládat, že příspěvek vlhkosti přítomné ve vzorku k celkovému součiniteli absorpce α je aditivní veličinou, která se přičítá k součiniteli absorpce suchého vzorku a nezávisí na jeho velikosti. Potom pro celkový součinitel absorpce platí $\alpha = \alpha_s + \alpha_v$, kde α_s je absorpční součinitel suchého vzorku a α_v absorpční součinitel vlhkosti ve vzorku. Potom platí

$$t = t_s \cdot t_v \quad (7), \text{ tedy } t_v = \frac{t}{t_s} \quad (8) \text{ a } \alpha_v = \frac{\alpha - \alpha_s}{1 - \alpha_s}, \quad (9)$$

kde t_s je propustnost suchého vzorku a t_v propustnost vlhkosti vzorku, a pro absorpční součinitel přítomné vlhkosti platí

$$\alpha_v = -\frac{1}{s} (\ln(t) - \ln(t_s)) = -\frac{1}{s} \cdot \ln(t) - \alpha_s. \quad (10)$$

Funkční závislost změny intenzity záření na její nastavené hodnotě (obr. 4) vyjadřuje míru pohlcení elektromagnetického mikrovlnného záření na jeho vstupní intenzitě při detekci v přístrojových jednotkách [mV]. Intenzita záření je vyjádřena prostřednictvím přístrojových jednotek na výstupu z aparatury na měření intenzity záření. Nelinearita křivky spíše svědčí o nepřesnosti v aparatuře – mezi napětím a zářivým tokem, tedy výkonem [W]. Graf se hodí pro odečet příspěvku ustálené vlhkosti od celkové pohltivosti toku záření tak, aby chom pracovali jen s pohltivostí vyvolanou vzdušnou vodou.

Z grafu je zřejmé, že jde o lineární závislost rozdílu mezi detekovaným napětím, které představuje vstupující tok záření, a napětím vyvolaným intenzitou prošlého záření na velikosti nastaveného napětí. Vzhledem ke skutečnosti, že prošlé, resp. pohlcené záření, je podle fyzikálního zákona úměrné vyslanému (to platí zejména pro malé výkony), je možné fotometrické veličiny (4), tj. pohltivost t a propustnost α , počítat přímo pomocí u_{in} a u_{out} z přístrojového výstupu

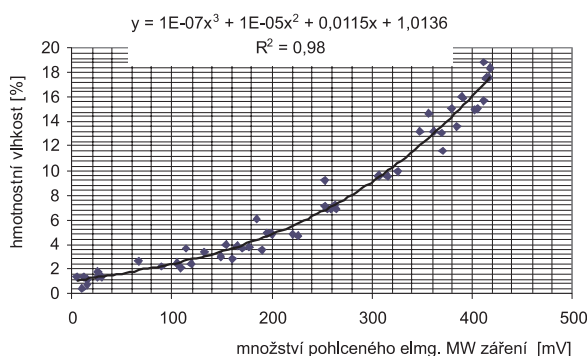
$$t = \frac{u_{out}}{u_{in}}, \quad (11)$$

$$\alpha = \frac{u_{in} - u_{out}}{u_{in}}. \quad (12)$$

Stanovení závislosti absorpce záření na hmotnostní vlhkosti

Keramický pálený střep i plinosilikát je možné charakterizovat jako pórovitě inertní hmoty. V první fázi experimentu byla na totožných vzorcích keramického páleného střepu

tloušťky $s = 20$ mm s různou vlhkostí měřena propustnost pro elektromagnetické mikrovlnné záření. Jeho tok odpovídal výstupu napětí 500 mV na snímači výkonu záření. Bezprostředně poté byla změněna skutečná vlhkost gravimetrickou metodou. Grafické vyjádření funkční závislosti pohlceného mikrovlnného záření na hmotnostní vlhkosti vzorku keramického páleného střepu pro popisované experimentální uspořádání a z ní odvozená funkční závislost jako mocninná funkce třetího stupně je uvedeno na obr. 6. Počátek vodorovné souřadnice byl nastaven od úrovně pohlceného záření pro suchý vzorek, který snižuje jeho tok, reprezentovaný napětím 500 mV, na výstupní tok, reprezentovaný napětím 420 mV (pokles o 80 mV, pro ustálenou vlhkost je pokles 115 mV). Hodnoty hmotnostní vlhkosti byly stanoveny gravimetricky.



Obr. 6. Funkční závislost na hmotnostní vlhkosti vzorku keramického páleného střepu

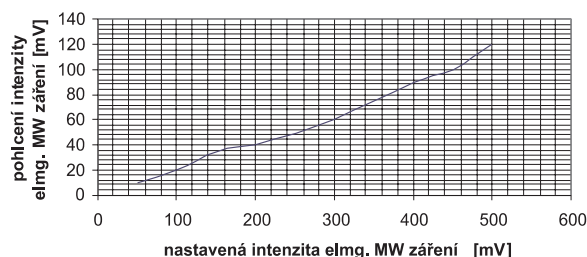
Z obrázku je patrná funkční závislost poklesu toku elektromagnetického mikrovlnného záření na hmotnostní vlhkosti. Jestliže změříme tok svazku, který na jedné straně vstupuje do vzorku o tloušťce $w = 0,02$ m (v přístrojových jednotkách je to 500 mV), a dále tok, který na druhé straně vystupuje z vlhkého vzorku, můžeme z rozdílu mezi napětím spočítat hmotnostní vlhkost v procentech ve vzorku podle rovnice z hodnot naměřených jako funkční závislost změny intenzity záření na hmotnostní vlhkosti, jako polynom třetího stupně [4], pro sadu šesti vzorků

$$y(u) = 1 \cdot 10^{-7} \cdot u^3 + 1 \cdot 10^{-5} \cdot u^2 + 0,0115 \cdot x + 1,0136. \quad (13)$$

Rovnice platí pro experimentální uspořádání s daným mikrovlnným zářičem pro definiční obor $u \in (0; 450)$, kdy je výstupní napětí ze snímače toku dosazováno v milivoltech. Předpokladem pro stanovení funkční závislosti změny intenzity elektromagnetického mikrovlnného záření na hmotnostní vlhkosti je, aby materiály vykazovaly pro záření dostatečnou propustnost, což je splněno u většiny silikátových a keramických staviv. Přestože rovnice (13) není univerzální, platí pro jednu aparaturu a jedno experimentální uspořádání a nelze ji aplikovat obecně, ukazuje na zásadní skutečnost. Obsah vlhkosti ve stavební konstrukci lze rychle, nedestruktivně a relativně snadno stanovit z měření propustnosti mikrovlnného záření o frekvenci 10 GHz vlnové délky přibližně 30 mm.

Mezi energií zářivého svazku a napěťovým výstupem z aparatury existuje relace jako úměrnost mezi tokem záření a výstupem v milivoltech. Výsledek měření na experimentální aparatuře je uveden na obr. 7. Detekované napětí generuje snímač toku záření experimentální aparatury. Měření platí pro keramický pálený střep v suchém stavu. Rozdíl, kte-

rý vykazuje tok před průchodem vzorkem a po něm, je úměrný napětí, které reprezentuje velikost toku vstupujícího do vzorku.



Obr. 7. Rozdíl mezi napětím vstupního a prošlého toku záření

Lineární závislost rozdílu mezi napětím, které reprezentuje vstupní tok záření, a napětím, které reprezentuje tok prošlý vzorkem, na velikosti napětí určujícího vstupní tok je patrná z obr. 7. Vzhledem k tomu, že propuštěné, resp. pohlcené záření, je podle fyzikálního zákona úměrné vstupujícímu (zejména to platí pro malé výkony zářivého toku, s jakými pracujeme), můžeme fotometrické veličiny ve vzorcích (4), tzn. propustnost t a pohltivost a , počítat přímo pomocí napětí u_{in} a u_{out} z přístrojového výstupu.

Experimentální křivka vykazuje jistou nelinearitu, která nejspíš nemá hlubší fyzikální příčinu a je dána přístrojovou chybou snímače výkonu zářivého toku. Při proložení experimentální křivky přímkou dostaneme již dříve uvedenou pohltivost $a = 0,23$, resp. propustnost $t = 0,77$. Zavlhhlý materiál pak vykazuje pro záření měřitelně menší propustnost.

Stanovení vlhkosti z fotometrických měření v oblasti záření

Nahradíme-li napětí jako výstupní přístrojovou veličinu, reprezentující tok záření a její jednotky v rovnici (13), známou fotometrickou veličinou – propustností (případně pohltivostí) elektromagnetického mikrovlnného záření v konkrétním stavebním materiálu s různou vlhkostí, je možné předpokládat, že výsledky této práce a jejich výklad dosáhnou potřebné obecnosti a nezávislosti na experimentálním uspořádání. Podkladem jsou výsledky měření keramického cihelného střepu, uvedené v grafu na obr. 6.

Vysušený vzorek tloušťky 0,02 m, na který dopadá tok záření, určený napěťovou odezvou čidla o velikosti 500 mV, pohltí část záření tak, že z opačné strany vzorku vystupuje záření, které vyvolá napěťovou odezvu 420 mV. Propustnost vzorku

$$t_s = \frac{u_{out}}{u_{in}} = \frac{423}{500} = 0,84. \quad (14)$$

Propustnost je závislá na tloušťce vzorku. Aplikací vzorce (9) stanovíme absorpční součinitel, který je již materiálovou vlastností vzorku na jeho tloušťce nezávislou

$$\alpha_s = -\frac{1}{0,02} \cdot \ln 0,846 = 8,36. [\text{m}^{-1}] \quad (15)$$

Pokud je tentýž vzorek zvlhčen na 12 % hmotnosti, což odpovídá takovému poklesu toku záření po průchodu vzorkem, který odpovídá poklesu napětí snímače z 500 na 95 mV, tedy o 405 mV. Propustnost vzorku o vlhkosti 12 %

hmotnosti je tedy $t = 94,33/500 = 0,189$. To znamená, že propustnost přítomné vody ve vzorku tl. 0,02 m

$$t_v = \frac{0,189}{0,846} = 0,223 \quad (16)$$

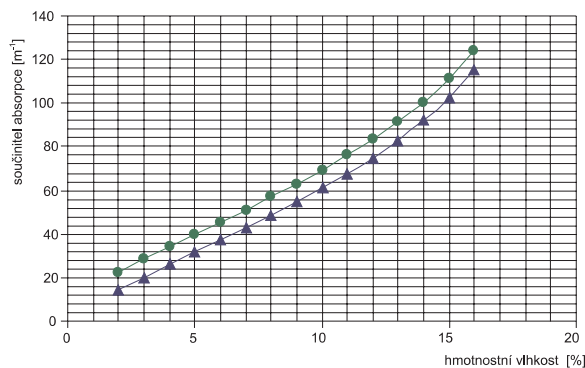
a absorpční součinitel je podle (9)

$$\alpha_v = -\frac{1}{0,02} \cdot \ln 0,223 - 8,36 = 75,0 \text{ [m}^{-1}\text{]}. \quad (17)$$

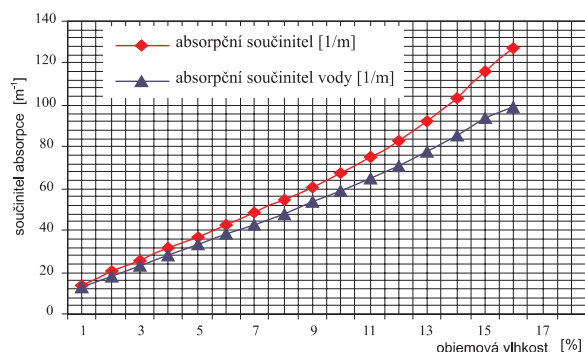
Je zřejmé, že absorpční součinitel vody obsažené ve vzorku velmi rychle roste s jejím obsahem, a hlavně to, že obsah vody – v uvedeném případě 12 % hmotnostní vlhkosti – několiknásobně převyšuje absorpční součinitel suchého vzorku.

V tabulkách 1 a 2 a je uveden přepočít „přístrojové“ funkční závislosti podle rovnice (13), z hodnot naměřených mikrovlnnou aparaturou při sledování vzorku materiálu keramického páleného střepu, na hledané obecnější relace mezi absorpčním součinitelem, resp. absorpčním součinitelem vody ve vzorku obsažené. Hodnoty závislých veličin byly počítány pomocí výše uvedených vzorců. Součinitel absorpce suchého vzorku materiálu je $8,36 \text{ m}^{-1}$. Je možné předpokládat, že i pro jiné materiály bude průběh absorpčního součinitele v závislosti na vlhkosti obdobný. Objemový podíl vody je zde definován jako objem kapalné vody přítomné ve vzorku dělený objemem vzorku.

Grafické vyjádření závislosti absorpčního součinitele navlhčeného vzorku materiálu a absorpčního součinitele vody přítomné ve stejném vzorku keramického páleného střepu na jeho hmotnostní a objemové vlhkosti vyjádřené v procentech je uvedeno na obr. 8.



a)



b)

Obr. 8. Závislost absorpčního součinitele
a – na hmotnostní vlhkosti, b – na objemové vlhkosti

Měření probíhalo na vzorku keramického páleného střepu a je zřejmé, že pravděpodobně i pro jiné pórovité inertní

Tab. 1. Přepočít závislosti absorpčního součinitele vody na hmotnostní vlhkosti

hmotnostní vlhkost [%]	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00	15,00	16,00
absorpční součinitel [%]	22,37	28,45	34,23	39,86	45,46	51,12	56,91	62,94	69,28	76,05	83,39	91,49	100,60	111,20	124,10
objemový podíl vody	14,00	20,10	25,90	31,50	37,10	42,80	48,60	54,60	60,90	67,70	75,00	83,10	92,30	102,90	115,70

Tab. 2. Přepočít závislosti absorpčního součinitele vody na objemové vlhkosti

objemová vlhkost, [%]	3,00	4,50	6,00	7,50	9,00	10,50	12,00	13,50	15,00	16,50	18,00	19,50	21,00	22,50	24,00
absorpční součinitel [m^{-1}]	20,83	26,62	31,67	36,62	41,53	46,46	51,12	56,57	61,86	67,39	73,23	79,48	83,23	93,66	102,00
absorpční součinitel vody [m^{-1}]	12,48	18,23	23,32	28,27	33,18	38,11	42,77	48,22	53,51	59,04	64,88	71,13	77,88	85,31	93,62

Tab. 3. Přepočít funkční závislosti (26) na závislosti absorpčního součinitele jako funkci hmotnostní vlhkosti a funkci objemového podílu vody

absorpční součinitel vody [m^{-1}]	12,20	21,90	29,90	37,30	44,60	52,20	59,80	67,90	76,50	86,10	97,30	111,70	130,30	154,80	204,70
hmotnostní vlhkost [%]	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00	15,00	16,00
objemový podíl vody	0,03	0,05	0,07	0,09	0,10	0,12	0,14	0,15	0,17	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26	0,27

hmoty bude průběh závislosti celkového absorpčního součinitele na hmotnostní vlhkosti obdobný.

Z fyzikální podstaty interakce elektromagnetického mikrovlnného záření i z uvedených teoretických předpokladů vyplývá, že absorpční součinitel vody je možné považovat za nezávislý na stavebním materiálu, který vlhkost nese. Jinými slovy, z hodnoty absorpčního součinitele vody α_v ve stavebním materiálu, který je stanoven na základě měření propustnosti mikrovlnného záření 10 GHz, lze přímo stanovit objemový podíl vody ve vzorku. Průběh absorpčního součinitele volné vody ve vzorku, vyjádřený objemovou vlhkostí, by měl být stejný pro různé typy poréznych materiálů, takže by bylo možné tvrdit, že z hodnoty absorpčního součinitele vody, obsažené v jakémkoli inertním stavebním materiálu, lze přímo stanovit objemovou vlhkost podle *tab. 2*. Toto tvrzení je však třeba experimentálně ověřit.

Závěry

Základem teoretického popisu dynamiky šíření vlhkosti v porézní inertní hmotě je spojení rovnice kontinuity s Lykovovou rovnicí, která definuje součinitel kapilární vodivosti a gradient relativní vlhkosti vystupující jako formální hnací potenciál. Snazší řešení rovnice, popisující jednorozměrné šíření vlhkosti pomocí Boltzmannovy transformace, má za následek, že prostorové rozložení vlhkosti v materiálu, které se předpokládá pro různé časy od počátku navlhání, vede ke stejné závislosti součinitele kapilární vodivosti na hmotnostní vlhkosti. Jak přesně tento model popisuje skutečnost, je nutné ověřit.

Na základě měření propustnosti mikrovlnného záření porézním stejnorodým inertním materiálem s různým obsahem kapalné vlhkosti byl nalezen klíčový vztah (13) mezi vlhkostí vzorku materiálu a přístrojovou odezvou. Z lineární charakteristiky snímače toku záření na aparatuře, kde je výstupní napětí [mV] přímo úměrné výkonu svazku [W], resp. hustotě záření [W/m²], by bylo možné pomocí vzorců (11) a (12) stanovit propustnost pro záření a z tloušťky vzorků i součinitele absorpce standardně definované materiálové konstanty. Z měření propustnosti různě vlhkého materiálu vyplynulo, že jejich absorpce výrazně závisí na obsahu vlhkosti ve vzorku.

Článek vznikl na základě plnění dílčích úkolů k výzkumnému záměru MSM0021630511 „Progresivní stavební materiály s využitím druhotných surovin a jejich vliv na životnost konstrukcí“, a s materiální podporou ÚPST FAST VUT v Brně.

Literatura

- [1] Kutálek, M.: Vlhkost pórovitých materiálů, Praha, SNTL 1992.
- [2] Mrlík, F.: Vlhkostné problémy stavebních materiálů a konstrukcí. Bratislava, Alfa 1985.
- [3] Horák, Z. – Kupka F.: Fyzika pro vysoké školy technického směru. Praha/Bratislava, SNTL /Alfa 1976.
- [4] Škramlík, J.: Vlhkost v dutinách stavebních konstrukcí. VUT FAST, DP 2005.

Škramlík, J. – Novotný, M. – Šuhajda, K.: Measurement of Moisture of Construction Materials by Microwave Absorption Method

This paper deals with the application of physical laws to monitoring of moisture transport in materials by employing properties of microwave electromagnetic radiation. The outcomes of the research should prove the feasibility of getting moisture parameters of building materials by a nondestructive method in order to rationalize the design of building structures and eliminate undesirable moisture effects on its use.

Škramlík, J. – Novotný, M. – Šuhajda, K.: Messung des Feuchtegehalts von Baustoffen mit dem Mikrowellen-Absorptionsverfahren

Inhalt des Artikels ist die Anwendung physikalischer Gesetze zur Beobachtung des Feuchtigkeitstransports in Materialien durch Anwendung der Eigenschaften der elektromagnetischen Mikrowellenstrahlung. Die Ergebnisse der Arbeit sollen die Möglichkeit des Erhalts von Feuchtigkeitsparametern von Baustoffen durch eine zerstörungsfreie Methode für den rationellen Entwurf einer Baukonstruktion zur Eliminierung unerwünschter Einwirkung von Feuchtigkeit auf deren Nutzung nachweisen.

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

14. – 15. dubna 2008

ÚTAM AV ČR, Praha

www.SBRA-antihill.com

Hybridně lehčená sádrová hmota

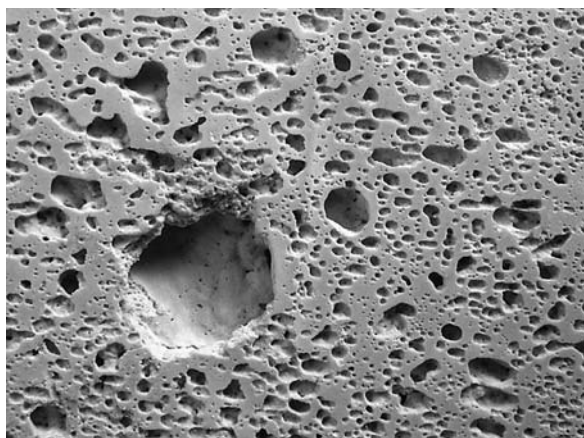
Ing. Alena VIMMROVÁ
doc. Ing. Luboš SVOBODA, CSc.
ČVUT – Fakulta stavební
Praha

Článek popisuje lehčenou sádrovou hmotu, která kromě nadouvané sádrové kaše obsahuje lehké pórovité inertní anorganické plnivo. Zrna porézního plniva účinně omezují tvorbu velkých bublin v tuhnoucí napěňované hmotě. Výsledkem pak je hmota s rovnoměrnější strukturou a lepšími vlastnostmi. Na celkovém vylehčení kompozitu se podílejí póry v pojivu i plnivu, proto je možné hmotu označovat jako hybridně lehčenou.

Úvod

V současné době je sádra jako energeticky málo náročné a ekologicky příznivé stavební pojivo předmětem výzkumné pozornosti. Hledají se další možnosti použití sádrových kompozitů, např. jejich vylehčením, a tím i zlepšením tepelně izolačních vlastností. Jednou z možností, jak vylehčit sádrové hmoty, je využití chemické reakce vytvářející v tuhnoucí sádrové soustavě nadouvací plyn. Nejčastěji je jím oxid uhličitý vznikající kyselým rozkladem anorganického karbonátu [1].

K nevýhodám chemického nadouvacího patří, že při přípravě hmoty, obsahující kromě vlastní sádrové kaše pouze nadouvací přísady, je obtížné zajistit rovnoměrnou tvorbu bublin v celém objemu nadouvaného kompozitu. Dochází ke vzniku ojedinělých bublin řádově větších, než je běžná velikost bublin v tuhnoucí soustavě. Nepravidelný výskyt extrémních bublin způsobuje nežádoucí kolísání výsledných vlastností vznikající tuhé pěny (obr. 1).



Obr. 1. Struktura sádrové hmoty vylehčené pouze nadouvacím plynem

Experimentální část

V rámci zkoušek pěnových sádrových kompozitů, připravovaných pomocí nadouvacího systému tvořeného plavenou křídou a síranem hlinitým, se výskyt bublin systematicky sledoval. V rámci přípravy byly práškové přísady smíchány se sádrovou, kyselá složka se přidávala v tekuté podobě. Odmě-

řené množství tekutého kyselého činidla bylo doplněno na požadované množství vodou, a poté byla přidána sádra s práškovými přísadami. Směs se míchala 30 s v laboratorní míchačce při nízkých otáčkách, následovalo stírání po dobu 30 s, a další míchání za stejných podmínek. Ze směsi se zhotovovala normová tělíska o rozměrech 40 x 40 x 160 mm, která nebyla nijak zhuťována, pouze na povrchu zarovnána. Trámečky se sušily při 50 °C do ustálení hmotnosti, poté se zjišťovala objemová hmotnost a jednodenní pevnost v tahu a tlaku. Zkouška pevnosti v tahu za ohybu probíhala standardním tříbodovým ohybem. Pevnost v tlaku byla stanovena na zlomcích tělísek po zkoušce v tahu za ohybu, zatěžovací plocha lisu byla 40 x 40 mm.

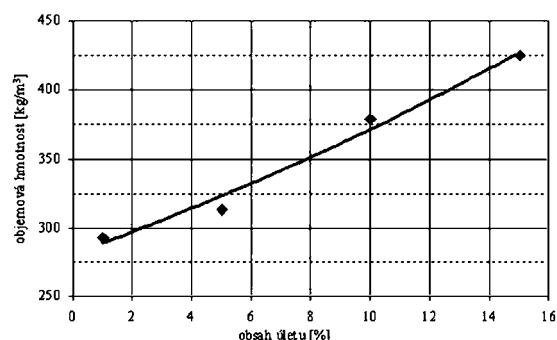
Materiály a vzorky

Základem pro ověřování vhodnosti různých typů mikroplniv byly pěnové směsi s různou objemovou hmotností. Jako mikroplnivo byly ověřovány čtyři anorganické přísady – křemičitý úlet (mikrosilika), uhličitán vápenatý (plavená křída), cement a perlit. První směs byla použita pro ověřování směsi s mikrosilikou, cementem a křídou, druhá pro směsi s perlitem. Pro obě byla základem energosádra (β -sádra) z odpadního sádrovce elektrárny Mělník (výrobce Rigips) s pevností v tlaku 12 MPa a ohybovou pevností 4,7 MPa.

Jako kyselá složka, nutná pro vznik nadouvacího plynu (oxid uhličitý), byl použit práškový síran hlinitý (jemně mletý) u prvního typu směsi, u druhého tekuté kyselý činidlo, tvořené vodným roztokem technického síranu hlinitého a kyseliny citrónové. Kyselina citrónová byla použita pro zpomalení vytvrzovací reakce, která při použití síranu hlinitého vzrůstá. Dále byla do směsi přidána disperze Vinnapas RI 551 Z (výrobce Wacker Polymer Systems) v množství 6,2 a 8,3 % z hmotnosti sádry, prášková celulóza Walocel MKX (výrobce Wolff Cellulosics) v množství 0,33 a 0,20 %. Karbonátovou složku tvořila plavená malířská křída (2,9 a 2,3 %).

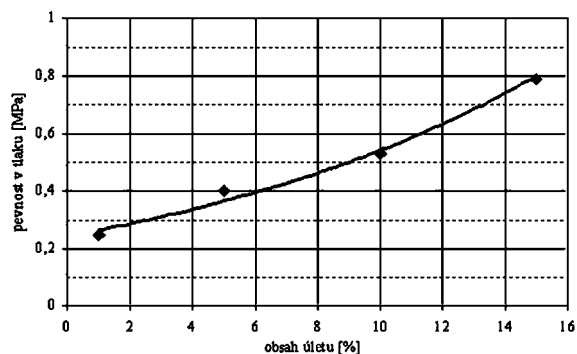
Výsledky

Objemová hmotnost prvního typu kompozitu, připraveného bez mikroplniva, se pohybovala kolem 314 kg·m⁻³ a její pevnost v tlaku kolem 0,33 MPa. Na této směsi se ověřoval přidávek křemičitého úletu, plavené křída a cementu. Jak je zřejmé z obr. 2, přidávek křemičitého úletu výrazně zvětšuje



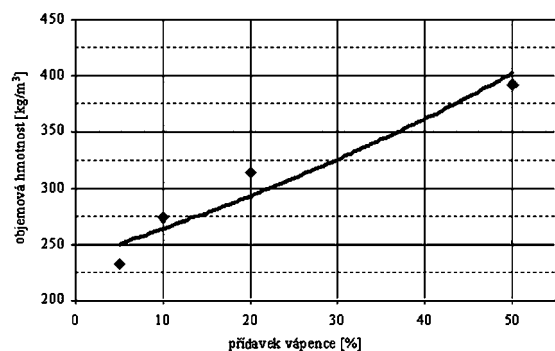
Obr. 2. Objemová hmotnost sádrové pěnové hmoty po přidání křemičitého úletu

je objemovou hmotnost pěnového kompozitu (téměř o 50 % při přísadě 15 % křemičitého úletu z hmotnosti sádry). Přířada úletu tedy výrazně omezuje rozvoj pórovitého systému v napěňované kompozici. I když je v literatuře referováno o možnosti vzniku zpevňující struktury CSH při reakci síranu vápenatého s křemičitým úletem [1], přičítáme zvýšení pevnosti především poklesu pórovitosti napěňované soustavy.



Obr. 3. Tlaková pevnost sádrové pěnové hmoty po přidání křemičitého úletu

Rozhodující vliv snížené pórovitosti na vzrůst pevnosti byl zřejmý i při zvyšování obsahu plavené křídly nad množství, které teoreticky může reagovat s kyselou pěnnotvornou složkou. V takovém případě je možné přidávaný vápenc považovat za inertní plnivo, které nevykazuje nadouvací efekt. Podobně jako v případě křemičitého úletu pak dochází ke zvýšení objemové hmotnosti. K dosažení stejného zvýšení objemové hmotnosti musí být vápenc přidán ve větším množství než křemičitý úlet. Jak ukazuje obr. 4, srovnatelné zvýšení objemové hmotnosti dosáhneme až přísadou 50 % vápence z hmotnosti sádry. Současně s objemovou hmotností se zvyšuje i pevnost podobně jako v případě křemičitého úletu.

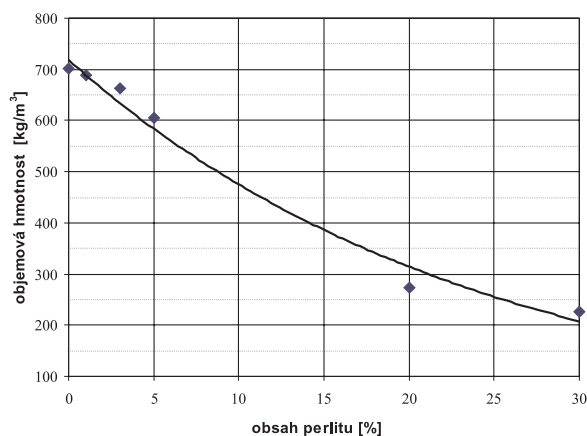


Obr. 4. Objemová hmotnost sádrové pěnové hmoty po přidání přebytku vápence

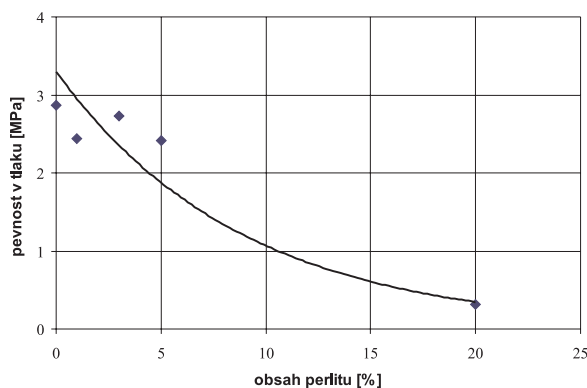
Podobné výsledky byly získány i při použití cementu. Cement sice nemůže být považován za inertní plnivo [3] a výsledky stanovení pevnosti také vykazují větší rozptyl, celkový trend však odpovídá předcházejícím případům a na nárůstu pevnosti se opět podílí především pokles pórovitosti systému.

Jako další přísada byl použit expandovaný perlit (s velikostí zrn do 2 mm a sypanou hmotností $90 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) v množství 1-30 % z hmotnosti sádry. Směs, použitá pro ověřování vlastností perlitu, dosahovala bez mikroplniva objemové hmotnosti $700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a pevnosti v tlaku 2,9 MPa. Směsi s výraznou přísadou perlitu (20-30 %) měly velmi nízké hodnoty

objemové hmotnosti (obr. 5), ale pokles objemové hmotnosti byl provázen neúnosným poklesem pevnosti (obr. 6). I při výrazně nižším dávkování byl vliv perlitu patrný, ale objemová hmotnost vzrostla až k $700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.



Obr. 5. Objemová hmotnost sádrové pěnové hmoty s perlitem



Obr. 6. Pevnost v tlaku sádrové pěnové hmoty s perlitem

Nízkým dávkováním se použití porézního plniva při přípravě nadouvané sádrové kaše zásadně liší od známého použití co největšího množství porézního plniva při přípravě lehčených kompozitů s nenapěňovaným sádrovým pojivem. Porézní plnivo přidávané v malém množství snižuje objemovou hmotnost jen mírně nebo nevýrazně. Při porovnávání s objemovou hmotností sádrové pěny připravené bez tohoto plniva můžeme v řadě případů zaznamenat dokonce zvýšení objemové hmotnosti, které padá na vrub sníženého napěnění sádrového pojiva.

Hlavním důvodem k použití porézního plniva při přípravě nadouvané sádrové hmoty je zjištění, že zrna porézního plniva výše uvedené velikosti účinně omezují tvorbu velkých bublin v tuhnuce napěňované hmotě (obr. 7). Výsledkem pak je hmota s rovnoměrnější strukturou a lepšími vlastnostmi.



Obr. 7. Struktura sádrové pěnové hmoty s přísadou perlitu

Závěr

Bylo zjištěno, že podíl velkých bublin se příliš nemění ani při současném používání povrchově aktivních látek, stabilizujících pěnový systém, ani při současném použití polymerní disperze, zlepšující mechanické vlastnosti sádrového kompozitu. Ukázalo se však, že tvorbu velkých bublin lze potlačit přísadou mikroplniva nebo plniva tvořeného zrny, jejichž velikost se pohybuje maximálně v desetinách milimetru. Na celkovém vylehčení kompozitu na bázi sádrové pěny s přísadou perlitu se podílejí jak póry v pojivu, tak v plnivu, proto je možné vzniklou sádrovou hmotu označovat jako hybridně lehčenou. Tu je pak možné využít především k přípravě tepelně izolačních, sanačních a protipožárních omítek. Možné však je i její využití pro přípravu lehkých prefabrikovaných stavebních prvků.

Článek byl zpracován za podpory výzkumného záměru CEZ MSM 6840770031 „Komplexní systém metod pro řízený návrh a hodnocení funkčních vlastností stavebních materiálů“.

Literatura

- [1] Colak, A.: Density and Strength Characteristics of Foamed Gypsum. Cement and Concrete Composites, 2000, Vol. 22, No. 3, pp. 193–200.
- [2] Kenawy, S. H. – Darweesh, H. H.: Physicomechanical Properties of b-Hemihydrates and Silica Fume Composites. Industrial Ceramics, 2002, Vol. 22, No. 2, pp. 97–101.
- [3] Deng, Y. – Furuno, T. – Uehara, T.: Improvement of the Properties of Gypsum Particleboard by Adding Cement. J. Wood Sci, 1998, Vol. 44, pp. 98–102.

Vimmrová, A. – Svoboda, L.: Hybrid Light Gypsum Material

This paper describes light gypsum material, which is lightened by gas produced in gypsum paste through chemical additives and by inert porous inorganic aggregate. Granules of porous aggregate limit the formation of big bubbles in the material. The final material has a more regular structure with better properties. The material can be called hybrid light material, because the lightening is caused both by the gas and by the light aggregate.

Vimmrová, A. – Svoboda, L.: Kombiniert leicht gemachte Gipsmasse

Der Artikel beschreibt eine Leichtgipsmasse, die außer dem aufgeschäumten Gipsbrei einen leichten porigen anorganischen inerten Füllstoff enthält. Die Körner des porösen Füllstoffs begrenzen wirksam die Bildung großer Blasen in der erhärtenden aufgeschäumten Masse. Das Ergebnis ist dann eine Masse mit einer gleichmäßigeren Struktur und besseren Eigenschaften. An der gesamten Leichtmachung der Verbundmasse beteiligen sich die Poren im Bindemittel und die im Füllstoff. Deshalb ist es möglich, die Masse als kombiniert leicht gemacht zu bezeichnen.

• dizertace



Odráz ekologického zemědělství ve stavebních a krajinných

Ing. Simona Losmanová

Dizertace se zaměřuje na aktuální problematiku ekologického zemědělství a provozu ekofaremu v ČR včetně vlivu prostředí na objekty a provozně architektonického řešení farmy. Součástí práce je návrh dvou optimálních provozů ekofaremu.

Analýza chování betonových mostů velkých rozpětí

Ing. Lukáš Vrablík

Podstatou dizertace je zpřesnění analýzy deformací betonové konstrukce mostu vlivem smršťování betonu a jeho předpětí. Pro analýzu jsou vyvinuty podpůrné softwarové prostředky. Výsledná doporučení jsou přímo využitelná v praxi.

Betonové vodonepropustné konstrukce

Ing. Pavel Kasal

Dizertace se věnuje specifické kategorii vodonepropustných železobetonových konstrukcí nazývaných „bílá vana“. Rozebírá jednotlivé faktory ovlivňující správnou funkci takovéto konstrukce, jako jsou trhliny, nepropustnost betonu, utěsnění pracovních a dilatačních spár, utěsnění prostupů a zpracování a ošetřování betonu.

Spolupůsobení plošného a pilotového základu

Ing. Zdeněk Cihlář

V práci se řeší kombinovaný základ vzniklý spojením plošného a hlubinného typu založení, kde dochází k interakci pilot, desky a základové půdy. Jde především o experimentální ověření závislosti aktivace konstrukce spojující hlavy pilot, deformace a napětí v základové půdě.

Vliv extrémních hydrologických jevů na činnost stokových systémů

Ing. Dagmar Háňková

Dizertace se zabývá vztahem extrémních hydrologických jevů a přetížení stokové sítě. Kategorizují se důsledky těchto jevů z pohledu hydrologické spolehlivosti a bezpečnosti sítě a předkládá se metodika hodnocení rizik spojených s přetížením sítě.

Modelování vztahu povrchového odtoku k vodní erozi půdy

Ing. Hana Nováková

Práce ověřuje možnost aplikace modelu EROSION 3D v podmínkách České republiky a vymezuje úlohy, pro které je model vhodný. Přínos je v oblasti výzkumu eroze půdy a s ní spojených transportních procesů. Může posloužit i pro protierozní ochranu povodí.

Porovnání dvou metod citlivostní analýzy zemních svahů

Ing. Marie KALOUSKOVÁ, CSc.
doc. Ing. Michal ŠEJNOHA, Ph.D.
doc. Ing. Václav BLAŽEK, CSc.

ČVUT – Fakulta stavební
Praha

Článek se zabývá citlivostí stupně bezpečnosti na náhodné základní vstupní parametry – soudržnost, úhel vnitřního tření a vlastní tíhu. Jsou použity dvě metody, a to deterministická citlivostní analýza a stochastická citlivostní analýza ve formě variačních koeficientů. Algoritmus je ilustrován příkladem zemní hráze s postupně rostoucí hladinou vody.

Úvod

Všeobecně uznávaným měřítkem stability svahů je stupeň bezpečnosti FS , z něhož se při pravděpodobnostním řešení určuje pravděpodobnost poruchy $p_f = P(FS \leq \overline{FS})$, kde $\overline{FS} \geq 1$ je předepsaná hodnota. Stupeň bezpečnosti závisí především na parametrech smykové pevnosti c (soudržnost) a φ (úhel vnitřního tření), na vlastní tíze zeminy γ a je také ovlivněn výškou hladiny vody, zejména v případě zemní hráze při postupném napouštění vodní nádrže [1], [2]. Předložená studie je zaměřena na vyšetření vlivu soudržnosti, úhlu vnitřního tření a vlastní tíhy na stupeň bezpečnosti svahu při různých úrovních hladiny a pro tři různá rozdělení náhodných vstupních parametrů. K tomuto účelu jsou použity dva odlišné přístupy. První aplikuje deterministickou a druhý stochastickou citlivostní analýzu. Oba algoritmy jsou ověřeny na číselném příkladu. Veškeré výpočty byly provedeny programem GEO MKP Fine, s.r.o. [3].

Vybrané metody citlivostní analýzy

Nejjednodušší postup nabízí **deterministická citlivostní analýza**. Jde v podstatě o parametrickou studii, v níž se zjišťuje charakter funkce odezvy (v našem případě funkce stupně bezpečnosti) v závislosti na jedné vstupní veličině, přičemž ostatní vstupní parametry jsou konstantní, obvykle rovny svým středním hodnotám. Při řešení citlivosti stupně bezpečnosti FS na vybrané vstupní veličiny c , φ , γ se tedy vyšetřuje průběh funkce $FS(c, \varphi, \gamma)$ za předpokladu, že dvě ze vstupních veličin jsou konstantní a rovny svým středním hodnotám. Citlivost stupně bezpečnosti FS na změnu parametrů c , φ , γ lze hodnotit podle strmosti funkcí

$$FS\left(\frac{c}{\mu_c}, \varphi = \mu_\varphi, \gamma = \mu_\gamma\right), \quad FS\left(c = \mu_c, \frac{\varphi}{\mu_\varphi}, \gamma = \mu_\gamma\right),$$

$$FS\left(c = \mu_c, \varphi = \mu_\varphi, \frac{\gamma}{\mu_\gamma}\right),$$

kde μ_c , μ_φ , μ_γ jsou střední hodnoty soudržnosti, úhlu vnitřního tření a vlastní tíhy.

Odišný pohled poskytne **stochastická citlivostní analýza**, která přihlíží k rozptylu vstupních veličin v celém spektru reálných hodnot. Z několika možných variant se zaměříme na citlivostní analýzu ve formě variačních koeficientů. V literatuře (např. [4]) se doporučuje použití přibližného vzorce

$$v_Z \cong \sqrt{\sum_{i=1}^n v_{Z_i}^2}, \quad (1)$$

kde $Z = f(X_1, \dots, X_p, \dots, X_n)$ je funkce odezvy při náhodných vstupních parametrech X_p ,

$Z_i = f(\mu_{X_1}, \dots, X_i, \dots, \mu_{X_n})$ – funkce odezvy získaná při proměnné vstupní veličině X_i a pevných hodnotách μ_{X_j} ostatních vstupních veličin,

$v_Z = \frac{\sigma_Z}{\mu_Z}$ – variační koeficient funkce odezvy Z ,

$v_{Z_i} = \frac{\sigma_{Z_i}}{\mu_{Z_i}}$ – variační koeficient funkce odezvy Z_i .

Pomocí vztahu (1) se pak určí absolutní vliv jednotlivých náhodných vstupních veličin na funkci odezvy, vyjádřený např. ve výšečovém diagramu.

Podívejme se na význam vzorce (1) podrobněji. Předpokládejme, že funkce odezvy Z je obecně nelineární funkcí dvou proměnných X , Y , tj.

$$Z = f(X, Y). \quad (2)$$

Pokud ji nahradíme Taylorovým rozvojem ve středních hodnotách a nelineární členy zanedbáme, bude pro rozptyl funkce Z platit [5]

$$\sigma_Z^2 = \left[\frac{\partial f}{\partial X} \Big|_{(\mu_X, \mu_Y)} \right]^2 \sigma_X^2 + \left[\frac{\partial f}{\partial Y} \Big|_{(\mu_X, \mu_Y)} \right]^2 \sigma_Y^2 +$$

$$+ 2 \left[\frac{\partial f}{\partial X} \Big|_{(\mu_X, \mu_Y)} \right] \left[\frac{\partial f}{\partial Y} \Big|_{(\mu_X, \mu_Y)} \right] \text{cov}(X, Y), \quad (3)$$

kde μ_X , μ_Y jsou střední hodnoty proměnných X , Y ,
 σ_X^2 , σ_Y^2 – rozptyly proměnných X , Y ,
 $\text{cov}(X, Y)$ – kovariance proměnných X , Y .

První člen pravé strany rovnice (3) má význam rozptylu funkce

$$Z_1 = f(X, \mu_Y). \quad (4)$$

tedy funkce odezvy při pevné vstupní veličině Y rovné střední hodnotě μ_Y , a podobně druhý člen má význam rozptylu

funkce

$$Z_2 = f(\mu_X, Y), \quad (5)$$

tj. funkce odezvy při pevné vstupní veličině X rovné střední hodnotě μ_X . Třetí člen vyjadřuje vliv kovariance vstupních veličin X, Y . Rovnici (3) lze s použitím vztahů (4) a (5) formálně přepsat ve tvaru

$$\sigma_Z^2 = \sigma_{Z_1}^2 + \sigma_{Z_2}^2 + 2 \frac{\partial f}{\partial X} \Big|_{(\mu_X, \mu_Y)} \frac{\partial f}{\partial Y} \Big|_{(\mu_X, \mu_Y)} \text{cov}(X, Y). \quad (6)$$

Vztah (6) je možné zobecnit pro funkci odezvy

$$Z = f(X_1, \dots, X_n), \quad (7)$$

závislou na n parametrech X_i

$$\sigma_Z^2 = \sum_{i=1}^n \sigma_{Z_i}^2 + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \frac{\partial f}{\partial X_i} \Big|_{(\mu_{X_1}, \dots, \mu_{X_n})} \frac{\partial f}{\partial X_j} \Big|_{(\mu_{X_1}, \dots, \mu_{X_n})} \text{cov}(X_i, X_j), \quad (8)$$

kde

$$\sigma_{Z_i}^2 = \left[\frac{\partial f}{\partial X_i} \Big|_{(\mu_{X_1}, \dots, \mu_{X_n})} \right]^2 \sigma_{X_i}^2, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (9)$$

má význam rozptylu funkce odezvy závislé pouze na vstupní veličině X_i při pevných hodnotách $X_j \neq X_i$, které se budou rovnat svým středním hodnotám μ_{X_j} .

Jestliže ve výrazu (8) vyjádříme rozptyly pomocí variačních koeficientů

$$\sigma_Z^2 = v_Z^2 \cdot \mu_Z^2, \quad (10)$$

$$\sigma_{Z_i}^2 = v_{Z_i}^2 \cdot \mu_{Z_i}^2, \quad (11)$$

dostaneme vztah pro variační koeficient odezvy ve tvaru

$$v_Z = \sqrt{\sum_{i=1}^n v_{Z_i}^2 \frac{\mu_{Z_i}^2}{\mu_Z^2} + 2 \frac{1}{\mu_Z^2} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \frac{\partial f}{\partial X_i} \frac{\partial f}{\partial X_j} \text{cov}(X_i, X_j)}. \quad (12)$$

Z porovnání vzorců (1) a (12) vyplývá, že v přibližném vztahu (1) se předpokládá rovnost $\mu_{Z_i} = \mu_Z$ a také statistická nezávislost náhodných vstupních veličin (zanedbávají se jejich kovariance). Pokud jde o první z předpokladů, je splněn přesně, je-li funkce odezvy Z lineární. Uvažujme pro jednoduchost funkci odezvy ve tvaru

$$Z = aX + bY, \quad (13)$$

kde a, b jsou konstanty. Potom platí, že střední hodnota odezvy

$$\mu_Z = a\mu_X + b\mu_Y. \quad (14)$$

Odezva při pevné vstupní veličině $Y = \mu_Y$ je určena vztahem

$$Z_X = aX + b\mu_Y \quad (15)$$

a její střední hodnota má tvar

$$\mu_{Z_X} = a\mu_X + b\mu_Y. \quad (16)$$

Z porovnání (14) a (16) vyplývá rovnost $\mu_Z = \mu_{Z_X}$ a v obecnějším případě většího počtu proměnných X_i platí

$$\mu_Z = \mu_{Z_i}. \quad (17)$$

V přesnějším vzorci (12) je proti zjednodušenému vzorci (1) zohledněn vliv korelací mezi vstupními veličinami.

Citlivost stupně bezpečnosti $FS(c, \varphi, \gamma)$ na tři náhodné vstupní parametry c, φ, γ ve formě variačních koeficientů se řeší s využitím vztahu (12) upraveného na tvar

$$v_{FS}^2 = v_{FS,c}^2 + v_{FS,\varphi}^2 + v_{FS,\gamma}^2 + g[\text{cov}(c, \varphi), \text{cov}(c, \gamma), \text{cov}(\varphi, \gamma)], \quad (18)$$

kde v_{FS} je variační koeficient funkce stupně bezpečnosti při náhodných parametrech c, φ, γ ;

$v_{FS,c}$, resp. $v_{FS,\varphi}$, resp. $v_{FS,\gamma}$ – variační koeficient funkce stupně bezpečnosti při jednom náhodném vstupním parametru c , resp. φ , resp. γ ;

$g[\text{cov}(c, \varphi), \text{cov}(c, \gamma), \text{cov}(\varphi, \gamma)]$ – funkce vyjadřující vliv korelace mezi veličinami c, φ, γ a nelinearity funkce $FS(c, \varphi, \gamma)$.

Podíl jednotlivých parametrů i vlivu korelace a nelinearity na stupeň bezpečnosti lze zobrazit ve výsečovém grafu.

Příklad

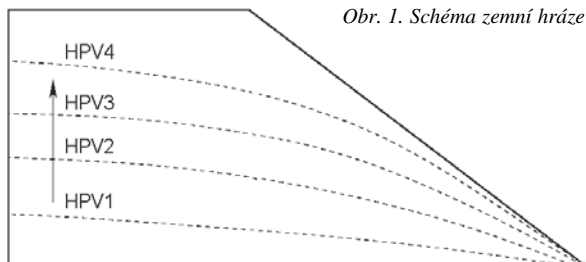
Pro analýzu citlivosti stupně bezpečnosti byl zvolen příklad zemní hráze řešené v [1], [2]. Jako náhodné vstupní veličiny jsou uvažovány soudržnost c , úhel vnitřního tření φ a vlastní objemová tíha γ . Alternativně se používá rozdělení normální, lognormální s kladnou šikmostí (LN+) a lognormální se zápornou šikmostí (LN-). Stochastické parametry včetně korelační matice jsou uvedeny v tab. 1. Tvar svahu a čtyři úrovně hladiny podzemní vody jsou schematicky znázorněny v obr. 1.

Tab. 1. Stochastické parametry veličin c, φ, γ

Veličina	Rozdělení	Dol. kvantil	Hor. kvantil	Modus
c [kPa]	normální	5	15	10,0
	LN+	5	15	7,5
	LN-	5	15	12,5
φ [°]	normální	15	25	20
	LN+	15	25	17
	LN-	15	25	23
γ [kN/m ³]	normální	15	25	20
	LN+	15	25	17
	LN-	15	25	23

Korelační matice

	c	φ	γ
c	1	-0,4	0,3
φ	-0,4	1	0,3
γ	0,3	0,3	1



Obr. 1. Schéma zemní hráze

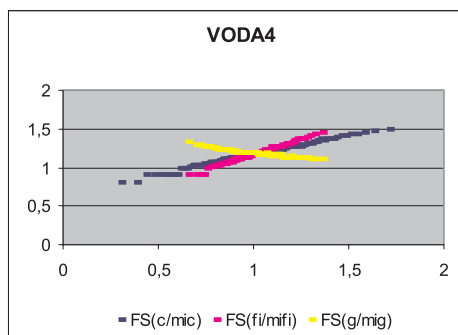
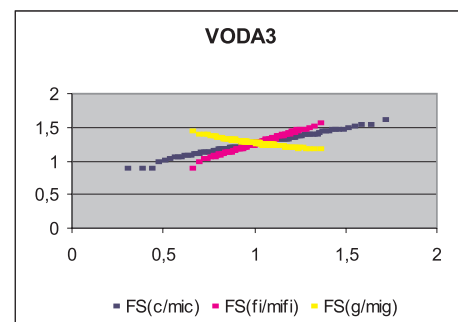
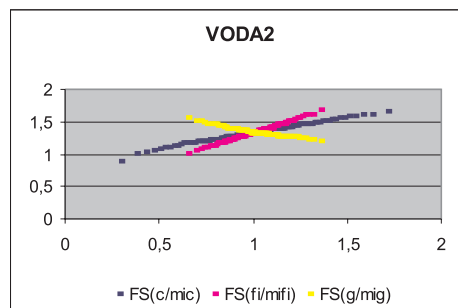
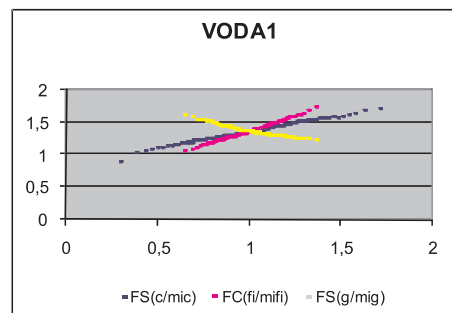
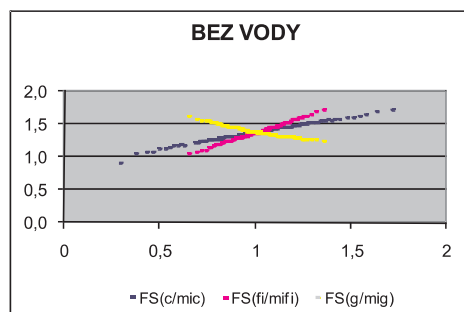
V obr. 2 jsou uvedeny výsledky *deterministické analýzy citlivosti* pro parametry c , φ , γ . Uvažuje se postupně svah bez vody a se čtyřmi různými úrovněmi hladiny vody, označenými pro stručnost jako VODA1 až VODA4. Ve všech grafech v obr. 2 jsou na vodorovné ose vyneseny bezrozměrné veličiny c/μ_c , resp. φ/μ_φ , resp. γ/μ_γ , a na svislé ose hodnoty stupně bezpečnosti FS .

Z grafů je patrný převážně lineární charakter funkce $FS(c, \varphi, \gamma)$ v okolí středních hodnot, kde vychází jednoznačně vyšší citlivost stupně bezpečnosti na změnu hodnot úhlu vnitřního tření (křivky šedě zabarvené) proti změně soudržnosti c (křivky černě zabarvené). Přibližně stejnou citlivost, ovšem zápornou, vykazuje stupeň bezpečnosti na změnu objemové tíhy (světle zabarvené křivky se zápornou směrnici).

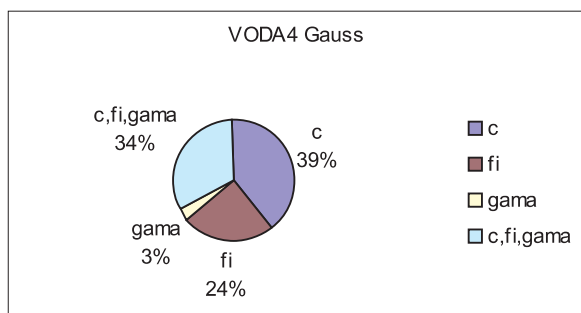
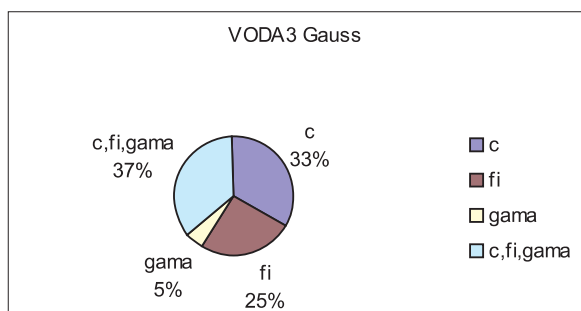
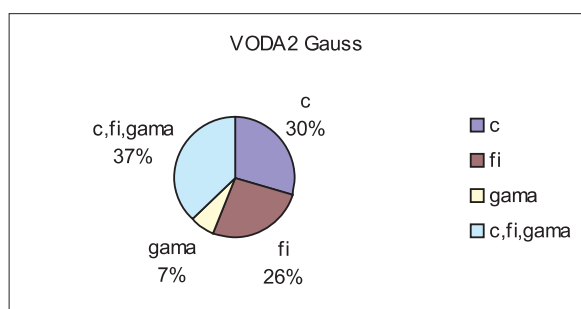
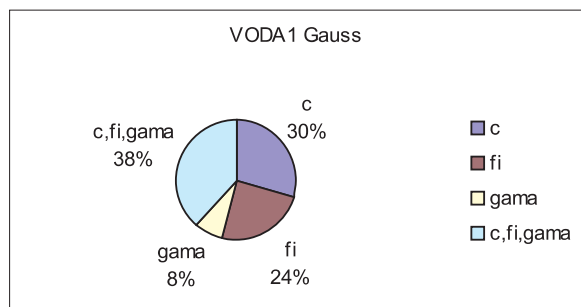
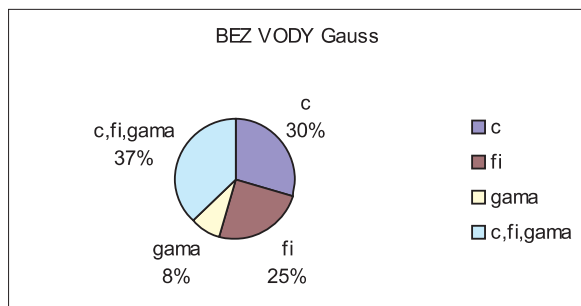
Výsledky *stochastické analýzy* jsou znázorněny na výšečových grafech v obr. 3 a obr. 4. Ve všech případech je uveden procentní podíl jednotlivých členů v rov. (18) na druhé mocnině výsledného variačního koeficientu. Je třeba zdůraznit, že hodnota posledního členu pravé strany rov. (18), vyjadřující vliv statistické závislosti vstupních parametrů a nelinearity funkce $FS(c, \varphi, \gamma)$, se neurčuje přímo, ale jako rozdíl mezi druhými mocninami variačních koeficientů stupně bezpečnosti zjištěného při všech třech náhodných parametrech c , φ , γ a stupňů bezpečnosti v případech, kdy pouze jeden z parametrů je uvažován jako náhodný. Ve sledovaném případě jsou hodnoty tohoto členu vždy záporné (vzhledem k záporné korelaci mezi parametry c , φ) a jejich příspěvek ke druhé mocnině variačního koeficientu se uvažuje v absolutní hodnotě. V grafech jsou tyto příspěvky znázorněny výšečí s popiskem „c, fi, gama“. Pokud se použije zjednodušený vzorec (1), jsou procentní podíly parametrů c , φ , γ samozřejmě výrazně odlišné, avšak proporce mezi vlivy jednotlivých parametrů jsou velmi podobné jako při použití přesnějšího vzorce (18).

Ve všech sledovaných případech (tři různé typy rozdělení, svah bez vody a čtyři úrovně hladiny vody) se ukázal jako rozhodující vliv soudržnosti c na funkci stupně bezpečnosti, kdežto nejméně významný je vliv vlastní tíhy γ . Ukazuje se také značný význam statistické závislosti mezi náhodnými vstupními parametry, vyjádřený v grafech výšečí s popiskem „c, fi, gama“. Vliv parametru c na stupeň bezpečnosti se zvětšuje s rostoucí hladinou podzemní vody, a naopak, vliv vlastní tíhy se zmenšuje. Například v případě normálního rozdělení u suchého svahu je podíl $v_{FS, c}^2$ na druhé mocnině výsledného variačního koeficientu v_{FS}^2 30 %, kdežto při nejvyšší hladině vody činí 39 %. Naproti tomu podíl $v_{FS, \gamma}^2$ na výsledném v_{FS}^2 je u svahu bez vody 8 % a při nejvyšší hladině vody pouze 3 %.

Je však třeba poznamenat, že ve výpočtu jsme se dopustili určitého zjednodušení v tom, že vlastní tíha zeminy nad hladinou podzemní vody a pod ní byla uvažována stejná. Přesnější výpočet by vyžadoval zavedení vlastní tíhy nasycené zeminy pod hladinou podzemní vody.

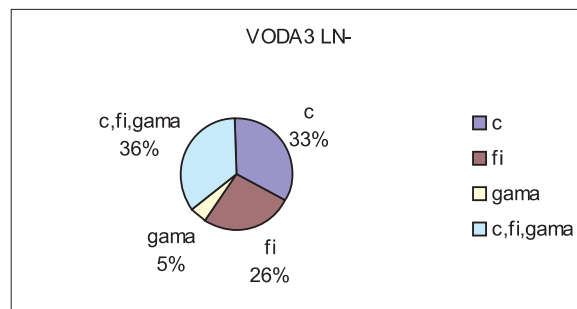
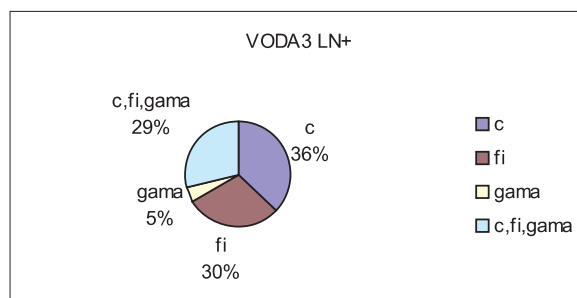
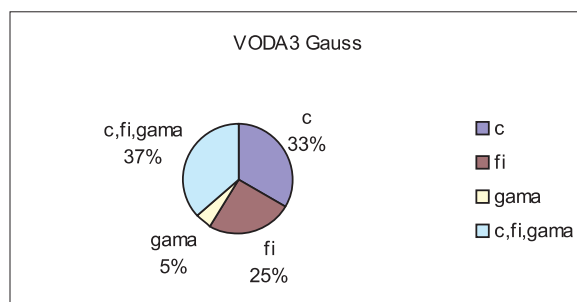


Obr. 2. Citlivost FS na c , φ , γ – deterministická analýza



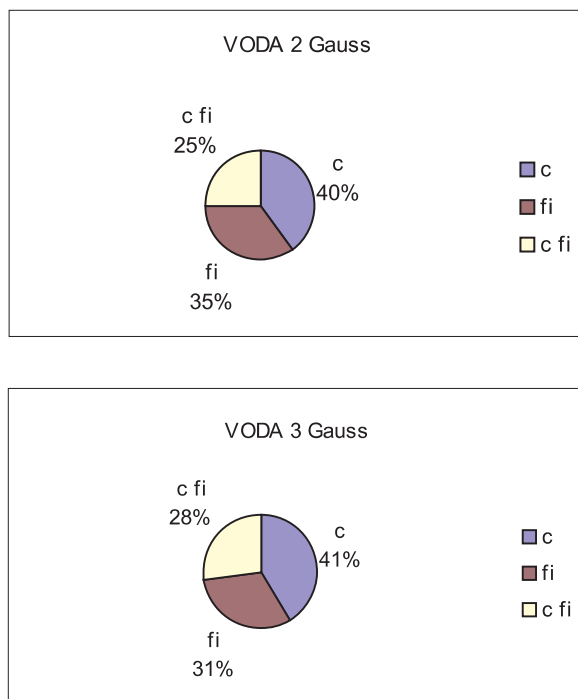
Obr. 3. Citlivost ve formě variačních koeficientů – normální rozdělení c , φ , γ

V obrázku 4 jsou porovnány citlivosti ve formě variačních koeficientů pro tři různé typy rozdělení c , φ , γ (Gaussovo, lognormální s kladnou šikmostí a lognormální se zápornou šikmostí), a to pro hladinu vody označenou VODA3. Z výšečových grafů je zřejmé, že podíly vlivu parametrů vycházejí velmi podobně v případech normálního a lognormálního rozdělení se zápornou šikmostí, kdežto lognormální rozdělení s kladnou šikmostí dává výsledky poněkud odlišné – vyšší citlivost na parametr φ a výrazně menší vliv korelace. Výsledky jsou obdobné i při ostatních výškách hladiny vody.



Obr. 4. Citlivost ve formě variačních koeficientů – tři typy rozdělení parametrů c , φ , γ

Vzhledem k tomu, že ve zvoleném příkladu vychází vliv vlastní tíhy na stupeň bezpečnosti velmi malý, byl stejný problém řešen pouze s uvažováním vlivu dvou parametrů – soudržnosti a úhlu vnitřního tření. Z deterministické analýzy vychází podobně jako v případě tří náhodných parametrů větší citlivost stupně bezpečnosti na úhel vnitřního tření. Výsledkem stochastické analýzy je výrazně větší citlivost stupně bezpečnosti na změny soudržnosti a v porovnání s příkladem se třemi náhodnými parametry je patrný menší podíl vlivu korelace mezi dvěma parametry c , φ na výsledném stupni bezpečnosti. Tyto skutečnosti ilustrují vybrané výšečové grafy v obr. 5, znázorňující citlivost stupně bezpečnosti na c , φ při dvou různých výškách hladiny vody.



Obr. 5. Citlivost ve formě variačních koeficientů – dva náhodně proměnné parametry c , φ

Závěry

Cílem práce bylo porovnání dvou metodik zjišťování citlivosti stupně bezpečnosti zemního svahu na tři náhodné materiálové parametry – soudržnost, úhel vnitřního tření a vlastní tíhu při postupně rostoucí hladině podzemní vody. Ze studie vyplývá, že výsledek deterministické citlivostní analýzy ukazuje větší citlivost stupně bezpečnosti na změny úhlu vnitřního tření a vlastní tíhy, kdežto ze stochastické citlivostní analýzy vychází, že rozhodující vliv na stupeň bez-

pečnosti má soudržnost a citlivost na změny vlastní tíhy je zanedbatelně malá. Pokud se vlastní tíha uvažuje jako deterministická veličina, vychází poměr citlivosti na soudržnost a úhel vnitřního tření podobný jako v případě, kdy je vlastní tíha také náhodná. Je však třeba zdůraznit, že podle struktury zeminy záleží na podílu mezi rozptyly všech tří (případně dvou) náhodných veličin. Tyto protichůdné výsledky nejsou v praxi neobvyklé a dokazují právě důležitost stochastického výpočtu, který je schopen vystihnout vlastnosti modelu konstrukce v celém spektru náhodných vstupních parametrů. V řešeném problému se ukázalo, že při stochastické citlivostní analýze ve formě variačních koeficientů poskytne přesnější vzorec (18) v podstatě stejné poměry mezi citlivostmi stupně bezpečnosti na jednotlivé vstupní parametry jako zjednodušený vzorec (1).

Literatura

- [1] Šejnoha, M. – Šejnoha, J. – Kalousková, M. – Zeman, J.: Stochastic Analysis of Failure of Earth Structures. Probabilistic Engineering Mechanics 22 (2007) 206–218.
- [2] Šejnoha, M. – Kalousková, M. – Šejnoha, J.: Odhad časově závislé spolehlivosti a intenzity poruch zemního svahu. Stavební obzor, 15, 2006, č. 6, s. 169–173.
- [3] Designing with GEOFEM, Theory and Application. <http://www.fine.cz>
- [4] Novák, D. – Teplý, B. – Shirashi, N.: Sensitivity Analysis of Structures: A Review. The Fifth International Conference on Civil and Structural Engineering Computing. Edinburgh 1993, pp. 201–207.
- [5] Jarušková, D.: Pravděpodobnost a matematická statistika 12. Vydavatelství ČVUT, Praha 2000.

Příspěvek byl vypracován za podpory výzkumného záměru č. 1 – MSM6840770001. Při řešení byly částečně využity výsledky dosažené v projektu ČAV č. 1ET 410430516.

Kalousková, M. – Šejnoha, M. – Blažek, V.: Comparison of Two Methods of Sensitivity Analysis of Earth Slopes

This paper concentrates on the sensitivity of the factor of safety to the random variation of cohesion, the angle of internal friction and the self-weight as basic input parameters. Two methods are used: the deterministic sensitivity analysis and the stochastic sensitivity analysis in terms of coefficients of variation. An example of an earth dam with a gradual increase of the groundwater table is introduced.

Kalousková, M. – Šejnoha, M. – Blažek, V.: Vergleich zweier Verfahren der Empfindlichkeitsanalyse von Erdböschungen

Der Artikel befasst sich mit der Empfindlichkeit des Sicherheitsgrads für zufällige grundlegende Eingangsparameter: Zusammenhalt, Winkel der inneren Reibung und Eigengewicht. Es werden zwei Verfahren angewandt, und zwar die deterministische Empfindlichkeitsanalyse und die stochastische Empfindlichkeitsanalyse in Form von Variationskoeffizienten. Der Algorithmus wird am Beispiel eines Erddamms mit schrittweise steigendem Wasserspiegel illustriert.

Interakce nádrže na vodním toku a městského odvodnění

Mgr. Gabriela ŠŤASTNÁ, Ph.D.
Dr. Ing. Ivana KABELKOVÁ
Ing. David STRÁNSKÝ, Ph.D.
ČVUT – Fakulta stavební
Praha

Článek předkládá studii městského toku ovlivněného nádrží s hydroelektrárnou a zaústěním odlehčovací komory, která prošla několika fázemi rekonstrukce. Jejich účinnost byla sledována na základě změny struktury společenstva makrozoobentosu. Ačkoli se rekonstrukcí omezil vnos polutantů do toku i hydraulický stres, v makrozoobentosu ke změnám nedošlo, neboť společenstvo je již degradováno přítomností nádrže.

Úvod

Toky v urbanizovaných povodích musí vyhovět mnoha nárokům – v závislosti na rozvoji lidských sídel fungují jako recipienty čistěných i nečistěných odpadních vod (z čistíren odpadních vod a ze stokové sítě), nádrže na nich budované zabezpečují ochranu území před záplavami, zásobování vodou, výrobu elektrické energie a slouží pro rekreaci (koupání, rybaření, stezky v okolí). Některé z těchto služeb se doplňují, jiné mohou být konfliktní. V popředí rovněž stojí ochrana vodních toků jako ekosystémů, tedy životního prostoru pro rostliny a živočichy [21], jejichž kvalita (ekologický stav toku) je ovlivněna chemickým, fyzikálně chemickým a hydromorfologickým stavem toku.

Příspěvek se zabývá studiem spolupůsobení nádrže na vodním toku a zaústěním odlehčovací komory jednotné kanalizace na společenstvo makrozoobentosu v toku jako indikátoru ekologického stavu. Pro posouzení jednotlivých vlivů byla dlouhodobě sledována činnost odlehčovací komory, kvalita vody, režim nádrže a přítoky. Hlavním cílem projektu bylo zhodnocení účinnosti jednotlivých etap rekonstrukce odlehčovací komory a určení možného konfliktu mezi službami poskytovanými nádrží a systémem městského odvodnění.

Metodické postupy

Zájmová oblast

Tok Botič je významným přítokem Vltavy, jehož povodí o celkové ploše 135 km² se rozkládá v jihovýchodní části území Prahy a přilehlé oblasti Středočeského kraje. Celková délka toku je 33 km, z nichž 17 km protéká Prahou. Samotný tok má deset větších přítoků. Horní část Botiče protéká zemědělskou oblastí s četnými menšími obcemi, které jsou buď bez kanalizace, nebo mají kanalizaci oddílnou. Odpadní vody jsou čistěny v devíti malých čistírnách, jejichž recipientem je přímo Botič nebo jeho přítoky. Ve své střední části vstupuje Botič na okrajová území Prahy odvodněná oddílnou kanalizací. Dolní část povodí je odvodněna jednotnou kanalizací.

Hostivařská nádrž

Hostivařská nádrž, vybudovaná v letech 1959-1962 pro ochranu níže ležícího území před povodněmi, se nachází na km 15,7-13,4. Využívá se i pro rekreaci a po rekonstrukci spodních výpustí od dubna 2001 i pro výrobu energie (Q_{\max} cca 200 l/s). V případě odstavení turbíny se část vody vypouští obtokovým potrubím ($Q_{\max} = 66$ l/s), zbytek přepadá (poměr průtoků přelivu a obtoku je za bezdeštného období cca 1:1). Turbína byla v provozu v období 04/2001-02/2003 a 09/2005-05/2006 (tab. 1).

Tab. 1. Provozování Hostivařské nádrže

Období	Do 03/2001	04/200 -02/2003	03/2003 -08/2005	09/2005 -04/2006	Od 05/2006
výroba elektriny	nebyla instalována	ano	porucha	ano	porucha
odtok z nádrže	přepad	spodní výpust	přepad + obtok na spodní výpusti	spodní výpust	přepad + obtok na spodní výpusti

Typický bezdeštný průtok v Botiči pod nádrží je cca 110 l/s. Za povodně v srpnu 2002 z Hostivařské nádrže odtékalo 41 m³/s. Nejvyšší zaznamenaný průtok v následujících letech byl v únoru 2006, a to 8 m³/s.

Kvalita vody v Botiči

Kvalitu vody nad Hostivařskou nádrží a pod ní monitorují Lesy hl. m. Prahy šestkrát ročně od roku 2001 [26]. Vzhledem k vysokým koncentracím fosforu, který je vypouštěn z výše ležících čistíren odpadních vod nad nádrží, spadá kvalita vody do tříd IV-V. Z ostatních ukazatelů bývají kritické koncentrace nerozpuštěných látek (tř. V/2002, tř. IV/2003) a dusičnanů (tř. IV/2002, tř. V/2005). Ukazatele BSK₅, CHSK, TOC, NH₄ a vodivost jsou zpravidla ve třídě III. Nejlepší kvalita vody byla v roce 2004, kdy kromě P (tř. IV) a BSK₅, CHSK a TOC (tř. III) další ukazatele dosáhly třídy II nebo I.

Hostivařská nádrž je značně eutrofizovaná, takže v ní dochází ke spotřebě fosforu a dusíku a ke zvýšení pH. Vlivem ohřevu vody v nádrži vzrůstá v létě značně i teplota vody pod nádrží. Koncentrace kyslíku jsou zpravidla nižší pod nádrží, zatímco koncentrace nerozpuštěných látek a uhlíkatého znečištění vyšší. Kvalita vody pod nádrží se v letech 2001 a 2002 až do srpnové povodně řadila do třídy III [6] (zpravidla kvůli zvýšeným hodnotám BSK₅, CHSK, TOC, NH₄, P a vodivosti). Koncem roku 2002 se zhoršila na třídu IV (z důvodů vysokých koncentrací TOC) a v roce 2003 až na třídu V (vysoké koncentrace TOC, NH₄, P, Mn). V roce 2004 se kvalita vody opět zlepšila na třídu III, kromě zvýšené vodivosti počátkem roku (tř. IV). V roce 2005 však

Tab. 2. Kvalita vody v Hostivařské nádrži*

Úroveň	třída	2001	2002	2003	2004	2005	2006
nad	V	-	NL	-	-	NO ₃	-
	IV	P	P, NO ₃ , NL	P, NL	P	P	P
	III	BSK ₅ , CHSK, TOC, NH ₄ , NL	BSK ₅ , CHSK, TOC	BSK ₅ , CHSK, TOC, NO ₃	BSK ₅ , CHSK, TOC	BSK ₅ , CHSK, TOC	BSK ₅ , CHSK, TOC, NH ₄ , NO ₃ , NL
pod	V	-	Mn	TOC, NH ₄ , P, Mn	-	CHSK	-
	IV	-	P	COD	-	TOC, NO ₃	O ₂ , TSS
	III	BSK ₅ , CHSK, TOC, NH ₄ , P, Mn	O ₂ , BSK ₅ , CHSK, TOC	BSK ₅ , NO ₃ , NL	BSK ₅ , CHSK, TOC, NH ₄ , P, Mn	BSK ₅ , P, NL	BSK ₅ , TOC, NH ₄ , P, Mn

* parametry zařazené do III.-V. třídy jakosti dle ČSN 75 7221 (1990); ostatní parametry byly zařazené do I. nebo II. třídy

bylo naměřeno CHSK ve třídě V a TOC a NO₃ ve třídě IV. Ke zlepšení kvality v těchto ukazatelích na třídu III došlo opět v roce 2006, avšak koncentrace nerozpuštěných látek a kyslíku (v létě) byly ve třídě IV. Vývoj kvality vody nad nádrží a pod ní v jednotlivých letech uvádí tab. 2.

Odlehčovací komora OK83

Tato první odlehčovací komora na Botiči pod nádrží byla postavena v roce 1973 na pravobřežním sběrači CXIIB jednotné stokové sítě v Praze, odvodňujícím převážně průmyslovou oblast Hostivaře. Její výstavba byla vyvolána nedostatečnou kapacitou dolních úseků sběrače. Do výpusti byl podchycen i horní úsek Měcholupského potoka. Oddělené srážkové vody jsou do potoka zaústěny v oblasti chráněné jako „Přírodní památka Meandry Botiče“.

Původně byla navržena na ředící poměr 1+4. Se stoupajícím množstvím odpadních vod, zejména srážkových z dokončovaných areálů, však tento poměr musel být vložním škrťací tratí DN500 zmenšen na 1+2,5 ($Q_{krit} = 477$ l/s), aby nedocházelo k zaplavování objektů v níže ležících úsecích. Tato úprava ředícího poměru byla příčinou zvýšené četnosti přelivů nedostatečně ředěných odpadních vod, obsahujících i značné množství obtížně rozložitelných organických látek a těžkých kovů. Stav Botiče pod výpustí byl předmětem opakujících se stížností obyvatel. Od října 1997 byla proto zprovozněna i druhá škrťací trať DN300, umožňující zvýšení Q_{krit} na 569 l/s a ředícího poměru na 1+3,2 [18].

V letech 2002-2003 byla zvětšena kapacita nevyhovujících dolních úseků sběrače CXIIB a postaven sběrač G (DN800), navržený v rámci GO HMP, který převádí splaš-

Tab. 3. Přínos dílčích etap rekonstrukce OK83 (průměrné roční hodnoty)

Etapa	I	II	III	IV	V
období	do 10/1997	11/1997-05/2002	06/2002-08/2003	09/2003-04/2005	od 05/2005
škrťací trať	DN300	DN300+DN500	DN300+DN500	DN300+DN500	Atypický profil
kapacita škrťací tratí [l/s]	477	569	569	569	2 300
poměr ředění	1+2,5	1+3,2	1+3,2	1+14,4	1+46
počet ekvivalentních obyvatel	33 178	33 178	33 178	13 133	13 133
objem přepadlé vody [m ³]	16 044	13 510	výstavba a manipulace s průtoky	12 265	2 059
odlehčené NL [kg]	2 218	1 830		1 371	214
trvání přepadu [h]	9,0	6,5		5,4	0,4
počet přepadů	22	18		17	3
počet toxických přepadů (NH ₃)	9,0	4,9		0,4	0,0
počet přepadů s hydraulickým stresem	6,1	5,7		5,3	1,3

kové vody části povodí OK83 do kmenové stoky F. Povodí se tak zmenšilo o Dolní Měcholupy, Křeslice a Petrovice. V zimě roku 2005 zde proběhly zásadní stavební úpravy (škrcení sezdním odtokové stoky VPN 1300/2100 na úroveň 0,69 m nade dna), čímž se od května 2005 ředící poměr zvýšil na 1+46 a Q_{krit} na 2 500 l/s [17]. Výhledově má komora sloužit pouze jako havarijný výpust s ředěním 1+101.

Přínos jednotlivých etap rekonstrukce na OK83 z hlediska vnosu znečištění a hydraulického vlivu na recipient byl simulován počítačovým programem REBEKA [19] pro sedmdesátiletou dešťovou řadu pro Prahu [11]. Výsledky simulace jednotlivých etap rekonstrukce (tab. 3) ukazují postupné snižování průměrného počtu přepadů za rok, stejně jako snížení objemu a doby trvání přepadů a vnosu suspendovaných látek do toku. Průměrný počet přepadů s toxickým působením amoniaku byl již ve druhé etapě redukován na polovinu (z 9 na 4,9) a ve čtvrté etapě téměř eliminován (0,4). Nicméně objem přepadů, množství suspendovaných látek a s nimi spojené množství adsorbovaných znečišťujících látek (např. těžkých kovů), stejně jako působení hydraulického stresu, byly redukovány až v roce 2005 v páté etapě.

Monitorování ekologického stavu – makrozoobentos

Ekologický stav Botiče se sledoval na základě struktury společenstva bentických bezobratlých (makrozoobentosu) na jednom místě nad Hostivařskou nádrží (km 17,2), na dvou místech pod nádrží (km 13,2 a km 12,9) a na dvou místech pod odlehčovací komorou (km 11,8 a km 11,1) (obr. 1). Lokality na km 12,9, km 11,8 a km 11,1 byly sledovány od roku 1998, ostatní od roku 2003. Všechny vykazují obdobné morfologické i hydraulické charakteristiky.

Makrozoobentos byl sledován v letním období (zpravidla v červenci) metodou kopaného vzorku [7]. Pro nalezené společenstvo byly zjištěny a vypočteny základní charakteris-

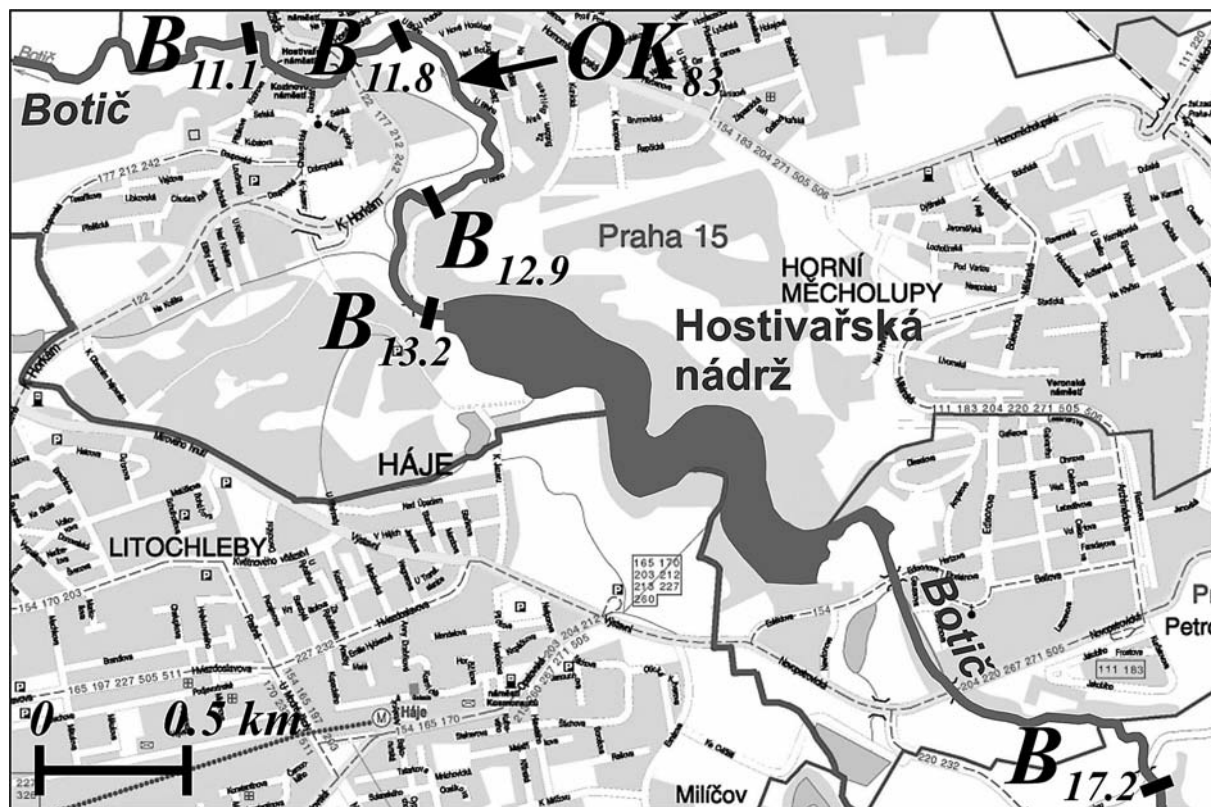
tiky a indexy pomocí programu ASTERICS [7]. Do roku 2000 jsou k dispozici pouze informace o saprobním indexu (S_i), charakterizujícím organické znečištění a nepřímo i kyslíkové poměry.

Výsledky a diskuze

Struktura společenstva makrozoobentosu je významně narušena již nad Hostivařskou nádrží. Průměrný počet nalezených druhů v letech 2003–2006 byl 16 ± 2 , tj. podprůměrný [27]; diverzita $1,68 \pm 0,12$, tj. slabá [12], a saprobní index $1,66 \pm 0,22$, tj. průměrný stav. Změny ve struktuře společenstva v jednotlivých letech lze připsat obnově společenstva po povodních 08/2002, kdy kouskovači byli nahrazeni pasťevci a škrabači, sběrači a filtrátory (obr. 2).

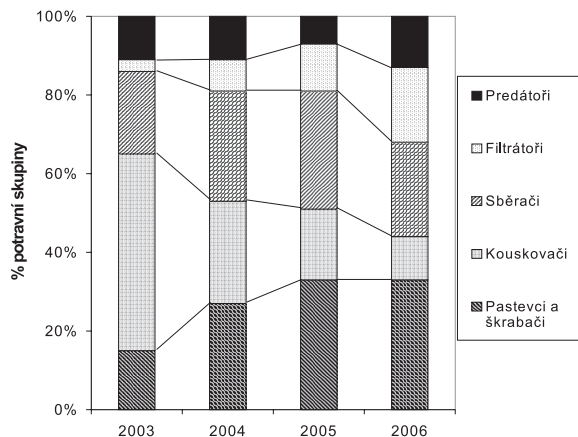
Nádrž způsobuje významné změny struktury společenstva makrozoobentosu. V těsné blízkosti pod nádrží na km 13,2 byla průměrná podobnost se společenstvem nad nádrží 46 ± 12 %. Na km 12,9 podobnost mírně vzrostla na 56 ± 19 %. Těsně pod nádrží (km 13,2) klesl počet nalezených druhů na 9 ± 1 (extrémně nízký) a dále na km 12,9 opět vzrostl na 14 ± 3 (podprůměrný). Vlivem nádrže se objevily druhy zooplanktonu typické pro lentické habitaty, zatímco některé bentické druhy (schránkatí chrostíci, plži a brouci) téměř vymizely. Průměrná hodnota S_i vzrostla na $2,31 \pm 0,27$ na km 13,2 dále na $2,26 \pm 0,20$ (stále však průměrný stav) na km 12,9.

Změny struktury společenstva makrozoobentosu byly vyvolány jak změnou kvality vody, tak činností turbíny a s ní spojeným nárůstem vnosu jemného sedimentu do toku. Největší počet druhů (obr. 3) byl nalezen v roce 2004 s nejlepší kvalitou vody (tab. 2). V období provozu turbíny (2001, 2002 a 2006) dosahoval saprobní index hodnot $2,42 \pm 0,09$, zatímco v období, kdy turbína nebyla ještě instalována (1998–2000) nebo byla mimo provoz (2004), byly tyto hod-

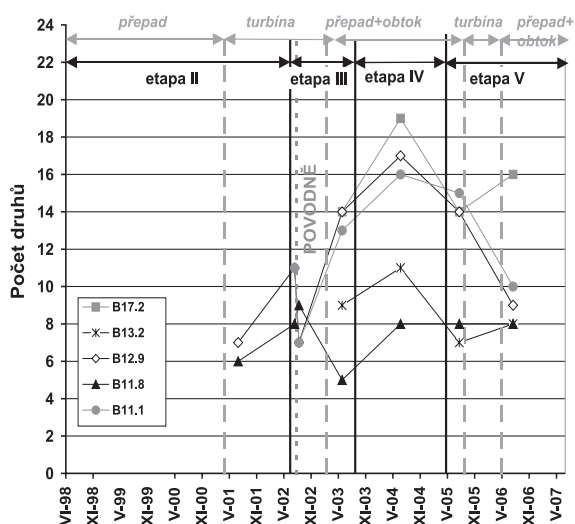


Obr. 1. Schéma monitorované oblasti

noty lepší (2,06±0,12). Změny podílu jemného organického materiálu se odrážejí v procentním zastoupení filtrátorů.



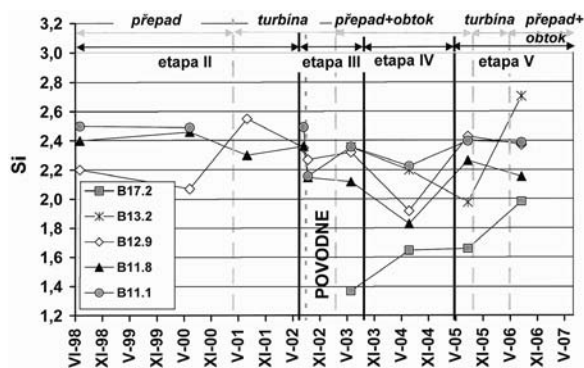
Obr. 2. Distribuce potravních skupin makrozoobentosu nad Hostivařskou nádrží (B17,2)



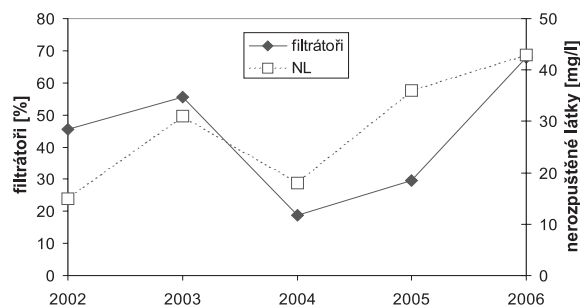
Obr. 3. Makrozoobentos v Botiči

Pod zaústěním odlehčovací komory dochází ke kombinaci vlivu nádrže a přepadů komory. V roce 1998 a 2000 (druhá etapa) hodnoty S_i reflektovaly vysoký počet přepadů, na km 11,8 byly znatelně vyšší (o 0,2-0,4) než nad zaústěním komory (km 12,9) (obr. 4). Od povodně 08/2002 mají hodnoty S_i na km 11,8 stejný vývojový trend jako na výše položených lokalitách (korelační koeficient 0,98) a lehce nižší hodnoty (v průměru o 0,16). Lze tudíž konstatovat, že během IV. etapy byly přepady z komory redukovány na takovou úroveň, která nemá zřejmě vliv na změnu S_i v bezprostřední blízkosti pod komorou. Počet nalezených druhů byl však na lokalitě na km 11,8 vždy významně nižší proti lokalitě na km 12,9 a tento fakt zůstává stejný i po rekonstrukci komory (obr. 4).

Struktura společenstva na vzdálenější lokalitě km 11,1 nebyla činností komory ovlivněna. Po celou dobu sledování byly hodnoty S_i stabilní (2,41±0,09). Počet druhů na této lokalitě a na lokalitě km 12,9 byl téměř stejný a průměrný index podobnosti obou lokalit byl v letech po povodních 76±14 %.



Obr. 4. Saprobni index makrozoobentosu v Botiči



Obr. 5. Vztah mezi zastoupením filtrátorů a průměrnou koncentrací nerozpuštěných látek (jarní a letní období předcházející odběru makrozoobentosu) pod Hostivařskou nádrží (B12,9)

Závěry

Poslední etapa rekonstrukce odlehčovací komory OK83 přinesla významné snížení jak akutního a chronického znečištění, tak i hydraulického stresu působícího na recipient. Nicméně vzhledem k tomu, že struktura společenstva makrozoobentosu je již nad jejím zaústěním významně narušena (díky Hostivařské nádrži), vliv celkové rekonstrukce se na zlepšení struktury společenstva výrazně neprojevil.

Nádrže způsobují významné narušení podélné spojitosti toku, mění složení a kvantitu driftujících organismů stejně jako fyzikálně chemické parametry vody [15]. Struktura společenstva makrozoobentosu pod nádrží se tudíž významně liší od struktury nad ní [24], [14]. Dochází ke snížení druhové pestrosti a diverzity, zatímco celková abundance, biomasa a taxonomická dominance narůstají [15], [1], [4]. Změny ekosystému pod nádrží souvisejí s velikostí, typem nádrže a způsobem jejího provozu [23], [2], [16]. Následný proces obnovy [13], [25], [8] je pomalý, závisí na mnoha faktorech, např. velikosti a režimu nádrže, morfologickém stavu toku pod nádrží a dalších zdrojích narušení. V Hostivařské nádrži nebylo společenstvo makrozoobentosu zcela obnoveno ještě 1 km pod nádrží [22].

Struktura společenstva dále odráží změnu kvality vody, která se významně liší na přítoku do nádrže a na odtoku z ní. Díky nádrži dochází ke zvýšení teploty vody [20] a ke změně obsahu živin [5]. Kvalitu vody v případě Hostivařské nádrže významně ovlivňuje činnost vodní elektrárny spojená se zvýšeným vnosem jemného sedimentu spodní výpustí do toku.

Vnos jemného sedimentu, ať už z nádrže, nebo z odlehčovací komory, představuje pro makrozoobentos významný stresor. Horní hranice tolerance pro suspendované látky

10-15 mg/l [9] je vysoce překračována již pod nádrží. Účinnost jednotlivých etap rekonstrukce komory je tudíž potlačena činností vodní elektrárny na Hostivařské nádrží.

Vodní elektrárny jsou považovány za „čistou energii“. V souvislosti s naším zjištěním vyvstává otázka: „Co je ekologicky přínosnější pro trvale udržitelný rozvoj? Výroba čisté energie, nebo zlepšení životních podmínek pro makrozoobentos v toku pod nádrží?“ Oba cíle jsou bezesporu žádoucí, avšak vzájemně jsou v prezentovaném případě neslučitelné. Navíc zrušení produkce elektrické energie by mohlo přinést pouze částečné zlepšení struktury společenstva makrozoobentosu pod nádrží. Pro výrazné zlepšení by musela být odstraněna nádrž jako taková, což je těžko realizovatelné.

Článek vznikl za podpory projektu č. MSM6840770002 MŠMT ČR. Data poskytl Lesy hlavního města Prahy a Pražské vodovody a kanalizace.

Literatura

- [1] Allan, J. D.: Stream Ecology – Structure and Function of Running Waters. Kluwer Academic Publishers 1995. ISBN 0412 29430 3 (HB).
- [2] Armitage, P. D.: A Quantitative Study of the Invertebrate Fauna of the River Tees below Cow Green Reservoir. *Freshwater Biology* 6:229-240, 1976.
- [3] ASTERICS: Software Handbuch, Version 3.0, 2006.
- [4] Camargo, J. A. – Alonso, A. – De La Puente, M.: Multimetric Assessment of Nutrient Enrichment in Impounded Rivers Based on Benthic Macroinvertebrates. *Environmental Monitoring and Assessment* 96: 233-249, 2004.
- [5] Camargo, J. A. – Alonso, A. – De La Puente, M.: Eutrophication Downstream from Small Reservoirs in Mountain Rivers of Central Spain. *Water Research* 39: 3376-3384, 2005.
- [6] ČSN 75 7221 Jakost vod – Klasifikace jakosti povrchových vod. ČSNI, 1998.
- [7] ČSN EN 27828: Jakost vod – Metody odběrů biologických vzorků – Pokyny pro odběr vzorků makrozoobentosu ruční sítkou (ISO 7828:1985). ČSNI, 1996.
- [8] Gore, J. A.: Benthic Invertebrate Colonization: Source Distance Effects on Community Composition of Basket and Multiplate Samplers – *Freshwater Biology* 12:211-215, 1982.
- [9] Griffiths, W. – Walton, B.: The Effects of Sedimentation on the Aquatic Biota. Alberta Oil Sands Environmental Research Program, Report No. 35, 1978.
- [10] Generel odvodnění HMP. DHI Hydroinform, Hydroprojekt, 2001.
- [11] Kabelkova, I. – Štátná, G. – Nabelkova, J. – Stransky, D. : Effect of Reconstruction Phases of the Combined Sewer Overflow CSO83 on the Ecological Status of the Biotic Stream. In: 6th International Conference Novatech 2007: Sustainable Techniques and Strategie in Urban Water Management, Vol. 3, Lyon, 2007, pp. 1541–1548.
- [12] Kokeš, J. – Vojtíšková, D.: Nové metody hodnocení makrozoobentosu tekoucích vod. VÚV TGM Praha, 1999.
- [13] Mackay, R. J.: Colonization by Lotic Macroinvertebrates: A Review of Processes and Patterns. *Can. J. Fish. Aquat. Sci* 49: 617-628, 1992.
- [14] Mackie, G. L.: Applied Aquatic Ecosystem Concepts. University of Guelph Cystom Coursepack. 12 chapters, 1998.
- [15] Ogbeibu, A. E. – Oribhabor, B. J.: Ecological Impact of River Impoundment Using Benthic Macro-Invertebrates as Indicators. *Water Research* 36: 2427-2436, 2002.
- [16] Petts, G. E.: Impounded Rivers. Chichester, Wiley 1984.
- [17] Pražské vodovody a kanalizace a.s.: Posouzení hydraulické funkce OK 83 K Průmyslová, Útvar stokové sítě, PVK a.s., květen 2005.
- [18] Posouzení hydraulické funkce OK 83 K Průmyslová. Útvar vodohospodářské kontroly a měření PVK, 9/2000.
- [19] Rauch, W. – Krejci, V. – Gujer, W.: REBEKA – A Software Tool for Planning Urban Drainage on the Basis of Predicted Impacts on Receiving Waters. *Urban Water* 4, 355-361, 2002.
- [20] Robinson, CH. T. – Uehlinger, U. – Monghan, M. T.: Stream Ecosystem Response to Multiple Experimental Floods from a Reservoir. *River Res. Applic.* 20: 359-377, 2004.
- [21] Směrnice 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council, Establishing a Framework for Community Action in the Filed of Water Policy. *Obor ochrany vod MŽP*, 2001.
- [22] Štátná, G. – Kabelkova, I. – Stransky, D.: Ecological Status of the Biotic Stream – Impact of the Longitudinal Continuity Disturbance by a Reservoir on the Benthic Community Structure and Drift. In: International Conference River Bottom VI, Brno, 2005.
- [23] Ward, J. W. – Stanford, J. A.: The Ecology of Regulated Streams. New York, Plenum Press 1979 (In: Stream Ecosystem Response to Multiple Experimental Floods from a Reservoir Robinson, Ch. T., Uehlinger U and Monghan, M.T.), *River Res. Applic.* 20:359-377, 2004.
- [24] Williams, D. D. – Feltmate, B. W.: Aquatic Insects. CAB International. ISBN: 0-85198-782-6, 1992.
- [25] Williams, D.D. – Hynes, H.B.N.: The Recolonization Mechanisms of Stream Benthos. *Oikos* 27:265-272, 1976.
- [26] Kvalita vody v pražských potocích. www.praha-mesto.cz
- [27] Zahrádka, J.: Výsledky biologického monitoringu toků ve správě ZVHS RK Hradec Králové. Brno, 2001.

Štátná, G. – Kabelková, I. – Stránský, D.: Interaction of River Dam and System Sewer

This paper presents a study of an urban stream affected by a reservoir with hydropower production and by a combined sewer overflow, which has been reconstructed recently. Changes of the benthic community structure (BCS) were followed to assess benefits of the reconstruction. Although the reconstruction brought a reduction of pollution and hydraulic stress in the stream, no improvement of the BCS was observed as the community is already degraded due to the reservoir.

Štátná, G. – Kabelková, I. – Stránský, D.: Interaktion eines Staubeckens an einem Wasserlauf mit der Stadtentwässerung

Der Artikel stellt eine Studie eines urbanen Wasserlaufs vor, der durch ein Staubecken mit Wasserkraftwerk und einen in der letzten Zeit mehrfach umgebauten Mischwasserüberlauf beeinflusst wird. Anhand der Veränderung der Struktur der Makrozoobentos-Gesellschaft wurden die Effekte des Umbaus untersucht. Obwohl der Umbau eine Verringerung des Eintrags von Pollutanten in den Wasserlauf wie auch des hydraulischen Stresses brachte, wurde keine Verbesserung der Struktur der benthischen Besiedlung beobachtet, da sie schon durch die Existenz des Staubeckens beeinträchtigt wird.

Uplatnění simulace při řešení technicko-ekonomických rizik

Ing. Eva NOVOTNÁ, Ph.D.
Ing. Iva MILICKÁ
prof. Ing. Jiří ŠEJNOHA, DrSc.
ČVUT – Fakulta stavební
Praha

Článek ukazuje možnosti aplikace simulačních postupů při řešení technicko-ekonomických rizik. Nejprve je pozornost věnována riziku jako náhodné proměnné a stručnému popisu způsobu určení míry rizika. Poté je ukázán postup určení míry rizika na jednoduchém příkladu hloubené jámy.

Úvod

V poslední době je věnována velká pozornost metodám určujícím míru rizika i v jiných oborech než v tradičním bankovníctví a pojišťovnictví. Jedním z nich je stavebnictví, kde dobře zpracovaná úvodní riziková analýza projektu může rozhodnout o jeho úspěchu.

Úvodní riziková analýza se vytváří již v průběhu příprav projektu a na základě jejích výsledků je možné zasahovat do projektu a ošetřit některá rizika, jakožto prvky náhodné povahy, ještě před zahájením výstavby. Předem je však nutné si uvědomit, že míra rizika je závislá na mnoha náhodných jevech, výsledné hodnoty jsou tudíž rovněž náhodné a není možné je interpretovat jako dané. Tento příspěvek volně navazuje na článek autorů V. Berana a kol. [1], kteří v něm popsali základní ideu a metodiku určení pravděpodobnosti, že k selhání projektu dojde nedodržením stanovené ceny či ter-

mínu realizace, popř. překročením obou limitů. V tomto příspěvku je navíc stanoveno i riziko vzniklé překročením těchto limitů.

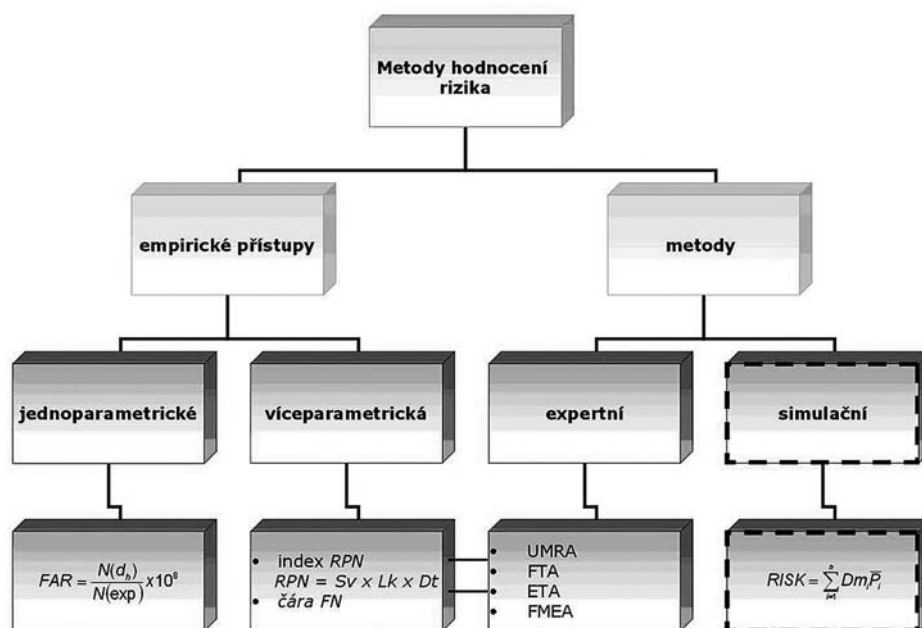
Riziko a pravděpodobnostní přístup

Míra rizika se definuje jako

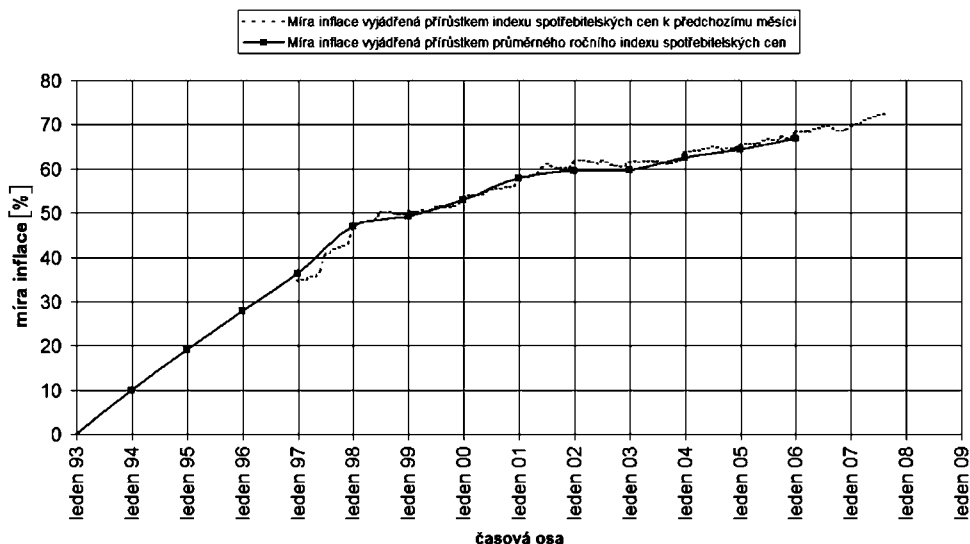
$$R_s = \sum_i D_{mi} \cdot P_i, \quad (1)$$

kde D_{mi} je škoda vzniklá realizací scénáře nebezpečí Sc_i a P_i je pravděpodobnost realizace tohoto scénáře. Základní metody hodnocení rizika stejně jako postupy, jak určit pravděpodobnost realizace scénáře nebezpečí, jsou popsány v publikaci [2] a dílčí výzkumné zprávě [3] (obr. 1). Empirické přístupy vycházejí ze vzorců, jež jsou vypsány ve schématu:

- *index FAR* (Fatal Accident Rate) se určuje jako poměr počtu mrtvých za jednu hodinu trvání expozice nebezpečí a počtu lidí vystavených nebezpečí;
- *index RPN* (Risk Priority Number) je definován jako součin hodnot:
 - *Sv* (severity) – závažnost nebezpečí,
 - *Lk* (likelihood) – pravděpodobná možnost nebezpečí,
 - *Dt* (detection) – zjiřitelnost nebezpečí;
- *čára FN* vyjadřuje závislost mezi roční četností nehod a počtem obětí na životech (nehody s velkým počtem obětí bývají méně četné).



Obr. 1. Základní metody hodnocení rizika



Obr. 2. Míra inflace (zdroj ČSÚ)

Mezi expertní metody patří univerzální metoda rizikové analýzy UMRA, FTA (Failure Tree Analysis), ETA (Event Tree Analysis) a FMEA (Failure Mode and Effects Analysis). V posledním sloupci jsou uvedeny simulační metody, např. typu Monte Carlo nebo metody LHS [4]. Při jejich použití můžeme zajistit i statisticky závislé vstupní proměnné s předepsanou korelační maticí [5], [6].

V našem okolí lze nalézt mnoho rizik, např. konstrukční, prováděcí, technologická, ekonomická, úvěrová, tržní a další. Zde se zaměříme na ekonomická a prováděcí rizika. Jejich predikci založenou na simulaci ukážeme na jednoduchém příkladu.

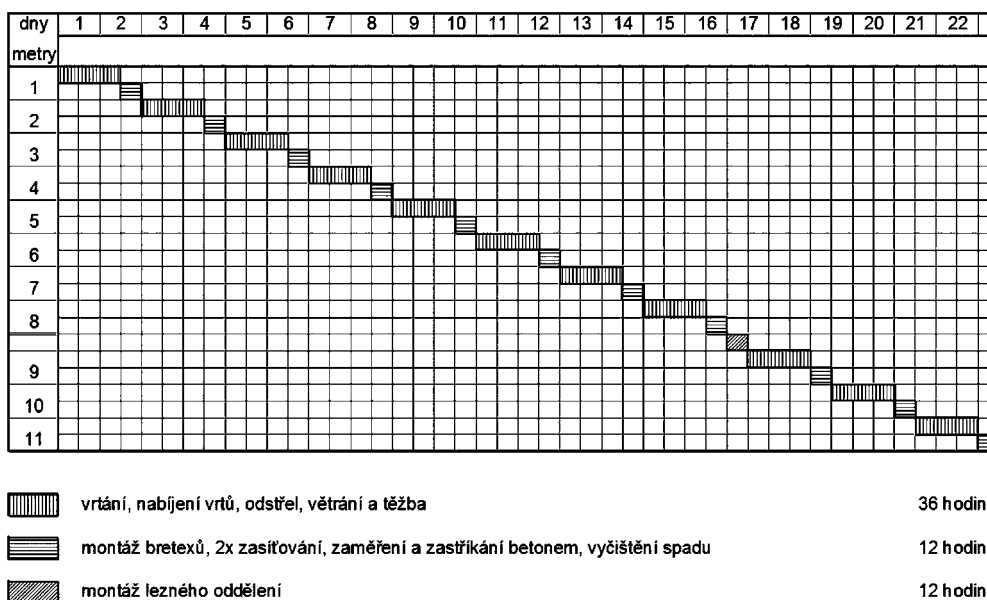
Budeme vycházet z harmonogramu výstavby a předpokládat, že okamžiky zahájení a doby trvání jednotlivých úseků jsou náhodné proměnné. Za náhodné proměnné považujeme i jednotkové ceny rozpočtových položek a objemy prací odpovídající daným položkám. Mezi jednotlivými proměnnými lze uvažovat statistickou závislost (prodloužením doby výstavby etapy může dojít ke zvýšení nákladů). Jednot-

kové ceny jsou nejen náhodné, ale i závislé na okamžiku zahájení výstavby. Pro stanovení jejich vývoje v čase byla použita aproximovaná inflační křivka (obr. 2).

Za riziko budeme považovat pravděpodobné překročení rozpočtové ceny. Existují dva základní zdroje rizika – selhání projektu z technických důvodů (např. zhroutení stavby) a selhání z ryze ekonomických důvodů, a to překročením rozpočtové ceny a vyvolaným penále za překročení smluvní doby výstavby. Selhání projektu z technických důvodů nebylo v tomto příspěvku uvažováno.

Aplikace na jednoduchý příklad

V rámci zjednodušení a možného pozdějšího rozšíření na liniové stavby (tunel, kolektor apod.) byla vybrána stavba jámy. Zjednodušený harmonogram stavebních prací je na obr. 3. Jde o jámu \varnothing 3,5 m, hloubkou 11 m, raženou pomocí výbušniny. Položky rozpočtu jsou vypsány v tab. 1, data zde uvedená jsou výchozí pro pravděpodobnostní výpočet.



Obr. 3. Zjednodušený harmonogram stavebních prací

Tab. 1. Tabulka rozpočtových položek

č. pol.	kód položky	popis položky	MJ	Množství			jednot.cena	celkem Kč	hmotnost
				dolní 2,5 % kvantil	modus	horní 2,5 % kvantil			
		šířka jámy		3.15	3.5	4			
		hloubka jámy		10	11	13			
1	154067341	Konstrukce výstroje šachet netypová dočasně suchá montáž	kg	178.2	198	257.4	30	5 940.00	0.00024
2	154077341	Konstrukce výstroje šachet netypová dočasně mokrá montáž	kg	415.8	462	600.6	33.5	15 477.00	0.00024
3	5530001	dodávka BTX	kg	594	660	858	42	27 720.00	0.00024
4	144161112	Ražení šachet svislých hl do 15 m I stupeň ražnosti suchá průřez nad 10 do 40 m ²	m ³		30.849		2380	73 420.62	0.00575
5	144171112	Ražení šachet svislých hl do 15 m I stupeň ražnosti mokrá průřez nad 10 do 40 m ²	m ³		71.981		2660	191 469.46	0.00575
6	161152114	Svislé přemístění rubaniny v hoře z hloubky nad 75 do 150 m	m ³		144.5		795	114 877.50	
7	162701155	Vodorovné přemístění do 10000 m výkopku z horniny tř. 5 až 7	m ³		144.5		400	57 800.00	
8	379345122	Zajištění šachet stříkaný beton nad tl. 100 mm do 200 mm 2 sítě suchá	m ²		36.699		1120	41 102.88	0.32958
9	379345222	Zajištění šachet stříkaný beton nad tl. 100 mm do 200 mm 2 sítě mokrá	m ²		85.631		1290	110 463.99	0.32958
10	379365121	Výztuž stříkaného betonu šachty sítí suchá	m ²		73.398		910	66 792.18	1.03739
11	379365122	Výztuž stříkaného betonu šachty sítí mokrá	m ²		171.262		1030	176 399.86	1.03739
12	360341212	Zajištění výrubu I do 200 m sucho betonem tl. nad 50 do 100 mm bez výztuže	m ²		36.699		765	28 074.74	
13	360342212	Zajištění výrubu I do 200 m mokro betonem tl. nad 50 do 100 mm bez výztuže	m ²		85.631		835	71 501.89	
		Cena Celkem						981 040.11	

Statistické rozdělení náhodných veličin

Jak již bylo zmíněno, k harmonogramu i k rozpočtu bylo přístupováno jako k souboru náhodných veličin. Vycházíme z předpokladu, že rozměry skutečné stavební jámy jsou náhodné a od nich se odvíjí jak cena konstrukce, tak harmonogram stavebních prací. Její rozměry mají pro statistickou analýzu lognormální rozdělení dané třemi hodnotami, a to dolním 2,5% kvantilem, modusem a horním 2,5% kvantilem, což jsou údaje, které lze s uspokojivou přesností stanovit expertním odhadem. Způsob stanovení obvyklých parametrů rozdělení x_0 , μ a σ lze najít v [6] a [7]. Za další náhodnou proměnnou, vstupující do výsledné ceny, je považován poměr mezi suchou a mokrou částí hloubené jámy. Pro tento poměr bylo přijato rovnoměrné rozdělení. Jednotkové ceny jsou považovány za náhodné veličiny s normálním rozdělením a variačním koeficientem $\rho = 0,1$. Jejich střední hodnoty jsou závislé na okamžiku zahájení výstavby.

Určení míry rizika

Riziko bylo vypočteno podle vztahu (1). Škoda D_m , vzniklá realizací scénáře nebezpečí, je stanovena překročením smluvní ceny $C_s = 1\,100\,000$ Kč a smluvní doby $T_s = 25$ dní. Překročení smluvní doby bylo penalizováno obvyklou sankcí 0,1 % ze smluvní ceny za každý den překročení. Škoda byla stanovena podle vzorce

$$D_m = \frac{C_p}{N_{cp}}, \quad (2)$$

kde

$$C_p = \sum C - C_s \quad (3)$$

pro všechny $C > C_s$, přičemž C je výsledná cena jedné realizace, C_s smluvní cena a N_{cp} počet realizací, ve kterých došlo k překročení smluvní ceny. Veličinu D_m tak lze chápat jako střední hodnotu škody.

Pro určení pravděpodobnosti realizace scénáře nebezpečí P byla použita metoda Monte Carlo. Histogram sestavený z použitých 10^4 simulací vývoje ceny a doby výstavby je uveden na obr. 4. Výsledky byly vypočteny pro výstavbu v roce 2007. V obrázku jsou vyznačeny oba limity, jejichž překročení považujeme za realizaci scénáře nebezpečí.

Výsledná pravděpodobnost překročení smluvní ceny

$$P = \frac{N_{cp}}{N}, \quad (4)$$

kde N je počet všech realizací. Analogicky je vypočtena pravděpodobnost překročení smluvní doby.

Jak již bylo zdůrazněno, střední hodnoty jednotkových cen jsou závislé na okamžiku zahájení výstavby. Pro jejich stanovení v daném okamžiku byla použita aproximace inflační křivky na obr. 5 polynomem třetího stupně. Výslednou pravděpodobnost pro příštích pět let uvádí tab. 2. Je patrné, že pravděpodobnost překročení ceny roste v čase, což odpovídá zadanému růstu jednotkových cen v závislosti na inflační křivce. Pravděpodobnost překročení smluvní doby je v čase téměř konstantní.

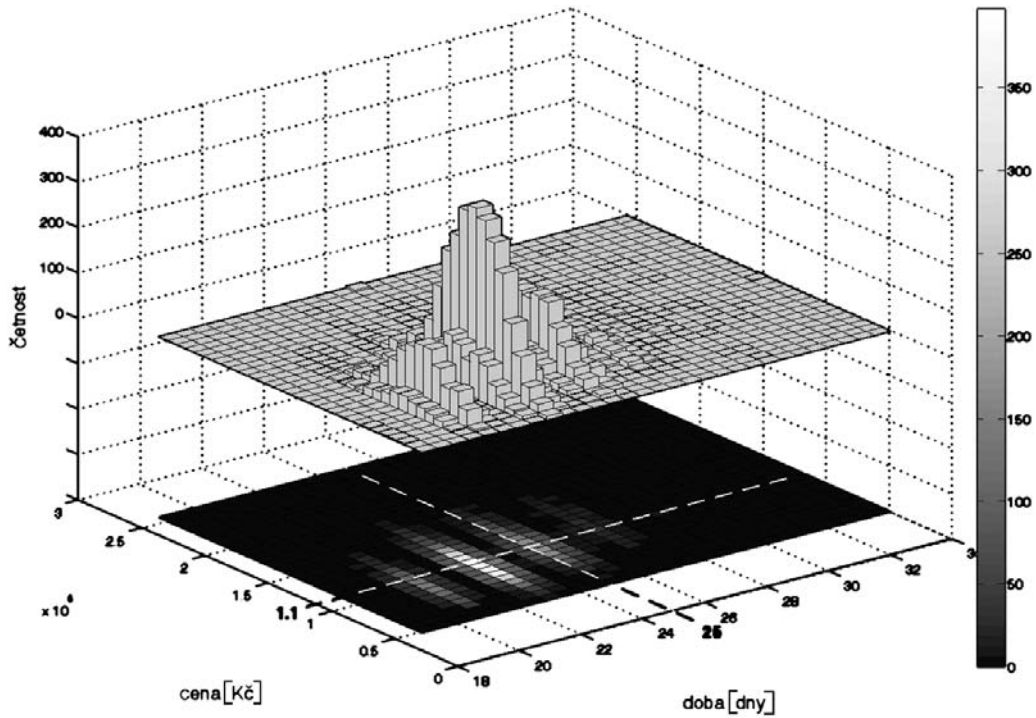
Vyjádřením pravděpodobnosti překročení limitů binomickým rozdělením dojdeme ke vzorci (srov. [4])

$$C.O.V.P = \sqrt{\frac{1-P}{NP}}. \quad (5)$$

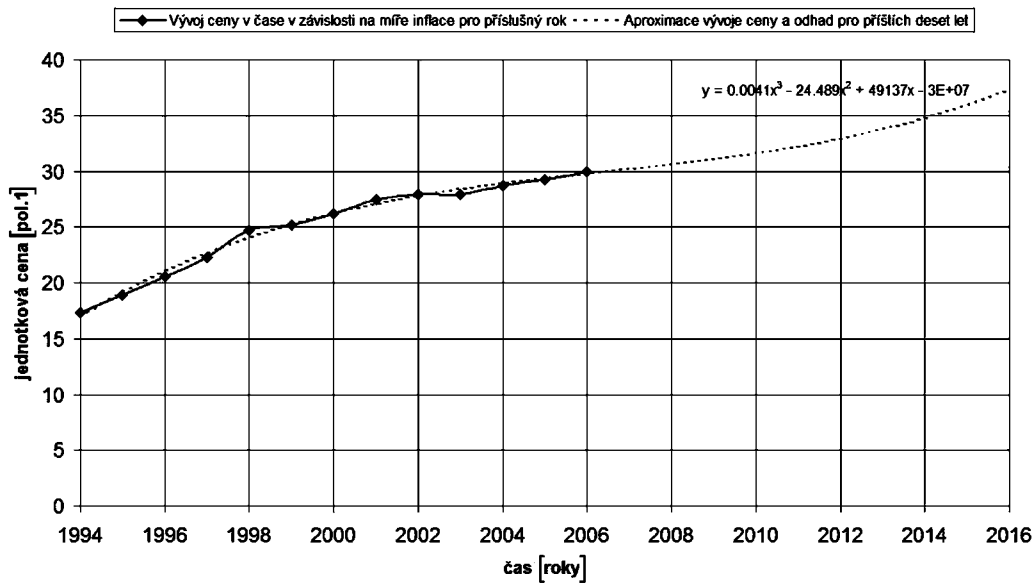
Odhad nutného počtu simulací pro $C.O.V.P = 0,1$ a $P_{\min} = 0,2206$ vychází $N_{\max} = 353,3 < N = 10\,000$. Je tedy zřejmé, že počet simulací pro stanovení pravděpodobnosti v tomto řádu je dostatečný.

Riziko vypočteme ze vzorce (1) ve spojení se vztahy (2) a (4)

$$R_s = \sum_{i=1}^2 \frac{C_{pi}}{N_i}. \quad (6)$$



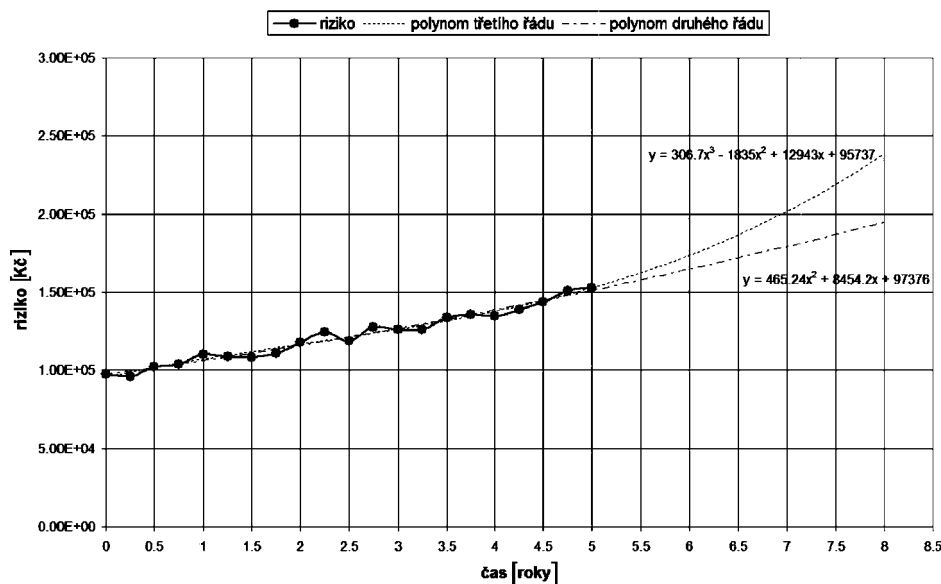
Obr. 4. Trojrozměrný histogram a mapa intenzity s vyznačenými limity



Obr. 5. Vývoj střední hodnoty ceny položky č. 1 v čase

Tab. 2. Pravděpodobnost překročení smluvní ceny a smluvní doby

čas [roky]	pravděpodobnost překročení ceny	pravděpodobnost překročení doby
0	0,4712	0,2246
0.5	0,4678	0,2248
1	0,4856	0,2206
1.5	0,4932	0,2294
2	0,5228	0,2255
2.5	0,5226	0,2352
3	0,5474	0,2303
3.5	0,5702	0,2297
4	0,5757	0,2262
4.5	0,5820	0,2262
5	0,6046	0,2266



Obr. 6. Vývoj rizika v čase

Vývoj rizika a jeho aproximace polynomy druhého a třetího stupně v průběhu pěti let je vykreslen na obr. 6. Aproximace umožňuje jistou prognózu i na několik dalších let.

Článek vznikl za podpory projektu 1M0579 MŠMT ČR v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS.

Závěr

Na předešlém příkladu byl ukázán postup použití pravděpodobnostního přístupu k určení míry technicko-ekonomických rizik. Zaměřili jsme se na ekonomická rizika. Jelikož příklad byl vybrán s ohledem na jeho možné rozšíření na liniové stavby, budou hodnoty rizika způsobeného technickým selháním projektu (např. zhroucením stavby) zapracovány při řešení složitějšího projektu (kolektor, tunel).

Z vývoje cen ve stavebnictví je zřejmé, že uvažovat pouze celkovou inflaci je hrubé zjednodušení. Jednotkové ceny ve stavebnictví rostou momentálně mnohem výrazněji, než ukazuje inflační křivka. Pro přesnější představu vývoje rizika v závislosti na okamžiku zahájení výstavby by bylo nutné použít pro predikci vývoje v budoucnosti realističtější data. I tak dávají výsledné hodnoty představu o vývoji rizika v čase i o jeho reálné hodnotě v daném okamžiku.

Literatura

- [1] Beran, V. – Dlask, P. – Hromada, E. – Macek, D.: Ekonomika a posuzování nákladů celého životního cyklu staveb. Stavebnictví, 11-12/07. ISSN 1802-2030, 2007.
- [2] Tichý, M.: Ovládání rizika – Analýza a management. Praha, C. H. Beck 2006. ISBN 80-7179-415-5.
- [3] Novotná, E.: Vybrané metody hodnocení rizika. [Dílčí výzkumná zpráva], CIDEAS, ČVUT Praha, 2006.
- [4] Teplý, B. – Novák, D.: Spolehlivost stavebních konstrukcí. [Učební text], VUT Brno, 1999.
- [5] Iman, R. L. – Conover, W. J.: A Distribution-Free Approach to Including Rank Correlation Among Input Variables, Commun. Statist. – Simula. Computa, Vol. 11, No. 3, 1982, pp. 311–334.
- [6] Novák, J. – Kalousková, M.: Dokumentace programu Sperm. ČVUT Praha, 2007.
- [7] Šejnoha, M. – Šejnoha, J. – Kalousková, M. – Zeman, J.: Stochastic Analysis of Failure of Earth Structures, Probabilistic Engineering Mechanics, Vol. 22, No. 2, 2007, pp. 206–217.

Novotná, E. – Milická, I. – Šejnoha, J.: Application of Simulation to the Solution of Technological and Economic Risks

The present paper demonstrates possibilities of the application of simulation procedures to the solution of technological and economic risks. First, the attention is paid to risk as a random variable and to a concise description of the ways determining the risk measure. Next, the procedure of the risk assessment is illustrated by an example of pit excavation. The results are discussed in the concluding paragraph.

Novotná, E. – Milická, I. – Šejnoha, J.: Anwendung der Simulation bei der Lösung technologisch-ökonomischer Risiken

Der Artikel zeigt Möglichkeiten der Anwendung von Simulationsverfahren bei der Lösung technologisch-ökonomischer Risiken. Zuerst wird die Aufmerksamkeit dem Risiko als einer zufälligen Veränderlichen und der knappen Beschreibung der Art und Weise der Bestimmung des Risikos gewidmet. Danach wird das Verfahren an einem einfachen Beispiel des Schachtabteufens dargestellt. Die Ergebnisse werden am Ende des Artikels diskutiert.

Historické a současné metody zaměření průběhu nadzemních vedení vysokého napětí

Ing. Jitka SUCHÁ, Ph.D.
Ing. Martin ŠTRONER, Ph.D.
ČVUT – Fakulta stavební, Praha
Ing. Lenka ŠPAČKOVÁ
Geoline, s. r. o., Praha

Článek se zabývá měřením průběhu nadzemních vedení vysokého napětí. Je uveden podrobný přehled a porovnání metod historických s metodami, které využívá dnešní praxe.

Úvod

Současná odborná literatura se tématu měření průběhu nadzemních vedení vysokého napětí věnuje poměrně málo, přestože se s ním mnozí zeměměřiči během praxe setkávají často. Starší texty (z padesátých až sedmdesátých let) uvádějí několik způsobů měření průběhu elektrického vedení. Tyto metody jsou však zastaralé, a proto bylo cílem diplomové práce [5] porovnat metody dnes již „historické“ s metodami, při nichž se využívá nejmodernější přístrojová technika. Pro aktuálnost výsledků byla navázána úzká spolupráce s firmami PRAGOPROJEKT (Ing. Sobotka) a Geoline. Článek shrnuje pouze typy metod včetně podrobného popisu, výsledky experimentálního měření budou publikovány následně.

Metody určení průběhu nadzemního vedení lze rozdělit do tří hlavních skupin, a to na metody měřické, početní a grafické. Všechny vycházejí ze získaných dat, liší se však zpracováním. Měřické metody využívají naměřených hodnot k výpočtu průhybu vedení přímo. Početní metody definují pomocí naměřených hodnot průhybovou křivku a z jejího matematického vyjádření se určuje průběh vedení. U grafických metod se veličiny zakreslují do obrázku a z něj se odměřují hledané hodnoty průhybů.

Jednou ze současných metod je laserové skenování. Vzhledem k tomu, že jde o poměrně obsáhlé téma, bude jí věnována pozornost v samostatném článku, opět včetně experimentálního měření a porovnání s metodami klasické geodézie.

Určení průběhu vodiče měřením

Existuje mnoho postupů, které lze na úlohu aplikovat, přičemž se využívají naměřené hodnoty přímo k výpočtu průvěsu vedení. V odborné literatuře je nejčastěji uváděna metoda trigonometrická, pozemní fotogrammetrie, sledování kmitů vodiče a trigonometrická nivelace. Dále je možné použít speciální měřické přístroje a pomůcky sestavené pro měření průhybů vedení – průhyboměr Askania, Abneyův sklonoměr či bambusové tyče. Abneyův sklonoměr a průhyboměr Askania jsou dnes již v podstatě nedostupné [6], proto se s jejich popisem v současné odborné literatuře nesetkáme. Přesnost určení průhybu těmito speciálními pomůckami se pohybovala do 10 cm a pro praktické účely byla dostačující. Speciálně upravené a izolované bambusové tyče, kte-

ré se používají k měření průhybu vodiče pouze u vedení nízkého napětí, jsou opatřeny decimetrovou stupnicí. Měří se jimi výška vodiče nad terénem. Nivelací se určí výška pat kolmic. Za bezvětří je možné dosáhnout přesnosti okolo 10 cm.

Trigonometrická metoda

Nejčastěji užívanou měřickou metodou je trigonometrická metoda. Při tomto způsobu měření lze práci v terénu rozdělit na tři základní části:

- promítnutí směru vodiče na terén a vytyčení bodu O' (ve středu rozpětí nebo v místě nejnižšího bodu vodiče);
- zaměření výšek závěsných bodů A , B a bodu O ;
- zaměření výšky vodiče a výpočet jeho průhybu f .

K promítnutí směru vedení na terén jsou nutné nejméně dva body na vodiči s dostatečně velkou vzdáleností. Nejjednodušším způsobem promítnutí na zem je volné zavěšení olovnice v natažené ruce a procházení pod vodičem, až se lano vedení a závěs olovnice překrývají. V tomto místě se olovnice spustí na zem a průmět vodiče stabilizuje. Není-li lano příliš vysoko a je bezvětří, pohybuje se přesnost průmětu bodu řádově v centimetrech. Přesnějšího průmětu lze dosáhnout pomocí optické olovnice firmy Askania [6]. Na průmětu směru vodiče se určí a stabilizuje bod O' ve středu pole. V tomto bodu se vytyčí kolmice na směr vedení. Na kolmici se ve vhodné vzdálenosti zvolí stanovisko teodolitu S a změří se její délka. Kolmici lze vytyčit pentagonem nebo již zmíněnou olovnici Askania. Nadmořská výška promítnutého středu pole O' na terénu se určí trigonometricky nebo nivelací. Při úhlovém měření jsou nejprve zaměřeny výškové úhly β_1 bodu O' stabilizovaném na zemi, dále β_2 bodu O , který leží na vodiči, a nakonec ještě β_A a β_B závěsných bodů A , B . Poté se měří vodorovné směry. Osnova vodorovných směrů je tvořena závěsnými body A , B a směrem vytyčené kolmice k vedení. Z naměřených směrů získáme úhly α_A a α_B (obr. 1). Vzdálenosti d_A a d_B jsou určeny přímým měřením nebo výpočtem.

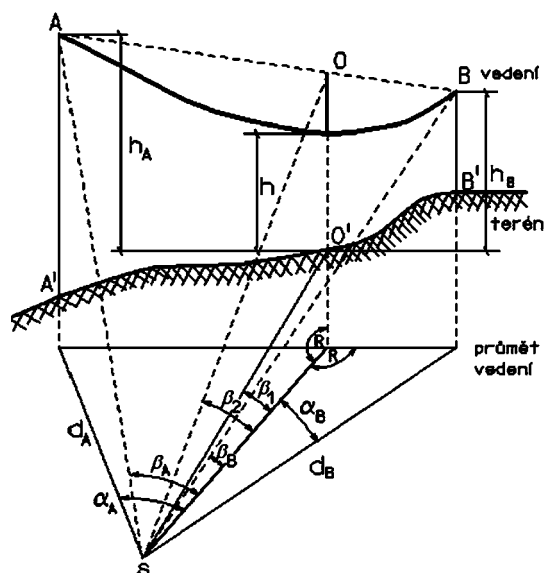
Využitím základních vět, platných pro pravoúhlý trojúhelník, lze určit výškový rozdíl h bodů O a O'

$$h = d (\operatorname{tg} \beta_2 - \operatorname{tg} \beta_1). \quad (1)$$

Převýšení bodu O a závěsných bodů určíme dosazením do vzorců

$$h_A = d \left(\frac{\operatorname{tg} \beta_A - \cos \alpha_A \operatorname{tg} \beta_1}{\cos \alpha_A} \right), \quad (2)$$

$$h_B = d \left(\frac{\operatorname{tg} \beta_B - \cos \alpha_B \operatorname{tg} \beta_1}{\cos \alpha_B} \right). \quad (3)$$



Obr. 1. Trigonometrické měření průhybu vodiče

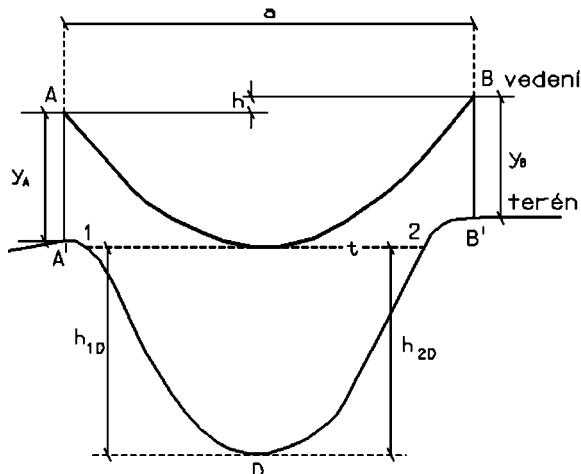
Trigonometrická metoda slouží k určení výšek závěsných bodů A, B a výšky nejnižšího bodu vedení nad terénem. Její přesnost se pohybuje od 3 do 5 cm.

Pozemní fotogrammetrie

Výhodou pozemní fotogrammetrie při určování průhybu vodiče je možnost zaznamenání velkého množství bodů, dodatečné vyhodnocení kteréhokoli bodu zobrazeného na snímcích a kontrola vyhodnocení pozorovaných bodů. Měřické snímky poskytují také cennou dokumentaci stavu vedení v terénu. Na rozdíl od jiných metod se výsledky měření získají až po laboratorním zpracování a vyhodnocení snímků. Pozemní fotogrammetrii lze, stejně jako trigonometrickou metodu, použít pro přesné určení průhybu vodiče. Obě metody je možné vzájemně kombinovat. Spojení se v praxi osvědčilo, neboť se vhodně doplňují.

Trigonometrická nivelace

Používá se především při měření průhybu vodiče v horských oblastech, zastavěných územích nebo na nepřehledných místech. Princip spočívá v nalezení horizontální tečny t v místě největšího průhybu (obr. 2). Tečna se v terénu sta-



Obr. 2. Měření průhybu vodiče trigonometrickou nivelací

bilizuje kolíky 1, 2, poté následuje výškové měření. Vzdálenost mezi stožáry se rozdělí na úseky A-1, 1-D, D-2 a 2-B, které jsou postupně nivelovány. Pokud byla horizontální tečna správně vytyčena, převýšení v úsecích 1-D a D-2 jsou stejná.

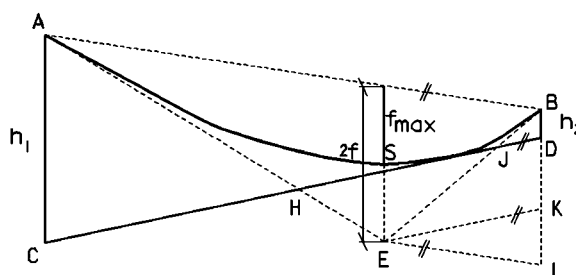
Dále je nutné určit výšku závěsných bodů A, B a délku rozpětí pole. Pro určení výšky se využívá trigonometrie. Délku je možné měřit přímo nebo vypočítat ze vhodně zvoleného geometrického obrazce.

Z literatury je znám další způsob určení průhybu vedení, který vychází z nivelačního měření [6]. V rámci této metody se určí libovolná tečna k vodiči (obr. 3) a stabilizuje se kolíky D, C. Nivelacím měřením se určí převýšení

$$h_1 = H_A - H_C, \tag{4}$$

$$h_2 = H_B - H_D, \tag{5}$$

kde H_A, \dots, H_D je nadmořská výška bodů A, ..., D.



Obr. 3. Měření průhybu vodiče od všeobecné tečny

Průhybová křivka se v tomto případě nahrazuje parabolou. Maximální průhyb f_{max} se určuje početně ze vztahu

$$f_{max} = \frac{1}{2} \left(\frac{h_1 + h_2}{2} \right) + \sqrt{h_1 h_2}. \tag{6}$$

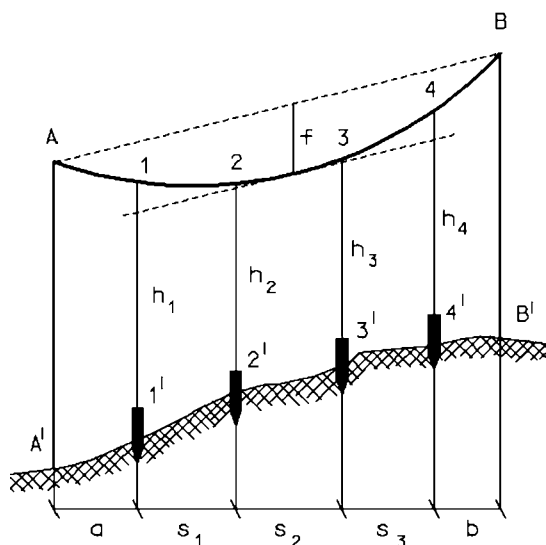
Určení průběhu vodiče výpočtem

Jednou z metod, jak určit průhyb vodiče, je početní řešení. Využívá matematické definice křivky, jejíž tvar zavěšený vodič zaujímá, nebo ji nahradí křivkou jednodušší. Přesný průběh zavěšeného vodiče charakterizuje řetězová dráha. Ta se také nejčastěji používá k výpočtu průhybu. Řetězovku lze nahradit parabolou, která má při splnění určitých podmínek téměř totožný průběh. Tento způsob určení průhybu vodiče se používá v energetice. Charakteristické hodnoty křivky se sestavují do tabulek v závislosti na rozpětí pole, průřezu vodiče a převýšení závěsných bodů, přičemž se počítá se změnou průhybu vlivem vnějších podmínek (teploty, námrazy apod.). Tyto tabulky se dále používají při montáži vedení napínáním vodičů pomocí latí nebo dynamometrů. Vzhledem k tomu, že geodetická praxe tuto metodu často nevyužívá, nebudeme se jí věnovat podrobněji. Matematické vztahy je možné nalézt v [1], [5], [6].

Určení průběhu vodiče graficky

Grafická metoda určení průhybu vodiče vychází z trigonometrického měření a zobrazení několika bodů. Největší průhyb se potom určí odměřením vzdálenosti fz grafického znázornění. Vlastnímu měření předchází promítnutí vodiče na terén. V průmětu jsou vhodně zvoleny a stabilizovány body 1', 2', ..., n' (obr. 4) tak, aby ležely poblíž největšího

průvěsu. Následuje měření délek s_1, s_2, \dots, s_n mezi stabilizovanými body. Podélný profil mezi stožáry A', B' je určen nivelací. Při tomto měření se v rámci podélného profilu výškově určí body stabilizované pod vedením. Z vhodné zvolené stanoviska se dále pokračuje trigonometrickým měřením. Postupně jsou zaměřeny závěsné body A, B, průměty bodů 1', 2', ..., n' na vedení, a následně délky všech záměr.



Obr. 4. Měření průhybu vodiče z grafických podkladů

Ze získaných hodnot se výpočtem určí převýšení závěsných bodů h_A, h_B a podrobných bodů h_1, h_2, \dots, h_n . Ve vhodném měřítku se graficky znázorní výška a vzájemná poloha stožárů a bodů stabilizovaných pod vodičem. Spojením bodů A, 1, 2, ..., n a B se vykreslí průběh vodiče. Jeho maximální průhyb se určí jako svislá vzdálenost dvou rovnoběžek. První rovnoběžka je spojnice závěsných bodů, druhá je konstruována jako tečna k průhybové křivce. Výhodou této metody je možnost zpětně odečítat z obrázku průhybu v libovolně zvolených bodech, aniž bychom s nimi museli počítat při zaměření.

Současné metody

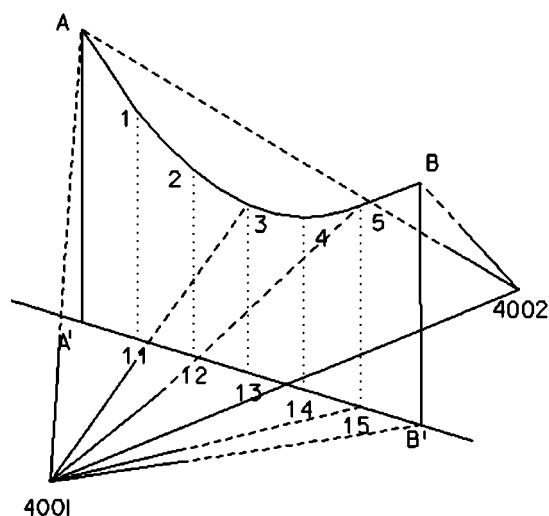
K určení průběhu nadzemních vedení vysokého napětí byla vybrána metoda, používaná firmou Pragoprojekt, a prostorová polární metoda, kterou využívá např. firma Geoline. Obě metody byly podrobeny experimentálnímu ověřování.

Metoda fy PRAGOPROJEKT

Vodič zavěšený mezi dva izolátory se vlivem zemské tíže prohýbá a vytváří křivku. Za vhodných povětrnostních podmínek leží ve svislé rovině. Pravoúhlé prostorové souřadnice podrobných bodů na vedení lze určit jako průsečíky záměrných přímk se svislou rovinou. Průsečík svislé roviny a záměrných přímk lze vyhledat dvěma způsoby. V Pragoprojektu se k získání podrobných bodů na vedení využívá kombinace početního a grafického způsobu řešení. Druhý způsob je pouze výpočetní s použitím základních vztahů a úloh analytické geometrie.

Obecně metoda vyžaduje zaměření závěsných bodů ze dvou stanovisek (obr. 5) zvolených proti sobě tak, aby vedení leželo mezi nimi. Závěsné body musí být z obou stanovisek viditelné a velikost úhlů, které jsou využity pro výpočet protínání vpřed, musí vyhovovat doporučeným hodnotám

(úhel protnutí na určeném bodu nemá být menší než 25 gon). Na stanovisku 4001 se měří orientace na stanovisko 4002, popř. na další body sloužící pro připojení do použité soustavy souřadnic (např. S-JTSK). Následuje úhlové zaměření závěsných bodů A, B a podrobných bodů na vodiči. Paty stožárů a podrobné body na průmětu vedení na terén se zaměřují také délkově.

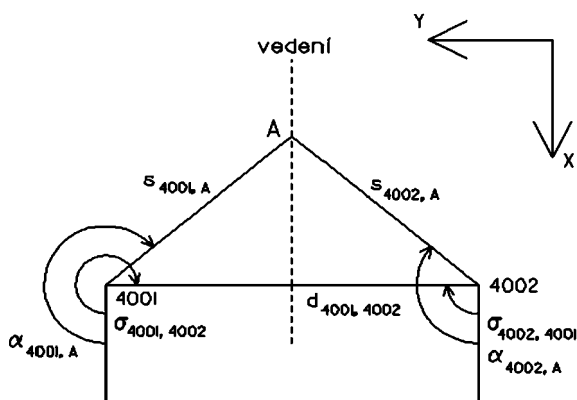


Obr. 5. Schéma měření

Druhé stanovisko 4002 slouží pouze k úhlovému určení závěsných bodů A, B, které je nutné znát pro výpočet jejich souřadnic protínáním vpřed. Samozřejmostí je zaměření orientací. Takto provedené zaměření vodiče plně dostačuje k určení průběhu vedení. Naměřené hodnoty lze zpracovat dvěma způsoby.

● Početně grafické řešení

Stejně jako u jiných geodetických úloh je nejprve nutné určit souřadnice stanovisek. Pokud výpočet probíhá v místní soustavě, souřadnice stanovisek jsou voleny. V ostatních případech se určují základními geodetickými výpočetními úlohami z bodů zvolené souřadnicové soustavy.



Obr. 6. Protínání vpřed

Dále je nutné určit polohu svislé roviny. K tomu se využije závěsné body A, B vedení. Závěsné body byly úhlově zaměřeny ze dvou stanovisek, proto je možné vypočítat jejich prostorové pravoúhlé souřadnice aplikací základní geodetické výpočetní úlohy – protínání vpřed (obr. 6).

Souřadnice závěsných bodů se určují ze vztahů

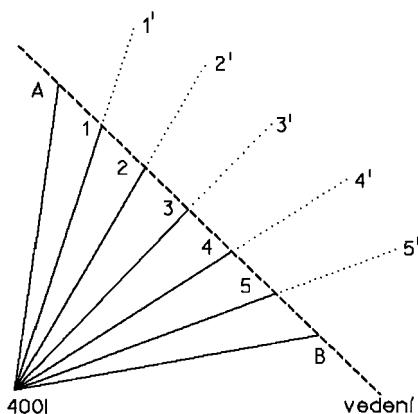
$$y_A = y_{4001} + s_{4001,A} \cdot \sin \alpha_{4001,A} = y_{4002} + s_{4002,A} \cdot \sin \alpha_{4002,A}, \quad (7)$$

$$x_A = x_{4001} + s_{4001,A} \cdot \cos \alpha_{4001,A} = x_{4002} + s_{4002,A} \cdot \cos \alpha_{4002,A}. \quad (8)$$

Neznámými hodnotami ve vzorcích (7) a (8) jsou směrníky α_{ij} a délky s_{ij} . Pro určení jejich hodnot je nutné znát velikost směrníků $\sigma_{4001,A}$ a $\sigma_{4002,A}$, které lze vypočítat ze vztahu

$$\sigma_{4001,A} = \arctg \left(\frac{\Delta y_{4001,A}}{\Delta x_{4001,A}} \right). \quad (9)$$

Pravoúhlé prostorové souřadnice podrobných bodů na vedení se vypočítají prostorovou polární metodou. Protože byly zaměřeny pouze úhlově, je nutné každému přiřadit délku. Délka se volí libovolná, nejlépe tak, aby vypočtený bod ležel až za vedením (obr. 7). Získáním souřadnic těchto bodů $1', 2', \dots, n'$ jsou určeny přímky, které protínají svislou rovinu. Těmito průsečíky prochází křivka vedení. Následuje grafické řešení. V grafickém softwaru (např. MicroStation, AutoCad) se založí dvojrozměrný soubor, do kterého se nahrají souřadnice všech bodů. Spojnice izolátorů představuje svislou rovinu, ve které leží vodič. Záměrné přímky jsou určeny spojnícemi bodů $1', 2', \dots, n'$ se stanovištěm 4001.



Obr. 7. Grafické řešení průsečíků záměrných přímek se svislou rovinou

Dále lze postupovat různým způsobem podle toho, jaké funkce grafický software nabízí. Je možné odečíst souřadnice průsečíků svislé roviny a záměrných přímek přímo v grafickém souboru (jde pouze o rovinné souřadnice, výšku je nutné dopočítat zvlášť). Je také možné odměřit ve výkresu vzdálenosti od stanoviště 4001 k průsečíkům $1, 2, \dots, n'$ a znovu vypočítat souřadnice prostorovou polární metodou, tentokrát již se správnou délkou.

● Početní řešení

Početní řešení využívá k nalezení průsečíku svislé roviny se záměrnou přímkou poznatků analytické geometrie. Nejprve je nutné nalézt obecnou rovnici svislé roviny

$$ax + by + cz + d = 0, \quad (10)$$

přičemž a, b, c, d jsou parametry ($a, b, c, d \in R$) a x, y, z pravoúhlé prostorové souřadnice. K jejímu sestavení je nutné

znát minimálně dva vektory v této rovině ležící. První vektor \vec{u} je definován polohou závěsných bodů A, B, jejichž souřadnice se určí stejně jako v předchozím případě protínáním vpřed. Druhý vektor \vec{v} vychází z předpokladu, že hledaná rovina je svislá. Hledané vektory určíme ze vztahů

$$\vec{u} = \vec{B} - \vec{A} = (x_B - x_A, y_B - y_A, z_B - z_A), \quad (11)$$

$$\vec{v} = (0, 0, 1). \quad (12)$$

Součinem obou vektorů získáme orientovanou úsečku kolmou ke svislé rovině, tzv. normálový vektor, jehož souřadnice jsou hledané parametry a, b, c v rovnici svislé roviny

$$\vec{w} = \vec{u} \times \vec{v} = (a, b, c). \quad (13)$$

Dosažením vektoru \vec{w} a souřadnic jednoho z izolátorů do rovnice (10) určíme poslední z parametrů d . K výpočtu průsečíků je nutné sestavit také parametrické rovnice záměrných přímek

$$x = x_i + t \cdot u_1, \quad (14)$$

$$y = y_i + t \cdot u_2, \quad (15)$$

$$z = z_i + t \cdot u_3, \quad (16)$$

kde x_i, y_i, z_i jsou souřadnice bodu ležícího na přímce, u_1, u_2, u_3 jsou souřadnice vektoru \vec{u} a t je parametr ($t \in R$).

Pro sestavení parametrické rovnice přímky je třeba znát dva body ležící na přímce. V tomto případě se využívá stejného postupu jako u kombinace výpočetního a grafického řešení, tedy prostorovou polární metodou určíme body na záměrných přímkách v libovolné vzdálenosti od stanoviště 4001. Vektor \vec{u} se určí jako rozdíl souřadnic

$$\vec{u} = (x_i - x_{4001}, y_i - y_{4001}, z_i - z_{4001}), \quad (17)$$

kde x_i, y_i, z_i jsou souřadnice bodů $1', 2', \dots, n'$ na záměrných přímkách a $x_{4001}, y_{4001}, z_{4001}$ souřadnice stanoviště 4001.

Dosažením vektoru \vec{u} a souřadnic stanoviště 4001 do rovnic (14)-(16) je nalezeno parametrické vyjádření přímky v prostoru. Hledané průsečíky svislé roviny a záměrných přímek se určí postupným dosažením parametrických rovnic přímek (14)-(16) do rovnice svislé roviny (10)

$$a(x_{4001} + t \cdot u_1) + b(y_{4001} + t \cdot u_2) + c(z_{4001} + t \cdot u_3) + d = 0. \quad (18)$$

Po úpravách lze vyjádřit parametr t jako

$$t = \frac{-a \cdot x_{4001} - b \cdot y_{4001} - c \cdot z_{4001} - d}{a \cdot u_1 + b \cdot u_2 + c \cdot u_3}. \quad (19)$$

Dosažením hodnoty parametru t do rovnic (14)-(16) získáme souřadnice průsečíku záměrných přímek se svislou rovinou.

Prostorová polární metoda

Používá se pro určení souřadnic bodu v trojrozměrné pravoúhlé souřadnicové soustavě. Výsledkem měření a násled-

ných výpočtů jsou tři souřadnice bodu x, y, z . Výpočet pravoúhlých souřadnic bodu P vychází ze známých souřadnic bodu A, z naměřených hodnot vodorovného směru, zenitového úhlu a šikmé, popř. vodorovné délky. Výsledné souřadnice se určí ze vztahů

$$y_P = y_A + s_{AP} \cos \sigma_{AP} \sin z_{AP}, \quad (20)$$

$$x_P = x_A + s_{AP} \cos \sigma_{AP} \sin z_{AP}, \quad (21)$$

$$z_P = z_A + s_{AP} \cos \sigma_{AP}, \quad (22)$$

kde x_i, y_i, z_i jsou pravoúhlé souřadnice bodu,
 s_{AP} – šikmá délka strany AP,
 σ_{AP} – směrník strany AP,
 z_{AP} – zenitový úhel na bod P.

Závěr

V textu se čtenář mohl seznámit s podrobným výčtem jednotlivých metod sloužících k určení průběhu vysokého napětí, které byly dále podrobeny experimentálnímu měření.

Popis, výsledky a hodnocení budou publikovány v následujícím článku.

Článek byl zpracován v rámci 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] Krumphanzl, V.: Inženýrská geodézie; 1. vydání. Praha, SNTL 1959.
- [2] Krumphanzl, V. – Michalčák, O.: Inženýrská geodézie; 1. vydání, Praha, Kartografie 1975.
- [3] Michalčák, O. a kol.: Inžinierska geodézia II; 1. vydanie. Bratislava, Alfa 1990. ISBN 80-05-00678-0.
- [4] Rektorys, K. a kol.: Přehled užité matematiky I; 6. přepracované vydání. Praha, Prometheus 1995. ISBN 80-85849-72-0.
- [5] Špačková, L.: Měření průběhu nadzemních vedení vysokého napětí. [Diplomová práce], ČVUT v Praze, 2005.
- [6] Veselý, M. a kol.: Inženýrská geodézie II; 1. vydání. Brno, VUTIMUM 1985.

Suchá, J. – Štroner, M. – Špačková, L.: **Historical and Up-to-Date Methods of Surveying of Above-Ground High Voltage Lines Run**

This paper deals with surveying of the run of above-ground high voltage lines. It details both the historical and up-to-date methods and compares the historical procedures with those applied in current practice.

Suchá, J. – Štroner, M. – Špačková, L.: **Historische und gegenwärtige Methoden zur Vermessung des Verlaufs oberirdischer Hochspannungsleitungen**

Der Artikel befasst sich mit der Problematik der Messung des Verlaufs oberirdischer Hochspannungsleitungen. Es werden eine detaillierte Übersicht und ein Vergleich historischer Methoden mit den Methoden, die in der heutigen Praxis angewandt werden, angeführt.

Vědeckotechnická společnost pro sanace staveb a péči o památky
 Fakulta stavební VUT v Brně

pořádají

mezinárodní konferenci

Sanace a rekonstrukce staveb 2008

WTA TAG 2008

6. a 7. března 2008

Fakulta stavební VUT v Brně, Veverí 95

Konference je součástí každoročního mezinárodního kolokvia WTA TAG, pořádaného WTA International (Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege), letos poprvé mimo německy mluvící země. Spojením vzniká unikátní akce, na níž bude odborné veřejnosti umožněna konfrontace technologických postupů a hledisek provádění sanací v tuzemsku a v zahraničí. Je součástí programu celoživotního vzdělávání členů ČKAIT.

www.wta.cz

● osobní zprávy

100. výročí narození

prof. Dr. Ing. Václava Krumphanzla

Dne 2. února 2008 uplyne sto let od narození prof. Ing. Dr. Václava Krumphanzla, zakladatele české inženýrské geodézie, rodáka z Praskoles u Plzně.

Po absolvování plzeňské reálky vystudoval na pražské technice zeměměřické inženýrství, zaměstnání našel u katastrální měřické služby na Slovensku. Po rozpadu Československa přešel roku 1939 do Triangulační kanceláře Ministerstva financí v Praze a roku 1943 do podniku ČKD Praha, kde se začal zabývat pracemi spojenými s dnešní oblastí inženýrské geodézie, tedy s plánováním, projektováním, vytyčováním, zaměřováním a sledováním stavebních objektů. Po osvobození v roce 1945 působil jako civilní geometr a později v družstvu Geoplán. Problematika geodézie ve výstavbě ho přitahovala stále více, plně se jí věnoval po přechodu do Výzkumného ústavu geodetického, topografického a kartografického v Praze. V té době již byl uznávaným odborníkem v problematice inženýrské geodézie, kterou v roce 1952 začal přednášet jako externista na oddělení zeměměřického inženýrství Fakulty inženýrského stavitelství Českého vysokého učení technického v Praze (v letech 1954–1960 na samostatné Fakultě zeměměřické ČVUT) a na Slovenské vysoké škole technické (dnes STU) v Bratislavě jako nový předmět pod názvem Speciální geodézie. Roku 1956 publikoval skriptum Speciální geodesie I, což byl náš první ucelený text, zabývající se problematikou inženýrské geodézie.

V roce 1958 byl Ing. Dr. V. Krumphanzl jmenován docentem pro obor geodézie a stal se kmenovým zaměstnancem Katedry geodézie Fakulty zeměměřické ČVUT. Po odchodu akademika prof. J. Ryšavého do důchodu v roce 1960 převzal její vedení. Po reorganizacích byly katedry geodézie zeměměřické fakulty a fakulty inženýrského stavitelství sloučeny a vedením nové katedry geodézie nově vzniklé stavební fakulty byl pověřen prof. Trnka. Roku 1961 byl V. Krumphanzl jmenován řádným profesorem. Po smrti prof. Trnky v roce 1963 vznikla katedra speciální geodézie, která zajišťovala výuku geodézie pro stavební obory, inženýrské geodézie a ekonomiky a organizace zeměměřických prací pro obor geodézie a kartografie. Vedoucím se stal doc. Ing. J. Tlustý a prof. Krumphanzl byl pověřen vedením úseku inženýrské geodézie. V pedagogické práci měl ke studentům nekompromisní, ale lidsky chápající vztah a vždy se snažil předat jim co nejvíce ze svých bohatých znalostí a zkušeností.

Velmi bohatá byla jeho publikační činnost, obsahující přes sto titulů. Za nejvýznamnější je třeba považovat jeho učebnice. Jsou to Inženýrská geodézie z roku 1959, Inženýrská geodézie I z roku 1966 a Inženýrská geodézie II (spoluautor prof. O. Michalčák) z roku 1975. Kromě učebnic publikoval řadu odborných článků a výzkumných zpráv, vesměs s problematikou inženýrské geodézie. Stejně rozsáhlá byla i jeho veřejná činnost. Působil v Československé vědecko-technické společnosti, kde zastával po řadu let funkci předsedy odborné skupiny OS 1701 – Inženýrská geodézie. Celý život se snažil vybojovat tomuto oboru nezastupitelné místo v procesu investiční výstavby, která je bez účasti geodetů nemyšlitelná. Jeho zásluhy byly vysoko hodnoceny nejen československou odbornou veřejností, ale i na mezinárodní úrovni. To se projevilo zvolením prof. Krumphanzla prezidentem 6. komise (inženýrská geodézie) FIG (Fédération In-

ternationale des Géomètres) na XII. kongresu FIG v Londýně v roce 1968. Tuto funkci zastával do roku 1972; vytvořil strukturu této komise, která platí dodnes. Ve snaze o vymezení postavení a povinností geodeta v investiční výstavbě byl jedním z organizátorů zkoušek pro získání oprávnění k výkonu funkce odpovědného geodeta před komisí Českého úřadu geodetického a kartografického podle vyhlášky 10/1974 Sb. Do důchodu odešel v roce 1973, a potom ještě po několik let spolupracoval s významnými podniky praxe. Zemřel 5. dubna 1986 v Praze.

Prof. Ing. Dr. Václav Krumphanzl po sobě zanechal nejen jím vybudovaný předmět Inženýrská geodézie, ale celý směr v oblasti geodézie a kartografie, který má nezastupitelné místo nejen v České republice, ale ve světové geodézii vůbec.

*doc. Ing. Mojmír Švec, CSc.
Katedra speciální geodézie
FSv ČVUT v Praze*

● zprávy

Nové mostní svodidlo

Ani rychlost 80 km/h v podání těžkého nákladního vozidla nedokázala prorazit mostní svodidlo odzkoušené v koncem léta na polygonu Technického a zkušebního ústavu stavebního Praha na bývalém letišti u obce Kámen u Pelhřimova. Obdobně si tento bezpečnostní stavební prvek, vyvinutý během necelého roku společností Skanska, poradil s nárázem osobního vozidla v rychlosti 100 km/h. Zkouška proběhla úspěšně, hodnoty snímané v narážejících vozidlech nepřekročily mezní hodnoty pro ochranu přepravovaných osob. Během necelého roku vývoje prošla konstrukce, jejímž vzorem byla svodidla použitá na Pražské radiále u Pisáreckého tunelu v Brně, zásadními změnami. Kotvené betonové svodidlo, které na českém stavebním trhu dosud chybělo, je určeno pro dálniční a silniční mosty, mimoúrovňová křížení ve městech a určitě najde uplatnění i v dálničních a silničních projektech. Jeho využití bude znamenat úsporu materiálu při stavbě mostních konstrukcí. Po schválení Ministerstvem dopravy ČR může být používáno na pozemních komunikacích.



• projekty

Zlaté Jablko

Stavba obchodního a zábavního centra Zlaté Jablko vstoupí do fáze dokončení hrubé stavby a uzavření objektu. Nová dominanta v centru Zlína se již prezentuje v plné velikosti a čilý stavební ruch panuje na všech konstrukcích objektu. Souběžně probíhá dodávka dvoupodlažního parkovacího domu s celkovou plochou 4 000 m² a kapacitou 270 vozů.



Projekt symbolizuje pradávnoú historii sídla, neboť Zlaté Jablko bylo podle starozlínských legend názvem města. Komplex nabídne na 13 000 m² prodejní plochy největší nákupní galerii ve Zlínském kraji s více než 70 obchodními jednotkami na třech nadzemních a jednom podzemním podlaží. Součástí bude první multikino v regionu se šesti sály a prodejna potravin. Zábavní a gastronomickou složku v projektu zastupují tři kavárny, restaurace, sportbar, juicebar, cukrárna, tři fastfoody a také wellness&fitness studio. Kanceláře v posledních podlažích budou mít plochu 850 m², proskleným průchozím krčkem nad Rašínovou ulicí bude přístupných dalších 700 m² obchodních ploch elektrodomu Elkomy. V okolí parkovacího domu se bude nacházet dalších 1 500 m² obchodních a kancelářských prostor. Celkové stavební náklady díla, které bude dokončeno v únoru 2008, se budou pohybovat kolem 500 mil. Kč. PSJ holding dílo realizuje pro developera projektu, kterým je akciová společnost REIN Holding.

Tisková informace

• dizertace



Stabilita a deformace velkoprostorových podzemních děl

Ing. Alexandr Butovič

Dizertace rozebírá faktory ovlivňující stabilitu a deformace velkoprostorových podzemních děl, jako je velikost výrubu, kvalita horninového prostředí, členění výrubu a jeho kotvení a velikost původní napjatosti horninového prostředí. Těžší práce je v matematickém modelování problematiky.

Metody konzervace porézních stavebních historických materiálů

Ing. Zuzana Slížková

Práce je složena ze souboru publikací s integrujícím textem. Tematicky se zaměřuje na vybrané problémy konzervace a restaurování historického kamene, historických malt a omítek, diagnostiku a zkoušení malt a metodu konzervace historických omítek. Je podpořena náročnými experimenty.

Pilotové základy – interakce piloty a základové půdy

Ing. Miroslav Zeman

V práci se analyzuje účinek vodorovného zatížení na svislou osamělou pilotu, kde se zkoumá vliv reakce podloží na průběh sil v pilotě. Je podpořena experimentem 1:10 a konstatuje se jeho dobrá shoda s numerickým modelem.

Steel Fibre-Reinforced Prestressed Precast Beams Made of Self-Compacting Concrete

Dipl.-Ing. Claus Peter Strobach

Dizertace přináší nové poznatky o chování vláknobetonových prvků s využitím samozhutnitelného betonu založené převážně na experimentech. Výsledky jsou přímo použitelné v praxi.



České vysoké učení technické v Praze

pořádá

odborný seminář

WORKSHOP 2008

18. – 22. února 2008

Formou posterů se odborné veřejnosti představí výsledky výzkumné činnosti v širokém spektru technických oborů. Zájemci z praxe zde mohou získat nejnovější informace a navázat přímé kontakty. Součástí jednání budou vyzvaná vystoupení, příspěvky z pléna a následná diskuze.

<http://workshop.cvut.cz/2008/>

STAVEBNÍ OBZOR

ROČNÍK 17 ČÍSLO 02/2008

Navigace v dokumentu

OBSAH

Procházka, J – Štefan, R. Rozložení teplot v betonových prvcích vystavených požáru	33
Šilarová, Š. Prosklené střechy	40
Milická, I. – Dlask, P. – Štemberk, P. – Šejnoha, J. KSIM – efektivní nástroj pro integrované navrhování a projektové řízení – část I	45
Toman, J. Dlouhodobé sledování teploty a vlhkosti na rekonstruované budově – část I	50
Kuráž, M. Variabilita odtokového koeficientu na povodí Uhlířská	55
Suchá, J. – Štroner, M. – Špačková, L. Porovnání metod zaměření průběhu nadzemních vedení vysokého napětí	60

2 • 2008

ročník 17

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



Fakulta stavební
VUT v Brně



Fakulta stavební
VŠB TU-Ostrava



Česká komora autorizovaných
inženýrů a techniků

OBSAH

Procházka, J – Štefan, R.
**Rozložení teplot
 v betonových prvcích
 vystavených požáru 33**

Šilarová, Š.
Prosklené střechy 40

Milická, I. – Dlask, P. – Štemberk, P.
 – Šejnoha, J.
**KSIM – efektivní nástroj
 pro integrované
 navrhování a projektové
 řízení – část I 45**

Toman, J.
**Dlouhodobé sledování
 teploty a vlhkosti
 na rekonstruované
 budově – část I 50**

Kuráž, M.
**Variabilita odtokového
 koeficientu na povodí
 Uhlířská 55**

Suchá, J. – Štroner, M.
 – Špačková, L.
**Porovnání metod
 zaměření průběhu
 nadzemních vedení
 vysokého napětí 60**

CONTENS

Procházka, J. – Štefan, R.
**Temperature Distribution in
 Concrete Elements Exposed
 to Fire 33**

Šilarová, Š.
Glassed Roofs 40

Milická, I. – Dlask, P. – Štemberk, P.
 – Šejnoha, J.
**Kane's Simulation – Effective
 Tool for Integrated Design
 and Project Management –
 Part I 45**

Toman, J.
**Long-Term Monitoring of
 Temperature and Moisture in
 Reconstructed Building –
 Part I 50**

Kuráž, M.
**Variability of Runoff
 Coefficient in Uhlířská River
 Basin 55**

Suchá, J. – Štroner, M.
 – Špačková, L.
**Comparison of Methods
 of Measurement
 of Above-Ground
 High-Voltage Lines 60**

INHALT

Procházka, J. – Štefan, R.
**Temperaturverteilung in
 einem Brand ausgesetzten
 Betonelementen 33**

Šilarová, Š.
Glasdächer 40

Milická, I. – Dlask, P. – Štemberk, P.
 – Šejnoha, J.
**Ein effektives Instrument
 für das integrierte
 Entwerfen und die
 Projektleitung – Teil I 45**

Toman, J.
**Langzeitbeobachtung der
 Temperatur und Feuchtigkeit
 an einem sanierten Gebäude
 – Teil I 50**

Kuráž, M.
**Variabilität des
 Abflussbeiwerts im
 Einzugsgebiet Uhlířská . . 55**

Suchá, J. – Štroner, M.
 – Špačková, L.
**Vergleich der Verfahren zur
 Vermessung des Verlaufs
 von Hochspannungs-
 Freileitungen 60**

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 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. Po-
 dávání novinových zásilek povoleno Ředitelstvím
 pošt Praha, č. j. NP 144/1994, ze dne 21. 10. 1994.
 Do sazby 20. 1. 2008 Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

Rozložení teplot v betonových prvcích vystavených požáru

prof. Ing. Jaroslav PROCHÁZKA, CSc.
Bc. Radek ŠTEFAN
ČVUT – Fakulta stavební
Praha

Článek se zabývá vyšetřováním průběhu teplot v betonových prvcích vystavených požáru. Je popsán dostupný výpočetní program ConTemp a posouzení jeho souladu s nově zaváděnými evropskými normami.

Úvod

Požáry ve stavebních objektech často způsobují rozsáhlé materiální škody a ohrožují zdraví i životy lidí. Důležitým prvkem ochrany je prokázání požární odolnosti nosných konstrukcí. Podle nově zaváděných evropských norem má být u každé konstrukce, která může být vystavena účinkům požáru, posouzena její požární odolnost, tj. doba, po kterou je schopna plnit požadované funkce. Nejčastěji se posuzuje nosná funkce – označovaná písmenem R (kritérium únosnosti) s dobou požadované požární odolnosti v minutách (např. R60). Dále se posuzuje požárně dělicí funkce, zahrnující kritérium celistvosti E a kritérium tepelně izolační I (např. EI60).

Navrhováním betonových konstrukcí na účinky požáru se

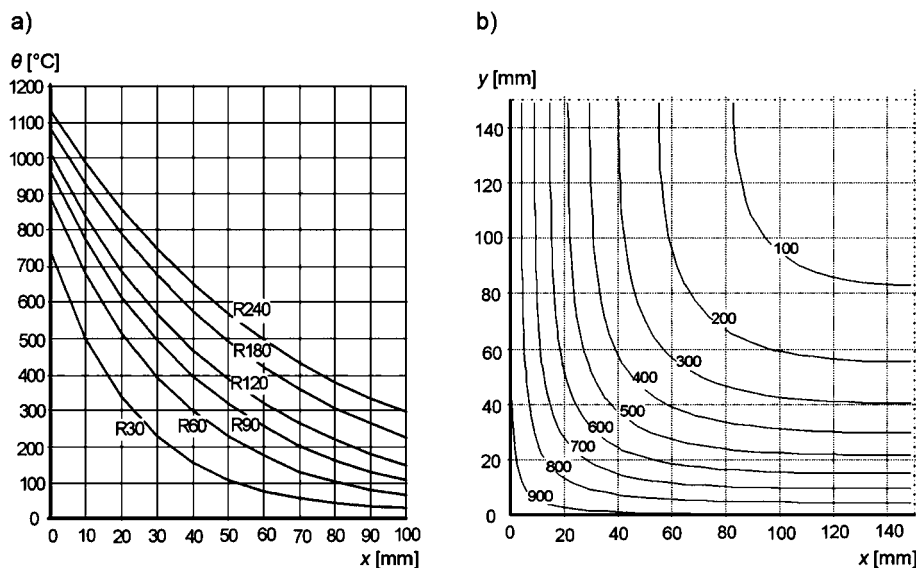
zabývá ČSN EN 1992-1-2 [1], která uvádí tři možnosti:

- návrh podle osvědčených řešení (tabulkové údaje nebo zkoušky);
- zjednodušené výpočetní metody pro určité typy prvků (metoda izoterm 500 °C, zónová metoda);
- zpřesněné výpočetní metody pro vystižení chování nosných prvků, částí konstrukce nebo celé konstrukce.

Předpokladem použití zjednodušených a zpřesněných výpočetních metod je znalost rozložení teploty ve vyšetřovaném průřezu. To závisí na požárním scénáři (nominální či parametrický požár), době vystavení požáru (tj. požadované požární odolnosti), charakteru požárního úseku (hodnota požárního zatížení, geometrie, materiály povrchů apod.), a samozřejmě na parametrech konstrukce. V praxi se pro modelování vývoje požáru v čase používá normová teplotní křivka ISO 834, která však bývá velmi často konzervativní. Pokud jsou o požárním úseku známy podrobnější údaje, je vhodné pro tento úsek uvažovat parametrickou teplotní křivku [2].

Teplotní profily

Pro běžné tvary průřezů, vystavených normovému požáru [2] po určitou dobu, jsou v příloze A normy [1] uvedeny teplotní profily, které graficky znázorňují rozložení teploty ve vyšetřovaných prvcích (obr. 1). Platí pro beton se silikáto-



Obr. 1. Teplotní profily [1]

a – deska tloušťky 200 mm pro R30 až R240, b – sloup o rozměrech 300 x 300 mm pro R60

vým kamenivem, lze je však použít i pro betony s ostatními druhy kameniva. Umožňují stanovit, jaká je teplota v určitém bodě průřezu (např. v místě výztuže), případně určit oblast, ve které má průřez danou teplotu. V některých případech však nelze normové teplotní profily použít. Jde zejména o tyto případy:

- uvažují se průřezy vystavené parametrickému požáru;
- posuzují se průřezy s odlišnými tvary či rozměry, než je uvedeno v normě [1], která např. vůbec neobsahuje teplotní profily pro stěny;
- posuzují se průřezy s jinou dobou vystavení požáru, než je uvedeno v [1];
- posuzují se průřezy s protipožární ochranou (izolační vrstvou);
- je třeba znát teplotu ve větší vzdálenosti od povrchu betonu (norma [1] např. uvádí u desky tloušťky $h = 200$ mm teplotní profily pouze do hloubky 100 mm – obr. 1a);
- je třeba stanovit více hodnot a použití teplotních profilů je poměrně pracné (zejména při výpočtu zónovou metodou).

Často je tedy nutné provést podrobnější výpočet rozložení teplot ve vyšetřovaném průřezu. V současné době existuje několik výpočetních programů, které byly právě k tomuto účelu navrženy.

Program ConTemp

Program ConTemp [3] je společně s uživatelskou příručkou [4] volně dostupný na internetových stránkách Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering. Počítá teplotu v bodě zadaném souřadnicemi (x, y) , kde x se měří podél rozměru W a y podél rozměru H zadaného prvku (obr. 2). Teplotu v bodě (x, y) je možné vypočítat pro parametrický požár zadaný faktorem otvorů O [$m^{1/2}$], požárním zatížením vztaženým k ploše povrchu ohraničujících konstrukcí q_{fd} [MJ/m^2] a koeficientem povrchů b [$J/m^2s^{1/2}K$], ale lze provést výpočet i pro normový požár.

Výstupem jsou čtyři datové soubory s příponou „.RES“, které jsou automaticky uloženy do stejné složky, ve které je umístěn program ConTemp. Jde o datové soubory:

- CONTXY.RES
udává teplotu v zadaném bodě (x, y) v závislosti na čase, interval je 1 min;

- CONTXTI.RES
udává průběh teploty napříč průřezem (po 10 mm do vzdálenosti W) v zadaném čase t ;
- CONTXMAX.RES
udává maximální teploty dosažené v průřezu (po 10 mm do vzdálenosti W);
- CONTXHOT.RES
udává průběh teploty napříč průřezem (po 10 mm do vzdálenosti W) v čase „HOT“, v němž je dosaženo maximální teploty právě v hloubce 30 mm pod povrchem betonu.

Geometrie a typ průřezu

Pomocí vhodně zadaných rozměrů W [m] a H [m] je možné modelovat následující průřezy:

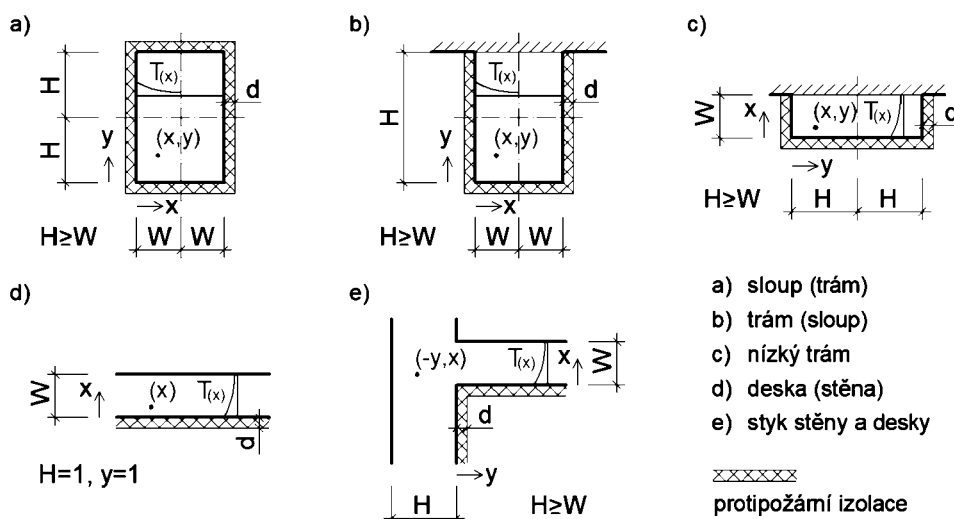
- sloup (trám) vystavený požáru ze čtyř stran (obr. 2a),
- trám (sloup) vystavený požáru ze tří stran (obr. 2b),
- nízký trám vystavený požáru ze tří stran (obr. 2c),
- desku či stěnu vystavenou požáru z jedné strany (obr. 2d),
- styk stěny a desky (obr. 2e).

Pro všechny průřezy je také možné zadat parametry ochranné vrstvy (protipožární izolace), tzn. její tloušťku d [m] a součinitel tepelné vodivosti λ [W/mK]. Umístění izolace se uvažuje podle obr. 2 (tj. na stranách vystavených požáru). Jiné případy, než jsou uvedeny na obr. 2, nelze v programu ConTemp modelovat.

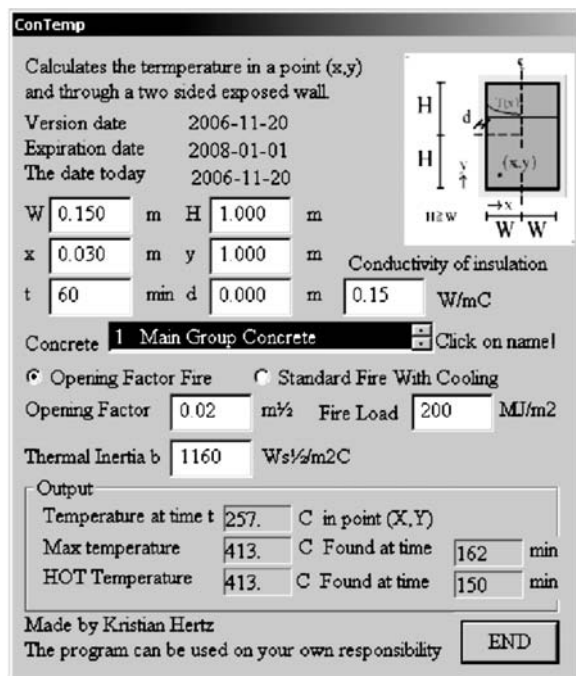
Výpočet

Po spuštění programu se objeví zadávací panel (obr. 3) a postupuje se následovně:

- zadají se rozměry prvku W [m] a H [m] podle obr. 2;
- zadají se souřadnice bodu (x, y) , ve kterém má být určena teplota;
- zadá se čas t [min], ve kterém má být určena teplota v bodu (x, y) ;
- pokud se počítá průřez s izolační vrstvou, zadá se její tloušťka d [m] a součinitel tepelné vodivosti (Conductivity of Insulation) λ [W/mK]. V zadávacím panelu (obr. 3) je uvedena jednotka [W/mC], v ČR se používá [W/mK]. Tyto jednotky jsou ekvivalentní;
- zvolí se buď výpočet při uvažování parametrického požáru („Opening Factor Fire“), nebo podle normového požáru s fází chladnutí („Standard Fire With Cooling“). Vždy se označí „Opening Factor Fire“;



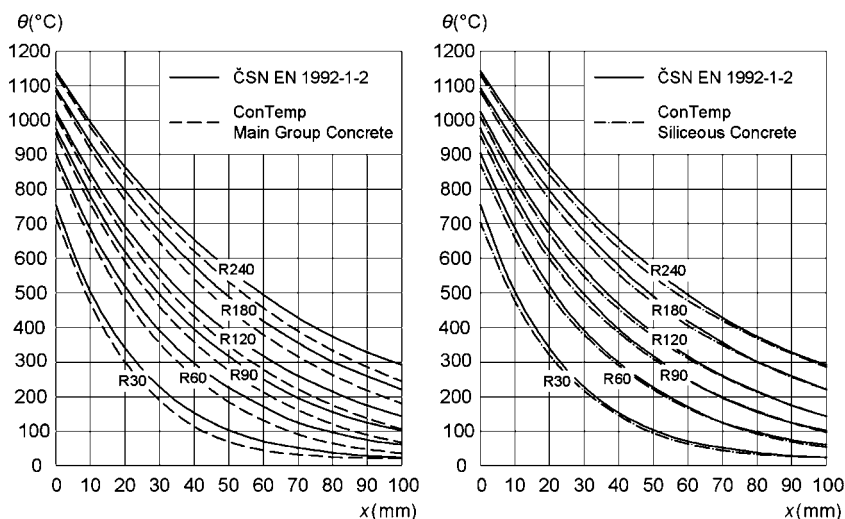
Obr. 2. Geometrie a typy průřezů [4]



Obr. 3. Zadávací panel programu ConTemp [3]

- pro parametrický požár se zadá faktor otvorů („Opening Factor“) O [m^2], požární zatížení („Fire Load“) vztažené k ploše povrchu ohraničujících konstrukcí q_{fd} [MJ/m^2] a koeficient povrchů („Thermal Inertia“) b [$\text{J}/\text{m}^2\text{s}^{1/2}\text{K}$]. V zadávacím panelu programu ConTemp (obr. 3) je uvedena jednotka [$\text{Ws}^{1/2}/\text{m}^2\text{C}$], v ČR se používá [$\text{J}/\text{m}^2\text{s}^{1/2}\text{K}$], obě jsou ekvivalentní;
- v kolonce „Concrete“ se vybere druh betonu a kliknutím se spustí výpočet.

Při zadávání vstupních údajů se musí dodržovat určitá pravidla – po zapsání číselné hodnoty do zadávacího pole se nesmí stisknout „Enter“ (program by se automaticky ukončil). Desetinná místa se oddělují desetinnou tečkou. Pokud se změní zadávací parametry po dokončení výpočtu (po kliknutí na označení betonu), změní se i data v uložených datových souborech. Obrázek v pravém horním rohu zadávacího panelu je pouze ilustrativní, skutečný tvar a typ prvku je dán volbou rozměrů W a H .



Obr. 4. Porovnání teplotních profilů desky tl. 200 mm vystavené normovému požáru

Výběr druhu betonu

Při výběru druhu betonu program umožňuje výběr z pěti druhů. V první a druhé skupině jsou betony obvyčejné, tzn. skupina 1 – beton s běžnými druhy kameniva (žula, vápenec, čedič) („1 Main Group Concrete“), skupina 2 – beton se silikátovým kamenivem („2 Siliceous Concrete“). Další tři skupiny obsahují betony lehké (s objemovou hmotností 600, 1 200 a 1 800 kg/m^3). Pokud chceme pomocí programu získat výsledky odpovídající teplotním profilům uvedeným v normě [1], je nutné vybrat beton se silikátovým kamenivem (obr. 4).

Výsledky

Některé výsledky se zobrazí přímo ve spodní části zadávacího panelu:

- teplota v bodě (x, y) v čase t ;
- maximální teplota v bodě (x, y) a čas jejího dosažení;
- teplota „HOT“ v bodě (x, y) a čas jejího dosažení.

Podrobnější výsledky jsou zapsány ve čtyřech datových souborech do složky, ve které je umístěn program ConTemp.

Výpočetní metoda a modelování požáru

Výpočet rozdělení teploty v betonovém prvku je založen na metodě konečných diferencí. Probíhá do okamžiku, kdy je ve všech vrstvách dosaženo maximální teploty, nejdéle však do maximální délky požáru v trvání 10 hodin ($t = 600$ min). Podrobné informace o výpočtu a o uvažovaných fyzikálních parametrech betonu je možné nalézt v uživatelské příručce [4].

Vývin požáru je modelován pomocí vztahů uvedených v dankské normě DS410 [5]. Parametrická teplotní křivka je definována vztahem

$$\theta_g = 20 + \frac{150 \cdot \ln(8 \cdot \Gamma \cdot t + 1)}{1 + 0,04 \cdot (t/t_d)^{3,5}}, \quad (1)$$

- kde θ_g je teplota plynů v požárním úseku [$^{\circ}\text{C}$],
 Γ – součinitel vlivu otvorů a kvality povrchů, určí se ze vztahu (2),
 t – čas [h],
 t_d – náhradní čas [h], určí se ze vztahu (3),

$$\Gamma = \left(\frac{O}{b}\right)^2 / \left(\frac{0,04}{1160}\right)^2, \quad (2)$$

kde O je koeficient otvorů [$\text{m}^{1/2}$],
 b – koeficient povrchů [$\text{J}/\text{m}^2\text{s}^{1/2}\text{K}$],

$$t_d = 7,80 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{q_{td}}{O}, \quad (3)$$

kde q_{td} je návrhová hodnota hustoty požárního zatížení vztážená na jednotku plochy ohraničujících konstrukcí [MJ/m^2]. Pro výpočet veličin O , b a q_{td} lze použít vztahy uvedené v normě [2].

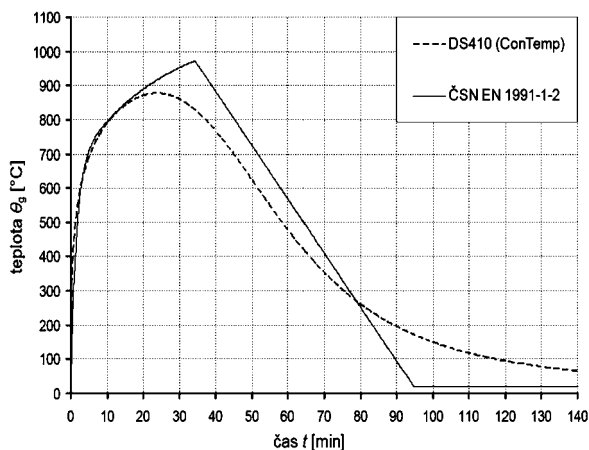
Parametrická křivka popsaná vztahem (1) však není totožná s křivkou definovanou v normě [2] rovnicí

$$\theta_g = 20 + 1325 \left(1 - 0,324e^{-0,2t^*} - 0,204e^{-1,7t^*} - 0,472e^{-19t^*} \right) \quad (4)$$

kde t^* je náhradní čas zohledňující vliv otvorů a kvalitu povrchů [h]. Určí se ze vztahu

$$t^* = \Gamma \cdot t. \quad (5)$$

Pro porovnání jsou na obr. 5 sestrojeny křivky parametrického požáru podle dánské normy ([5] vztah (1)) a podle české normy [2] (vztah (4)). Křivky jsou sestrojeny pro požární úsek s $q_{td} = 200 \text{ MJ}/\text{m}^2$, $b = 1\,400 \text{ J}/\text{m}^2\text{s}^{1/2}\text{K}$, $O = 0,07 \text{ m}^{1/2}$. Z obrázku je zřejmé, že se křivky liší. Při použití programu ConTemp pro vyšetřování průběhu teplot v prvcích vystavených parametrickému požáru je třeba mít tento nesoulad na paměti.



Obr. 5. Porovnání parametrické teplotní křivky podle české normy [2] a podle dánské normy DS410 (ConTemp) pro zadaný úsek

Kromě parametrické křivky umožňuje program také výpočet pro normový požár s fází chladnutí. Norma [2] však normovou křivku s fází chladnutí neudává a ani v uživatelské příručce [4] není podrobně popsána. V programu ConTemp by se tedy mělo počítat vždy jen s použitím „Opening Factor Fire“. Pro modelování normového požáru však může být použit následující postup:

- označí se položka „Opening Factor Fire“ (stejně jako pro výpočet parametrického požáru). Program bude počítat podle vztahů (1), (2), (3);
- položky O a b se zadají referenčními hodnotami uvedenými v normě [2], tedy $O = 0,04 \text{ m}^{1/2}$, $b = 1\,160 \text{ J}/\text{m}^2\text{s}^{1/2}\text{K}$. Program poté bude počítat s hodnotou $\Gamma = 1$;
- zadá se velká hodnota požárního zatížení, např. $q_{td} = 10^5 \text{ MJ}/\text{m}^2$, obecně $q_{td} \rightarrow \infty$.

Program bude počítat: $t_d \rightarrow \infty$, poté $(1 + 0,04 \cdot (t/t_d)^{3,5}) \rightarrow 1$ a výsledná rovnice požární křivky bude mít podobu

$$\theta_g = 20 + 150 \cdot \ln(8t + 1). \quad (6)$$

Křivka zadaná touto rovnicí má téměř stejný průběh a dosahuje přibližně stejných hodnot jako křivka popsaná v normě [2] rovnicí

$$\theta_g = 20 + 345 \cdot \log_{10}(8t + 1). \quad (7)$$

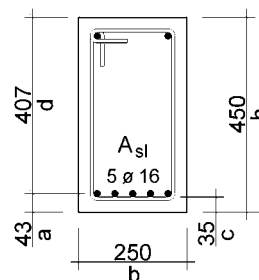
Křivky popsané pomocí vztahů (6) a (7) se liší jen velmi málo (cca o 1°C). Program ConTemp lze tedy použít pro výpočet teplot v prvcích vystavených normovému požáru, pokud je tento požár zadán podle uvedených pravidel.

Využití v praxi

To, že je program ConTemp na rozdíl od většiny podobných programů volně dostupný, mu dává šanci stát se významným pomocníkem při praktickém navrhování. Vzhledem k popsaným skutečnostem ho nelze použít pro výpočet rozložení teplot v betonových prvcích vystavených parametrickému požáru (není v souladu s normou [2]). Proti tomu při uvažování normového požáru (zadávaného podle daných pravidel) není mezi programem ConTemp a platnými normovými předpisy zásadní rozpor, jeho použití tedy lze doporučit. Následující příklad ilustruje možnost jeho využití při praktickém navrhování.

Příklad

Má se posoudit požární odolnost prostě podepřeného trámu o rozpětí $l = 6 \text{ m}$ a rozměrech $b = 0,25 \text{ m}$ a $h = 0,45 \text{ m}$ (obr. 6). Návrhový ohybový moment od zatížení má hodnotu $M_{Ed} = 140,40 \text{ kN}/\text{m}$ (trám je zatížen stálým zatížením $g_k = 12 \text{ kN}/\text{m}$ a proměnným zatížením $q_k = 10 \text{ kN}/\text{m}$). Hlavní nosná výztuž je tvořena pěti profily $\varnothing 16 \text{ mm}$ (za běžné teploty průřez podle ČSN EN 1991-1-1 vyhoví). Krytí hlavní nosné výztuže je navrženo $c = 35 \text{ mm}$, materiály: beton C20/25 a ocel S500 (B500). Je požadována požární odolnost R180. Pokud průřez nevyhoví, je třeba navrhnout odpovídající protipožární izolaci. Trám je požáru vystaven ze tří stran (shora je krytý panely).



Obr. 6. Zadaný průřez trámu

• Posouzení podle tabulek

Prostě podepřené nosníky musí podle normy [1] při požadované požární odolnosti R180 splňovat požadavky na minimální rozměr (šířku trámu) b_{min} a osovou vzdálenost výztuže od povrchu betonu a podle tab. 1. Posuzovaný trám má šířku 250 mm a osová vzdálenost výztuže od líce betonu se vypočítá jako $a = c + \varnothing/2 = 35 + 16/2 = 43 \text{ mm}$. Je tedy zřejmé, že nosník tabulkovým požadavkům pro požární odolnost R180 nevyhovuje.

Tab. 1. Požadované minimální rozměry ([1], tab. 5.5)

Normová požární odolnost	Nejmenší rozměry [mm] (možné kombinace)			
R180	$b_{\min} = 240$	300	400	600
	$a = 80$	70	65	60

● Posouzení metodou izotermie 500 °C

Pro použití metody izotermie 500 °C musí být splněn požadavek na minimální šířku průřezu podle normy [1]. Pro požární odolnost R180 je požadována minimální šířka 200 mm ([1], tab. B.1a). Šířka posuzovaného průřezu má hodnotu $b = 250$ mm – uvedený požadavek je splněn. Je tedy možné použít metodu izotermie 500 °C.

Má-li se posoudit únosnost průřezu vystaveného normovému požáru po dobu $t = 180$ min, musí platit podmínka

$$M_{Rd,fi} \geq M_{Ed,fi}, \quad (8)$$

kde $M_{Rd,fi}$ je návrhová hodnota momentu únosnosti a $M_{Ed,fi}$ návrhová hodnota momentu od zatížení pro požární situaci. Návrhový moment od zatížení pro požární situaci [kNm] se určí z hodnoty momentu při běžné teplotě pomocí redukčního součinitele η_{fi} výpočtem podle vzorce

$$M_{Ed,fi} = \eta_{fi} \cdot M_{Ed}, \quad (9)$$

kde η_{fi} je redukční součinitel pro úroveň návrhového zatížení pro požární situaci a M_{Ed} návrhová hodnota momentu od zatížení při běžné teplotě [kNm]. Hodnotu součinitele η_{fi} je podle normy [1] možné zjednodušeně uvažovat 0,7. Pro přesnější výpočet lze použít vzorec

$$\eta_{fi} = \frac{g_k + \psi_{fi} \cdot q_k}{\gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k}, \quad (10)$$

kde g_k je charakteristická hodnota stálého zatížení [kN/m];
 q_k – charakteristická hodnota proměnného zatížení [kN/m];
 ψ_{fi} – kombinační součinitel pro časté nebo kvazistálé hodnoty daný buď jako $\psi_{1,1}$, nebo $\psi_{2,1}$;
 γ_G – dílčí součinitel spolehlivosti pro stálé zatížení;
 γ_Q – dílčí součinitel spolehlivosti pro proměnné zatížení.

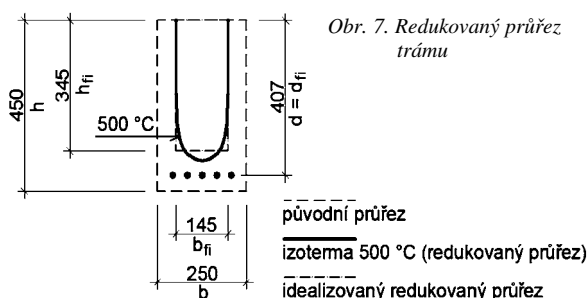
Charakteristické hodnoty zatížení $g_k = 12$ kN/m, $q_k = 10$ kN/m (kategorie B), součinitele zatížení $\gamma_G = 1,35$ a $\gamma_Q = 1,5$. Kombinační součinitel ψ_{fi} se uvažuje jako součinitel $\psi_{2,1}$. Pro kategorii zatížení B je hodnota tohoto součinitele rovna 0,3. Návrhový ohybový moment od zatížení za běžné teploty má hodnotu $M_{Ed} = 140,40$ kNm. Po dosazení do vztahů (10) a (9) dostaneme

$$\eta_{fi} = \frac{g_k + \psi_{fi} \cdot q_k}{\gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k} = \frac{12,00 + 0,3 \cdot 10,00}{1,35 \cdot 12,00 + 1,50 \cdot 10,00} = 0,48,$$

$$M_{Ed,fi} = \eta_{fi} \cdot M_{Ed} = 0,48 \cdot 140,40 = 67,39 \text{ kNm}.$$

Metoda izotermie 500 °C je založena na předpokladu, že beton s teplotou vyšší než 500 °C nepřispívá k únosnosti, zatímco zbývající betonový průřez si zachovává původní vlastnosti. Pevnost výztuže se redukuje v závislosti na její teplotě. Poloha izotermie se určí pomocí programu ConTemp. Na obrázku 7 je sestrojena izoterma 500 °C ve vyšetřovaném průřezu trámu, pro výpočet však není nutné znát celý průběh. Jak je z obrázku zřejmé, rozhodující je vzdálenost

izotermie od bočního líce trámu, která vymezuje šířku redukovaného průřezu b_{fi} . V případě, že by se řešil průřez s taženými horními vlákny, musela by se určit také vzdálenost izotermie 500 °C od spodního líce, neboť by bylo nutné určit také redukovanou účinnou výšku průřezu d_{fi} (pro snazší výpočet norma umožňuje upravit zaoblený tvar izotermie na tvar pravoúhlý, viz obr. 7).



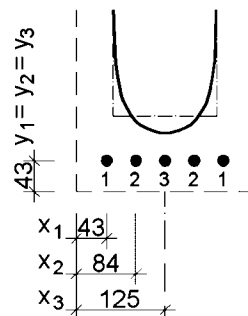
Obr. 7. Redukovaný průřez trámu

Pro zjištění vzdálenosti izotermie 500 °C od bočního líce trámu pomocí programu ConTemp se postupuje následovně:

- označí se položka „Opening Factor Fire“ a zadá se $O = 0,04$ m^{1/2}, $b = 1\,160$ J/m²s^{1/2}K a $q_{t,d} = 10^5$ MJ/m² (obecně jakákoli vysoká hodnota). Tím je požár zadán;
- zadá se čas, ve kterém má být vypočítána teplota, tj. čas požadované požární odolnosti $t = 180$ min;
- jde o trám vystavený požáru ze tří stran. Podle již uvedených pravidel se zadají jeho rozměry $W = 0,125$ m (polovina šířky) a $H = 0,45$ m (výška). Tím je definován průřez;
- zvolí se beton „2 Siliceous Concrete“ a kliknutím se spustí výpočet;
- zadá se souřadnice y odpovídající horní hraně trámu (v tomto místě je vzdálenost izotermie 500 °C od líce nejmenší). V příkladu, který je zde řešen, by tomu odpovídala souřadnice $y = 0,45$ m. Program je však nastaven tak, že v některých případech nelze zadat hodnotu $y = H$, zadá se tedy hodnota nepatrně nižší, např. 0,449 m;
- je třeba určit, pro jaké x se teplota v čase t rovná právě 500 °C (teplota se zobrazuje přímo v zadávacím panelu a její hodnota se automaticky mění při změně zadávaných souřadnic).

Hledaná vzdálenost izotermie 500 °C je $x = 0,0524$ m, šířka redukovaného průřezu se vypočítá jako

$$b_{fi} = b - 2x = 0,25 - 2 \cdot 0,0524 = 0,145 \text{ m}.$$



Obr. 8. Označení a souřadnice jednotlivých prutů

Dále se určí teplota v jednotlivých výztužných prutech. Postup je shodný jako při zjišťování polohy izotermie, liší se pouze souřadnice zadávaných bodů (obr. 8). Teplota výztužných prutů je uvedena v tab. 2.

Tab. 2. Určení redukované pevnosti výztuže

Prut	Počet prutů	Souřadnice x, y [mm]	Teplota θ [°C]	$k_{s(\theta),i}$	$f_{yd,fi(\theta)}$	$f_{yd,fi(\theta)}$
					[MPa]	
1	2	-43,43	813	0,077	38,7	50,88
2	2	-84,43	706	0,099	49,4	
3	1	-125,43	676	0,156	78,2	

Pro jednotlivé pruty se v závislosti na teplotě θ určí součinitel pro redukci pevnosti výztuže $k_{s,\theta}$ (pomocí grafu či vztahů uvedených v normě [1], čl. 4.2.4.3). Dosazením do vztahu (11) se určí redukovaná pevnost výztužných prutů. Výsledná redukovaná pevnost výztuže se určí jako vážený průměr redukované pevnosti jednotlivých prutů (tab. 2).

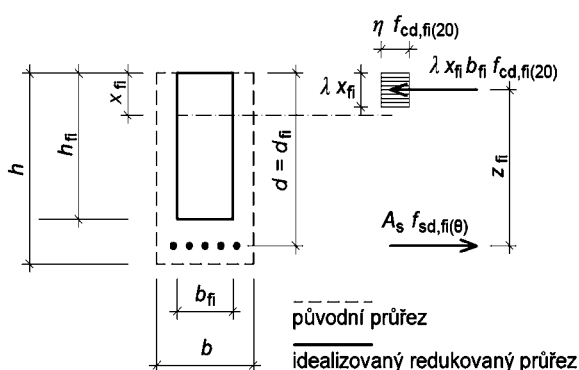
$$f_{sd,fi(\theta)} = k_{s(\theta)} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M,fi}}, \quad (11)$$

kde $k_{s(\theta)}$ je součinitel pro redukci pevnosti výztuže,
 θ – teplota výztuže [°C],
 $f_{sd,fi(\theta)}$ – návrhová hodnota redukované pevnosti výztuže při teplotě θ [MPa],
 f_{yk} – charakteristická hodnota pevnosti výztuže při běžné teplotě [MPa],
 $\theta_{M,fi}$ – dílčí součinitel spolehlivosti pro požární situaci ($\theta_{M,fi} = 1$).

Únosnost průřezu za požární situace se určí ze vztahu

$$M_{Rd,fi} = A_s \cdot f_{sd,fi(\theta)} \cdot (d_{fi} - 0,5\lambda \cdot x_{fi}), \quad (12)$$

kde A_s je plocha hlavní nosné výztuže [mm²],
 d_{fi} – účinná výška redukovaného průřezu pro požární situaci [mm],
 λ – součinitel definující účinnou výšku tlačené zóny ($\lambda = 0,8$),
 x_{fi} – výška tlačené oblasti redukovaného průřezu pro požární situaci [mm].



Obr. 9. Rozdělení napětí ve vyšetřovaném průřezu za požární situace

Uvedené veličiny jsou patrné z obr. 9 (je také zřejmé, že výztužné pruty nemusejí při výpočtu únosnosti za požární situace ležet uvnitř redukovaného průřezu). Dosadí se $A_s = 1\,005 \text{ mm}^2$, $f_{sd,fi(\theta)} = 50,88 \text{ MPa}$, $d_{fi} = d = h - c - \varnothing/2 = 450 - 35 - 16/2 = 407 \text{ mm}$, $\lambda = 0,8$ (C20/25) a x_{fi} se určí podle vztahu

$$x_{fi} = \frac{A_s \cdot f_{sd,fi(\theta)}}{b_{fi} \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd,fi(20)}}, \quad (13)$$

kde b_{fi} je šířka redukovaného průřezu pro požární situaci [mm],

η – součinitel tlakové pevnosti betonu ($\eta = 1$),
 $f_{cd,fi(20)}$ – návrhová pevnost betonu v tlaku pro požární situaci při běžné teplotě [MPa].

Dosadí se $\eta = 1,0$ (C20/25), $f_{cd,fi(20)} = f_{ck}/\gamma_{M,fi} = 20/1,0 = 20 \text{ MPa}$, ostatní hodnoty byly již uvedeny. Dosazením do vztahů (13) a (12)

$$x_{fi} = \frac{A_s \cdot f_{sd,fi(\theta)}}{b_{fi} \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd,fi(20)}} = \frac{1\,005 \cdot 50,88}{145 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 20,00} = 22 \text{ mm},$$

$$M_{Rd,fi} = A_s \cdot f_{sd,fi(\theta)} \cdot (d_{fi} - 0,5\lambda \cdot x_{fi}) =$$

$$= 1\,005 \cdot 50,88 \cdot (407 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 22) \cdot 10^{-6} = 20,36 \text{ kNm}.$$

Podmínka (8) má po dosazení tvar

$$M_{Rd,fi} = 20,36 \text{ kNm} < M_{Ed,fi} = 67,39 \text{ kNm}.$$

Podmínka spolehlivosti za požární situace není splněna a posuzovaný průřez tedy nevykazuje požadovanou požární odolnost R180.

• Posouzení průřezu opatřeného protipožární izolací metodou izotermie 500 °C

Pro splnění požadované požární odolnosti se navrhne vrstva izolace charakterizovaná tloušťkou d [mm] a součinitelem tepelné vodivosti λ [W/mK]. Jako protipožární ochrana může posloužit obklad ze sádrových desek. Posoudí se průřez opatřený obkladem tloušťky 10 mm ($d = 0,01 \text{ m}$, $\lambda = 0,22 \text{ W/mK}$). Určení teploty programem ConTemp bude shodné jako v předchozím případě, pouze se společně s parametry průřezu zadají hodnoty d a λ . Vzdálenost izotermie 500 °C od bočního líce betonu je $x = 0,0207 \text{ m}$ a šířka redukovaného betonového průřezu $b_{fi} = b - 2x = 0,25 - 2 \cdot 0,0207 = 0,2090 \text{ m}$. Redukovaná pevnost výztuže je uvedena v tab. 3.

Tab. 3. Určení redukované pevnosti výztuže v izolovaném průřezu

Prut	Počet prutů	Souřadnice x, y [mm]	Teplota θ [°C]	$k_{s(\theta),i}$	$f_{yd,fi(\theta),i}$	$f_{yd,fi(\theta)}$
					[MPa]	
1	2	-43,43	524	0,514	256,80	294,00
2	2	-84,43	455	0,629	314,25	
3	1	-125,43	434	0,656	327,90	

Ostatní shodné hodnoty se dosadí do vztahů (13) a (12)

$$x_{fi} = \frac{A_s \cdot f_{sd,fi(\theta)}}{b_{fi} \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd,fi(20)}} = \frac{1\,005 \cdot 294,00}{209 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 20,00} = 88 \text{ mm},$$

$$M_{Rd,fi} = A_s \cdot f_{sd,fi(\theta)} \cdot (d_{fi} - 0,5\lambda \cdot x_{fi}) =$$

$$= 1\,005 \cdot 294,00 \cdot (407 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 88) \cdot 10^{-6} = 109,81 \text{ kNm}.$$

Podmínka (8) má po dosazení tvar

$$M_{Rd,fi} = 109,81 \text{ kNm} > M_{Ed,fi} = 67,39 \text{ kNm}.$$

Podmínka spolehlivosti za požární situace je splněna a posuzovaný průřez opatřený obkladem ze sádrových desek tloušťky 10 mm vykazuje požadovanou požární odolnost R180. Únosnost ve smyku lze posoudit postupem uvedeným v příloze D normy [1].

Závěr

Znalost rozložení teploty v průřezu vystaveném požáru je nezbytným předpokladem pro výpočet jeho návrhové únosnosti. Rozložení teploty je možné stanovit zkouškami, což bývá nákladné, nebo výpočtem (s využitím teplotních profilů [1] nebo vhodnými výpočetními programy). Výpočetní program ConTemp v mnoha případech práci usnadní a urychlí.

Článek vznikl za podpory výzkumného záměru MSM 6840770001.

Literatura

- [1] ČSN EN 1992-1-2. Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru. ČNI, 2006.
- [2] ČSN EN 1991-1-2. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-2: Obecná zatížení – Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru. ČSN, 2004.
- [3] Hertz, K.: ConTemp. Technical University of Denmark, 2006 [2007-05-12]; www.byg.dtu.dk/English/Research/software.aspx
- [4] Hertz, K.: Users Guide for the Program ConTemp.exe. Technical University of Denmark, 2006 [2007-05-12]; [ww.byg.dtu.dk/upload/institutter/byg/software/contemp_users_guide.pdf](http://www.byg.dtu.dk/upload/institutter/byg/software/contemp_users_guide.pdf)
- [5] Danish Standards: DS 410 Code for Actions on Structures, 1999.

Procházka, J. – Štefan, R.: Temperature Distribution in Concrete Elements Exposed to Fire

This paper focuses on the examination of the course of temperatures in concrete elements exposed to fire. It describes the available ConTemp computation program, which can be easily used in practice thanks to its simple character. Further, it presents an assessment of the compatibility of the ConTemp program with the European standards being newly introduced. Finally, it also presents an example of its application.

Procházka, J. – Štefan, R.: Temperaturverteilung in einem Brand ausgesetzten Betonelementen

Der Artikel befasst sich mit der Problematik der Untersuchung des Temperaturverlaufs in Betonelementen, die einem Brand ausgesetzt sind. Es wird das verfügbare Rechenprogramm ConTemp beschrieben, das in der Praxis gerade wegen seiner Einfachheit günstig angewandt werden kann. Im Artikel wird auch die Übereinstimmung des Programms ConTemp mit den neu eingeführten europäischen Normen beurteilt und ein Beispiel für seine Anwendung angeführt.

•dizertace



Dividendová politika stavebních firem

Mgr. Jan Gazda

Práce se opírá o veřejné informační zdroje i vlastní propočty a dotýká se též problematiky tržní hodnoty firem, efektivnosti kapitálového trhu, rozhodování firem a akcionářů a vývoje hospodářského výsledku stavebních firem v ČR. Teoretická část řeší vztah používání dividendového výnosu a výplatního poměru.

Odhad vlivu trhu podnikatelských nemovitostí zaměřený na udržitelný rozvoj

Ing. Martin Piech

Dizertace předkládá model pro odhad, jeho omezení a možnost širší aplikace při rozhodování státních a podnikatelských subjektů. Hodnotí také úspěšnost softwaru Reality.

Územně plánovací aspekty rozvoje historických sídel

Ing. Monika Ciglerová

Dizertační práce se zabývá studiem územně plánovacích podkladů a schvalovacích procesů v kontextu historických sídel. Obsahuje faktický materiál z Velké Británie a Polska, komentuje rozdíly v přístupu těchto zemí a porovnává je s českou praxí.

Nové technologie zpracování a zpřístupnění starých map

Ing. Jiří Cajthaml

V práci se uvádějí nové technologie pro zpřístupnění starých map v praxi. Nejvýznamnější aplikací je zpřístupnění na internetu, kde jde o pionýrskou práci, která umožní další široké využití v oblasti geověd.

Prezentace prostorových modelů v terénu v kartografii

Ing. Jan Havrlant

Práce se zabývá prezentací prostorových modelů terénu v kartografii. V teoretické části se řeší optimální kombinace stínování, barevné hypsometrie a textury mapy. Přínosem práce je tvůrčí rozšíření programového prostředí JAVA 3D na zobrazení modelu terénu, který je uložen ve formátu DEM. Autorský produkt Pohled3D umožní zvýšit realistický dojem kartografických výstupů.

Nonlinear Modelling of Concrete Structures

Ing. Omar Rodrigo Bacerreza Nogales

Práce se zabývá modelováním betonových konstrukcí se zaměřením na únosnost a jejich dlouhodobé působení. Podstatnou část tvoří rozbor nelineárních modelů betonu a porovnání numerických postupů s výsledky měření na reálných modelech.

Prosklené střechy

*doc. Ing. Šárka ŠILAROVÁ, CSc.
ČVUT – Fakulta stavební
Praha*

S nástupem nových konstrukčních řešení moderní architektury se nad obytnými prostory stále častěji uplatňují nejen velkoplošné střešní světlíky, ale i prosklené střešní pláště. Při správném tepelně technickém návrhu je nutné se zaměřit především na konstrukční řešení základních střešních skladeb, jejich posouzení podle normy a na bezchybnou tvorbu detailů.

Úvod

Podkroví šikmých a strmých střech nebylo dříve zpravidla užíváno pro trvalý pobyt osob a sloužilo pouze jako zázemí – převážně pro skladování nejrůznějších předmětů a sušení prádla. Ve venkovských objektech se zde většinou ukládalo seno, které fungovalo jako tepelně izolační vrstva. Vzhledem k tomu, že nad touto vrstvou byla vzduchová mezera, a pak již vlastní krytina (např. tašky, došky, šindele) na latích, vznikla tak funkčně v podstatě „předchůdkyně“ dvouplášťové konstrukce střechy. Přibližně v sedmdesátých a osmdesátých letech minulého století se začal prostor podkroví (zpravidla u stávajících bytových domů) používat pro bydlení a jiné využití s trvalým pobytem osob. S nástupem nových konstrukčních řešení moderní architektury se od devadesátých let stále častěji uplatňují nad obytnými prostory nejen velkoplošné střešní světlíky, ale i prosklené střešní pláště.

Zásady pro návrh

Střešní pláště se skleněnou krytinou se navrhují k prosvětlení podstřešního prostoru u zimních zahrad, skleníků apod. Průhledná krytina může být z tabulového skla nebo z plastových komůrkových desek. Krytina z tabulového skla se navrhuje v kombinaci kaleného skla pro exteriér a bezpečnostního (lepeného) skla z interiéru. Na základě tepelně technických požadavků se aplikují dvojskla nebo trojskla, anebo má sklo z bezpečnostních důvodů drátěnou vložkou. Vzhledem k mechanickým vlastnostem je nutné zajistit dokonalou dilataci skleněných tabulí ve styčných a v napojení na ostatní konstrukce, což je v kombinaci se základní funkcí střešního pláště – vodotěsností – pro konstrukční řešení obtížný úkol.

Spoje a styky se navrhují volně s přesahem či zasunutím, anebo opatřené těsněním či pružnými tmely. V horizontálních spárách se skleněné tabule spojují speciálními profily, jejichž velikost závisí na sklonu krytiny.

Navrhování střech obecně, nejen prosklených, se řídí doporučením současně platných norem pro navrhování střech a pro zatížení stavebních konstrukcí, zatížení sněhem a větrem:

- ČSN 73 1901, – ČSN EN 1991-1-3,
- ČSN 73 0035, – ČSN P ENV 1991-2-4,
- ČSN P ENV 1991-2-3, – ČSN EN 1991-1-4.

Česká technická norma pro zatížení stavebních konstrukcí platí současně s evropskými normami, a tak to bude až do zrušení ČSN 73 0035, které se předpokládá v roce 2010. Nelze opominout ani ustanovení ČSN 73 0810 Požární bezpečnost staveb – Základní ustanovení z dubna 2005.

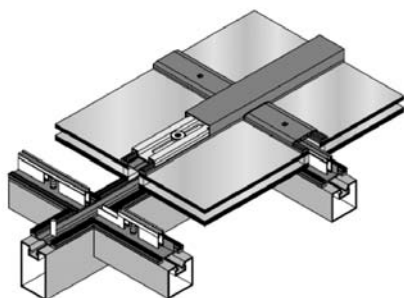


Obr. 1. Vícepodlažní prosklené atrium se skleněnou střešní konstrukcí (Německo)

Každý střešní plášť musí být navržen v souladu se závaznými kritérii souboru tepelně technických norem, a sice [1] a ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov – Část 1 až 4 : 2005



Obr. 2. Prosklená střešní konstrukce



Obr. 3. Detail prosklené střešní konstrukce



Obr. 4. Prosklená střešní konstrukce (Carrefour Praha)

a 2007, které jsou v současné době závazné jako celek (dle zák. 406/2006 Sb., vyhl. 137/1998 a vyhl. 213/2001 Sb.).

Ke splnění závazných tepelně technických normových požadavků je nutný nový pohled a radikální úpravy konstrukčních řešení prosklených střešů včetně detailů. Nové požadavky na celkový součinitel prostupu tepla skleněných konstrukcí, střešních oken a střešních světlíků (původní požadavek na vnitřní povrchové teploty otvorových výplní a konstrukcí střešů a stěn zůstává v platnosti) radikálně ovlivňují řešení prosklených střešů, střešních světlíků i střešních oken.

Co přinesla změna a novela normy

Zásadní změny [1] v oblasti prosklených střešních konstrukcí a konstrukcí střešních oken:

- sjednocení požadavku na součinitel prostupu pro střešy lehké a těžké (2005);
- nově zaveden požadavek na celkový součinitel prostupu tepla střešních oken a střešních světlíků (2005);
- nově zaveden požadavek na celkový součinitel prostupu tepla pro lehké obvodové pláště podle poměru prosklené části a neprůhledné (2005);
- požadavek na vnitřní povrchové teploty zůstává v platnosti, nově jde o veličinu teplotního faktoru (2007) otvorových výplní a konstrukcí střešů a stěn.

Závazná tepelně technická kritéria návrhu

U prosklených střešních konstrukcí je vždy nutné prokázat splnění dvou závazných požadavků normy [1].

■ Nejnižší vnitřní povrchová teplota pro konstrukce

Novým pojmem v novele [1] je teplotní faktor vnitřního povrchu otvorové výplně či prosklené konstrukce, který má nahradit vnitřní povrchovou teplotu a bude charakterizovat prosklenou konstrukci jednoznačným výpočetním vztahem

$$f_{Rsi} \geq f_{RsiN} = f_{Rsi,cr} + \Delta f_{Rsi},$$

kde $f_{Rsi,cr}$ je kritický teplotní faktor vnitřního povrchu a Δf_{Rsi} bezpečnostní přírážka teplotního faktoru.

Minimální hodnoty faktoru teplotního povrchu pro otvorové výplně a pro lehké obvodové pláště se pro parametry vnitřního prostředí obytných budov, charakterizované vnitřní teplotou $\theta_i = 20,6$ °C a relativní vlhkost vnitřního vzduchu $\varphi_i = 50$ % pohybují v rozmezí $f_{RsiN} = 0,708$ až $0,715$, podle způsobu vytápění a umístění otopného tělesa.

Pro okrajové podmínky podstřešního prostoru vysokých atrií, jejichž konstrukce jde přes několik podlaží, je nutné návrhovou teplotu vnitřního prostředí upravit podle skutečnosti, která je charakterizována normovým vztahem pro návrhovou teplotu vnitřního vzduchu vytápěných staveb ve výšce nad 5 m od podlahy, a sice

$$\theta_{ai,u} = \theta_{ai} + h \cdot \Delta \theta_{ai,h},$$

kde θ_{ai} je návrhová vnitřní teplota [°C] ve výšce 1,5 m od podlahy,

$\Delta \theta_{ai,h}$ – teplotní gradient [K/m],

h – světlá výška vnitřního prostoru [m].

Teplotní gradient se uvažuje hodnotou $\Delta \theta_{ai,h} = 0,3$ K/m.

■ Součinitel prostupu tepla prosklené střešní konstrukce

$U \leq U_N$, přičemž U je součinitel prostupu tepla [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$] a U_N požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$].



Obr. 5. Prosklená střešní konstrukce (Švýcarsko)



Obr. 6. Prosklená střešní konstrukce (Švýcarsko)

Pro prosklené či skleněné střešní pláště není v rámci novely normy [1] definován samostatný požadavek na skleněné střešní konstrukce, je nutné proto respektovat požadavky v normě deklarované, které lze pro prosklené střechy zobecnit podle sklonu od vodorovné roviny:

- 46–75° svislé okno,
- 0–45° střešní okno,
- ±15° od svislice lehký obvodový plášť (sklon 76–84° je nutné brát přísněji).

Na základě tepelně technického posouzení otvorových výplní a průsvitných částí střešních plášťů je prokázáno, že rozhodujícím kritériem návrhu otvorových výplní, střešních světlíků a prosklených střech je nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce. Kritická místa pro splnění těchto požadavků:

- okraj zasklívací jednotky včetně hloubky zasklívací polodrážky,
- tloušťka okenního rámu a správně navržená a provedená přípojovací spára,
- tloušťka tepelné izolace osazovacích (zateplovacích) límců prosklených či průsvitných střešních konstrukcí.



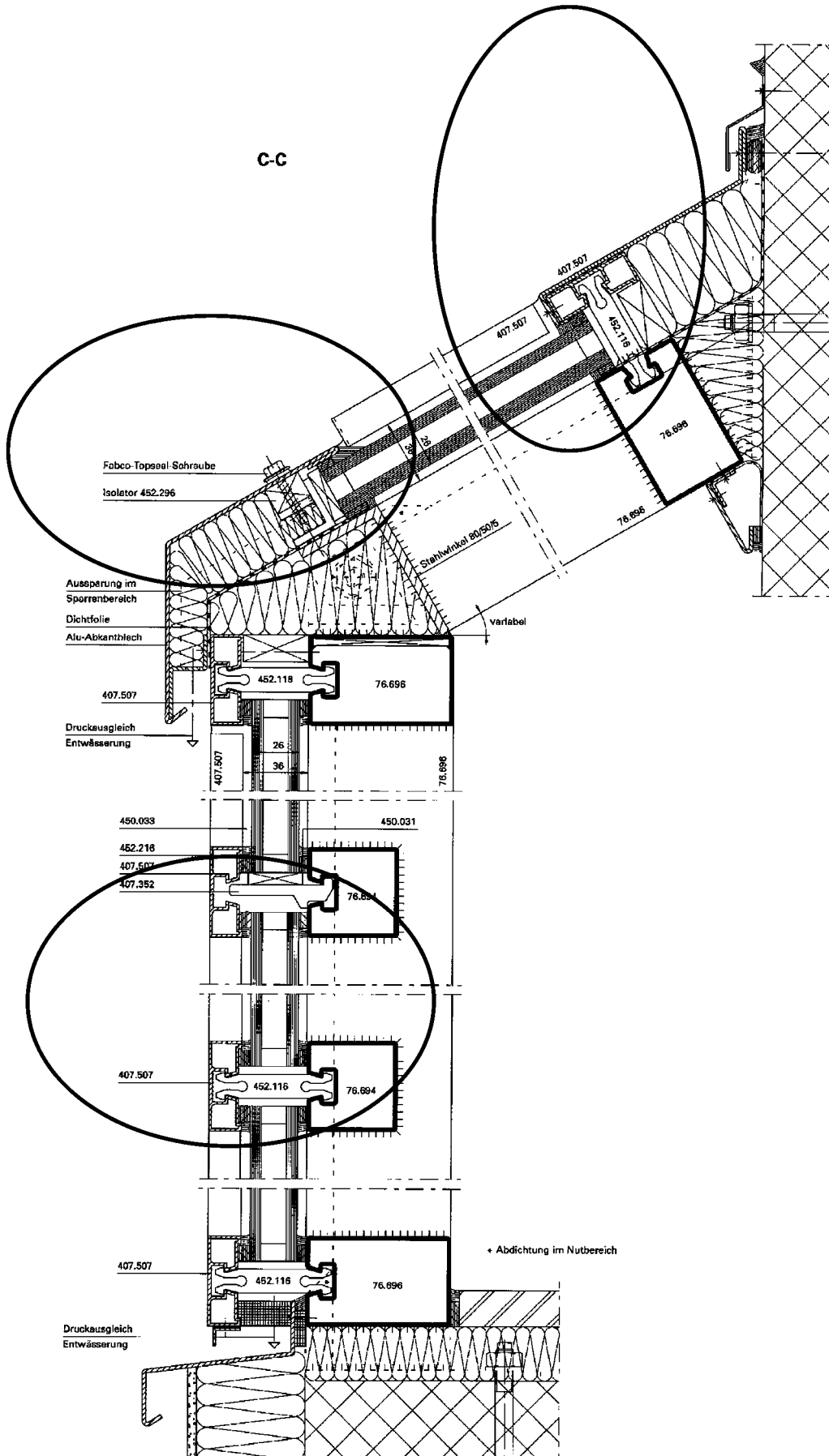
Obr. 7. Detail ukončení u žlabu prosklené střešní konstrukce



Obr. 8. Detail ukončení u žlabu a u štítové konstrukce prosklené střešní konstrukce

Tab. 1. Součinitel prostupu tepla U_N [1] pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou $\theta_m = 20^\circ\text{C}$ pro střešní pláště a prosklené konstrukce

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla $U_{N,20}$ [W/(m ² ·K)]	
	požadovaný	doporučený
okno, dveře a jiná výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu) – kovové rámy musí mít $U_f \leq 2 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, ostatní $U_f \leq 1,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$	1,7	1,2
šikmé střešní okno, světlík a jiná šikmá výplň otvoru se sklonem do 45°, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu) – kovové rámy musí mít $U_f \leq 2 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, ostatní $U_f \leq 1,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$	1,5	1,1
lehký obvodový plášť, hodnocený jako smontovaná sestava včetně nosných prvků, s poměrnou plochou průsvitné výplně otvoru $f_w = A_w/A$ [m ² /m ²], kde A je celková plocha lehkého obvodového pláště [m ²] a A_w plocha průsvitné výplně otvoru včetně příslušných částí rámu. Rámy by měly mít $U_f \leq 2 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.	$f_w \leq 0,50$	$0,3 + 1,4 \cdot f_w$
	$f_w > 0,50$	$0,7 + 0,6 \cdot f_w$
		$0,2 + 1,0 \cdot f_w$



Obr. 9. Detaily napojení prosklené střešní konstrukce na lehký obvodový plášť a na neprůhlednou stěnu s vyznačením kritických míst

Závěr

Předpokladem bezchybného návrhu, realizace i funkce proskleného střešního pláště je jeho komplexní řešení v souladu se závaznými kritérii, s okrajovými podmínkami a odpovídajícím zpracováním všech detailů včetně napojení na nepřehledné konstrukce. Norma [1] zavádí nové požadavky na vlastnosti prosklených střešních konstrukcí, střešních oken a světlíků stanovením hodnoty požadavku na součinitel prostupu tepla. Současně zůstávají v platnosti požadavky na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu nejen pro konstrukci střešních oken, ale i vnitřní povrch prosklených střešních konstrukcí a střešních světlíků.

V současné době jsou jen někteří výrobci těchto prvků schopni náročný požadavek na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu splnit. Důsledkem je výskyt kondenzátu, který většinou vede ke vzniku plísní na konstrukcích, a tím k jejich zdravotní závadnosti. Výrobky, které požadavky na vnitřní povrchovou teplotu splňují, je proto třeba podpořit.

Článek byl zpracován za podpory projektu MSM 6840770001.

Literatura

- [1] ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 1–4: 2005; Požadavky: 2007.
- [2] ČSN 73 1901 Navrhování střech – Základní ustanovení. ČSN, 1999.
- [3] Výpočetní programy AREA 2007 a TEPLA 2007. Kdo a kdy vydal?
- [4] Hájek, V.: Současné normy platné pro lehké obvodové pláště. Stavební listy, XII, 2006, č. 2, s. 16-18, ISSN 1211-4790.
- [5] Hájek, V.: Možnosti splnění normových požadavků ČSN 73 0540-2:2005 u střešních světlíků. Mezinárodní symposium „STRECHY 2005“. Bratislava 11/2005.
- [6] Šilarová, Š. – Slanina, P.: Difúzní mosty. Střechy, fasády, izolace, 13, 2006, č. 4, s. 66–67.
- [7] Některá z vyobrazení poskytla firma JANSEN AG.

Šilarová, Š.: Glassed Roofs

In the presented paper I will concentrate - in the first place - on structural solution of fundamental roof compositions, their evaluation by the binding criteria of a project as given in the Czech standard ČSN 73 0540-2007 and on faultless creation of details. Since the 1990's, new structural solutions of modern architecture have increasingly applied large-size roof skylights, and also provided roof coverings above living areas with glass.

Šilarová, Š.: Glasdächer

Mit dem Auftreten neuer Konstruktionslösungen der modernen Architektur werden über Wohnräumen immer öfter nicht nur großflächige Dachoberlichte, sondern auch Glasdachhäute angewandt. Bei einem richtigen wärmetechnischen Entwurf ist es notwendig, sich vor allem auf die Konstruktionslösung des grundlegenden Dachaufbaus, ihre Begutachtung nach der ČSN 73 0540-2007 und auf die zweifelsfreie Ausbildung der Details zu konzentrieren.

• rekonstrukce

Historická budova Českého rozhlasu

Budova na jedné z nejznámějších adres v zemi – Vinohradská 12, Praha 2 – změnil výrazně svou podobu. Sdružení stavebních firem rekonstruuje tento památkově chráněný objekt do moderní podoby. Po dokončení získá Český rozhlas celek budov s nejmodernějším vybavením, ohraničený ulicemi Vinohradská, Balbínova a Římská, ale zároveň s vazbou na historické tradice této instituce veřejné služby.

Historická budova Českého rozhlasu je spjata s řadou zlomových okamžiků minulého století v naší zemi. Byla postavena pro Ředitelství pošt a telegrafů a Československý rozhlas v letech 1929–1932 podle návrhu architekta Dr. Bohuslava Slámy. V padesátých letech byla doplněna zástavbou proluky v Balbínově ulici a v roce 2000 dostavbou objektu v Římské ulici.

Stav objektu i přístavby z roku 1953 byl značně zanedbaný a původní funkcionalistická tvář budovy byla vlivem stáří a nevhodných zásahů v minulých desetiletích na mnoha místech téměř nepoznatelná. V historické budově sídlil vedle administrativních a provozních pracovníků, techniků a novinářů také Symfonický orchestr Českého rozhlasu. Jsou zde i velká rozhlasová studia.

Cílem rekonstrukce je nejen budovu zmodernizovat, ale navrátit jí i původní funkcionalistickou podobu. Probíhající stavba je v pořadí již druhou etapou rekonstrukce, první proběhla v letech 2004–2005. Rekonstruovaný objekt je památ-

kově chráněn, a proto je nezbytné všechny postupy průběžně konzultovat nejen s investorem, ale také s památkáři. Výstavba probíhá za plného provozu rozhlasu, pouze zaměstnanci se přemístili do náhradních prostor v budovách v Římské ulici.

Rekonstrukcí bude vrácena historickým částem komplexu původní tvář, budova na Vinohradské třídě bude organicky propojena s novými budovami v Římské ulici a rozhlasová pracoviště budou vybavena nejmodernější technikou. Vzniknou nové kanceláře a pracovny redaktorů pro 600 až 650 zaměstnanců, studiové provozy, stravovací zařízení, zdravotní středisko, sklady a nové technické zázemí objektu. Rekonstrukce je hrazena většinou z vlastních prostředků Českého rozhlasu a s přispěním Ministerstva kultury ČR a Ministerstva financí ČR. Dohled nad rekonstrukcí vykonává Národní památkový ústav Magistrátu hl. m. Prahy.

Investor: Český rozhlas
 Projektant: Metroprojekt, a. s.
 Zhotovitel: Sdružení OHL ŽS, a. s. (vedoucí účastník sdružení) a HOCHTIEF CZ, a. s.
 Zahájení stavby: září 2007
 Dokončení stavby: duben 2009

KSIM – efektivní nástroj pro integrované navrhování a projektové řízení – část I

Model s neurčitými prvky

Ing. Iva MILICKÁ
 doc. Ing. Petr DLASK, Ph.D.
 doc. Ing. Petr ŠTEMBERK, Ph.D.
 prof. Ing. Jiří ŠEJNOHA, DrSc.
 ČVUT – Fakulta stavební
 Praha

Příspěvek se zabývá neurčitostmi Kaneova modelu používaného k technologickým, ekonomickým, environmentálním a sociálně kulturním prognózám. Podstata řešení a jeho aplikace je ilustrována na ekonomickém modelu zaměřeném na tvorbu finančních zdrojů.

Úvod

Integrované navrhování zkoumá systém (např. stavební) ze tří hledisek. Prvním je rozlišovací úroveň (materiál, prvek, celek). Druhým jsou kritéria vymezená pro sledovanou oblast (technologická, ekonomická, environmentální a sociálně kulturní). Konečně třetí hledisko sleduje vývoj systému v čase, tedy dynamiku procesů, které ho charakterizují.

Pro popis procesů bylo vytvořeno mnoho simulačních modelů. Díky analogiím mezi zákony termodynamiky, ekonomiky a dalších souvisejících oblastí, na které upozornil v příspěvku „Analogies“ připraveném k publikaci M. Tichý, jsou využitelné i v jiných oblastech, než pro které byly původně vytvořeny. Preferují převážně proměnné, které mohou být dobře kvantifikovány a příslušné zákony jejich vývoje v čase ověřovány (jiným modelem) či potvrzovány (experimentálně). Přitom zpravidla ignorují takové kategorie, jako je estetické hledisko, pohodlí, příhodnost, postavení apod. Tyto subjektivní proměnné jsou často rozhodujícími parametry. Názorným příkladem je rozhodování o volbě dopravního prostředku.

Kromě nutnosti výběru proměnných je nevýhodou sofistikovaných modelů jejich složitost, která automaticky vytváří bariéru mezi tvůrci modelu a těmi, jež se zásadním způsobem podílejí na projektovém řízení a plnému pochopení rafinovaného modelu nemohou často věnovat dost času.

Potřeba simulačního nástroje, který by byl dostatečně srozumitelný, a přitom dokázal postihnout interakce mezi proměnnými ovlivňujícími zásadně navrhovaný systém, dala základ vzniku Kaneova simulačního modelu, označovaného někdy jako simulační jazyk KSIM [1]. Model slouží k popisu vývoje proměnných ve všech oblastech integrovaného navrhování. Je popsán soustavou nelineárních diferenciálních rovnic prvního řádu pro prvky vektoru $\mathbf{x} = \mathbf{x}(t)$, tzv. standardy, které zachycují vývoj kvality jednotlivých prvků systému $x_i = x_i(t)$, $0 \leq x_i \leq 1$, $i = 1, 2, \dots, I$.

Vzájemné interakce prvků v systému vyjadřuje matice interakcí $\mathbf{A} = [a_{ij}]$ o rozměru (I, I) . Ta je buď konstantní, nebo se může měnit v čase. V takovém případě vyjadřuje zásahy do systému, a to buď vnější (ad hoc), nebo vnitřní (podmíněné předchozím vývojem standardů). Podrobnosti o prvcích matice interakcí a jejich určení lze nalézt v [2].

V případě jedné proměnné $x = x(t)$ a jediného parametru a se soustava diferenciálních rovnic redukuje na tvar

$$\frac{dx}{dt} = -ax \ln x, \quad (1)$$

jejíž řešení

$$x(t) = \exp[\ln x(0) \exp(-at)], \quad \text{kde } a \text{ je parametr,} \quad (2)$$

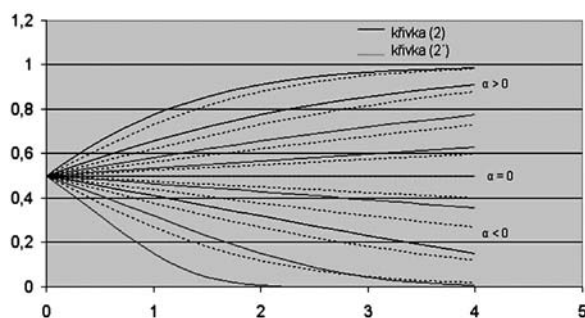
spadá do třídy logistických křivek modelujících růst nějaké množiny. Logistické křivky se uplatňují při řešení různých modelů v technice, ekonomii, biologii či demografii. Speciálním případem je sigmoida, popsaná rovnicí

$$\frac{dx}{dt} = -ax(x-1) \quad (1')$$

a jejím řešením

$$x(t) = \frac{x(0)}{x(0)(1 - e^{-at}) + e^{-at}}. \quad (2')$$

Parametrická soustava logistických křivek je znázorněna na obr. 1.



Obr. 1. Soustava logistických křivek

Matice interakcí \mathbf{A} je základním prvkem v KSIM. V případě subjektivních proměnných x_i je expertní odhad jejich prvků a_{ij} do jisté míry vágní, zatímco v případě objektivních proměnných, podložených např. fyzikálním modelem, mají modelové nejistoty spíše náhodný charakter. Je proto logické v prvním případě pracovat s fuzzy proměnnými, zatímco ve druhém případě s náhodnými proměnnými, což následně umožňuje uplatnit model KSIM i v rizikové analýze.

Předložené téma bude publikováno ve dvou částech – první je věnována fuzziifikaci modelu, druhá pak jeho rando-

mizaci a z toho plynoucím důsledkům. Po stručném nastínění teorie jsou oba přístupy ilustrovány na modelu města Příbram [2]. V tomto článku jsou studovány vnější toky finančních prostředků a schopnost regionu vytvářet vlastní finanční zdroje.

Základní rysy modelu

Kaneův model [1] vychází z těchto předpokladů:

- všechny proměnné jsou ohraničeny, tj. $x_i \in \langle 0; 1 \rangle$;
- proměnné se vzájemně ovlivňují;
- odezva proměnné na jakýkoli podnět se blíží nule, když se proměnná blíží své hraniční hodnotě, tj. $x_i \rightarrow 0$ (práh) nebo $x_i \rightarrow 1$ (nasycení);
- veličiny projevují tím větší vliv na ostatní, čím jsou větší a čím větší je jejich změna v čase;
- komplexní interakce jsou popsány polem binárních interakcí (mezi dvěma prvky).

S uvážením těchto vlastností mají bilanční rovnice v modelu KSIM tvar

$$\frac{dx_i}{dt} = - \left(a_{ij} x_j + b_{ij} \frac{dx_j}{dt} \right) x_i \ln x_i, \quad i=1, 2, \dots, I. \quad (3)$$

Sčítá se přes všechna j (sumační pravidlo pro opakující se indexy). V soustavě (3) jsou a_{ij} a b_{ij} prvky interakčních matic. Druhý sčítanec se zavádí proto, že relativní změna (např. zvýšení teploty vzduchu) je vnímána výrazněji než sama hodnota (např. teplota).

Soustavu nelineárních rovnic řešíme po časových krocích Δt . Za předpokladu, že známe všechny hodnoty v čase t_{r-1} a považujeme je za konstanty, lze integrací postupně vypočítat z (3) nové hodnoty $x_i(t_r)$ jako

$$x_i(t_r) = [x_i(t_{r-1})]^{\Phi_i(t_r)}, \quad (4)$$

kde

$$\Phi_i(t_r) = \exp \left[- (a_{ij} + B_{ij}) x_j(t_{r-1}) \Delta t \right], \quad B_{ij} = b_{ij} \frac{d \ln x_j}{dt}. \quad (5)$$

Predikci (4) lze zpřesňovat náhradou konstantních hodnot veličin x_j jejich lineární či kvadratickou aproximací. Kane ve svém původním příspěvku [1] uvedl bez bližšího odůvodnění řešení ve tvaru (4) s exponentem

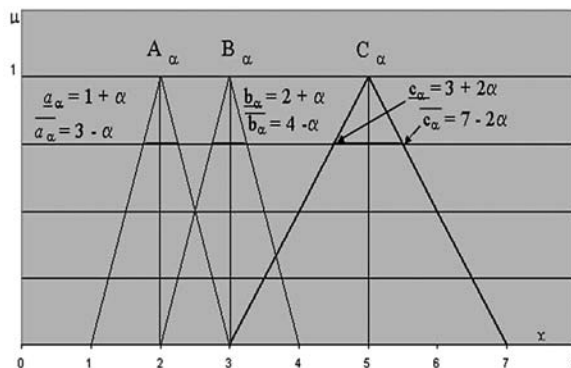
$$\Phi_i(t_r) = \frac{1 + \frac{\Delta t}{2} \left[|a_{ij} + B_{ij}| - (a_{ij} + B_{ij}) \right] x_j(t_{r-1})}{1 + \frac{\Delta t}{2} \left[|a_{ij} + B_{ij}| + (a_{ij} + B_{ij}) \right] x_j(t_{r-1})}. \quad (5')$$

Prvky interakčních matic jsou buď konstantní po celé sledované období, nebo při intervenčních zásadách jsou dány hodnotami z předchozího časového kroku. Výpočty prokázaly, že mezi výsledky získanými pomocí vztahů (5) a (5') není téměř rozdíl. Všimněme si, že rov. (1) je zvláštním případem (3) a řešení (1) naznačuje charakter prognóz plynoucích z modelu KSIM. Obdobné řešení lze získat, nahradíme-li v soustavě (3) modulační funkci $x_i \ln x_i$ funkcí $(x_i - 1)$.

Fuzzifikace modelu

Neurčitosti plynoucí z predikce prvků a_{ij} , b_{ij} interakčních matic, a tím neurčitosti dopadající na časový průběh pro-

měnných $x_i = x_i(t)$, nejsnáze postihneme, budeme-li funkční hodnoty těchto veličin považovat za fuzzy čísla [3]. Míru neurčitosti (vágnosti) vyjadřuje funkce příslušnosti. Na obrázku 2 je vyznačen nejjednodušší průběh pro dvě fuzzy čísla A_α a B_α a jejich fuzzy součet C_α vyznačený tučně. Míra neurčitosti s rostoucí hodnotou proměnné α klesá.



Obr. 2. Fuzzy sčítání $C_\alpha = A_\alpha (+) B_\alpha$

Lze tedy očekávat, že množina číselných hodnot $x \in \langle \underline{a}_\alpha; \overline{a}_\alpha \rangle$ na úrovni řezu α , kde \underline{a}_α je nejmenší a \overline{a}_α největší hodnota, reprezentuje fuzzy číslo A_α s menší nejistotou než množina $x \in \langle 1; 3 \rangle$ pro $\alpha = 0$. Hodnotu lze očekávat v množině hodnot příslušejících do A_α s jistotou. Je označována jako „singleton“ nebo jednoduše střední hodnota a odpovídá obvyklému vyjádření A_α reálným číslem. Z obrázku 2 je vidět, že v aritmetice fuzzy čísel pracujeme místo s jedinou číselnou hodnotou s krajními hodnotami intervalů. Tomu odpovídají i základní aritmetické operace. Snadno nahlédneme, že operaci fuzzy sčítání pro fuzzy čísla z obr. 2 lze vyjádřit jako *max-min konvoluci* (+), tedy

$$\begin{aligned} C_\alpha = A_\alpha (+) B_\alpha &= [\underline{a}_\alpha; \overline{a}_\alpha] (+) [\underline{b}_\alpha; \overline{b}_\alpha] = [\underline{a}_\alpha + \underline{b}_\alpha; \overline{a}_\alpha + \overline{b}_\alpha] = \\ &= [1 + \alpha; 3 - \alpha] (+) [2 + \alpha; 4 - \alpha] = [3 + 2\alpha; 7 - 2\alpha]. \end{aligned} \quad (6)$$

Odečítání je analogické.

Pro další operace zavedeme operátor \wedge pro minimum a \vee pro maximum a budeme definovat operaci fuzzy násobení jako *max-min konvoluci* (\times), tedy

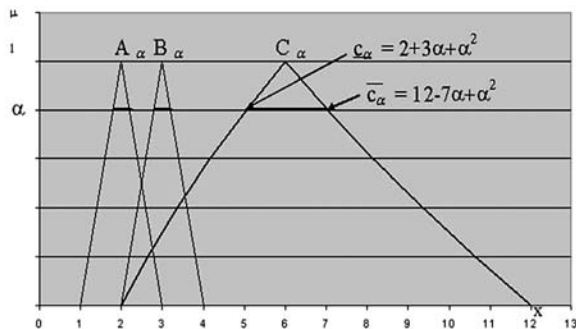
$$\begin{aligned} C_\alpha = A_\alpha (\times) B_\alpha &= [\underline{a}_\alpha; \overline{a}_\alpha] (\times) [\underline{b}_\alpha; \overline{b}_\alpha] = [\underline{a}_\alpha \times \underline{b}_\alpha \wedge \overline{a}_\alpha \times \overline{b}_\alpha \wedge \\ &\wedge \overline{a}_\alpha \times \underline{b}_\alpha \wedge \underline{a}_\alpha \times \overline{b}_\alpha; \underline{a}_\alpha \times \underline{b}_\alpha \vee \overline{a}_\alpha \times \overline{b}_\alpha \vee \overline{a}_\alpha \times \underline{b}_\alpha \vee \underline{a}_\alpha \times \overline{b}_\alpha]. \end{aligned} \quad (7)$$

Jde-li o operaci s reálnými kladnými čísly (obr. 3), vzorec (7) se redukuje na tvar

$$\begin{aligned} C_\alpha = A_\alpha (\times) B_\alpha &= [\underline{a}_\alpha \times \underline{b}_\alpha; \overline{a}_\alpha \times \overline{b}_\alpha] = [(1 + \alpha) \times (2 + \alpha); \\ (3 - \alpha) \times (4 - \alpha)] &= [2 + 3\alpha + \alpha^2; 12 - 7\alpha + \alpha^2]. \end{aligned} \quad (7')$$

Fuzzy dělení je opět definováno jako *max-min konvoluce* (\div), tedy

$$C_\alpha = A_\alpha(\div)B_\alpha = \left[\underline{a}_\alpha; \overline{a}_\alpha \right] (\div) \left[\underline{b}_\alpha; \overline{b}_\alpha \right] = \left[\underline{a}_\alpha / \underline{b}_\alpha \wedge \underline{a}_\alpha / \overline{b}_\alpha \wedge \overline{a}_\alpha / \underline{b}_\alpha \wedge \overline{a}_\alpha / \overline{b}_\alpha; \underline{a}_\alpha / \underline{b}_\alpha \vee \underline{a}_\alpha / \overline{b}_\alpha \vee \overline{a}_\alpha / \underline{b}_\alpha \vee \overline{a}_\alpha / \overline{b}_\alpha \right]. \quad (8)$$



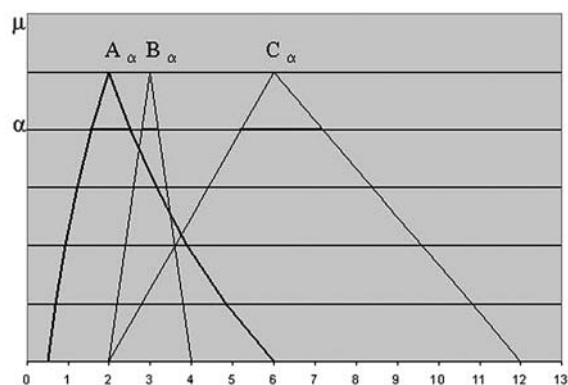
Obr. 3. Fuzzy násobení $C_\alpha = A_\alpha(x) B_\alpha$

V případě operace s reálnými kladnými čísly se vzorec (8) redukuje na tvar

$$C_\alpha = A_\alpha(\div)B_\alpha = \left[\underline{a}_\alpha / \underline{b}_\alpha; \overline{a}_\alpha / \overline{b}_\alpha \right]. \quad (8')$$

Jako příklad vypočteme podle obr. 4

$$D_\alpha = C_\alpha(\div)B_\alpha = \left[(2 + 3\alpha + \alpha^2) / (4 - \alpha); (12 - 7\alpha + \alpha^2) / (2 + \alpha) \right]. \quad (9)$$



Obr. 4. Fuzzy dělení $D_\alpha = C_\alpha(x) B_\alpha$

Ze vztahu (9) i z obrázku je vidět, že $D_\alpha \neq A_\alpha$! Princip *max-min konvoluce* uplatníme i na operace s fuzzy čísly, která jsou funkčními hodnotami složitějších výrazů (princip rozšíření).

Na základě uvedených vztahů můžeme fuzzifikovat řešení (4) soustavy (3). Náhradu reálných čísel a_{ij} , b_{ij} , x_i fuzzy čísly $(a_{ij})_\alpha$, $(b_{ij})_\alpha$, $(x_i)_\alpha$ můžeme realizovat v libovolném řezu uplatněním hraničních hodnot pro $\alpha \in (0; 1)$. Výpočet na každém kroku spočívá v nalezení minimálních, středních a

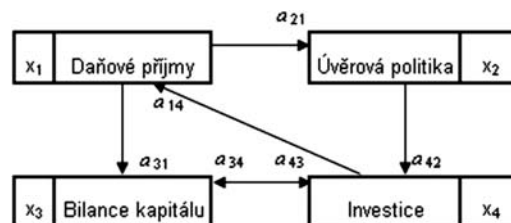
maximálních hodnot pro daný řez α , tedy $(x_i; x_{i, \text{mean}}; \overline{x}_i)$. Pro numerická řešení jsme použili lineární aproximaci v čase

$$\begin{aligned} \min & \quad \min \\ \text{mean } x_i(t_r) &= \text{mean} \left\{ \exp \left\{ \ln x_i(t_{r-1}) \cdot \exp \left\langle - \left[\left(a_{ij} \frac{\Delta t}{2} + b_{ij} \right) \right] \right. \right. \right. \\ \max & \quad \max \end{aligned} \right. \cdot \left. \left. \left. x_j(t_r) + \left(a_{ij} \frac{\Delta t}{2} - b_{ij} \right) x_j(t_{r-1}) \right] \Delta t \right\} \right\}. \quad (10)$$

Aplikace modelu s neurčitostí

Předmětem zkoumání je segment I modelu města Příbram [2], zaměřeného na tvorbu zdrojů (obr. 5). Další dva segmenty II a III, které mohou být s prvním v interakci, sledují rozvoj města a jeho lidských zdrojů. Interakce s dalšími se pro přehlednost v této studii neuvažují.

Základním problémem je ohodnocení interakcí. K tomuto účelu je vhodné, jsou-li prvky matic interakcí vyjádřeny ve stejných jednotkách (objemových, hmotných, topologických či finančních). Metodika hodnocení není předmětem tohoto příspěvku, podrobně je popsána v [2]. Vzájemné interakce jsou vyznačeny na obr. 5.



Obr. 5. Segment I modelu města Příbram – tvorba zdrojů

Nevyznačeným interakcím přísluší hodnota $a_{ij} = 0$. Výsledná matice středních hodnot (singleton) je podle [2]

$$A_{\text{mean}} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0,120 \\ -0,420 & 0 & 0 & 0 \\ 0,220 & 0 & 0 & 0,380 \\ 0 & 0,200 & 0,160 & 0 \end{bmatrix}$$

Vliv relativních změn nebyl uvažován, takže matice

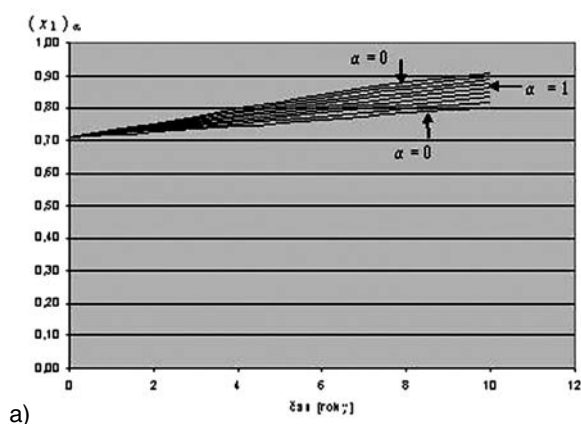
$$B_{\text{mean}} \equiv B_\alpha \equiv 0.$$

Vektor počátečních podmínek zvolíme stejně jako v klasickém řešení

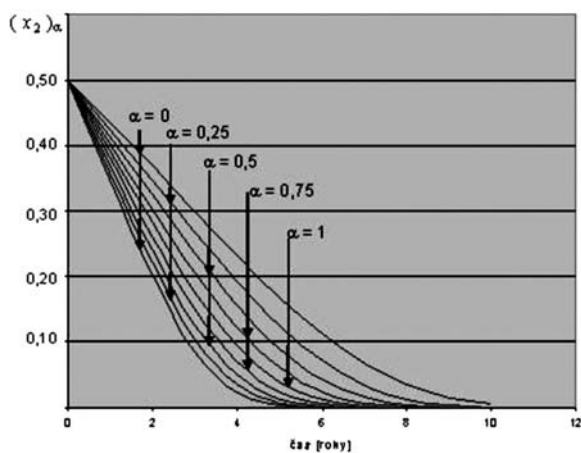
$$x^T(0) = \{0,711; 0,5; 0,580; 0,476\}.$$

Abychom získali řešení pro jednotlivé řezy α , vyjádříme nejprve expertním odhadem minimální a maximální hodnoty prvků matice interakcí, tj.

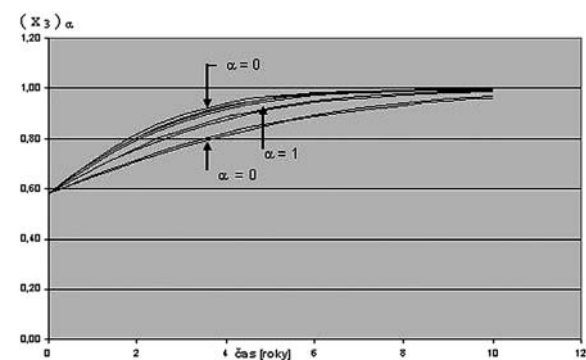
$$A_{\text{min}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0,072 \\ -0,588 & 0 & 0 & 0 \\ 0,132 & 0 & 0 & 0,280 \\ 0 & 0,120 & 0,096 & 0 \end{bmatrix};$$



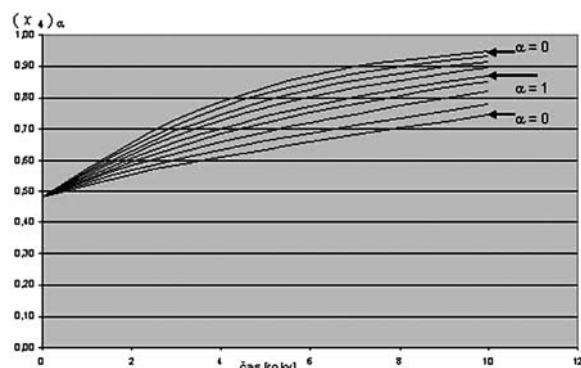
a)



b)



c)



d)

Obr. 6a–d. Fuzzy – řez standardů

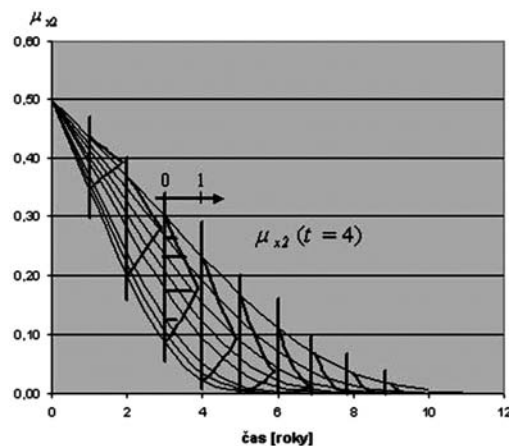
$$\mathbf{A}_{\max} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0,168 \\ -0,252 & 0 & 0 & 0 \\ 0,308 & 0 & 0 & 0,532 \\ 0 & 0,280 & 0,224 & 0 \end{bmatrix}$$

Snadno zjistíme, že při zvolené nejistotě leží střední hodnoty součinitelů interakce uprostřed krajních hodnot intervalů, takže v tomto zvláštním případě

$$\mathbf{A}_{\text{mean}} = \frac{1}{2} \left(\mathbf{A}_{\min} + \mathbf{A}_{\max} \right).$$

Prvky matice \mathbf{A}_α pro $\alpha \in \langle 0; 1 \rangle$ snadno určíme lineární interpolací za předpokladu, že jejich funkce příslušnosti mají tvar podle obr. 2. Výsledky řešení podle vzorce (10) jsou pro hodnoty $\alpha = 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1$, tzv. řezy α , znázorněny na obr. 6.

Ve všech případech jsme považovali počáteční hodnoty $x_i(0)$ za známé. Logika věci říká, že i tyto konstanty by mohly být vnímány jako fuzzy čísla. Výpočet by se tím nijak nezkomplikoval.

Obr. 7. Vývoj funkce příslušnosti v čase pro proměnnou $[x_2(t)]_\alpha$

Vzhledem k tomu, že model KSIM je nelineární, dochází při výpočtu odezvy systému k výraznému zkresení funkcí příslušnosti μ_{x_i} v čase. To je dobře vidět na jejich průběhu v případě fuzzy proměnné x_2 na obr. 7.

Závěr

Popsané fuzzy řešení ukazuje na rozdíl od řešení klasického jistý rozptyl ve výsledcích v závislosti na míře neurčitosti vstupních parametrů – součinitelů interakce, nebo počátečních podmínek. Z průběhu jednotlivých standardů je vidět, že se míra neurčitosti s časem mění. V určité fázi roste, v jiné se zmenšuje.

Jak bude ukázáno v navazujícím příspěvku, podobné rysy vykazuje i řešení založené na pravděpodobnostním pojetí. V něm jsou jak neznámé standardy, tak součinitele interakce považovány za náhodné funkce, resp. náhodné proměnné.

Praktické závěry lze přijmout obdobně jako při aplikaci klasického modelu. Rostoucí standardy x_1, x_3, x_4 ukazují na rostoucí trendy prvků „daňové příjmy“, „bilance kapitálu“ a „investice“, klesající standard x_2 ukazuje na klesající trend

prvku „úvěrová politika“. Jde o pozitivní vývoj, který je příznivě podpořen poklesem „úvěrové politiky.“ Jak je uvedeno v [2], v omezeném rozsahu jednoho segmentu komplexního modelu města lze očekávat, že odčerpání kapacity z prvků s rostoucími standardy povede k pokrytí úvěrových zátěží. Fuzzy přístup umožňuje v těchto úvahách zvážit vždy přítomnou míru neurčitosti. S jeho uplatněním se počítá též při hodnocení kvality budov z hlediska udržitelného rozvoje.

Článek vznikl za podpory projektu 1M 0579 MŠMT ČR v rámci aktivit Výzkumného centra CIDEAS.

Literatura

- [1] Kane, J.: A Primer for a New Cross-Impact Language – KSIM, No. 4, 1972, pp. 129–142.
 [2] Dlask, P.: Modifikovaný dynamický model pro řešení technicko-ekonomických úloh. [Habilitation práce], ČVUT Praha, 2006.
 [3] Štemberk, P.: Fuzzy Set Theory – Applications. [Dizertační práce], ČVUT Praha, 2000.

Milická, I. – Dlask, P. – Štemberk, P. – Šejnoha, J.: Kane's Simulation – Effective Tool for Integrated Design and Project Management – Part I

This paper is concerned with uncertainties of Kane's model applied to technological, economic, environmental and sociocultural prognoses. The essence of the solution and its application are illustrated by an economic model focused on development of financial sources.

Milická, I. – Dlask, P. – Štemberk, P. – Šejnoha, J.: Ein effektives Instrument für das integrierte Entwerfen und die Projektleitung – Teil I

Der Beitrag befasst sich mit Unbestimmtheiten des Modells von Kane, das zu technologischen, ökonomischen, ökologischen und sozio-kulturellen Prognosen angewandt wird. Die Quintessenz der Lösung und seine Anwendung werden an einem ökonomischen Modell dargestellt, das auf die Bildung der Finanzquellen ausgerichtet ist.

Všechna čísla časopisu

STAVEBNÍ OBZOR

si mohou čtenáři zakoupit
v redakci časopisu
a v prodejně technické literatury ČVUT
Bílá 90, Praha 6.

•dizertace



Applications of Selected Discrete Element Methods to Rock Burst Problems

Ing. Michael Ganyo Klaku Kugblenu

Dizertační práce se zabývá tvorbou numerických modelů pro posuzování stability stěn vlivem ořesů při důlní činnosti. Předkládají se dvě metody vhodné pro praktické použití při realizaci hloubených konstrukcí.

Vlastnosti materiálů na bázi alkalicky aktivované strusky

Ing. Lucie Zuda

Cílem práce je zjištění možnosti širšího uplatnění strusek ve stavebnictví v oblasti vysokých teplot. Ověřují se vlastnosti vzorků vyrobených ze tří typů materiálů: směs s křemenným pískem, elektroporcelánem a elektroporcelánem a vermikulitem. Měří se tepelně technické a materiálové parametry při různých teplotách. Nejvhodnější jsou posledně jmenované směsi.

Formulace materiálů na bázi sádrové pěny

Ing. Alena Vimmerová

V práci se popisují vlastnosti zkoumaných materiálů a optimalizují se složky pro výrobu sádrových kompozitů. Provedené pokusy vedly k formulaci sádrového kompozitu s velmi dobrými užitelskými vlastnostmi.

Rezidenční mikroprostředí

Ing. Hana Doležilková

Práce se věnuje praktickým dopadům problematiky rezidenčního mikroprostředí na bytové stavby. Programové řešení systematicky odstraňuje chyby a je podloženo měřením v několika bytech v různých pražských lokalitách.

Oceňování nemovitostí v závislosti na životnosti a opotřebení konstrukčních systémů a prvků

Ing. Petr Pohl

Teoretická část práce se vztahuje ke vztahu ceny a hodnoty. Je vyvinuta znehodnocovací metoda s rektifikujícími konstantami. Výsledkem je kvantifikace opotřebení staveb, což představuje potenciál pro úpravu legislativních pasáží pro oceňování nemovitostí.

Udržitelný management venkovských sídel

Ing. Dagmar Svrčinová

Práce kvalitativně popisuje nástroje a cesty k rozvoji venkovských sídel ze sociálně ekonomického hlediska a je příspěvkem do aktuálního poznání problematiky technicko-ekonomických disciplín.

Dlouhodobé sledování teploty a vlhkosti na rekonstruované budově – část I

prof. Mgr. Jan TOMAN, DrSc.
 ČVUT – Fakulta stavební
 Praha

Pro rekonstrukci a zateplení byl vybrán objekt z konce 19. století. Dlouhodobé sledování teploty a vlhkosti před započítáním prací a po jejich skončení zahrnovalo měření tří teplotních a vlhkostních profilů včetně záznamu údajů. V této části článku je objekt stručně popsán včetně průběhu rekonstrukce, metody sledování a záznamu dat. Diskuze výsledků a závěry budou publikovány ve druhé části.

Úvod

Pro dlouhodobé sledování teplotních a vlhkostních podmínek v objektu a v jeho obvodovém plášti byla vybrána budova mateřské školy v pražských Hlubočepích, ve které v roce 2002 proběhla rekonstrukce. Porovnání teploty a vlhkosti před provedením rekonstrukce a po jejím ukončení mělo poskytnout podklady pro posouzení vhodnosti, účelnosti a kvality provedené práce. V neposlední řadě se počítalo s využitím získaných meteorologických a klimatických parametrů pro další vědecké projekty a výzkum.

Popis objektu

Budova pochází z konce 19. století. Hlavní fasáda je bohatě členěna (obr. 1), a proto ji bylo nutno zachovat v původní podobě. To byl hlavní důvod pro uplatnění navrženého tepelně izolačního systému. Účelem rekonstrukce bylo mimo jiné zvýšit tepelný odpor obvodového pláště, což umožňuje systém vnitřního zateplení Inrock. Současně s aplikací tohoto systému byl zateplen strop běžnou tepelnou izolací (deskami minerální vlny Rockwool) na podlaze půdy ve druhém nadzemním podlaží. Přípravné práce spočívaly v odstranění malby stěn, osekání a následném vyspravení nesoudržné a drolivé omítky vápenocementovou maltou a zakončení štukovou vrstvou. Rovněž byly demontovány dřevěné obklady stěn.



Obr. 1. Jižní a východní fasáda objektu

Dodatečná tepelná izolace Inrock byla osazena na obvodové stěny všech místností určených k stálému pobytu, tzn. v hernách, pracovnách, lehárnách, přilehlých šatnách a pracovnách zaměstnanců. Tloušťka izolace byla navržena 80 mm, tepelný odpor $R = 1,73 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$ (laboratorně měřeno při teplotě $25 \text{ }^\circ\text{C}$ a relativní vlhkosti vzduchu 95 %, tj. při nejhorších podmínkách). Při tloušťce stávajícího cihelného zdiva 600 mm tak přesáhne celkový tepelný odpor zateplené konstrukce hodnotu doporučenou normou [1]. Součinitel prostupu tepla venkovní stěny má být $U_N = 0,38 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$, což odpovídá tepelnému odporu $2,63 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$.

Tepelně izolační desky Inrock sestávají ze dvou vrstev rozdílné objemové hmotnosti. Vrstva „hard“ (tvrdší) tl. cca 30 mm s výraznou hydrofilní úpravou pro rychlé rozvedení vlhkosti (jako opatření proti tvorbě plísni) je určena pod finální povrchovou úpravu stěny, vrstva „soft“ (měkčí) o tloušťce cca 50 mm, sloužící jako hlavní tepelná izolace, je osazována na stěnu konstrukce. Rozměry desek jsou $600 \times 1\,000 \times 80 \text{ mm}$.

Pro lepení desek na stěnu byla navržena stěrka KAM od firmy Sakret. Plní zároveň funkci retardéru vodní páry. Její schopnost propouštět vodní páry je charakterizovaná faktorem difúzního odporu $\mu = 10,6$. Stěrka se musí nanášet na celou plochu stěny, aby byla zaručena celistvost vrstvy – prvky vystupující z podkladu (ocelové konzole na radiátory, konce trubkového vedení apod.) je nutno těsnit po celém obvodu.

Desky Inrock je nutné při ukládání zdola nahoru na vazbu včetně křížení v rozích místností přitlačovat těsně k sobě. Ke kotvení slouží talířové hmoždinky EJOT IDK-T 8/60 x 155, a to vždy jedna ve středu desky. Pro zajištění celistvosti plochy stěrky je nutné před zasunutím hmoždinky do stěny nanést do míst zapuštění montážní těsnicí pěnu.

Povrchová úprava vnitřní izolované stěny byla navržena ze stěrky FFP (součinitel difúzního odporu $\mu = 5,5$), rovněž od firmy Sekret, ve skladbě: vrstva stěrky FFP tl. 3 mm nanesená na izolační desky, výztužná síťovina, krycí vrstva stěrky FFP tl. 1,5 mm a finální vrstva stěrky FFP tl. 1,5 mm. Tato vrstva byla opatřena barevnými nátěry (Karlomix) ve dvou vrstvách. Rozvodné a přístrojové krabice pro elektroinstalaci byly uloženy do vyříznutých otvorů v minerální vlně a do sádrové směsi.

Před aplikací tepelně izolačního systému bylo nutné odstranit i omítku okenního ostění. K zateplení těchto z hlediska zateplení kritických míst a okenního nadpraží byla použita tvrdší vrstva desek Inrock tl. 30 mm, aby bylo zaručeno rozvedení případné vlhkosti. Dřevěné parapetní desky v místnostech s dodatečnou tepelnou izolací byly rozšířeny o tloušťku izolační desky.

Nosná konstrukce z latí $40 \times 18 \text{ mm}$ pro osazení dřevěných obkladů zateplených stěn do výše 1 500 mm se lepila montážní pěnou PUR-65 (WURTH) v tl. 4 mm. Pro zajištění vertikálního proudění vzduchu mezi obkladem a stěnou byla navržena ve svislém uspořádání. Opravena (repasována) byla též všechna okna budovy. Na očištěnou podlahu půdy byly položeny desky minerální vlny Rockmin (Rockwool). Celková tloušťka této izolační vrstvy byla 160 mm.

Severní část obvodové stěny, směřující do dvora, dodatečně izolována nebyla, protože se k ní přimykají nevytápěné (pouze temperované) prostory – schodiště, chodby, záchody a skladiště. Rekonstrukci v období červen až srpen 2002 provedla firma Bau Plus [3].

Monitorování tepelně vlhkostních parametrů

Po přijetí rozhodnutí o rekonstrukci budovy se uvažovalo o zahájení objektivního měření, kterým by byla prokázána její ekonomická a ekologická účinnost. Pro porovnání bylo nutné získat určité teplotní a vlhkostní údaje při provozu budovy před rekonstrukcí a po ní. Jako nejjednodušší bylo vybráno sledování teploty a vlhkosti ve třech profilech obvodového pláště, a to na jeho východní, jižní a západní stěně, které budou zateplovány.

Měřicí ústředna Comet MS3+ se šestnácti kanály [2] umožňuje zaznamenávat údaje jak z teplotních čidel, tak z čidel měřících relativní vlhkost vzduchu. Jako teplotní čidla byly použity námi vyrobené termočlánky chromel-alomel hlavně pro bodové měření teplot a teplotní čidla na bázi niklových odporových teploměrů firmy Comet. Rozlišovací schopnost těchto snímačů je nejméně 0,1 K, což je pro daný účel velmi vhodné. Pro měření relativní vlhkosti vzduchu byly použity sondy stejné firmy. Záznam byl nastaven na interval 30 minut.

V objektu byly již v říjnu 2001 nainstalovány sondy pro měření teploty a relativní vlhkosti vnitřního a vnějšího prostředí a povrchových teplot ve dvou profilech (východ a jih) v prvním nadzemním podlaží. Získané údaje byly zaznamenávány jednou měřicí ústřednou, druhou pak údaje z třetího profilu (západ) ve druhém podlaží. Sledování probíhalo průběžně a je zaznamenáno (až na jisté výpadky, které způsobily

pracovnice školky hlavně při úklidu) až do června 2002, kdy začala rekonstrukce budovy.

Po jejím skončení v říjnu 2002 byly opět osazeny měřicí sondy (tab. 1) pro monitorování teplot na rozhraní cihelné zdi a tepelné izolace a sondy pro měření relativní vlhkosti vzduchu v minerální vlně (ve stejných místech jako teplotní čidla). Při měření byly dodržovány teoretické zásady pro měření teploty a vlhkosti a jejich vyhodnocování [4], [5].

Zpracování dat

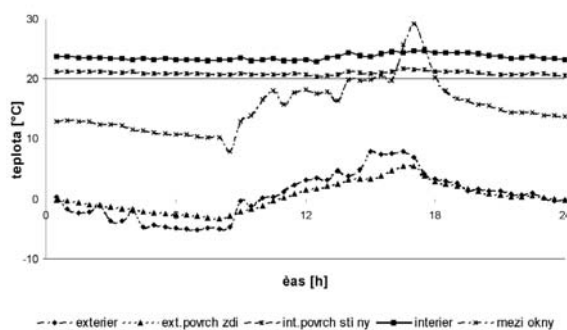
Údaje se zaznamenávaly průběžně (s určitými výpadky) až do června 2006. Z ústředny byly v průměru každé dva měsíce stahovány a jsou uchovány v elektronické podobě. Program MS Excel umožňuje jejich vyhodnocování.

Snadným výpočtem lze zjistit, že probíhalo-li měření takřka pět roků a zaznamenávalo se každou půl hodinu většinou 21 údajů, je jejich celkový počet větší než 1,8 milionu. V tabulkové formě jsou tyto údaje členěny do adresářů po topných sezónách. I tak je v každém souboru takové množství dat, že se při jejich sledování v chronologickém zápisu ztrácí orientace a přehlednost. Ani grafické chronologické znázornění z jednotlivých kanálů neposkytuje obraz, ve kterém je možné se orientovat. Bylo proto nutné zvolit zjednodušené zobrazení.

● Jako ilustrace záznamů je na obr. 2 znázorněn průběh teplot pouze v jednom dni před rekonstrukcí a pouze v jednom (západním) profilu obvodové stěny. Zobrazuje pouze 5 z 21 kanálů záznamových ústředn. Pro dokreslení je nutné poznamenat, že tento záznam využívá pouze asi jednu desetitisícinu naměřených údajů. Pro diskuzi byly takto zobrazeny hodnoty pro vybraný den před rekonstrukcí pro všechny tři profily, a to jak pro teplotu, tak pro vlhkost (pracovně označené jako grafy č. 1 až 5).

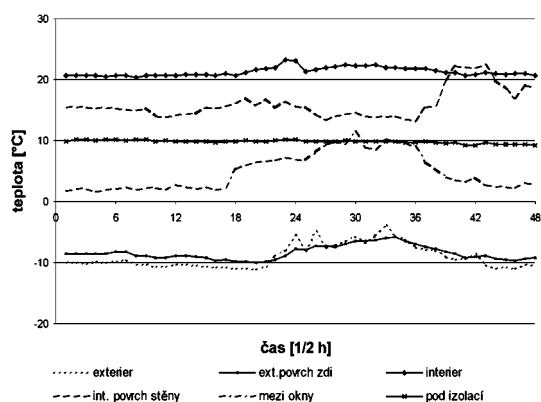
Tab. 1. Umístění čidel na kanály ústředny

Před rekonstrukcí (2001)	
1. NP	2. NP
1 – vnější teplota povrchu zdi – východ	1 – vnější vlhkost vzduchu
2 – vnější teplota povrchu zdi – jih	2 – vnitřní vlhkost vzduchu
3 – vnitřní teplota povrchu zdi – východ	5 – vnější teplota vzduchu
4 – vnější vlhkost vzduchu	6 – vnější teplota povrchu zdi – západ
5 – vnější teplota vzduchu	7 – vnitřní teplota povrchu zdi – západ
6 – vnitřní vlhkost vzduchu	8 – vnitřní teplota vzduchu
10 – vnitřní teplota povrchu zdi – jih	9 – povrchová teplota radiátoru
11 – povrchová teplota radiátoru	10 – teplota vzduchu mezi okny
12 – vnitřní teplota vzduchu	–
Po rekonstrukci (2002)	
1. NP	2. NP
1 – vnější teplota povrchu zdi – východ	1 – vnější vlhkost vzduchu
2 – vnější teplota povrchu zdi – jih	2 – vnitřní vlhkost vzduchu
3 – teplota na retardéru (DU) – východ	5 – vnější teplota vzduchu
4 – vnější vlhkost vzduchu	6 – vnější teplota povrchu zdi – západ
5 – vnější teplota vzduchu	7 – vnitřní teplota povrchu zdi – západ
6 – vnitřní vlhkost vzduchu	8 – vnitřní teplota vzduchu
7 – povrchová teplota radiátoru	9 – povrchová teplota radiátoru
8 – vlhkost na retardéru (DU) – východ	10 – teplota vzduchu mezi okny
9 – vlhkost na retardéru (DU) – jih	11 – teplota na retardéru (DU) – západ
10 – vnitřní teplota povrchu zdi – východ	–
11 – vnitřní teplota vzduchu	–
12 – vnitřní teplota povrchu zdi – jih	–



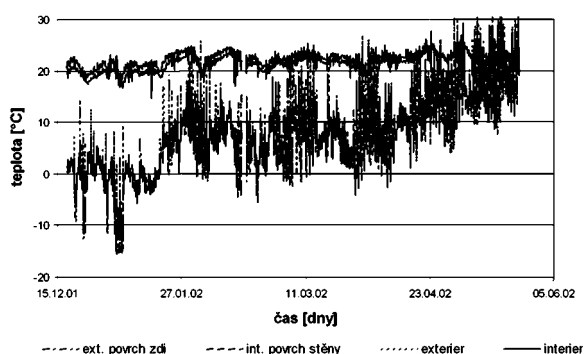
Obr. 2. Teploty 15.2.2002 – západ (graf č. 4)

● Obdobně se postupovalo se zobrazením vybraného dne po rekonstrukci. Z pracovních grafů č. 6 až 10 je zde uveden pouze obr. 3.



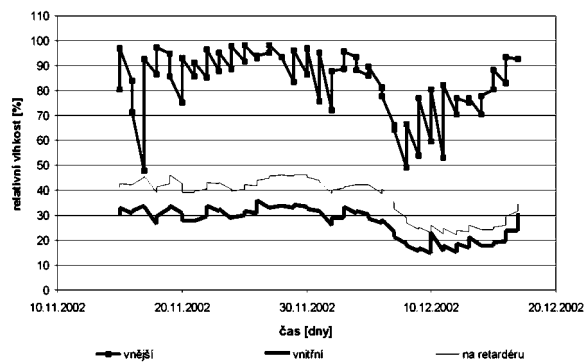
Obr. 3. Teplota 8.1.2003 – západ (graf č. 9)

● Grafické znázornění průběhu teploty a vlhkosti v delších časových úsecích je nepřehledné. I úsek asi čtyř měsíců na zvolené ukázce na obr. 4 neposkytuje použitelné informace.



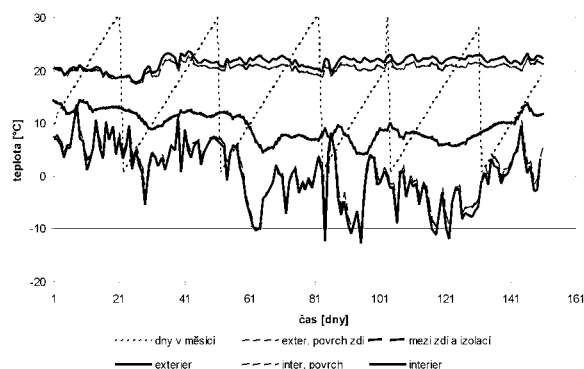
Obr. 4. Teplota – 1. NP, východ, 18.12.01 23.5.02 (graf č. 11)

● Aby tedy bylo možné průběh teploty a vlhkosti ve větších časových úsecích graficky znázornit, bylo nutné data redukovat. Z tabulkových záznamů je možné vyčíst, že minimální teplota se v jednotlivých dnech objevuje nejčastěji kolem šesté a maximální kolem patnácté hodiny. Proto byly tyto časy zvoleny jako reprezentativní pro všechny údaje. V podstatě se tak denní sinusový průběh teploty, naměřený 48 údaji, redukoval pouze na maximum a minimum (obr. 5).



Obr. 5. Vlhkost – 1. NP, východ, 15.11.-17.12.2002 (graf č. 12)

● Ještě názornější je, vynášejí-li se samostatně maxima a samostatně minima. Pak je možné zobrazit i delší časový úsek a graf neztrácí přehlednost. Je možné s ním pracovat, tj. porovnávat jej s jinými časovými úseky, s jinými profily apod. (obr. 6).



Obr. 6. Teplota – 1. NP, východ, 6:00 h, říjen 2002–březen 2003 (graf č. 14)

Výsledky měření

Před rekonstrukcí

Grafy č. 1–5 (na obr. 2 je pro ilustraci uveden pouze graf č. 4) tvoří první skupinu údajů (tj. v topné sezóně 2001–2002). Je z nich zřejmý průběh teploty a vlhkosti ve vybraný den ve všech třech profilech. Údaje byly zaznamenány po 30 minutách. Profily ve východní a jižní stěně byly situovány v rohové herně pro děti v prvním nadzemním podlaží. Východní profil byl zvolen na stěně ve výšce asi 1,8 m (na vnějším povrchu stěny ve výšce cca 3 m) uprostřed mezi krajním oknem a jihovýchodním rohem místnosti (cca 0,8 m vpravo od okna).

Před parapetem byl dřevěnou mříží zakrytý radiátor ústředního topení ve vzdálenosti asi 1,2 m od zvoleného profilu. Na jeho povrchu bylo umístěno jedno teplotní čidlo. Tím bylo možné indikovat aktivaci vytápění. Při topení se teplota pohybovala většinou kolem 45 °C. V jižní stěně, která nemá okna, byl profil určen do výšky asi 2,2 m (těsně nad skříňkou na hračky postavenou u stěny) – na vnějším povrchu ve výšce asi 3,2 m, ve vzdálenosti asi 2,5 m od jihovýchodního rohu místnosti. Měřicí ústředna byla ukryta za květinovou výzdobou na nižší skříňce v rohu místnosti, aby byla z dosahu dětí a nerušila provoz školky. Čidla pro indikaci venkovní teploty a relativní vlhkosti vnějšího vzduchu byla umístěna na vnějším jihovýchodním rohu budovy ve výšce odpovídající zvoleným profilům, tj. asi 3 m nad zemí,

v mřížkované skříňce asi 5 cm od povrchu fasády. Čidlo relativní vlhkosti vnitřního vzduchu bylo spolu s niklovým teploměrem pro registraci vnitřní teploty položeno na skříňce před jižním profilem asi 20 cm od vnitřního povrchu stěny. Vnitřní i vnější povrchovou teplotu v jednotlivých profilech měřily bodové termočlánky chromel-alomel.

Pro západní profil bylo zvoleno místo uprostřed stěny mezi prvním a druhým oknem od jihozápadního rohu v tělocvičně ve druhém nadzemním podlaží. Vnitřní čidla byla ve výšce 1,8 m (což z vnějšku odpovídá výšce 4,5 m nad zemí) zabudována obdobně jako v prvním podlaží. Měřicí ústředna byla umístěna uvnitř špaletového okna, volný teplotní kanál byl využit pro měření teplot mezi vnitřní a vnější částí okna (na ústředně uvnitř okna).

Na průběhu grafů č. 1, 2 a 4 je dobře vidět, že povrchová teplota stěny v interiéru je stále nižší zhruba o 2 °C než teplota vnitřního vzduchu a že se v podstatě nemění. Teplota interiéru se téměř neodchyluje od 23 °C (mírný pokles kolem jedenácté hodiny v místnosti prvního nadzemního podlaží byl zřejmě způsoben krátkodobým deštěm a s tím spojeným značným nárůstem venkovní vlhkosti a okamžitým poklesem venkovní teploty). Zajímavý, ale zcela logický, je průběh povrchové teploty vnější stěny v jednotlivých profilech ve srovnání s teplotou exteriéru. V nočních hodinách je venkovní teplota vesměs o 2–4 °C nižší než povrchová teplota stěn. Přes den však větší setrvačností teploty stěny stoupne vnější teplota vzduchu rychleji a je až o 8 °C vyšší než teplota stěny. Z průběhu těchto teplot na jednotlivých stěnách je patrný i vliv ozáření a slunečního svitu. Speciálně na grafu č. 4 je vidět i vliv skleníkového efektu na teplotu uvnitř okna.

Na grafech č. 3 a 5, kde je znázorněn průběh relativní vlhkosti vnějšího a vnitřního vzduchu během jednoho dne, je dobře vidět, že vnitřní vlhkost je poměrně stálá (20–30 %), ale vlhkost vnějšího vzduchu se značně mění podle jeho teploty (30–90 %). Je také možné pozorovat, že při ústředním vytápění dochází ke značnému vysychání vzduchu. Větráním se větší vlhkosti nedosáhne, protože venkovní vlhký vzduch je studený a po zahřátí jeho relativní vlhkost ihned podstatně klesne. Pro zvýšení relativní vlhkosti vzduchu v teplém interiéru se musí zvýšit absolutní vlhkost dodáním vláhy, což se nejlépe uskuteční vypařením určitého množství vody.

Po rekonstrukci

Podobně je možné sledovat i hodnoty na grafech č. 6–10 (viz pouze graf č. 9 na obr. 3). Osazení čidel je stejné, nově jsou monitorovány hodnoty získané z čidel na retardéru, umístěných mezi vnitřním povrchem staré zdi a nově osazenou izolací z minerální vlny. Čidla snímající teplotu na vnitřním povrchu stěny jsou tedy na povrchové úpravě izolace. Jako referenční den po rekonstrukci byl vybrán 8. leden 2003, kdy byla venkovní teplota přibližně taková, jako před rekonstrukcí 15. února 2002.

Obecné závěry, učiněné na základě rozboru grafů č. 6–10, jsou stejné, jako při rozboru grafů č. 1–5. Navíc je nutné zdůraznit přítomnost údajů z nově zabudovaných čidel mezi vlastní zdi a novou izolací. Teplotní hodnoty z těchto čidel jsou v podstatě stále a leží zhruba uprostřed mezi hodnotami na vnitřním a vnějším povrchu stěny. Z toho již je možné učinit závěr, že tepelný odpor celé stěny se izolací zvětšil na zhruba dvojnásobek a že kolísání venkovní teploty se vzhledem k velké tepelné kapacitě, a tudíž velké teplotní setrvačnosti staré cihelné zdi na změně teplot uvnitř stěny a interiéru, téměř neprojevuje. Čidlo snímající relativní vlhkost vzduchu uvnitř minerální vlny nezaznamenalo větší hodnotu než

30 %. To znamená, že v minerální vlně ke kondenzaci vodních par nemůže docházet – izolace tedy nevlhne, nezhorší se její tepelné technické parametry a nevznikají podmínky pro bujení plísní.

Teploty v delším období

Graf č. 11 na obr. 4 je uveden pouze jako ilustrace toho, že zobrazení průběhu jednotlivých údajů zaznamenaných měřicí ústřednou pro delší časový úsek je velmi nepřehledné. Snad je možné z grafu vyčíst interval, ve kterém se teploty ve sledovaném období pohybují.

Maximální a minimální hodnoty

Jak již bylo řečeno, pro snadnější znázornění průběhu teploty a vlhkosti za delší období bylo nutné data redukovat. Z tabulkových záznamů je možné vyčíst, že minimální teploty se v jednotlivých dnech objevují nejčastěji kolem šesté a maximální kolem patnácté hodiny. Proto byly tyto časy zvoleny jako reprezentativní pro všechny údaje. V podstatě se tak denní sinusový průběh teplot, naměřený 48 údaji, redukoval pouze na minimum a maximum (měření v 6 h a 15 h). Z obrázku 5 (graf č. 12) je vidět průběh vlhkosti ve východním profilu prvního nadzemního podlaží v době od 15. listopadu do 15. prosince 2002. Relativní vlhkost venkovního vzduchu se v jednom dni pohybuje nejčastěji v rozmezí 10 %, zatímco vnitřní vlhkost a vlhkost uvnitř stěny se během dne téměř nemění – reaguje však na dlouhodobější změny vlhkosti venkovní, i když je o cca 60 % (resp. 50 %) nižší. Při porovnání průběhu vlhkosti a teploty je možné konstatovat, že v souladu s předpokladem, který plyne z teorie, vlhkost při nárůstu teplot klesá. Pozitivní je pozorování, že vlhkost uvnitř stěny i přes zimní období nepřevýšila 50 %, což potvrzuje funkčnost použitého systému vnitřního zateplení.

Ještě názornější je, vynášejí-li se samostatně maxima a samostatně minima. Pak je možné zobrazit i delší časový úsek a graf má podstatně hladší průběh, čímž se neztrácí přehlednost – je možné s ním dále pracovat, tj. porovnávat jej s jinými časovými úseky, s jinými profilem apod. Grafy č. 13–20 (na obr. 6 je pro ilustraci pouze graf č. 14 zaznamenávající průběh minimálních teplot v 6 h ráno) například zobrazují průběh maximálních nebo minimálních teplot a vlhkosti v období zhruba pět měsíců před rekonstrukcí a po ní v jednotlivých profilech. Na ose *x* je vnesen čas ve dnech plynoucích chronologicky. Aby bylo možné vyčíst i roční období, byly v jednotlivých grafech ještě na ose *y* vneseny dny (či měsíce), což vytváří samostatné křivky.

Z porovnání grafů č. 13 a 14 je zřejmé, že i když průběh teploty v interiéru zůstává prakticky neměnný, rozdíl mezi maximem a minimem je v exteriéru mezi 5–10 °C. Obdobně je možné vyčíst z porovnání grafů č. 17 a 18, že denní maxima a minima v interiéru a také mezi zdi a izolací se téměř neliší, i když v exteriéru je mezi nimi opět rozdíl 5–10 °C. To jen potvrzuje závěr o velké tepelné kapacitě staré cihelné zdi. K podobným závěrům dojdeme porovnáváním grafů č. 15, 16 a 19, 20. V grafech č. 19 a 20 je kromě toho ještě patrné, že vlhkost vzduchu uvnitř minerální vlny je přibližně stejná ve východním i jižním profilu.

Článek vznikl za podpory výzkumného záměru MŠMT ČR č. MSM6840770031.

Literatura

- [1] ČSN 73 05-40-2 Tepelná ochrana budov část 2: Požadavky. ČNI, 2007.

- [2] Měřicí, záznamová a řídicí ústředna MS3+. [Návod k použití]. Comet Systém.
- [3] Rekonstrukce mateřské školky Hlubočepy–Praha 5. [Projekt a dokumentace], Bau Plus.
- [4] Toman, J. – Semerák, P.: Fyzika 10 – Laboratorní cvičení. ČVUT Praha, 2001.
- [5] Brož, J. a kol.: Základy fyzikálních měření. Praha, SPN 1974.
- [6] Černý, R. – Maděra, J. – Grunewald, J.: Numerical Simulation of Heat and Moisture Transport in Building Envelopes with Inside Thermal Insulation Systems on the Mineral Wool Basic. In: International Conference on Building Envelope Systems and Technologies (ICBEST 2001). Ottawa: NRC-CNRC, 2001, pp. 251–255.
- [7] Grunewald, J.: DELPHIN 4.1 – Documentation, Theoretical Fundamentals. TU Dresden, 2000.

Toman, J.: Long-Term Monitoring of Temperature and Moisture in Reconstructed Building – Part I

A building coming from the late 19th century was selected for reconstruction and thermal insulation. The long-term monitoring of temperature and moisture undertaken prior to the start of the works and after their completion involved measurement of three temperature and moisture profiles, including data recording. The first part of the paper briefly describes the building; further, it outlines the reconstruction process, the monitoring methods, as well as the data recording. The discussion of the results and the conclusions will be published in the second part of the article.

Toman, J.: Langzeitbeobachtung der Temperatur und Feuchtigkeit an einem sanierten Gebäude – Teil I

Für die Sanierung und Durchführung von Wärmeschutzmaßnahmen wurde ein Gebäude vom Ende des 19. Jahrhunderts ausgewählt. Die Langzeitbeobachtung der Temperatur und Luftfeuchtigkeit vor der Aufnahme der Arbeiten und nach ihrem Abschluss umfasste die Messung von drei Temperatur- und Feuchtigkeitsprofilen einschließlich der Aufzeichnung der Angaben. Im ersten Teil des Artikels wird das Gebäude einschließlich des Verlaufs der Sanierung, der Beobachtungsmethoden und der Aufzeichnung der Daten knapp beschrieben. Die Diskussion der Ergebnisse und die Schlussfolgerungen werden im zweiten Teil des Artikels publiziert.

•projekty

Arkády Pankrác

Základní kámen pro nové obchodně společenské centrum byl položen v červnu minulého roku. S prodejní plochou 45 000 m² a přibližně 140 obchody budou Arkády Pankrác nákupní atrakcí nejen pro obyvatele největší městské části Prahy. Na projektu, jehož investiční objem činí 3 mld. Kč, se podílejí společnosti Rodamco Europe a ECE Projektmanagement. Generálním dodavatelem stavby je společnost Strabag. Nová nákupní galerie, díky které vznikne dva tisíce nových pracovních míst, má být otevřena na podzim tohoto roku.



Z architektonického hlediska jde o stavbu v moderním stylu, která se harmonicky začlení mezi ostatní budovy v areálu tzv. pražského Pentagonu. Velké skleněné plochy otevřou galerii okolí a budou působit vzdušně a transparentně. Plánuje se i výstavba kancelářské věže s flexibilními kancelářskými plochami, která bude na nákupní galerii navazovat. V souvislosti se stavbou komplexu se rozšíří silniční spojení s pražskou magistrálou, což by mělo přispět ke zlepšení zdejší dopravní situace. Do galerie bude ústít i východ z metra.

Tisková informace

Vědeckotechnická společnost pro sanace staveb
a péči o památky

a

Fakulta stavební VUT v Brně

pořádají

mezinárodní konferenci

Sanace a rekonstrukce staveb 2008

WTA TAG 2008

6. a 7. března 2008

Fakulta stavební VUT v Brně, Veverí 95

Konference je součástí každoročního mezinárodního kolokvia WTA TAG, pořádaného WTA International (Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege), letos poprvé mimo německy mluvící země. Spojením vzniká unikátní akce, na níž bude odborné veřejnosti umožněna konfrontace technologických postupů a hledisek provádění sanací v tuzemsku a v zahraničí. Je součástí programu celoživotního vzdělávání členů ČKAIT.

www.wta.cz

Variabilita odtokového koeficientu na povodí Uhlířská

Ing. Michal KURÁŽ

ČZU – Fakulta životního prostředí
Praha

Povodí Uhlířská patří do soustavy experimentálních hydrologických povodí zbudovaných v minulých letech v oblasti Jizerských hor nedaleko Bedřichova na povodí Černé Nisy. Cílem výzkumu bylo vyhodnotit spolehlivost bilančních dat z tohoto povodí.

Úvod

Letní sezóny 2002 a 2003 byly ve střední Evropě ve znamení extrémních hydrologických jevů. V roce 2002 postihly tuto oblast vydatné srážky, v následujícím roce pro změnu vydatná sucha. Pro analýzu a posouzení dat z povodí byly vybrány letní sezóny 2002–2003. Při vyhodnocování dat z výrazné srážkové události ve dnech 11.–14.8.2002 dosahoval odtokový koeficient hodnoty 0,56, v okolních povodích však byly naměřeny poněkud odlišné hodnoty, a to v rozmezí 0,8–0,9. Povodí Uhlířská se však výrazně od sousedních povodí neodlišuje.



Obr. 1. Svahy povodí Uhlířská

Vzhledem k rozsahu srážek (téměř 20 % průměrného ročního srážkového úhrnu) bylo nutné se zabývat především jejich věrohodností, resp. zda je možné všechna zde naměřená bilanční data považovat za homogenní. Byla stanovena kritéria, podle nichž byly vybrány srážky z letních sezón 2000–2003, a naměřené hodnoty porovnány, aby se ověřila data ze srážkoodtokové události z 11.–14.8.2002. V podstatě šlo o posouzení, zda je možné data z těchto dvou po sobě jdoucích extrémních období považovat za homogenní.

Popis povodí

Nachází se v horní části povodí Černá Nisa v rozmezí rozvodnice s povodím Snědá a limnigrafického profilu Uhlířská, orograficky spadající do provincie Česká vysočina a Západní Sudety. Tato oblast, postižená v minulých letech výrazným odlesněním vlivem znečištění, spadala do oblasti

lokální ekologické katastrofy, tzv. černého trojúhelníku [5]. V současné době je možné se snižováním emisí a výsadbou vhodných typů dřevin pozorovat pozvolné zalesňování. Rozloha povodí činí pouhých 1,87 km². Roční úhrn srážek zde patří mezi největší v republice, přesahuje 1 300 mm/rok, průměrná teplota činí 4,5 °C. Lokalita je převážně pod vlivem chladného vlhkého severního a severozápadního proudění, oblast je proto charakterizována častým výskytem mlh, tvořících se z nízké oblačnosti [7].

Region Jizerských hor je tvořen granitoidními horninami variského krkonošsko-jizerského masivu [8]. Základním horninovým typem je porfyrická středně zrnitá biotická žula až granodiorit. V krystalickém plášti se vyskytují metamorfity spodnoprotozoického a spodnopaleozoického stáří. Kvarterní pokryvné sedimenty mají malou mocnost, jsou tvořeny převážně svahovými sutěmi se zvětralým substrátem, rašelinnými uloženinami a deluviálními a deluviofluviálními písčitymi hlínami, často s příměsí úlomků hornin [8].

Na svazích se vyskytuje především půdní profil, který lze zařadit do kambizemních půd. Jsou to hlinito-písčité až písčito-hlinité půdy s příměsí skeletu, často velmi hrubého bez výrazné struktury [2]. Typický půdní profil je hluboký 60 až 90 cm a skládá se z vrstev tloušťky: 5 cm organického, 20 až 25 cm hnědého B horizontu s přechodem do světle hnědého (do šeda či žluta zbarveného) C horizontu [5]. Kolem údolnice převládá půdní profil tvořený zrašeliněným horizontem tl. 10–15 cm, pod nímž se nachází rašelina o mocnosti místy více než 350 cm. V zrašeliněných horizontech jsou různě rozložené organické zbytky četné v celém profilu. Pod vrstvou rašeliny byl pravidelně nalezen šterkopisek s šedou až modrou jílovitou výplní. Plocha rašeliny činí asi 10–15 % povodí [5].

Vyhodnocení srážkoodtokových epizod

Do analýzy byly zahrnuty srážky (*tab. 1*), které se ve sledované oblasti vyskytly vždy mezi 1.5.–31.10. a splňovaly tato kritéria:

- jednoznačné vymezení srážkové epizody v hydrografu;
- maximální hodinový úhrn srážky. Stanovením jisté podmínky byly prověřeny ve spreadsheetu všechny srážkové události ve sledované sezóně, zejména
 - větší než 6 mm/h,
 - mezi 3–6 mm/h,
 - menší než 3 mm/h.

Epizody s maximálním hodinovým úhrnem nad 6 mm/h byly zpracovány automaticky a vynechány pouze v případě, že bylo jejich vymezení z hydrogramu a oddělení od základního odtoku problematické a sporné. Zpravidla šlo o situace, kdy byly součástí dlouhodobějších srážkových událostí. Srážky ze druhé skupiny byly vybrány pouze v případě, že bylo jejich vymezení skutečně zřetelné a po zpracování se dalo dosáhnout „kvalitních“ výsledků. Epizody ze zbylé skupiny nebyly téměř posuzovány, na odtoku v uzávěrovém profilu se projevovaly jen sporadicky, jejich ohraničení bylo velmi nezřetelné.

Tab. 1. Počet srážek pro jednotlivé sezóny

Sezóna	Počet epizod
2000	3
2001	4
2002	11
2003	6

Pro každou odtokovou epizodu byla poté definována popisná kritéria:

- počáteční objem vody v půdě udává množství vody v půdě vztažené k jednotce plochy, stanovené podle tenzometrů na obr. 2. Jde tedy pouze o ukazatel nasycenosti, nikoli o skutečný objem vody v půdě na povodí jako celku;
- průměrná intenzita je stanovena jako průměrný hodinový úhrn po dobu trvání srážky;
- maximální hodinový úhrn se stanoví obdobně jako u hodnoty výše,
- celková výška srážek je sumou hodinových úhrnů ve srážkové epizodě;
- epizodní koeficient odtoku.

Vstupní data

Výpar

Pro ověření všech složek hydrologického cyklu bylo nutné získat hodnoty výparu. Pro sezóny 2000 a 2001 je zpracovali Ing. Pavel Tachecí a Ing. Michal Dohnal z dat naměřených na experimentální ploše Tomšovka (svah povodí Uhlířská). Pro sezónu 2002 a 2003 byla obstarána od Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) Brno z výpočtů RNDr. Mojmíra Kohúta (z dat získaných na nejbližší dostupné stanici v Bedřichově). Do výpočtů byla tedy vnášena jistá nepřesnost tím, že data pocházela z různých zdrojů.

Pro všechny sezóny byl použit potenciální výpar. Vzhledem k tomu, že oblast je silně humidní a profil je po většinu roku silně nasycen, bylo by možné tyto hodnoty považovat za ekvivalentní. Nekonzistentnost je způsobena tím, že v letech 2000 a 2001 probíhala měření solární radiace pouze na svahu Tomšovka. V letech 2002 a 2003 bylo čidlo na povodí mimo provoz, zároveň však v tomto období byla instalována nová stanice v Bedřichově, a tak byla chybějící data z povodí doplněna odtud. Vzhledem k tomu, že se nevyskytlo období, ve kterém by stanice měřily souběžně, nebylo možné výsledky z Bedřichova korelovat pro sledované povodí. Nicméně vzhledem k blízkosti obou stanic je možné předpokládat, že nedocházelo k přílišným nepřesnostem.

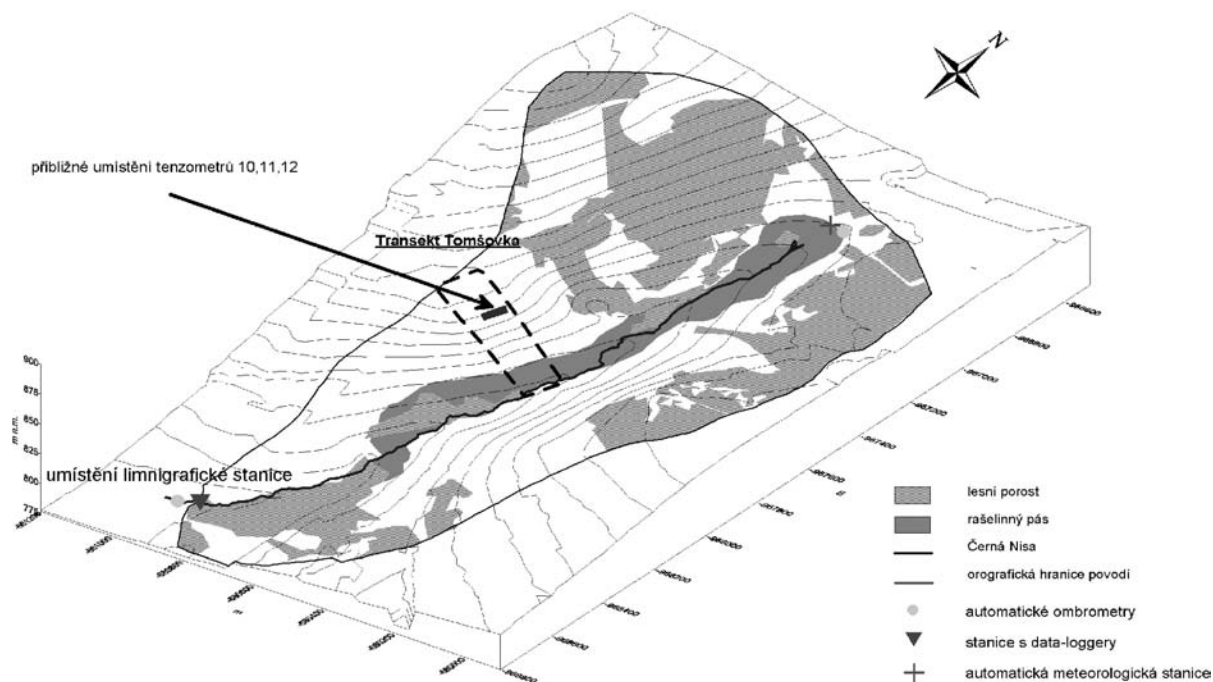
Poměrně velké rozdíly mezi hodnotami a průběhem výparu mezi sezónami 2000–2001 a 2002–2003 je možné přisoudit spíše rozdílné metodice určení, a především rozdílnému technickému vybavením měřicích stanic. V letech 2000 a 2001 bylo na Uhlířské již zastaralé čidlo, jehož údaje mohly být zatíženy jistou chybou. Údaje o výparech ze stanice Bedřichov, měřené kvalitnějším čidlem, byly k dispozici až pro rok 2002. Z tohoto je možné odvodit poměrně malou důvěru v tyto hodnoty. Při pozdějším zpracování dat však bylo prokázáno, že vliv výparu pro hydrologickou bilanci je spíše zanedbatelný.

Průtok v uzávěrovém profilu

Průtok v uzávěrovém profilu povodí měřila limnigrafická stanice zbudovaná v roce 1982 ČHMÚ. Objekt je na vtoku tvořen obdélníkovým korytem se sklonem 0,88 %, kde dochází k ustálení průtoku. Na konci koryta je lichoběžníkový přeliv (š = 50–64 cm, v = 28 cm) s ocelovou hranou vetknut do příčné betonové zídky, jejíž koruna se sklání směrem ke středu koryta.

Podtékání limnigrafu

Uzávěrový profil nebyl vybrán v blízkosti nepropustného dna, proto je uvažováno možné podtékání limnigrafu a



Obr. 2. Umístění tenzometrů 10, 11, 12 pro stanovení ukazatele nasycenosti povodí [7]

velikost nezachyceného podzemního odtoku. Během sondování půdních profilů v okolí závěrového profilu Uhlířská byly zjištěny různé mocné aluviální náplavy v okolí koryta, a to do vzdálenosti až 45 m od toku. Tyto vrstvy jsou tvořeny hlinitými písky střídanými šterkopískovými až šterkovými vrstvami s různou výplní. Nasycená hydraulická vodivost se udává v řádu 10^{-2} – 10^{-4} ms^{-1} . Ve spolupráci s firmou Vodní zdroje byla v roce 1997 provedena sonda až do hloubky 3 m. V profilu se vyskytovaly střídavě vrstvy písku, šterkopísku v některých místech prokládané vrstvou s jílovou výplní. Měření v následujícím roce bylo založeno na nepřímých metodách. Celková mocnost střední vrstvy byla odhadnuta na 18 m. V hloubce 15 m byla odhalena tektonická porucha. Z měření stopovačem (ke stanovení nasycené hydraulické vodivosti) bylo usouzeno, že rychlost proudění v hrubozrnném materiálu v okolí koryta činí asi 10^{-3} ms^{-1} . Pokud aplikujeme tuto hodnotu na celou mocnost prostřední vrstvy interpretovaných řezů, získáme nereálně vysoké hodnoty ročního odtoku přesahující srážkový úhrn povodí. Lze usoudit, že půjde z větší části o materiály s výplní, která snižuje hydraulickou vodivost. Jednoznačný odhad neměřeného množství vody, podtékající limnigrafický profil, však není možné učinit vzhledem k tomu, že přímo v profilu limnigrafu není skutečné složení ani hydraulické charakteristiky podpovrchových vrstev známy [5].

Tab. 2. Diskretizace půdních vrstev svahu se stanovištěm tenzometrů [7]

Vrstva	Půdní materiál	Hloubka [cm]
1.	Ah – zrašelinělý horizont	0–20
2.	B – hor. hnědé hlíny	20–45
3.	B/C – přechodový horizont	45–75
4.	C – zvětralý plášť žuly	75 – ?

Tab. 3. Popis vlastností povodí v závislosti na objemu vody v půdě u tenzometrů 10, 11, 12 [4]

Ukazatel nasycenosti [mm]	Události za výskytu přívalové srážky kolem 6 mm/h
< 250–350	Objevuje se malá nebo téměř nulová reakce recipientu na srážku, větší reakci je možné očekávat, pokud aktuální objem vody v půdě plus srážková výška přesáhne tuto mez, odtokové koeficienty jsou v tento moment téměř nulové, půda dosahuje takto nízkých hodnot v extrémně suchých obdobích (viz rok 2003). Na počátku srážky byl v oblastech rašelin zaznamenán vznik povrchového odtoku, což může být dáno změnou smáčecího úhlu, který v případě vysušených rašelin může dosáhnout $>90^\circ$, teprve po jejich částečném nasycení se povrch může stát částečně smáčivým. K této situaci však dochází pouze v případě, že srážce předcházelo období se silným slunečním zářením a vysokými teplotami. Vysvětlením může být hypotéza vzniku silně vysušené povrchové vrstvy, která kvůli výše uvedené vlastnosti brání průsaku vody, a vytváří tak na počátku srážky silný povrchový odtok.
350–390	V tomto stavu se nachází půda po většinu času v povodí. Je typický pro období mezi srážkami v průměrném letním období. Je možné pozorovat jakousi reakci recipientu při srážkách kolem 2 mm/h, nicméně tento stav se vyznačuje vysokou variabilitou reakce recipientu na srážku, proto prahové hodnoty zde uváděné jsou pouze orientační a jsou založeny na zkušenosti získané při zpracování dat za čtyři roky. Odtokové koeficienty dosahují hodnot 0,05–0,15, někdy i vyšších.
> 390	Extrémní stav, kterého dosahuje půda po přechodu vydatné srážky. Půda v povodí je nasycena, vytváří se prudký povrchový a podpovrchový odtok, reakce na srážku je prudká. Odtokové koeficienty dosahují 0,25–0,35. Při extrémní srážce 11.–14.8.2002, která se lišila od ostatních posuzovaných, bylo dosaženo odtokového koeficientu 0,57, objem vody v půdě stoupl až na 550 mm. Nicméně v tento moment řada zařízení vykazovala místy chyby v měření či data chyběla, proto je třeba závěry, týkající se dotyčné epizody, brát s rezervou.

Měření tenzometry

Experimentální plocha svahu Tomšovka byla v sezóně 1997 a 1998 v ose spádnice vybavena 75 půdními tenzometry pro monitorování sacích tlaků. Cílem bylo sledování podpovrchového vodního režimu celého svahu. Instalované tenzometry zde tvoří šachovnicovou síť a jsou umístěny i po vrstevnici v odstupu 10 m od hlavní osy transektu. Délkové rozestupy skupin tenzometrů se v ose transektu pohybují od 10 do 40 m, skupinu tvoří vždy trojice odlišné délky, kterou je snímán půdní sací tlak z místně typických horizontů [7]. Vzhledem k tomu, že ve sledovaném období docházelo k častým výpadkům na různých místech měřicí sítě a uvažování průměrných dat pro celé povodí by vedlo patrně k nehomogenním výsledkům, bylo pro vyhodnocení vlhkostních dat zvoleno pouze jedno stanoviště, které vykazovalo vcelku kompaktní data po celou dobu sledování.

Nejdůležitější pravidelné měření půdních tlaků zajišťovaly tenzometry, jejichž tlaková čidla jsou napojena na data-logger. Rychlou reakci na změnu tlaku, resp. vlhkosti, umožňuje materiál čidla – speciální pórovitá keramika se vstupní hodnotou vzduchu 0,5 bar s vysokou hydraulickou vodivostí [7].

Zpracování dat

Vybraná srážka byla nejprve popsána zadanými kritérii. Poté byla dokumentována grafy vyjadřujícími vztah jednotlivých parametrů. Zpracovány byly:

- hodinové úhrny srážek, odtoků, výparů a jejich změna v čase počínaje výskytem srážky a konče okamžikem opětového poklesu průtoku v uzávěrovém profilu na hodnotu základního odtoku;
- součtové čáry hodinových úhrnů srážek, odtoků, výparů ve stejném časovém intervalu;
- součtové čáry z předchozího bodu na časovém intervalu 20 h od vypuknutí srážky;
- průběh průměrného objemu vody v půdě v celém povodí porovnávány s průběhem v jistém bodě.

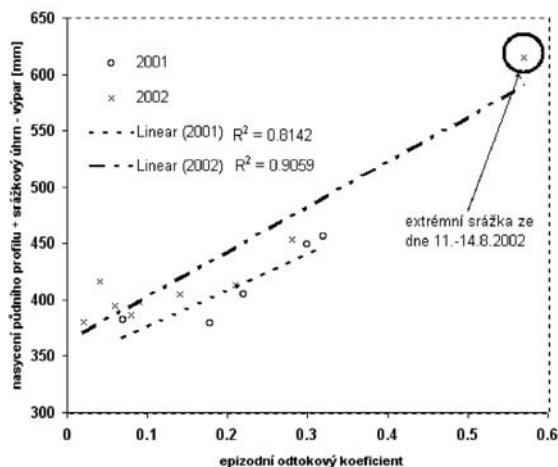
Tab. 4. Sezónní bilanční charakteristiky povodí (měřeno v období 1.5.–30.9.)

Rok	Úhrn [mm]		Průměrná hodnota ukazatele	Průměrná intenzita [mm/d]	Sezónní koeficient odtoku	Délka srážek [h]
	srážkový	potenciálního výparu				
2000	613	489	389	19,9	0,5	739
2001	832	552	432	21,1	0,62	947
2002	788	114	414	23,1	0,51	817
2003	416	370	364	22,9	0,35	454

Podle měření tenzometrů 10, 11, 12 (obr. 2) byl stanoven ukazatel nasycenosti povodí. Jeho hodnota odpovídala objemu vody v profilu v těchto tenzometrech, jejíž objem byl stanoven z průběhu sacích tlaků, který tyto tenzometry zaznamenávají v hodinových krocích. Charakteristické chování povodí je popsáno v tab. 3.

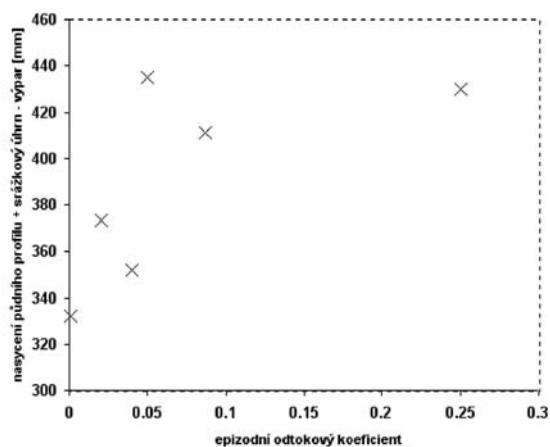
Výčíslení sezónních charakteristik povodí je v tab. 4. Je patrné, že rok 2003 byl i ze sezónního hlediska rokem zcela výjimečným. Srážkový úhrn 416 mm je pro tuto oblast podprůměrný. Rovněž i celkové trvání srážek 454 h naznačuje, že v uvedeném období byl jejich výskyt spíše řidší v porovnání s průměrným rokem. Jejich intenzita byla v porovnání s předešlými léty standardní, počet byl rovněž standardní, jenom byly v průměru kratší. Nejzajímavěji zde působí koeficient odtoku, který je ostatně i u předešlých sezón velmi nízký. Například hodnota odtokového koeficientu 0,51 pro sezónu 2002, uvážíme-li, že v tomto létě byl podprůměrný výpar, půdní profil byl po celé léto silně nasycen. Pro letní sezónu 2003 byl však odtokový koeficient mimo očekávané meze.

Při pohledu na jednotlivé srážkové události je možné u všech letních sezón kromě roku 2003 pozorovat poměrně homogenní řady. Na obrázku 3 je vykreslena závislost epizodního odtokového koeficientu na množství vody u tenzometrů 10, 11, 12 a srážkového úhrnu bez úhrnu výparu v období, kdy se srážka projevovala na hydrogramu odtoku. Vynesené body udávají víceméně lineární trend, a to včetně srážko-odtokové události z 11.–14.8.2002, která se vymyká ostatním událostem. Během čtyř dnů spadlo na povodí 225 mm srážek, 90 % celkového úhrnu dokonce první dva dny. Jakoli je odtokový koeficient poměrně nízký, je možné data



Obr. 3. Závislost epizodního odtokového koeficientu na nasycení půdního profilu (u tenzometrů 10, 11, 12) a srážkovém úhrnu (lineární regrese víceméně odpovídá jistému trendu dat)

z tohoto období považovat za poměrně kvalitní a homogenní s daty pocházejícími ze standardnějších období. Nízká hodnota odtokového koeficientu může být dána různými faktory. Může jít o zmíněný problém s podtékáním limnigrafické stanice. Hodnoty odtokových koeficientů jsou nízké, ale víceméně homogenní, což může ukazovat na trvalý konstantní jev. Dalším důvodem může být nevhodné vymezení odtokových událostí v hydrogramu a identifikace base-flow, ale i v tomto případě by muselo jít o systematickou chybu. Dochází-li skutečně k podtékání limnigrafu v mezích, které se na hydrologické bilanci projeví, může být identifikace vlastního base-flow zatížena jistými nepřesnostmi, či spíše chybami.



Obr. 4. Závislost epizodního odtokového koeficientu na nasycení půdního profilu (u tenzometrů 10, 11, 12) a srážkovém úhrnu (data z tohoto období nemají výrazný trend – letní sezóna 2003)

O něco problematičtěji působí letní sezóna 2003, která byla ostatně i v celé střední Evropě značně suchým obdobím. Naměřená data zde nemají žádný významný trend. Vzhledem k rozsahu analýzy není možné uvedený stav vysvětlit jinak než pokusy o jisté hypotézy bez řádných důkazů. U některých srážek dosahoval odtokový koeficient téměř nulových hodnot, a to šlo o období s poměrně nízkým potenciálním výparem. Je toto další důkaz zmíněného podtékání limnigrafu, nebo šlo pouze o nepřesnosti v měření, anebo o problematiku vhodné identifikace base-flow?

Závěr

Data získaná v povodí Uhlířská působí poměrně homogenně s výjimkou suššího období letní sezóny 2003. Pro podrobný průzkum podtékání limnigrafu by bylo vhodné zaji-

stit porovnání a jistou korelaci s daty z jednoho ze sousedních povodí. Ať již k podtékání limnigrafu dochází, nebo nikoli, je možné říci, že v případě pro tuto oblast standardních hydrologických podmínek jde o jev celkem stabilní, a pokud je vnášena do měření jistá chyba, je to chyba konstantní, která nemá vliv na homogenitu dat. V případě, že by existovala data z přílehlých povodí, bylo by možné danou chybu poměrně snadno odstranit. V případě sušších sezón, jako bylo právě období 2003, je celá problematika výrazně složitější. Půdní profil byl poměrně vysušen, což pro tuto oblast není jev příliš typický. Vzhledem k jevům v podpovrchovém proudění mohlo docházet k chybnému určení baseflow. V předchozích letech byl půdní profil nasycen, tudíž případné jevy, spojené s podtékáním limnigrafu, byly pravděpodobně konstantní, to však nemohlo platit v létě 2003. Nehomogenita dat z této sezóny tedy může znamenat další podpůrné tvrzení k teorii podtékání limnigrafu na povodí Uhlířská.

Literatura

- [1] Bubeničková, L. – Stehlík, J. (eds.): Guide of the Field Excursion: The Experimental Catchments in the Jizera Mts. (Conf. „Catchment Hydrological and Biochemical Processes in Changing Environment“). ČHMÚ Praha, 1998.
- [2] Císlerová, M. – Šanda, M. – Blažková, Š. – Mazáč, O. – Grünwald, A. – Zeithammerová, J. – Tachecí, P.: Monitorování procesů proudění vody v půdním profilu na experimentální ploše svahu v povodí Uhlířská. [Zpráva], úkol VaV/510/3/96, DÚ 01, část 8, VÚV, ČVUT Praha, 1997.
- [3] Gehrels, J. C.: Stochastische Hydrologie. [Skriptum], TU Delft, 2002.
- [4] Kuráz, M.: Bilanční charakteristiky malého horského povodí. [Diplomová práce], ČVUT Praha, 2004.
- [5] Tachecí, P.: Hydrologický režim malého povodí a odhad účinků změny porostu. [Doktorská dizertační práce], ČVUT Praha, 2002.
- [6] Tachecí, P. – Šanda, M.: Dynamika půdní vody na svazích povodí Uhlířská. [Sborník], konference „Hydrologie půdy v malém povodí“, Ústav pro hydrodynamiku AV ČR Praha, 2003.
- [7] Šanda, M.: Tvorba povrchového odtoku na svahu. [Doktorská dizertační práce], ČVUT Praha, 1999.
- [8] van den Akker, M. F. A. – van Haselen, C. O. G.: Hydrogeological Reconnaissance of the Jizera Mountains. [Report], WAU Wageningen, and ČHMÚ Praha, 1995.
- [9] Zeman, O.: Petrografie a regionální geologie Českého masivu. [Učební text], ČVUT Praha, 1984.

Kuráz, M.: Variability of Runoff Coefficient in Uhlířská River Basin

The Uhlířská River Basin falls within a set of experimental hydrological river basins built in the Jizera Mountains area in the Černá Nisa river basin over the past years. The research was aimed to assess reliability of balance data from the experimental river basin.

Kuráz, M.: Variabilität des Abflussbeiwerts im Einzugsgebiet Uhlířská

Das Einzugsgebiet Uhlířská (Schwarze Neiße) gehört zu einem System von in den vergangenen Jahren im Isergebirge im Einzugsgebiet der Černá Nisa (Schwarze Neiße) errichteten hydrologischen Versuchs-Einzugsgebieten. Ziel des Forschungsvorhabens war die Beurteilung der Zuverlässigkeit von Bilanzdaten aus dem Versuchs-Einzugsgebiet.

• dizertace



Sanace střešních konstrukcí v oblasti Arabského poloostrova

Ing. Osama Abdulkarim Alktof

Práce analyzuje poznatky z Blízkého východu a popisuje snahy o rekonstrukce historických i jiných objektů v této oblasti. Rozebírají se příčiny poruch skladebných souvrství a navrhuje se způsoby oprav. Zvýšená pozornost je věnována tepelně technickému režimu navrhovaných souvrství.

Chování a ošetřování čerstvého betonu

Ing. Milan Žamborský

Dizertační práce se zabývá chováním čerstvého betonu v mocných konstrukcích a kompozitními materiály, zejména hnědouhelným popílkem v betonu. Hledá se složení geopolymerního betonu, kde chybí cement a je úplně nahrazen hydroxidem sodným a vodním sklem.

Radar Interferometry Used for Detection of Landslides and Subsidence in the Northern Bohemia Brown Coal Basin

Mgr. Ján Kianička

Práce pojednává o interferometrickém posouzení a určování poklesů v poddolovaném území Severočeské pánve. Z výsledků vyplývá, že poklesy velikosti 10 mm lze sledovat s chybou 7 mm, což se považuje za dobrý výsledek.

Ekologicky vhodné rozmezí průtoků pro makrozoobentos v tocích ovlivněných městským odvodněním

Ing. Jana Caletková

Práce oceňuje jednotlivé faktory rozhodující o biologické stabilitě drobných vodních toků v urbanizovaném prostředí ve vazbě na hydromorfologické podmínky. Jde o originální výsledky s praktickým využitím v souvislosti s rámcovými směrnici pro vodní politiku EU.

2D numerické modelování transportu plavenin v otevřených korytech

Ing. Jiří Lindner

Práce se věnuje vývoji a aplikaci numerického modelu transportu látek ve vodních tocích. Byl vytvořen původní simulací model obsahující algoritmy pro výpočet eroze a sedimentace. Práce je původní a má praktický dopad.

Modelování lan stavebních konstrukcí

Ing. Leoš Jeřábek

Dizertant vypracoval vlastní aproximační vztahy pro vystižení tuhosti ocelových lan v konstrukcích. Aproximace verifikoval pomocí přesného analytického řešení i numerických postupů. Výsledkem jsou doporučení, který z programů je pro jaké použití vhodný a jak lze při modelování postupovat.

Porovnání metod zaměření průběhu nadzemních vedení vysokého napětí

Ing. Jitka SUCHÁ, Ph.D.
Ing. Martin ŠTRONER, Ph.D.
ČVUT – Fakulta stavební, Praha

Ing. Lenka ŠPAČKOVÁ

Geoline, s. r. o.

Článek se zabývá způsoby měření průběhu nadzemních vedení vysokého napětí. V textu jsou uvedeny tři metody, které byly v rámci měření porovnány. Jsou uvedeny jejich výhody i nevýhody, náročnost při měření, komplikovanost výpočtů a dosažená přesnost výsledků.

Úvod

Článek navazuje na text stejných autorů, uvádějící stručný přehled metod sloužících k určení průběhu vodičů vysokého napětí [2]. Tato část podrobně popisuje měření sloužící k porovnání vhodnosti jednotlivých metod z hlediska náročnosti prací v terénu včetně požadavků na přístrojové vybavení, náročnosti výpočtů a přesnosti výsledků. V rámci práce [3] byly porovnány dvě metody současně a jedna metoda, o níž se často zmiňují starší texty. V případě starších metod jde o metodu trigonometrickou, v případě modernějších metod byla navázána úzká spolupráce s firmami PRAGOPROJEKT (Ing. Sobotka) a Geoline, které tyto metody běžně používají.

Experimentální měření

V průběhu měření poblíž obce Lipence u Zbraslavi (obr. 1) bylo jasno, vální mímý vítr a teplota se pohybovala mezi 8–10 °C.

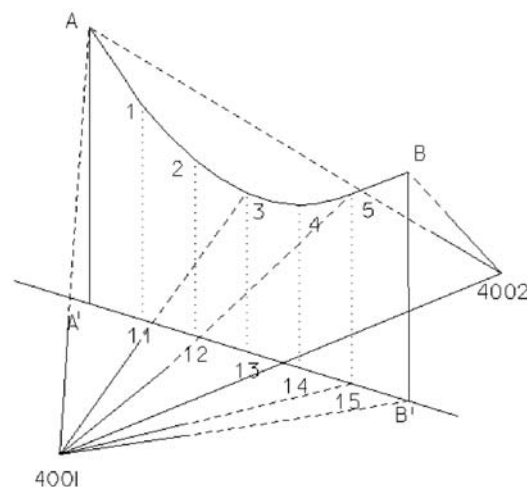


Obr. 1. Zaměřované vedení elektrického napětí v obci Lipence u Zbraslavi

Zaměření vodičů přístrojem Trimble 5605 DR 200+ (obr. 4) bylo provedeno současně pro metodu prováděnou fy PRAGOPROJEKT a prostorovou polární metodu. Tedy jeden soubor hodnot vstupuje do dvou různých výpočtů. Postup prací v terénu byl volen s ohledem na potřeby porovnávaných metod. Požadavky na veličiny i měřické postupy se značně liší, proto jsou dále uvedeny odděleně. Celý postup byl aplikován na dvě sousední pole vedení, při němž bylo zaměřeno kromě závěsných bodů (A a B) vždy pět podrobných bodů na vedení.

Metoda fy PRAGOPROJEKT

Metoda vyžaduje měření ze dvou stanovisek (obr. 2). Jejich poloha se volí s ohledem na situaci v terénu. Na stanovisku 4001 se provádí směrové a délkové zaměření s orientací na bod 4002, dále směrové zaměření závěsných bodů A, B (vodorovný směr a zenitový úhel) a podrobných bodů na vedení 1, 2, ..., n' volených tak, aby co nejlépe charakterizovaly průběh vodiče. Další měření se týká bodů pod vedením, při němž se zaměřují paty stožárů A', B' a podrobné body na zemi 11, 12, ..., n' ležící na průmětu vedení na terén. Ze stanoviska 4002 se zaměří nejprve orientace na předchozí stanovisko 4001, a následně se směrově určí závěsné body A, B.

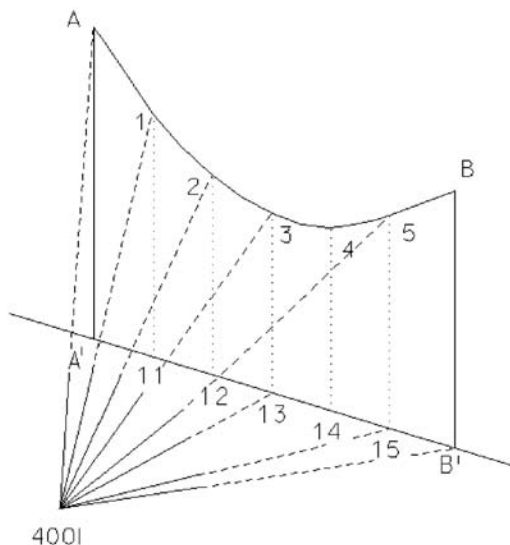


Obr. 2. Metoda fy PRAGOPROJEKT – schéma měření

Prostorová polární metoda

U prostorové polární metody stačí měření z jednoho stanoviska (obr. 3), ale musí z něho být dobře viditelný celý průběh vodiče. Ze stanoviska 4001 jsou postupně směrově i délkově zaměřeny závěsné body A, B, podrobné body na vodiči 1, 2, ..., n' , paty stožárů A', B' a podrobné body 11, 12, ..., n' na terénu. Prostorová polární metoda má větší požadavky na přístrojové vybavení než metoda fy PRAGOPROJEKT. K délkovému měření podrobných bodů na vodiči byl

proto použit bezhranolový systém přístroje Trimble 5605 DR 200+ (obr. 4) v obou polohách dalekohledu, u ostatních délek byl použit odrazný hranol. Výrobce udává směrodatnou odchylku směru měřeného v obou polohách dalekohledu $\sigma_\varphi = 1$ mgon a odchylku měřené délky $\sigma_d = 3$ mm + 3 ppm pro bezhranolové měření.



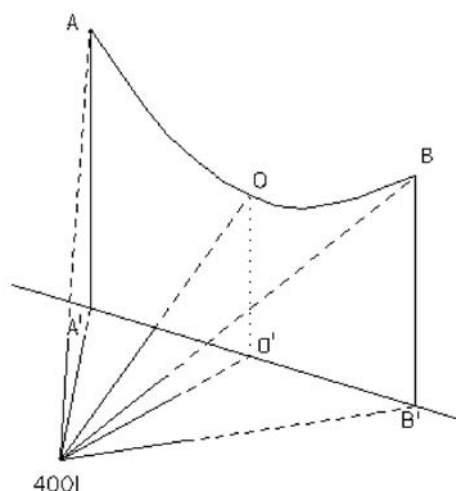
Obr. 3. Prostorová polární metoda – schéma měření



Obr. 4. Trimble 5605 DR 200+

Trigonometrická metoda

Před měřením vyžaduje nejdelší přípravu. Stanovisko, ze kterého zaměření probíhá, musí ležet na kolmici k vedení. Proto je nejprve nutné promítnout vedení pomocí olovnice na terén (nejlépe dva vzdálené body), určit rozpětí a střed pole a dále vytyčit kolmici a stabilizovat stanovisko (obr. 5). Odtud se zaměřují vodorovné směry a zenitové úhly závěsných bodů A, B a středu pole O (resp. místa maximálního průhybu), který leží na vodiči. Následuje měření pat stožárů A', B' a průmětu středu pole na terén O', které již vyžaduje délkové měření totální stanicí na odrazný hranol.



Obr. 5. Trigonometrická metoda – schéma měření

Výsledky

Výsledkem porovnávaných metod jsou pravouhlé prostoro-ové souřadnice, které je možné dále zpracovávat (např. v grafickém softwaru). Výsledkem trigonometrické metody jsou pouze tři výškové údaje: výška nejnižšího bodu vodiče nad terénem a výšky závěsných bodů nad terénem. Podrobné vztahy pro výpočet jednotlivých metod jsou uvedeny ve [2].

Metoda fy PRAGOPROJEKT

Naměřené hodnoty lze zpracovat dvěma způsoby [2]. Početně grafický způsob vychází z kombinace výpočetního a grafického řešení. Druhý postup je výhradně výpočetní. Výsledné hodnoty byly získány kombinací početního a grafického řešení v programech Groma a Microstation (tab. 1). K početnímu řešení byl využit program Microsoft Excel (tab. 2). Dále byla číselně určena výška vodiče nad terénem v místech podrobných bodů na vedení (tab. 3). Jak je z tabulek patrné, odlišné zpracování měřených dat má na výslednou výšku minimální vliv. V závěrečném porovnání jsou proto uvedeny jen hodnoty určené poččetně grafickou metodou.

Tab. 1. Početně grafické řešení fy PRAGOPROJEKT

Bod	Pole 1 [m]			Pole 2 [m]		
	x	y	z	x	y	z
A	1 073,54	527,663	109,759	924,186	549,338	110,55
B	924,186	549,338	110,55	768,677	571,907	109,653
1	1 045,76	531,694	107,911	900,644	552,755	108,586
2	1 018,92	535,59	106,994	875,423	556,415	107,209
3	994,56	539,125	106,896	847,655	560,445	106,557
4	971,114	542,528	107,455	821,33	564,266	106,767
5	946,461	546,106	108,751	794,96	568,092	107,801

Tab. 2. Početní řešení fy PRAGOPROJEKT

Bod	Pole 1 [m]			Pole 2 [m]		
	x	y	z	x	y	z
A	1 073,54	527,663	109,759	924,186	549,338	110,55
B	924,186	549,338	110,55	768,677	571,907	109,654
1	1 045,76	531,694	107,911	900,644	552,755	108,586
2	1 018,92	535,589	106,994	875,422	556,415	107,209
3	994,56	539,124	106,896	847,655	560,445	106,556
4	971,114	543,528	107,454	821,33	564,265	106,767
5	946,461	546,106	108,751	794,96	568,092	107,801

Tab. 3. Metoda fy PRAGOPROJEKT

Výška nad terénem	Početné grafické řešení		Početní řešení		
	[m]	pole 1	pole 2	pole 1	pole 2
h_1	8,236	8,572	8,236	8,572	
h_2	7,311	7,126	7,311	7,126	
h_3	7,021	6,749	7,021	6,748	
h_4	7,429	7,089	7,428	7,089	
h_5	8,679	8,388	8,679	8,388	

■ Prostorová polární metoda

Prostorová polární metoda byla vypočtena klasickým způsobem [2], výpočet pak byl proveden v programu Groma. Výsledkem jsou prostorové polární souřadnice (tab. 4). Také u prostorové polární metody byly určeny hodnoty výšky vedení nad terénem (tab. 5).

Tab. 4. Prostorová polární metoda

Bod	Pole 1 [m]			Pole 2 [m]		
	x	y	z	x	y	z
A	1 073,55	527,665	109,759	924,189	549,342	110,549
B	924,189	549,342	110,548	768,681	571,901	109,653
1	1 045,75	531,686	107,91	900,632	552,746	108,587
2	1 018,92	535,586	106,994	875,421	556,412	107,207
3	994,56	539,127	106,896	847,656	560,445	106,557
4	971,109	542,535	107,456	821,326	564,266	106,769
5	946,448	546,117	108,753	794,945	568,100	107,800

Tab. 5. Prostorová polární metoda

Výška nad terénem [m]	Pole 1	Pole 2
h_1	8,235	8,573
h_2	7,311	7,122
h_3	7,021	6,749
h_4	7,43	7,091
h_5	8,681	8,387

■ Trigonometrická metoda

U starších způsobů určování průběhu vedení elektrického napětí nejsou výsledky prostorové polární souřadnice, ale výška vedení nad terénem nebo přímo maximální průhyb vedení. Trigonometrická metoda se proto zabývá určením výšky závěsných bodů A, B a výšky nejnižšího bodu vedení nad terénem (tab. 6).

Tab. 6. Trigonometrická metoda

Výška nad terénem [m]	Pole 1	Pole 2
h_A	10,284	10,125
h_B	10,059	10,174
h_O	7,057	6,702

Porovnání metod

■ Z hlediska náročnosti prací v terénu, lze říci, že hlavní porovnávané metody mají téměř stejné nároky. Metoda fy PRAGOPROJEKT vyžaduje sice zaměření ze dvou stanovisek, ale následně směrové měření podrobných bodů na vedení probíhá velice rychle. U prostorové polární metody

stačí zaměřit pole vedení elektrického napětí pouze z jednoho stanoviska. Je-li rozpětí pole příliš velké (delší než 200 m), je nutné zvolit další stanovisko. Důvodem jsou nevhodné úhly dopadu laserového paprsku na nejvzdálenějších bodech. Pokud se laserový paprsek od vedení odrazí pod nevhodným úhlem, je nutné počítat s menší přesností měřené délky 1 až 2 cm. U příliš ostrého úhlu odrazu se laserový paprsek od vodiče neodráží zpět k přístroji, a délku proto nelze měřit. Při volbě polohy stanoviska je také nutné počítat s maximálním dosahem bezhranolového systému. Ten se u většiny přístrojů pohybuje v intervalu 300–400 m. Je však nutné počítat spíše s horší odrazivostí, protože vodiče nepatří mezi typické odrazné materiály. Největší nároky na práce v terénu má trigonometrická metoda. Příprava před měřením totiž vyžaduje vytyčení středu rozpětí pole vedení a z něj dále určení polohy stanoviska, které musí ležet na kolmici ke středu rozpětí pole. Tato příprava je nutná a je potřebné jí věnovat pozornost. Výpočetní vztahy jsou totiž odvozeny v závislosti na této konfiguraci.

■ Výpočetní postupy všech vybraných metod nejsou náročné a lze je provádět v libovolných softwarech. Vytvoření vlastních programů by nemělo činit ani začínajícím programátorům problémy. Výpočet metody fy PRAGOPROJEKT lze provést dvěma způsoby. Početné grafické řešení je založeno na kombinaci výpočtů v geodetickém programu (Groma, Geus) a grafickém softwaru (MicroStation, AutoCad). Pro početní řešení je možné použít libovolný výpočetní program (Matlab, Excel aj.). Řešení prostorové polární metody je základní úlohou, která je součástí všech výpočetních geodetických programů. Výpočet trigonometrické metody je nejjednodušší. Stačí dosadit naměřené hodnoty do tří vztahů. Výpočet lze provést na kapesním kalkulátoru nebo jej naprogramovat v matematickém výpočetním softwaru. Výslednými hodnotami obou moderních metod jsou prostorové pravoúhlé souřadnice, které je možné dále zpracovávat v jakémkoli grafickém systému. Trigonometrická metoda slouží k určení výšky závěsných bodů A, B nad terénem a výšky nejnižšího bodu vedení O nad terénem. Proto její další zpracování v grafickém systému nemá význam.

■ Porovnání výsledků pravoúhlých prostorových souřadnic je uvedeno v tab. 7. Jak je z jejich hodnot patrné, největší rozdíly se vyskytují u bodů 1 a 5, které jsou od stanoviska 4001 nejvzdálenější. Jsou způsobeny délkou měřenou bezhranolovým systémem, protože laserový paprsek u vzdálených bodů dopadá pod nevhodným (příliš ostrým) úhlem. Rozdíl polohových souřadnic se pohybuje u bodů 1 a 5 až do hodnoty 1,6 cm, u bodů ostatních maximálně do 0,7 cm. Rozdíl výškových souřadnic je o řád nižší, velikost dosahuje maximálně hodnoty 0,2 cm. Právě výškové určení je při určování průběhu nadzemních vedení elektrického napětí podstatné, a lze tedy říci, že přesnost výškového určení vodiče nad terénem je u obou metod stejná.

Tab. 7. Porovnání prostorových pravoúhlých souřadnic určených metodou fy PRAGOPROJEKT s prostorovou polární metodou

Bod	Pole 1 [cm]			Pole 2 [cm]		
	Δx	Δy	Δz	Δx	Δy	Δz
A	-0,6	-0,2	0,0	-0,3	-0,4	0,1
B	-0,3	-0,4	0,2	-0,4	0,6	0,0
1	1,2	0,8	0,1	1,3	0,9	-0,1
2	0,2	0,4	0,0	0,2	0,4	0,2
3	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,5	-0,7	-0,1	0,4	0,0	-0,2
5	1,3	-1,1	-0,2	1,5	-0,7	0,1

Trigonometrická metoda slouží k určení pouze výšky zá-
všných bodů A, B nad terénem a výšky nejnižšího bodu
vedení O nad terénem. Tyto údaje byly porovnány s výsled-
kem metody fy PRAGOPROJEKT (tab. 8). Z číselných
údajů je patrné, že výškový rozdíl se pohybuje od 1 do 5 cm.
Určení výškových poměrů zdaleka nedosahuje přesnosti
metody fy PRAGOPROJEKT a prostorové polární metody.

Tab. 8. Porovnání výšky vedení nad terénem určené metodou
trigonometrickou s výsledky ostatních metod

Výška nad terénem [cm]	Pole 1	Pole 2
Δh_A	3,5	3,2
Δh_B	-1,8	5,0
Δh_O	3,5	-4,7

Závěr

Současné metody určení průběhu vedení elektrického na-
pětí nemají speciální nároky na měřické práce v terénu a sa-
motné měření probíhá snadno a rychle. Pouze u trigonome-
trické metody musí být dodržena poloha stanoviska tak, aby
leželo na kolmici k zaměřovanému poli vedení. Tato konfi-
gurace musí být dodržena, protože výpočetní vztahy jsou z
tohoto postavení přístroje odvozeny. Metoda fy PRAGO-
PROJEKT a metoda trigonometrická nemají na měřické vy-
bavení velké požadavky. Stačí totální stanice bez speciální-
ho vybavení, popř. jakýkoli teodolit s dálkoměrem. U meto-
dy trigonometrické lze použít také teodolit a pásmo, jelikož
se měří pouze jedna délka. Větší nároky na přístrojovou
techniku má prostorová polární metoda, protože je nutné
použít bezhranový systém měření délek. Podle zkušenosti
autorů však v řadě případů nejsou všechny přístroje vhodné,
u některých systémů měření délek na vodiče funguje špatně,
nebo vůbec.

Výpočetní práce u všech vybraných metod nejsou nároč-
né a lze je provádět v libovolných výpočetních a grafických
softwarech. Výslednými hodnotami současných metod jsou
prostorové pravoúhlé souřadnice zaměřených bodů, se kte-
rými je možné dále pracovat v grafických programech. Tri-
gonometrická metoda poskytuje pouze tři výškové údaje.
Většina geodetických zakázek se předává v grafické formě,
proto jsou výsledné hodnoty trigonometrické metody v dneš-
ní době významným nedostatkem.

Přesnost současných metod (metody fy PRAGOPRO-
JEKT a prostorové polární metody) je srovnatelná. Výsled-
ný rozdíl výškových souřadnic a rozdíl výšky vedení nad
terénem určený těmito postupy dosahuje maximálně 2 mm.
V poloze se rozdíl pravoúhlých prostorových souřadnic po-
hybuje maximálně do 15 mm. Nejdůležitější je však výško-
vé určení vedení a zde je přesnost dostatečná. Trigonome-
trická metoda je nejméně přesná. Odchyšky výšky od obou
současných metod dosahují až 5 cm. Podle získaných vý-
sledků lze proto k určení průběhu nadzemních vedení vysoké-
ho napětí doporučit obě současné metody.

Článek byl zpracován v rámci záměru VZ 1 – CEZ
MSM 6840770001 „Spolehlivost, optimalizace a trvanli-
vost stavebních materiálů a konstrukcí“, dílčí část „Geo-
detické monitorování k zajištění spolehlivosti staveb“.

Literatura

- [1] Michalčák, O. a kol.: Inžinierska geodézia II, 1. vydání,
Bratislava, Alfa 1990. ISBN 80-05-00678-0.
- [2] Suchá, J. – Štroner, M. – Špačková, L.: Historické a současné
metody zaměření průběhu nadzemních vedení vysokého napětí.
Stavební obzor, 17, 2008, č. 1, s. 26–30.
- [3] Špačková, L.: Měření průběhu nadzemních vedení vysokého
napětí. [Diplomová práce], ČVUT Praha, 2005.
- [4] Veselý, M. a kol.: Inženýrská geodézie II, 1. vydání. Brno,
Vydavatelství VUT 1985.

Suchá, J. – Štroner, M. – Špačková, L.: Comparison of
Methods of Measurement of Above-Ground High-
Voltage Lines

This article describes measurement of above-ground
high-voltage lines, including comparison of the methods
employed. Also, it discusses their pros and cons,
demands on the measurement, as well as the complex
character of the computations.

Suchá, J. – Štroner, M. – Špačková, L.: Vergleich der
Verfahren zur Vermessung des Verlaufs von Hoch-
spannungs-Freileitungen

Der Artikel befasst sich mit der Vermessung des Verlaufs
von Hochspannungs-Freileitungen einschließlich eines
Vergleichs der angewandten Verfahren. Es werden deren
Vor- und Nachteile, der Aufwand beim Messen und die
Kompliziertheit der Berechnungen angeführt.

IFH/Intherm

odborný veletrh pro sanitární, topenářskou a klimatizační techniku

16.–19. dubna 2008

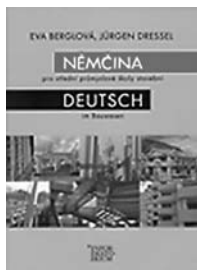
Norimberk

www.ifh-intherm.de

● literatura

Berglová, E. – Dressel, J.

Němčina pro SPŠ stavební



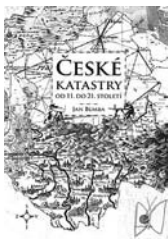
*Informatorium, Praha, 2007,
152 s., ilustrováno, cena 280 Kč*

Příručka odborných výrazů a textů, určená nejen studentům SPŠ, ale i studujícími ostatních stavebních oborů i pro stavební praxi, odpovídá modernímu pojetí výuky cizích jazyků

Bumba, J.

České katastry od 11. do 21. století

Grada, Praha, 2007, 192 s., cena 299 Kč



První souvislá kniha s podobnou tematikou na našem trhu určená geodetům, studentům, milovníkům historie, čtenářům literatury faktu a všem technicky zaměřeným čtenářům. Popisuje vývoj katastrů od úplných počátků do dnešní doby. Technické informace začleňuje do příslušného historického období s jeho specifiky. Zabývá se nikoli pouze některou etapou katastrů, ale popisuje vývoj katastrů od úplných počátků do dnešní doby.

Definuje a vysvětluje pět základních charakteristik společných pro všechny katastry bez rozdílu zaměření či doby vzniku. Poprvé uvádí řadu dosud nepublikovaných údajů. Obsahuje třicet barevných ukázek starých map, s nimiž veřejnost zpravidla nemá možnost se setkat.

● veletrhy

Ekologické veletrhy

20.–22. května 2008

Brno

Akce, která se na brněnském výstavišti uskuteční již potřetí, je již tradičně tvořena dvěma navzájem se doplňujícími projekty – vodohospodářskou výstavou **Vodovody-Kanalizace** a veletrhem techniky pro tvorbu a ochranu životního prostředí **ENVIBRNO**. Rozsahem a kvalitou doprovodného programu jde o nejvýznamnější setkání odborníků ve střední a východní Evropě. Součástí bude poprvé **Národní konference o bezvýkopových technologiích NO – DIG**. Doprovodný program bude zaměřen na řešení aktuálních problémů a témat z oblastí vodohospodářství a ekologie. Nebudou chybět ani ukázky protipovodňových opatření a doprovodné semináře ve speciálním bazénu u pavilonu.



Cílem veletrhů je poskytnout prostor pro setkání zástupců státní správy, samosprávy a dalších uživatelů technologií pro tvorbu a ochranu životního prostředí s odborníky, kteří jsou schopni nastalé problémy řešit.

SOUTĚŽ

o nejlepší diplomovou a bakalářskou práci v oblasti řešení geotechnických problémů

Soutěž, vypsána společnostmi FINE, s. r. o., a Mott MacDonald Praha, s. r. o., je zaměřena na podporu zvýšení prestiže oboru geotechniky na vysokých školách v ČR a SR a umožnění nadaným studentům lépe vyniknout a uplatnit se v praxi. Mohou se jí zúčastnit studenti stavebních oborů vysokých škol, kteří v akademickém roce 2007/2008 úspěšně obhájí diplomovou, resp. bakalářskou práci, ve které při řešení zadaného tématu použijí software firmy FINE, s. r. o., nebo výpočetní programy jiných výrobců. Termínem pro odevzdání podkladů je 30. září 2008. Slavnostní vyhlášení výsledků soutěže proběhne na konferenci ZAKLÁDÁNÍ STAVEB 2008 v Brně.

www.fine.cz
http://www.mottmac.cz/

STAVEBNÍ OBZOR

ROČNÍK 17 ČÍSLO 03/2008

Navigace v dokumentu

OBSAH

Toman, J. Dlouhodobé sledování teploty a vlhkosti na rekonstruované budově – část II	65
Milická, I. – Valenta, R. – Dlask, P. – Šejnoha, J. KSIM – efektivní nástroj pro integrované navrhování a projektové řízení – část II	69
Hodas, S. Modelové vyhodnotenie geodetických meraní napojení zhlaví v koľajisku	74
Míča, L. – Šlezinger, M. Vegetace a stabilita břehů	79
Pacina, J. Vymezování hranic elementárních forem georeliéfu	83
Bajtala, M. – Sokol, Š. Problematika kontrolného merania skutočného tvaru slinkového sila	88
Schütze, B. – Hánek, P. Příspěvek geodézie k revitalizaci historických objektů	94

3 • 2008

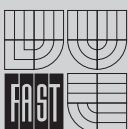
ročník 17

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



Fakulta stavební
VUT v Brně



Fakulta stavební
VŠB TU-Ostrava



Česká komora autorizovaných
inženýrů a techniků

OBSAH**CONTENT****INHALT**

<p>Toman, J. Dlouhodobé sledování teploty a vlhkosti na rekonstruované budově – část II 65</p> <p>Milická, I. – Valenta, R. – Dlask, P. – Šejnoha, J. KSIM – efektivní nástroj pro integrované navrhování a projektové řízení – část II 69</p> <p>Hodas, S. Modelové vyhodnotenie geodetických meraní napojení zhlaví v kol'ajisku 74</p> <p>Míča, L. – Šlezinger, M. Vegetace a stabilita břehů 79</p> <p>Pacina, J. Vymezování hranic elementárních forem georeliéfu 83</p> <p>Bajtala, M. – Sokol, Š. Problematika kontrolného merania skutočného tvaru slinkového sila 88</p> <p>Schütze, B. – Hánek, P. Příspěvek geodézie k revitalizaci historických objektů 94</p>	<p>Toman, J. Long-Term Monitoring of Temperature and Moisture in Reconstructed Building - Part II 65</p> <p>Milická, I. – Valenta, R. – Dlask, P. – Šejnoha, J. KSIM - Effective Tool for Integrated Design and Project Management – Part II 69</p> <p>Hodas, S. Model Processing of Geodetic Measurements of Turnout Layout Connections to Track 74</p> <p>Míča, L. – Šlezinger, M. Vegetation and Stability of Banks 79</p> <p>Pacina, J. Specification of Boundaries of Elementary Forms of Georelief 83</p> <p>Bajtala, M. – Sokol, Š. Control Measurement of Real Form of Clinker Silo 88</p> <p>Schütze, B. – Hánek, P. Contribution of Surveying to Revitalization of Historical Buildings ... 94</p>	<p>Toman, J. Langzeitbeobachtung der Temperatur und Feuchtigkeit an einem sanierten Gebäude – Teil II 65</p> <p>Milická, I. – Valenta, R. – Dlask, P. – Šejnoha, J. KSIM - ein effektives Instrument für das integrierte Entwerfen und die Projektleitung – Teil II ... 69</p> <p>Hodas, S. Modellauswertung geodätischer Messungen der Kopfanschlüsse in einer Gleisanlage 74</p> <p>Míča, L. – Šlezinger, M. Vegetation und Uferstabilität 79</p> <p>Pacina, J. Definition der Grenzen elementarer Georeliefformen 83</p> <p>Bajtala, M. – Sokol, Š. Problematik der Kontrollmessung der tatsächlichen Form eines Zementklinkersilos 88</p> <p>Schütze, B. – Hánek, P. Der Beitrag der Geodäsie zur Revitalisierung historischer Objekte 94</p>
---	--	--

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. 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 14. 2. 2008 Nevýžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

Dlouhodobé sledování teploty a vlhkosti na rekonstruované budově – část II

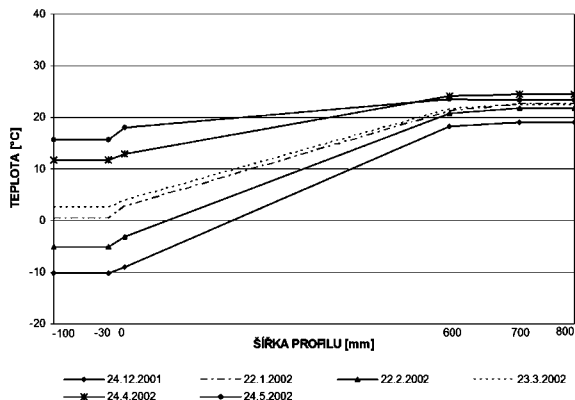
prof. Mgr. Jan TOMAN, DrSc.
 ČVUT – Fakulta stavební
 Praha

V tomto pokračování článku [8] je ukázán spád teplot a vlhkosti a zpracování naměřených údajů v jednotlivých profilech obvodového pláště [4], [5]. Dále je uvedena podrobná diskuze výsledků měření a hodnocení provedené práce.

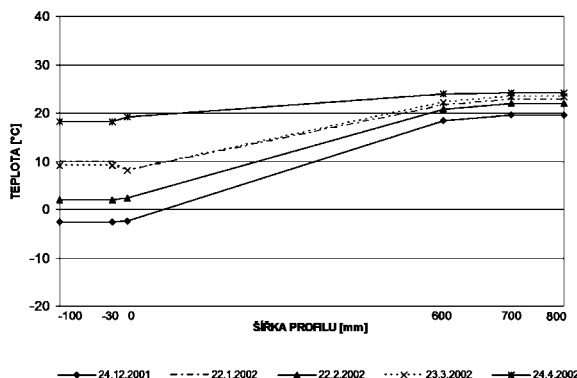
Zpracování dat

Další možností znázornění naměřených údajů je zobrazení sledovaných parametrů ve stejném čase v jednotlivých profilech. Na ose x je v grafech šířka profilu. Kótou 0 je vždy značen vnější povrch zdi. Záporné kóty jsou v exteriéru. V grafech před rekonstrukcí je kóta 600 vnitřní povrch zdi, a dále pak interiér. Po rekonstrukci je na kótě 600 retardér (cca 10 mm), dále izolační minerální vlna s hydrofilní a povrchovou úpravou a na kótě 700 je vnitřní povrch stěny a pokračuje interiér. Do jednoho grafu je potom možné vynést hodnoty křivek znázorňujících spád teplot či vlhkosti naměřených v daném profilu v různých časech. S těmito údaji je potom možné vzájemným porovnáním pracovat, a získat tak další poznatky o teplotních a vlhkostních podmínkách v budově před rekonstrukcí a po jejím provedení.

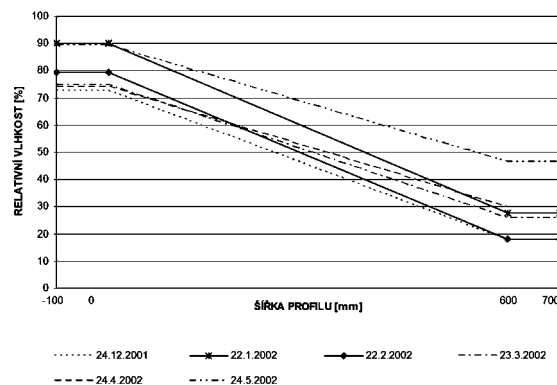
V grafech č. 21–32 jsou vyneseny spády teplot a vlhkosti v jednotlivých profilech ve vybraných dnech v 6 h (teplotní minima) a 15 h (maxima) před rekonstrukcí. Pro ilustraci jsou opět uvedeny pouze obr. 7 až obr. 10 se spádem teplot a vlhkosti pouze ve východním profilu. Další grafy č. 33–38



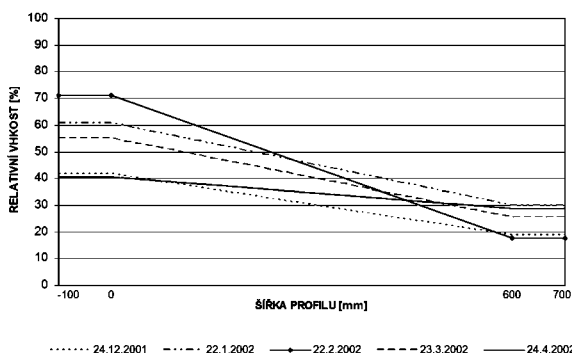
Obr. 7. Teplotní profily – 1. NP, východ, 6:00 h (graf č. 21)



Obr. 8. Teplotní profily – 1. NP, východ, 15:00 h (graf č. 22)

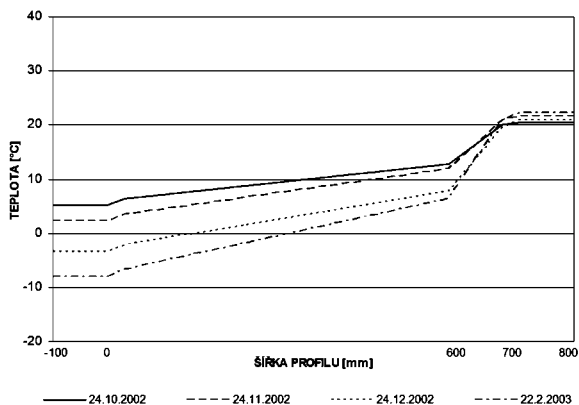


Obr. 9. Vlhkostní profily – 1. NP, východ, 6:00 h (graf č. 27)

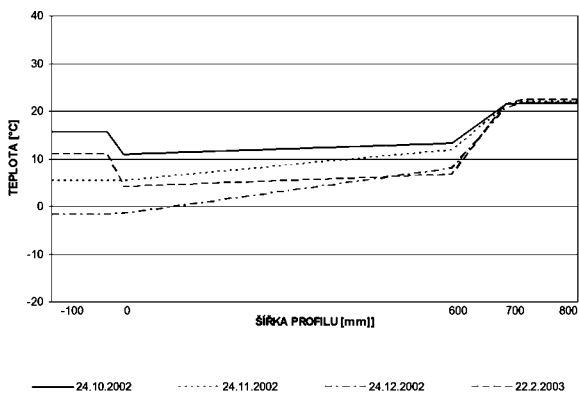


Obr. 10. Vlhkostní profily – 1. NP, východ, 15:00 h (graf č. 28)

(obr. 11, obr. 12) ukazují podobné zpracování teplotních spádů v jednotlivých profilech v první topné sezóně po rekonstrukci. Je nutné připomenout, že byl rozšířen počet čidel tím, že nové senzory byly umístěny na vnitřní povrch zdi na retardér pod nově osazenou izolaci. (Ve východním profilu teplotní i vlhkostní, v jižním pouze vlhkostní a v západním pouze teplotní – to bylo limitováno vstupy na ústřednách.) Vnitřní teplota povrchu je tedy na povrchové úpravě izolace.

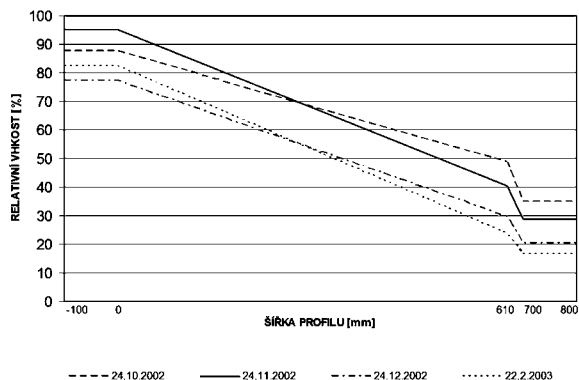


Obr. 11. Teplotní profily – 1. NP, východ, 6:00 h (graf č. 33)

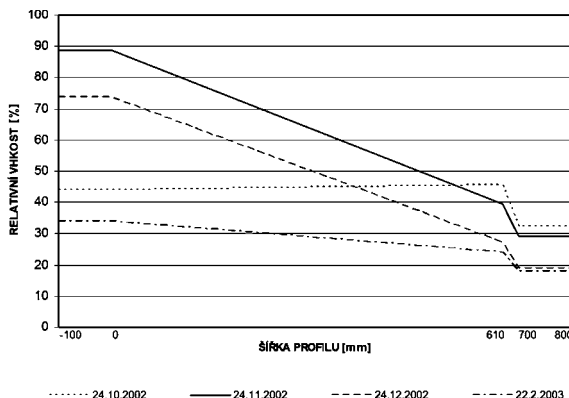


Obr. 12. Teplotní profily – 1. NP, východ, 15:00 h (graf č. 34)

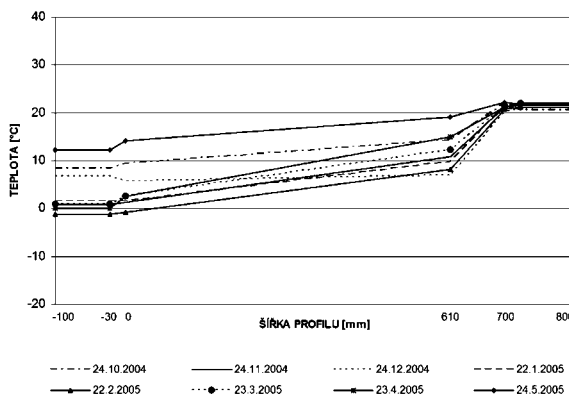
Vlhkostní profily na dalších grafech (obr. 13, obr. 14) jsou zajímavé hlavně tím, že je na nich vidět průběh relativní vlhkosti vzduchu uvnitř minerální vlny na retardéru pod izolací. Aby bylo možné posoudit trvalé účinky zlepšení teplotních i vlhkostních poměrů v konstrukci, jsou vyneseny v dalších grafech (obr. 15 až obr. 18) spády teplot a vlhkosti v jed-



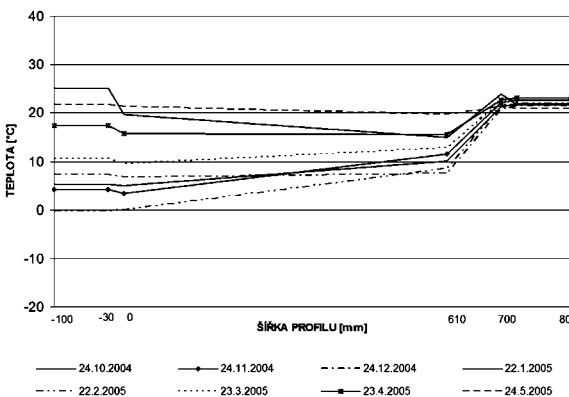
Obr. 13. Vlhkostní profily – 1. NP, východ, 6:00 h (graf č. 39)



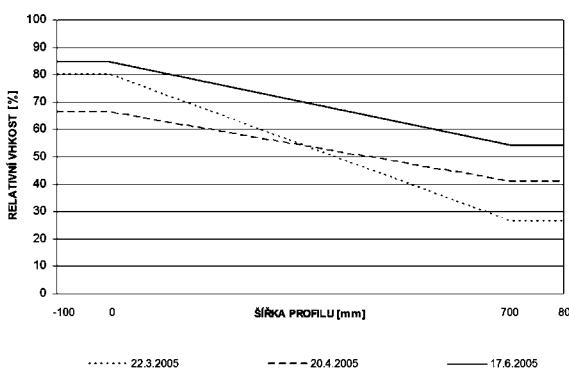
Obr. 14. Vlhkostní profily – 1. NP, východ, 15:00 h (graf č. 40)



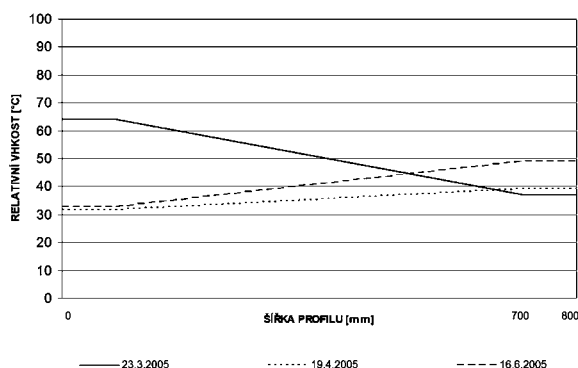
Obr. 15. Teplotní profily – 1. NP, východ, 6:00 h (graf č. 45)



Obr. 16. Teplotní profily – 1. NP, východ, 15:00 h (graf č. 46)



Obr. 17. Vlhkostní profil – 2. NP, západ, 6:00 h (graf č. 55)



Obr. 18. Vlhkostní profil – 2. NP, západ 15:00 h (graf č. 56)

notlivých profilech v topné sezóně 2004–2005, což byla již třetí sezóna po rekonstrukci. Dlouhodobé sledování probíhalo ještě další rok. Klimatické podmínky v zimě 2005–2006 však byly nezvykle teplejší, nebyl tedy nalezen den klimaticky srovnatelný s údaji před rekonstrukcí. Obdobně v sezóně 2006–2007. Hodnoty naměřené v těchto dvou zimách byly pochopitelně velice příznivé. Proto pro porovnání byly použity údaje ze sezóny 2004–2005, kdy byla zima tužší.

Diskuze výsledků

Teplotní a vlhkostní profily před rekonstrukcí

Jak již bylo zmíněno, další možností znázornění naměřených údajů je jejich zobrazení ve stejném čase v jednotlivých profilech. Na osu x je v určitém poměru k tloušťce stěny vynesena vzdálenost polohy jednotlivých čidel teplot či vlhkosti. Údaj z vnějšího a vnitřního čidla byl opakovan ještě ve větší vzdálenosti od povrchu stěny. Tím byla dána možnost zobrazit vodorovnou čarou údaje vnitřní či venkovní teploty a relativní vlhkosti vzduchu. Na ose y jsou potom vyneseny v jednotlivých místech hodnoty teploty či vlhkosti. Do jednoho grafu je potom možné vynést hodnoty křivek znázorňujících spád teplot či vlhkosti naměřených v daném profilu v různých časech. S těmito údaji je potom možné vzájemným porovnáváním pracovat, a tak získat další poznatky o teplotním a vlhkostním stavu v jednotlivých profilech obvodového pláště či porovnat podmínky v konkrétním profilu před rekonstrukcí a po ní.

V předchozím textu jsou vyneseny spády teplot a vlhkosti v jednotlivých profilech ve vybraných časech pro maxima a minima před rekonstrukcí. Například na základě porovnání grafů č. 21 a 22 pro maxima a minima teplot ve východní stěně je možné konstatovat, že při zachování vnitřní teploty se nemění ani teplota vnitřního povrchu zdi, která je však vždy nižší asi o 2 °C. Ve sledovaných dnech byly rozdíly vnější teploty mezi maximem a minimem o 5 až 10 °C. Vnější povrch zdi však mezi maximem a minimem vykazoval rozdíl podstatně menší. Při minimech byl povrch logicky teplejší než vnější vzduch. Při denních maximech se však tento rozdíl podstatně zmenšil, v některých případech byl povrch dokonce chladnější. To je zřejmě způsobeno poměrně velkou tepelnou kapacitou cihelné zdi a její teplotní setrvačností. Z toho ovšem také vyplývá, že v těchto časech je tepelný proud obrácený, tj. že tepelná energie proudí z vnějšku do konstrukce a energie dodávaná topnou soustavou je v těchto časech kumulována pouze zdívem.

Podobné závěry plynou i z porovnání dvojic grafů č. 23, 24 a č. 25, 26 pro profily v jižní a západní stěně. Porovnáním maxima a minima v jednotlivých profilech (grafy

č. 21, 23, 25 a č. 22, 24, 26) zjistíme, že podle předpokladu se nejvíce ohřívá jižní stěna. Zajímavé je i zjištění, že byla naměřena minimální vnější teplota prakticky stejná ve všech profilech. To vypovídá o tom, že např. vítr či jiné vlivy spojené s orientací na světové strany jsou tady malé.

Na grafech č. 27–32 je zaznamenána pouze vnější a vnitřní maximální a minimální relativní vlhkost vzduchu v jednotlivých profilech. Vnější maxima v rozmezí 70–95 (100) % byla očekávána. Vnější minima pochopitelně pak byla s ohledem na nárůst teplot nižší (tj. 40–70 %). Zajímavé bylo zjištění, že vnitřní vlhkost dosti závisí na vlhkosti vnější. Naměřené hodnoty 15–40 % jsou závislé na vnější vlhkosti a rozdíl mezi maximem a minimem není velký (to plyne z toho, že teplota vnitřku se takřka nemění). Menší minimální vnitřní vlhkosti na profilu jižní stěny (pouze 10–15 %) proti východnímu a západnímu profilu (15–35 %) je možné vysvětlit tím, že čidlo vlhkosti u jižní stěny – proti východní a západní – bylo umístěno výše, tedy na vyšší teplotě a vzdálené od květinové výzdoby.

Teplotní profily po rekonstrukci

Podobným rozborům je možné podrobit i grafy se spády teploty v jednotlivých profilech v první topné sezóně po rekonstrukci. Tady ovšem je navíc uváděn i údaj teploty mezi cihelnou zdí a dodatečnou izolací z minerální vlny (kromě jižního profilu). Soustředíme se tedy hlavně na sledování poznatků ukazujících kvalitu izolační schopnosti obvodového pláště po rekonstrukci spád teploty mezi vnějším povrchem, teplotou uvnitř stěny (mezi cihelnou zdí a minerální vlnou) a teplotou vnitřního povrchu stěny. Je vidět, že při rozdílu teploty povrchů stěny cca 20 °C je spád na izolaci zhruba 12 °C a na vlastní cihelné zdi asi 8 °C. Z toho plyne, že při předpokládaném konstantním tepelném toku se dodatečnou izolací tepelný odpor stěny zvětšil o více než o 100 %. Tím se tepelné ztráty zmenšily na méně než polovinu, a tím se také zhruba na polovinu snížily náklady na vytápění.

Vlhkostní profily po rekonstrukci

Největší potíže při realizaci dodatečné tepelné izolace zevnitř – na vnitřním povrchu obvodového pláště – jsou spojeny z vlhkostí a kondenzací vodních par uvnitř konstrukce. To potom dává vhodné podmínky pro růst plísní a umožňuje nežadoucí degradační jevy. Proto byla v našem systému pro tepelnou izolaci použita hygrosifilní minerální vlna, která umožní rychlý pohyb vlhkosti, a tím její rychlý výpar z konstrukce stěny do okolního prostředí. Pro monitorování relativní vlhkosti vzduchu uvnitř izolace byla čidla firmy Comet umístěna do izolace v jednotlivém profilu tak, že snímala relativní vlhkost vzduchu u retardéru v místě kontaktu izolační desky s cihelnou stěnou. Jak je vidět na grafech č. 39–41, relativní vlhkost v tomto místě byla vždy mezi 30–50 %. Při studování dlouhodobých záznamů po dobu pěti let nikde, ani v nejnepríznivějších podmínkách, nepřesáhla relativní vlhkost vzduchu uvnitř stěny 85 %. Tím je dostatečně prokázána dobrá funkce hygrosifilní izolace, protože nikde v konstrukci tak nevznikaly podmínky pro kondenzaci vodních par.

Teplotní a vlhkostní profily tři roky po rekonstrukci

Pro důkaz funkčnosti izolace v delším období byl zvolen postup podobný tomu, který byl použit pro monitorování v první topné sezóně po rekonstrukci (rok 2002–2003). Z jednotlivých grafů je vidět, že vliv dodatečné izolace po delší době od rekonstrukce je ještě významnější, než byl pozorován v první topné sezóně. To je prokázáno zjištěním ještě většího spádu teplot při konstantním toku na dodatečné izo-

laci než na cihelném zdivu. V průměru lze konstatovat, že tento přínos je asi 60–70 %. To znamená, že tepelné ztráty proti stavu před rekonstrukcí klesly zhruba na třetinu. A ekonomická úspora ve vytápění je ještě výraznější. I grafy znázorňující profily vlhkosti ukazují na dobré vlhkostní podmínky uvnitř stěny. Relativní vlhkost nikde nepřekročila 50 %.

Dobrá stav budovy je možné zjistit i vizuální prohlídkou. Kromě malých trhlin u fabionu pod stropem místnosti (které mohly být i technologického původu) nevykázala žádné změny. Vylepšení izolačních vlastností proti stavu v brzké době po rekonstrukci je možné vysvětlit „vyzráním“ a „usažením“ stavební úpravy pořizované ve vlhkém procesu.

Závěr

Monitorování objektu bylo sice časově náročné, ale množství získaných dat o teplotních a vlhkostních podmínkách poskytl velké možnosti pro jejich zpracování, které zde nejsou zdaleka vyčerpány. Důležité je, že jsou k dispozici data před rekonstrukcí a velký soubor dat po jejím provedení. Porovnání vypovídá o její účelnosti a ekonomickém i ekologickém dopadu. Na základě získaných poznatků a provedených diskuzí je možné prohlásit použitý systém dodatečných tepelných izolací za vhodný a úspěšný. Doporučení normy [1] bylo vyhověno. V neposlední řadě je shro-

mážděná data možné využít jako podklad pro charakteristiku meteorologických údajů.

Článek vznikl za podpory výzkumného záměru MŠMT č. MSM 6870770031 ČR.

Literatura

- [1] ČSN 73 05-40-2 Tepelná ochrana budov. ČSNi, 2005.
- [2] COMET SYSTÉM: Měřicí, záznamová a řídicí ústředna MS3+. Návod k použití.
- [3] BAU PLUS: Rekonstrukce mateřské školky Hlubočepy–Praž 5. Projekt a dokumentace.
- [4] Toman, J. – Semerák, P.: Fyzika 10 – Laboratorní cvičení. ČVUT Praha, 2001.
- [5] Brož, J. a kol.: Základy fyzikálních měření. Praha, SPN 1974.
- [6] Černý, R. – Mađera, J. – Grunevald J.: Numerical Simulation of Heat and Moisture Transport in Building Envelopes with Inside Thermal Insulation Systems on the Mineral Wool Basic. In: International Conference on Building Envelope Systems and Technologies (ICBEST – 2001). Ottawa: NRC-CNRC, 2001, pp. 251–255.
- [7] Grunewald, J.: DELPHIN 4.1 – Documentation, Theoretical Fundamentals. TU Dresden, Dresden, 2000.
- [8] Toman, J.: Dlouhodobé sledování teploty a vlhkosti na rekonstruované budově - část I. Stavební obzor, 17, 2008, č. 2, s. 50–54.

Toman, J.: Long-Term Monitoring of Temperature and Moisture in Reconstructed Building - Part II

The continued article [8] shows the gradient of temperature, moisture and processing of the collected data in individual profiles of the external cladding [4], [5]. Further, the article presents a detailed discussion of the measurement's outcomes and an assessment of the project conducted.

Toman, J.: Langzeitbeobachtung der Temperatur und Feuchtigkeit an einem sanierten Gebäude – Teil II

In Fortsetzung des Artikels [8] werden das Temperatur- und Feuchtigkeitsgefälle sowie die Verarbeitung der gemessenen Angaben in einzelnen Profilen der Außenwand gezeigt [4], [5]. Des Weiteren werden eine ausführliche Diskussion der Messergebnisse und eine Auswertung der durchgeführten Arbeit angeführt.

• literatura



Hošek, J. – Losos, L.
Historické omítky
Průzkum, sanace, typologie

Grada, Praha, 2007, 168 s., cena 279 Kč
ISBN:978-80-247-1395-3

Vhodné provedení omítek při rekonstrukcích je nutným předpokladem pro uchování autentické podoby historických staveb. Autoři popisují výtvarný a technologický vývoj omítek od počátku dějin stavitelství až po začátek dvacátého století. Podrobně jsou rozebrány jednotlivé materiály pro omítky, způsob jejich využití v různých historických obdobích. Hlavní část knihy je věnována průzkumům, opravám, sanacím a obnovám omítek tradičními i moderními postupy a metodami s možností uplatnění nových typů materiálů na historických budovách. Součástí knihy je bohatá obrazová dokumentace v podobě barevných i černobílých fotografií a náčrtů. Publikaci ocení památkáři, architekti i stavební firmy, které se podílejí na opravách a rekonstrukcích památek i ostatních historických staveb.

Stavební obzor na CD

Ročníky

2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007
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
+ DPH

Objednávky

Ing. Milan Gattringer, MG DTP, Borovanská 3388,
143 00 Praha 4, tel./fax: 241 770 220
e-mail: mgdtp@volny.cz

KSIM – efektivní nástroj pro integrované navrhování a projektové řízení – část II

Model s náhodnými prvky

Ing. Iva MILICKÁ
Ing. Richard VALENTA
doc. Ing. Petr DLASK, Ph.D.
prof. Ing. Jiří ŠEJNOHA, DrSc.
ČVUT – Fakulta stavební
Praha

Článek se zabývá počítačovou predikcí vývojových trendů u procesů, které souvisejí s integrovaným navrhováním stavebních konstrukcí. Navazuje na část zaměřenou na neurčitosti (vágnosti) oceňování součinitelů binárních interakcí mezi prvky modelu KSIM. V této části jsou tyto součinitele náhodnými proměnnými. Úloha je řešena simulační metodou LHS. Postup řešení je ilustrován příkladem.

Úvod

Při sledování vývojových trendů v procesech technicko-ekonomických, environmentálních a sociálně kulturních se osvědčil Kaneův simulační model (KSIM), který jsme popsali v první části článku [1]. Základním problémem modelu je predikce hodnot součinitelů binárních interakcí mezi jednotlivými prvky systému. Jde o to, že predikce jsou zatíženy nejistotami, které lze obecně rozdělit na neurčitosti (vágnosti) a náhodnosti. Nejistoty prvního druhu vedou k uplatnění principu min-max konvoluce s fuzzy čísly. Předností takového postupu je jednoduchost operací, nevýhodou potřeba zkušenosti při vyjádření funkcí příslušnosti pro součinitele interakce. V tomto pokračování je důraz kladen na náhodný charakter modelu a všechny veličiny (součinitele interakce i neznámé standardy x_i) jsou vnímány jako náhodné proměnné či náhodné funkce. O součinitelích interakce budeme předpokládat, že mají buď normální rozdělení, specifikované středními hodnotami $E(a_{ij}) = \mu_{ij}$ a směrodatnými odchylkami $\sigma_{a_{ij}} = \sigma_{ij}$, nebo tříparametrické lognormální rozdělení s parametry μ_{ij} , σ_{ij} a šikmostí α_{ij} . Pro sledování náhodné odezvy systému lze použít některou z modifikací metody Monte Carlo nebo úpravu označovanou jako LHS. V obou případech lze vzít v úvahu i případnou statistickou závislost mezi vybranými binárními interakcemi a vyjádřit ji alespoň korelační maticí, pokud není k dispozici výstižnější informace, např. hustota sdruženého rozdělení.

Pravděpodobnostní přístup vybízí ke stanovení mezí pro sledované standardy, jejichž nedosažení (popř. překročení) je indikátorem selhání systému. Jde tedy o vymezení podmínek spolehlivosti. Přiřadíme-li k pravděpodobnosti nedosažení (popř. překročení) těchto mezí finanční prostředky, které je třeba vynaložit na zajištění spolehlivosti, dostáváme se k vyhodnocení rizika a jeho vývoje v čase.

Postup řešení ukážeme na stejném modelu jako v [1], tedy na segmentu I města Příbram sledujícího vývoj finančních zdrojů.

Simulace LHS

Podrobné vysvětlení postupu simulace metodou LHS přesahuje rámec tohoto pojednání. Nastíníme pouze základní myšlenku řešení při aplikaci nejjednodušší verze této metody. Připomeňme, že Kaneův model je popsán soustavou diferenciálních rovnic prvního řádu ve tvaru

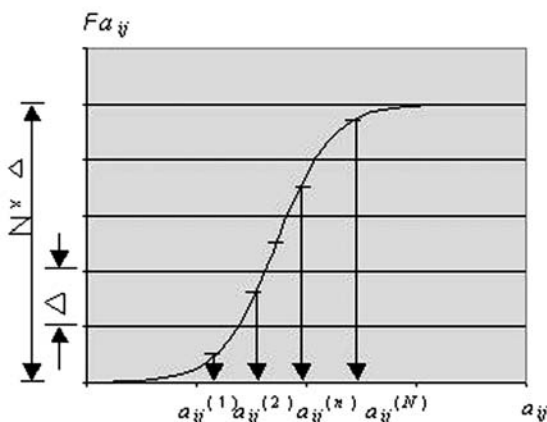
$$\frac{dx_i}{dt} = -(a_{ij}x_j)x_i \ln x_i, \quad i = 1, 2, \dots, I. \quad (1)$$

Předpokládáme, že máme k dispozici vhodný algoritmus, který umožňuje stanovit funkční hodnoty jednotlivých neznámých x_i (standardů) v čase t_r pomocí jejich hodnot v čase t_{r-1} ve tvaru (srov. [1], vzorec (4))

$$x_i(t_r) = [x_i(t_{r-1})]^{\Phi_i(t_{r-1})}, \quad (2)$$

kde exponent $\Phi_i(t_{r-1}) = \Phi_i(a_{ij}, x_j(t_{r-1}), \Delta t)$ je dán funkčními hodnotami součinitelů interakce a_{ij} a standardů x_j v čase t_{r-1} , popř. v časech předchozích, jakož i délkou integračního kroku Δt . Podrobnosti jsou uvedeny v [1]. Dále připustíme, že rozdělení náhodných proměnných a_{ij} je na čase nezávislé a že pro všechna a_{ij} známe jejich distribuční funkce

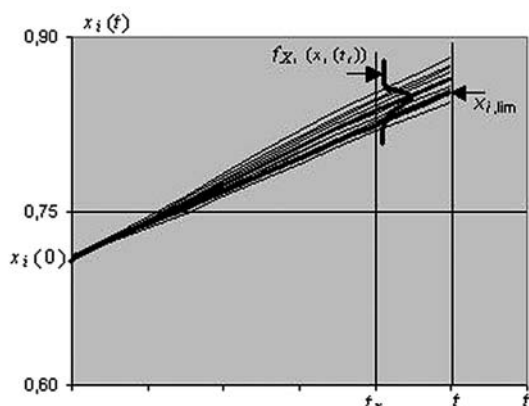
Z obrázku 1 je vidět, jak lze ke středům intervalů na distribuční křivce přiřadit konkrétní realizace $a_{ij}^{(n)}$, $n = 1, \dots, N$. Obdobně lze vytvořit konkrétní realizace u ostatních součinitelů interakce, jejichž distribuční funkce jsou obecně odlišné. Pro každý součinitel tak máme N hodnot, které náhodně vybereme pro N běhů řešení (2). Aby byl výběr skutečně náhodný, je třeba v každém souboru $a_{ij}^{(1)}, a_{ij}^{(2)}, \dots, a_{ij}^{(N)}$ nejprve provést N náhodných permutací (náhodné prohození pořadí). Pokud je mezi součiniteli interakce, např. a_{ij} a a_{kl} ,



Obr. 1. Distribuční funkce rozdělení

statistická závislost, jsou náhodné permutace modifikovány s přihlédnutím ke korelační matici. Podrobný postup výběru prvků pro jednotlivé běhy 1, ..., N navrhli Conover a Iman [2]. Jejich postup zapracoval J. Novák do programu SPERM [3]. Při řešení pak vybereme všechny hodnoty součinitelů a_{ij} , $i, j = 1, \dots, I$, zařazené programem SPERM do prvního běhu, a pomocí (2) určíme průběh všech proměnných x_i , $i = 1, \dots, I$, přesněji jejich funkční hodnoty v časech ($r = 1, \dots, R$). Výpočet pak opakujeme ve všech dalších ($N - 1$) bězích. Po ukončení simulace LHS stanovíme v jednotlivých časech základní statistické parametry výstupního souboru, tj. střední hodnoty $\mu_{x_i}(t)$, směrodatné odchylky $\sigma_{x_i}(t)$ a šikmosti $\alpha_{x_i}(t)$. Tyto parametry se obecně v čase mění. Poznamenejme, že tento problém lze efektivně řešit programem FREET [4].

Rozdělení jednotlivých standardů pak můžeme vyjádřit buď histogramem, nebo vhodným parametrickým rozdělením. Na obrázku 2 je schematicky načrtnut očekávaný výsledek simulace pro proměnnou $x_i(t)$ a hustota rozdělení standardu x_i v čase t_r . Křivka $x_{i, \text{lim}}$ vyznačuje hranici spolehlivosti, pod níž by standard x_i neměl klesnout.

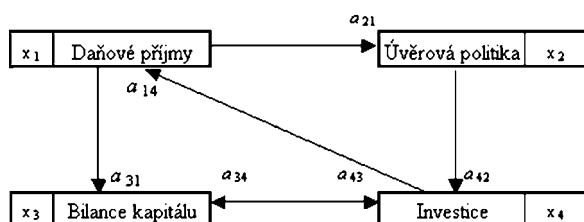


Obr. 2. Schéma simulace LHS a výpočtu hustoty rozdělení

Pro určitost budeme předpokládat podobně jako v první části článku, že počáteční hodnoty standardů jsou známy a náhodný je pouze jejich další vývoj.

Příklad aplikace modelu s náhodnými interakcemi

V souladu s první částí budeme sledovat vývoj finančních zdrojů na segmentu I (obr. 3) komplexního modelu města Příbram.



Obr. 3. Segment I modelu města Příbram

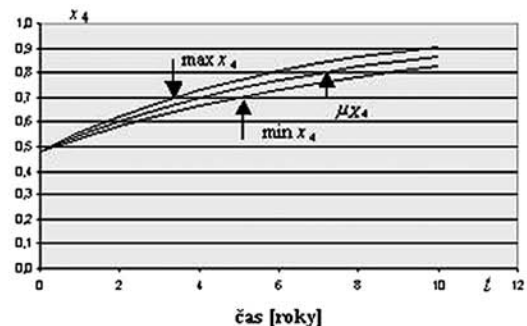
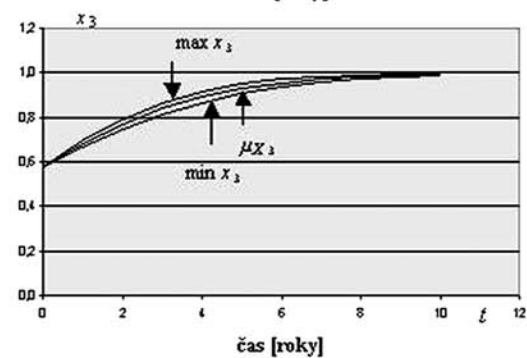
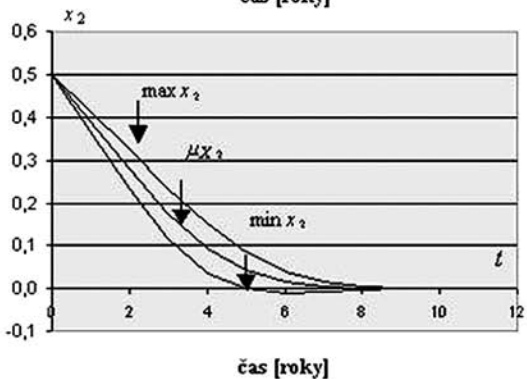
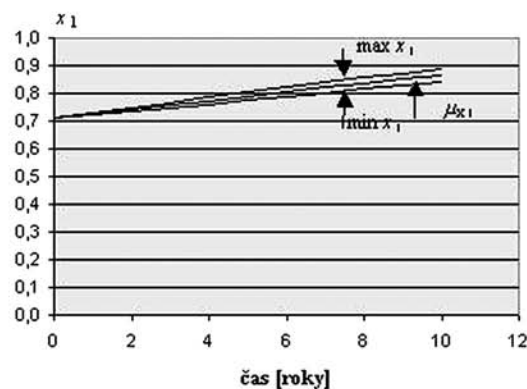
Pro jednoduchost předpokládáme, že všechny nenulové interakce mají normální rozdělení s parametry uvedenými v tab. 1. Směrodatné odchylky byly přiřazeny k pětiprocentním kvantilům, za něž byly vzaty hodnoty nenulových prvků matic A_{min} resp. A_{max} z příkladu v příspěvku [1].

Tabulka 1

Interakce	a_{14}	a_{21}	a_{31}	a_{34}	a_{42}	a_{43}
m_{ij}	0,12	-0,42	0,22	0,38	0,2	0,16
s_{ij}	0,016	0,056	0,029	0,051	0,027	0,021

Při řešení tohoto problému bylo zvoleno sto běhů, tj. $N = 100$ a $\Delta = 1/100$ (obr. 1). Průběhy standardů v čase, vypočtené ze vztahu (2) při aplikaci lineární aproximace mezi intervaly, jsou vykresleny v obr. 4. Ze souboru sta křivek (srov. s obr. 2) jsou vybrány pouze průběhy středních hodnot $\mu_{x_i}(t)$ a průběhy krajních mezí, $\min x_i(t)$ a $\max x_i(t)$, jakožto pětiprocentních kvantilů získaných za předpokladu normálního rozdělení.

Tak jako je při fuzzy výpočtu důležitým ukazatelem vývoj funkce příslušnosti standardů v čase, tak je v pravděpodobnostním výpočtu ukazatelem vývoj hustot jejich rozdělení.



Obr. 4. Průběh středních a krajních hodnot ze simulace LHS

Pro ukázkou jsme vybrali dva časové údaje: $t_3 = 3$ roky a $t_{10} = 10$ roků.

Na obrázku 5 jsou tenkou čarou vykresleny průběhy rozdělení získané z histogramů četnosti (vydělením četnosti šířkou třídy). Je zřejmé, že takto získaná rozdělení lze orientačně aproximovat lognormálním rozdělením s parametry $\mu_x, \sigma_x, \alpha_x$ ve tvaru [5], [6]

$$f(x) = \frac{1}{|x-x_0|\sqrt{\ln(1+c^2)}\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\left(\frac{\ln\left|\frac{x-x_0}{\sigma_x}\right|\sqrt{1+c^2}}{\sigma_x}\right)^2\right\} / \left(2 \ln(1+c^2)\right), \quad (3)$$

kde

$$c = \left(\sqrt{\left(\frac{\alpha_x}{2}\right)^2 + 1} + \frac{\alpha_x}{2}\right)^{1/3} - \left(\sqrt{\left(\frac{\alpha_x}{2}\right)^2 + 1} - \frac{\alpha_x}{2}\right)^{1/3}, \quad (4)$$

$$x_0 = \mu_x - \frac{1}{c} \sigma_x. \quad (5)$$

Normální rozdělení použité k odhadu krajních mezí v obr. 4 se hodí jen pro některé standardy, a to jen v určitých časových úsecích. Výběrové střední hodnoty, směrodatné odchylky a šikmosti jsou pro tyto případy uvedeny v tab. 2.

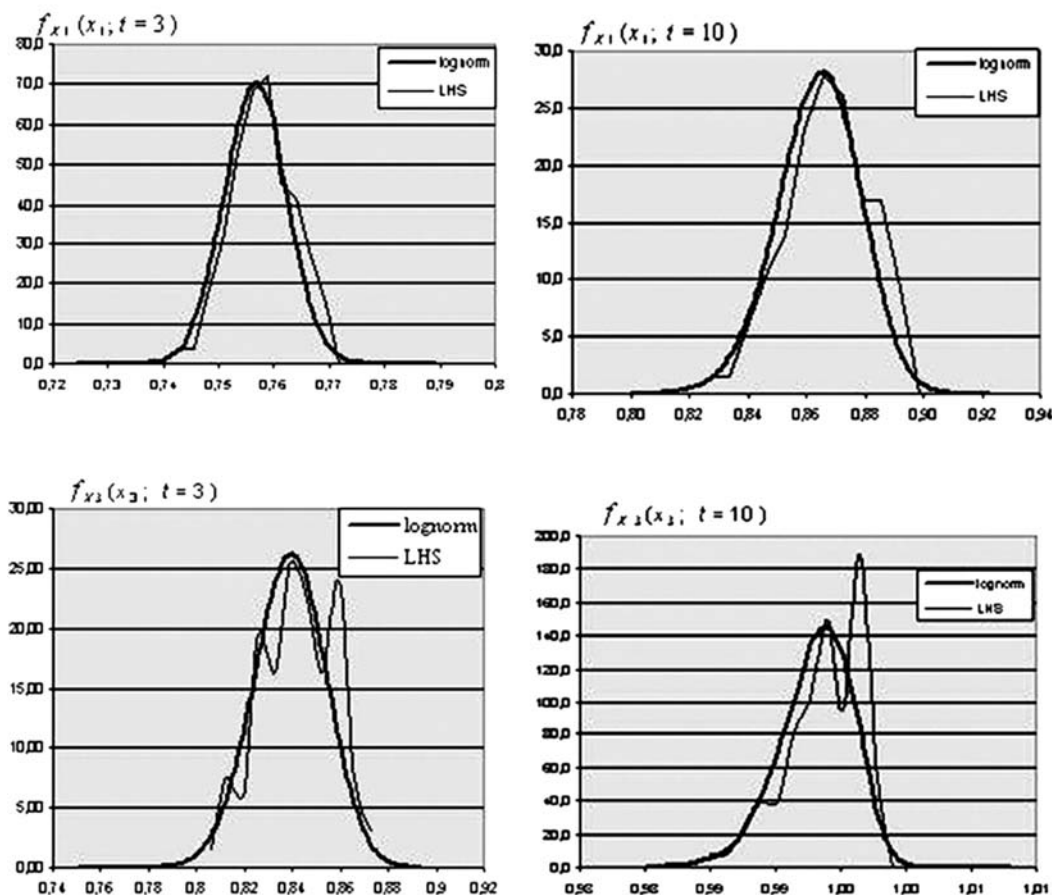
Tab. 2

Hodnota	$t = 3$ roky	$t = 10$ roků
μ_{x1}	0,7570000	0,8640000
σ_{x1}	0,0056630	0,0142728
α_{x1}	-0,0319700	-0,2344200
μ_{x3}	0,8390000	0,9930000
σ_{x3}	0,0152107	0,0028580
α_{x3}	-0,1043600	-0,7253200

Až dosud jsme považovali interakce z tab. 1 za statisticky nezávislé. Pro určitost připustíme korelaci mezi dvěma prvky, a to a_{21} a a_{31} . Studijní výpočet je proveden ve dvou variantách, s kladnou a zápornou korelací. Korelační matice má v uspořádání prvků podle tab. 1 tvar

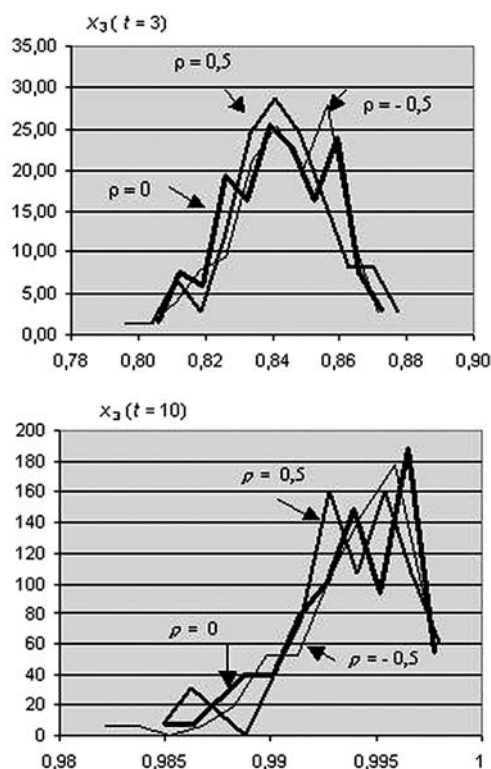
$$R = \begin{bmatrix} a_{14} & a_{21} & a_{31} & a_{34} & a_{42} & a_{43} \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \pm 0,5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \pm 0,5 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} a_{14} \\ a_{21} \\ a_{31} \\ a_{34} \\ a_{42} \\ a_{43} \end{matrix}$$

Dopad statistické závislosti na rozdělení standardů je ukázán na příkladu x_3 . Na obrázku 6 jsou porovnány vypočtené



Obr. 5. Porovnání rozdělení z LHS s lognormální aproximací

hustoty rozdělení za předpokladu statistické nezávislosti interakcí s průběhy ovlivněnými kladnou a zápornou korelací. Je zde dobře patrný dopad obou typů korelace na rozdělení standardu x_3 . Průběhy rozdělení z obr. 5 i obr. 6 jsou však nepochybně ovlivněny počtem běhů ($N = 100$). Ten se v tomto konkrétním výpočtu zdá být dostatečný, pokud se rozdělení standardu x_i blíží normálnímu. U rozdělení s nezávislejší šikmostí by bylo vhodné počet běhů rozšířit.



Obr. 6. Vliv korelace mezi interakcemi na rozdělení standardu x_3 v časech t_3 a t_{10}

Spolehlivost systému

Máme-li hodnotit spolehlivost systému, musíme stanovit meze pro jednotlivé standardy a pomocí nich spolehlivost anebo poruchu systému definovat. Na obrázku 2 je načrtnuta mez $x_{i,\text{lim}}$ pro požadovaný růst standardu x_i (např. x_1, x_3, x_4). Podobně by bylo možné vymezit $x_{j,\text{lim}}$ pro požadovaný pokles standardu x_j (např. x_2).

Předpokládejme, že náhodná funkce $X_i = X_i(t)$ je součtem nenáhodné funkce času $\langle x_i \rangle = \langle x_i(t) \rangle$ a náhodné proměnné X_i^* na čase nezávislé, tj.

$$X_i(t) = \langle x_i(t) \rangle + X_i^* \quad (6)$$

Pravděpodobnost, že během životnosti systému dojde k jeho selhání výlučně v důsledku *nedostatečného* růstu standardu X_i , vypočteme ze vztahu

$$P_r \{X_i \leq x_{i,\text{lim}}\} = \int_0^T F_{X_i} \{x_{i,\text{lim}}(t) - \langle x_i(t) \rangle\} dt \quad (7)$$

Analogicky vyjádříme *nedostatečný* pokles standardu X_j pravděpodobností selhání

$$P_r \{X_j \geq x_{j,\text{lim}}\} = \int_0^T [1 - F_{X_j} \{x_{j,\text{lim}}(t) - \langle x_j(t) \rangle\}] dt \quad (8)$$

Ve vzorcích (7) a (8) jsou F_{X_i} a F_{X_j} distribuční funkce rozdělení náhodných proměnných X_i a X_j .

Obecně je třeba definovat selhání systému jako celku. Budeme-li za selhání systému považovat selhání kteréhokoli prvku, potom pravděpodobnost selhání (failure)

$$P_f = P_r \left\{ \underbrace{X_1 < x_{1,\text{lim}} \cup \dots \cup X_i < x_{i,\text{lim}} \cup \dots}_{\text{rostoucí trendy}} \cup \underbrace{\dots \cup X_j > x_{j,\text{lim}} \cup \dots}_{\text{klesající trendy}} \right\} \quad (9)$$

Analytické vyjádření této podmínky již není triviální. Navíc, jak bylo ukázáno na obr. 5 a obr. 6, charakter rozdělení pravděpodobnosti se v čase mění, takže předpoklad (6) nelze spolehlivě přijmout. Zbývá tedy sledovat počet nedosažení (resp. překročení) stanoveného limitu v jednotlivých bĕzích LHS, a to ve všech diskrétních časech $t_r, r = 1, \dots, R$. Selhání zaznamenáme, je-li limit prolomen alespoň u jednoho standardu (prolomení u několika standardů současně se započítá jen jednou). Pravděpodobnost selhání pak vypočteme ze vztahu

$$P_f = \frac{\sum_{r=1}^R N_{fr}}{N} \frac{\Delta t}{T}, \quad \Delta t = t_r - t_{r-1}, \quad (10)$$

kde N_{fr} je počet selhání systému v čase t_r , N je počet všech simulací v jednotlivých časech t_r (zde $N = 100$) a $\Delta t/T$ je pravděpodobnost, že k selhání dochází právě v diskrétním čase t_r .

Pro ilustraci výpočtu jsme za limitní funkce zvolili sigmoidy

$$x_{i,\text{lim}} = \frac{\mu_{X_i}(0)}{\mu_{X_i}(0)(1 - e^{-a_i t}) + e^{-a_i t}} \quad (11)$$

s parametry $a_1 = 0,08, a_2 = -0,55, a_3 = 0,4, a_4 = 0,1$.

V tomto konkrétním případě lze vzorec (10) rozepsat

$$P_f = \frac{1}{100} (99 + 96 + 87 + 64 + 46 + 34 + 25 + 20 + 18 + 14) \frac{1}{10} = 0,503$$

Z poklesu počtu poruch je vidět, že při daných limitních funkcích spolehlivost s časem roste. Vysoký počet selhání v počátečním stadiu (pro 3 až 4 roky) lze přičíst zejména tvrdě nastaveným kritériím spolehlivosti.

Závěr

Obě části stejnojmenného příspěvku byly věnovány sledování vývojových trendů a procesů souvisejících s integrovaným navrhováním konstrukcí. Jako osvědčený nástroj byl zvolen simulační model KSIM. Soustředili jsme se na vystižení nejistot (neurčitostí, resp. vágností, a náhodností), na něž nutně uživatel narazí při oceňování součinitelů binárních interakcí. Ukázali jsme, že vhodným nástrojem pro zvládnutí neurčitostí je záměna operací s reálnými čísly *min-max konvolucí* s fuzzy čísly. Předností metody je jednoduchá algoritmizace výpočtu, nedostatkem nezbytná zkušenost, bez níž se uživatel neobejde při zavedení funkcí příslušnosti, vyjadřujících míru neurčitostí při ocenění interakcí.

Pravděpodobnostní přístup předpokládá náhodné chování systému. Ve spojení s vhodnou simulační metodou je řešení úlohy názorné a při aplikaci metody LHS poměrně rychlé. Metodika umožňuje posoudit spolehlivost systému a kvantifikovat ji jako $Re = 1 - P_f$. S vazbou na finanční prostřed-

ky C , které je třeba vynaložit při selhání systému, lze odhadnout i vývoj rizika v čase (při proměně T)

$$\text{RISK}(T) = P_f(T) C(T). \quad (12)$$

Zjevným nedostatkem pravděpodobnostního přístupu je absence kompletních souborů dat popisujících hustotu rozdělení součinitelů interakce pomocí základních parametrů. V takovém případě nezbývá, než vymezit rozdělení $\alpha/2$ procentním dolním a horním kvantilem a největnější hodnotou neboli modem, popř. oběma kvantily a střední hodnotou. Vymezení intervalu, do něhož padne $(1 - \alpha) \cdot 100\%$ realizací, kvantily připomíná vymezení intervalu neurčitosti funkcí příslušnosti. Proto ani nepřekvapí, že oba přístupy dávají srovnatelné výsledky. Pravděpodobnostní výpočet pak lze chápat jako zpřesnění fuzzy výpočtu.

Příspěvek byl vypracován za podpory projektu 1M 0579 MŠMT v rámci aktivit Výzkumného centra CIDEAS.

Literatura

- [1] Milická, I. – Dlask, P. – Štemberk, P. – Šejnoha, J.: KSIM – efektivní nástroj pro integrované navrhování a projektové řízení – Model s neurčitými prvky. Stavební obzor, 17, 2008, č. 2, s. 45–49. ISSN 1210–4027.
- [2] Iman, L. R. – Conover, W. J.: A Distribution-Free Approach to Including Rank Correlation Among Input Variables, Commun. Statist. – Simula. Computa., Vol. 11, No. 3, pp. 311–334.
- [3] Novák, J. – Kalousková, M.: Dokumentace programu Sperm. Teoretický manuál & Formát vstupního souboru. ČVUT Praha, 2007.
- [4] Novák, D. – Vořechovský, M. – Rusina, R.: Small-Sample Probabilistic Assessment – FREET software. ICASP 9 (eds. Der Kiureghian A., Madanat S. and Pestana J. M.), San Francisco, USA, 2003; 91–96.
- [5] Vorlíček, N. – Holický, M. – Špačková, M.: Pravděpodobnost a matematická statistika pro inženýry. ČVUT Praha, 1984.
- [6] Antoch, J. – Vorlíčková, D.: Vybrané metody statistické analýzy dat. Praha, Academia 1992.

Milická, I. – Valenta, R. – Dlask, P. – Šejnoha, J.: KSIM – Effective Tool for Integrated Design and Project Management – Part II

This paper is aimed at a computer prediction of the evolution trends of processes connected with the integrated design of building structures. It links to the previous part I, focused on uncertainties (vagueness) when evaluating the coefficients of binary interactions between the elements of a KSIM model. In the present paper these coefficients are regarded as random variables. The problem is solved using the LHS method. The procedure is illustrated by an example.

Milická, I. – Valenta, R. – Dlask, P. – Šejnoha, J.: KSIM – ein effektives Instrument für das integrierte Entwerfen und die Projektleitung – Teil II

Der Artikel befasst sich mit der Computerprognose der Entwicklungstrends von Prozessen, die mit dem integrierten Entwurf von Baukonstruktionen zusammenhängen. Der Beitrag knüpft an den vorangehenden Teil I an, der auf Unsicherheiten bei der Bewertung der Koeffizienten binärer Interaktionen zwischen den Elementen des KSIM-Modells ausgerichtet war. In diesem Artikel werden die Koeffizienten als zufällige Veränderliche angesehen. Das Problem wird mittels der LHS-Methode gelöst. Das Verfahren wird an einem Beispiel dargestellt.



Členství ČVUT v mezinárodní platformě pro geotechniku

Katedra geotechniky Fakulty stavební ČVUT je od roku 2002 členem mezinárodní platformy European Large Geotechnical Institutes Platform (ELGIP), která sdružuje přední výzkumné instituce evropských zemí v oblasti geotechniky. Úkolem platformy je iniciace a účast na společných výzkumných projektech v rámci EU, výzkumných programech a výměnách výzkumných pracovníků mezi jednotlivými institucemi. Dlouhodobější vizí je snaha o propojení stavební praxe a výzkumu a podpora výměny zkušeností a nových technologií v geotechnice prostřednictvím Network of Excellence of Geotechnics. Českým zástupcem v platformě je prof. Ing. Ivan Vaníček, DrSc. (vaniceki@fsv.cvut.cz). Od roku 2004 funguje i YELGIP jako podskupina ELGIP a sdružuje mladé výzkumné pracovníky v geotechnice ze všech členských institucí. Obě skupiny se pravidelně dvakrát ročně scházejí ke vzájemným jednáním. Každá skupina má svého prezidenta, kteří se ve funkci střídají. Protože je letošní rok prezidentem YELGIP Ing. Michal Bubeníček (michal.bubenicek@fsv.cvut.cz), bude se podzimní schůzka konat v Praze na ČVUT. Obě skupiny společně pracují na přípravě výzkumných projektů. ELGIP poskytuje poradenskou činnost pro Evropskou komisi a průmyslové podniky v širším kontextu geotechniky, zejména v oblastech rozvoje měst, dopravní infrastruktury, rizikových analýz, ochrany životního prostředí a oblastí souvisejících. Skupina YELGIP již dvakrát uspořádala workshop s cílem podpořit výměnu zkušeností ve výzkumu a nastínit jeho potřeby a trendy. V současné době probíhá výměna pracovníků některých členských institucí.

Modelové vyhodnotenie geodetických meraní napojení zhlaví v koľajisku

Ing. Stanislav HODAS, Ph.D.

ŽU – Stavebná fakulta

Žilina

Článok pojednáva o ucelenej časti vyhodnotenia a analýzy geodetických meraní priestorovej polohy napojení jednotlivých koľají do zhlaví vlastným informačným systémom. Vyhodnotenie je vykonané na základe porovnania skutočného stavu s absolútnou priestorovou polohou koľajiska registrovaného modelu zhlaví v rámci informačného systému tohto koľajiska.

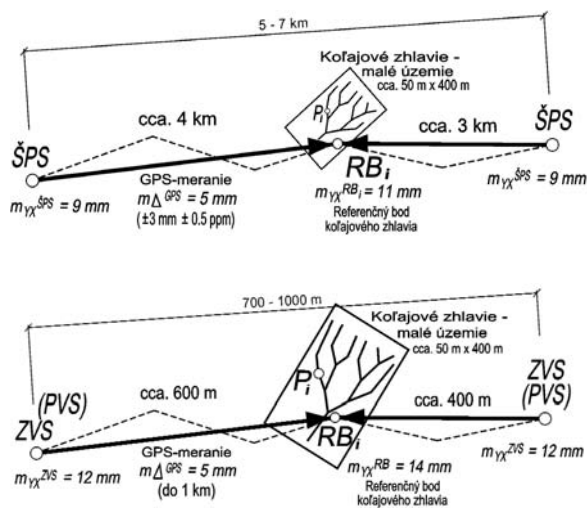
Úvod

Rozvetvenia a spojenia koľajiska, a hlavne ich udržateľná normová priestorová poloha, patria k veľmi nákladným a náročným prácam nielen pre geodeta, ale aj pre ďalšie kooperujúce činnosti železničného staviteľstva. V článku sa hlavne pojednáva o geodátach v oblasti napojenia hlavných koľají na rozvetvovací systém stromu zhlaví a napojenie týchto koľají do jednotlivých koľají za zhlavím. Neodmysliteľnou podmienkou bude vyhodnotenie priestorovej polohy určenej geodetickými meraniami k určitému zaregistrovanému modelovému systému. V rámci grantového projektu VEGA 1/3334/06 [1] je vytváraný vlastný modelový systém ZHIS [5] na registráciu geodetických údajov celých zhlaví firiem alebo štátnych železníc [2]. Nakoľko sa jedná o opakovateľné vyhodnotenia meraní, je nutná registrácia priestorovej polohy za účelom vyhodnotenia tohto skutočného stavu koľajiska, samozrejme v absolútnom jej vyjadrení. Smerová a výšková údržba týchto výhybkových objektov patrí k najnáročnejším úlohám železničnej stavebnej údržby, nakoľko ide o ich značné zoskupenie v zhlaví a navzájom sú ovplyvňované svojou priestorovou polohou pod vplyvom určitých vonkajších a vnútorných príčin.

Systém ZHIS [2], ktorý využijeme počas výkladu danej témy, rieši uvedené skutočnosti a možné problémy polohy a výšky jednotlivých napojení, ktorý celé koľajové zhlavie spracováva vo forme mozaikovej konštrukcie (zároveň je automatizované samoprepočítateľné v tomto systéme zabezpečené jeho definíciou), kde sú tieto problémy riešené časťami VZOR3 (obr. 2) a VZOR6 (obr. 3). Zhlaví sa komplikujú, ak sú napojenia riešené jednou prechodnicou v oblúku, pričom za nimi nasleduje zoskupenie rozvetvovacích výhybiek (detto platí aj opačne pri napojení do jednotlivých koľají).

Geodetické merania

Úloha geodeta je komplikovaná nielen stavebno-technickými riešeniami, ale aj samotnou geodetickou problematikou napojení, t. j. meračských sietí vrátane referenčných bodov v zhlaví RB_i (obr. 1) na celoštátne priestorové siete ŠPS (v blízkej budúcnosti jednoznačne preferované len absolútne vyhodnotenie polohy a výšky), základných a pomocných vytyčovacích sietí železníc ZVS, PVS [2], [3], ale tiež aj dosiahnutými strednými chybami jednotlivých meraní a samotným určením priestorovej polohy výhybkových objektov.



Obr. 1. Určenie RB_i zhlaví zo ŠPS, ZVS (PVS)

Systém ZHIS a geodetické merania sú už sústredované na blízku budúcnosť (3 až 10 rokov, prípadne niekde už výnimočne prebiehajú), kde sa bude striktno vyžadovať absolútne vyhodnotenie priestorovej polohy koľajiska k ETRS/89 a až následný prepočet na súradnicový systém S-JTSK/95 [3]. Uvedená skutočnosť bude vyžadovaná vo všetkých odvetviach, nielen v železničnom staviteľstve pri smerovej a výškovej údržbe objektov, nakoľko sa veľké množstvo stavebných objektov prekrývajú, nadväzujú a toto riešenie je už nutnosťou. Podrobne danú tému spracováva [4], vrátane pripojení na ŠPS a taktiež plánovaniu presností meraní, pričom geodet musí zabezpečiť splnenie kritérií daných príslušnou normou, pre Slovenskú republiku STN 73 6360 [6]. Nielen geodetickej, ale aj presnosti vykonania smerovej a výškovej údržby polohy pracovnými strojmi (ASP). Geodet musí zvoliť takú metódu merania a geodetické príslušenstvo, aby plnil kritéria výslednej presnosti určenia priestorovej polohy, pričom železničná geodézia patrí k veľmi presne vykonávaným prácam. Skutočnú hodnotu nikdy nezistíme, ale určíme pravdepodobnú a interval, kde sa bude nachádzať v rámci stredných chýb.

Geodet vybuduje bodové pole meračskej siete vrátane referenčných bodov (RB_i), z ktorých určuje priamo priestorovú polohu, napríklad podľa obr. 1. Veľmi podrobnému rozboru sa venuje habilitačná práca [4], kde je zhlavie ponímané ako komplexný prvok železničnej infraštruktúry, pričom geodet vyhodnotí a analyzuje priestorové posuny vzhľadom na modelový stav systému ZHIS, zaregistrovaného v rámci informačného systému vlastníka koľajiska.

Vyhodnotenie priestorovej polohy

Aktuálna priestorová poloha objektov v koľajisku je následne po jej geodetickom určení vyhodnocovaná a analyzovaná vzhľadom na registrovaný model daného koľajového

zhlavia v rámci informačného systému porovnaním geodetických dát skutočného a registrovaného stavu. Je nutné spomenúť aj registráciu modelov jednotlivých zhlaví, nakoľko v nich sú prevzaté údaje z projektového návrhu, alebo pri neexistujúcej dokumentácii vytvoreného nového stavu, a do modelu musia byť registrované odkontrolované vkladane súčasti. Prípadne využijeme tieto vyhodnocovacie procedúry na analýzu samostatných geodetických meraní týchto napojení koľají zhlaví.

Napojenie koľají do rozvetvenia zhlavia VZOR3

Ucelená blokovaná výpočtová štruktúra mozaiky zhlavia VZOR3 (obr. 2) rieši napojenie napríklad hlavných koľají do zhlavia, kde súčasťou spracovania je pripojenie prechodnicou a následne pridanou dĺžkou oblúka s polomerom, po ktorých môže nasledovať rôzna stromová štruktúra zhlavia (prvá výhybka rozvetvenia, prípadne oblúčková koľajová spojka riešená ďalšou podštruktúrou VZOR1 [3], [2]). Nesmieme zabúdať, že uvedený celok VZOR3 je presne zviazaný s ďalšími konštrukciami, ktoré ho podmieňujú. Je zrejmé, že už pri meraní skutočnej polohy sú vzájomné súvislosti v ovplyvňovaní tejto priestorovej polohy medzi objektmi navzájom (posuny). V zásade v tomto prípade ide o systém výpočtovou metódou „trasovanie“ od zadaného bodu NAP, ale ak by bolo nutné „vložené“, musíme použiť VZOR6 z nasledujúceho oddielu. V oboch prípadoch je doplnené aj výškové riešenie, kde je možné využiť maximálne dva výškové lomy nivelety LN₁ a LN₂, spravidla v tomto prí-

pade je len LN₁ pred prechodnicou, a až v prípade veľmi dlhých úsekov, oblúkov aj LN₂ (obmedzenia dĺžok medzi LN_i sú v STN [6], mimo prechodnice, a pod.). Pri geodetickej kontrole sa môže stať, že pri zbornenej priestorovej osi vyjde LN_i aj do prechodnice, ale súradnice a výšky lomu sú v ZHIS vypočítané len z dôvodu následnej ich opravy mimo prechodnicu (len informatívny charakter). Prípadne, ak nový stav bude mať chybný návrh (alebo riešenia rôznych variant), aby konštruktér do meraného stavu správne umiestnil LN_i a vedel, o aké hodnoty je nutné zmeniť ich parametre.

Po zadaní vstupných hodnôt typu: dĺžky prechodnice, polomeru a dĺžky oblúka, na ktorý sa napája ďalšia konštrukcia, je potrebné vybrať bod napojenia, od ktorého prebehne výpočet (napríklad bod NAP a dĺžku dPRI pred prechodnicou). Po kontrole a registrácii v modeli sú parametre záväzné [2]. Ďalšími možnosťami zadania vstupov je opačný smerník napojenia ±200^e a požadovaný výškový priebeh nivelety. Výsledné parametre zabudovaných konštrukcií sú na obr. 2, vrátane súradnicového a výškového riešenia v S-JTSK a Bpv.

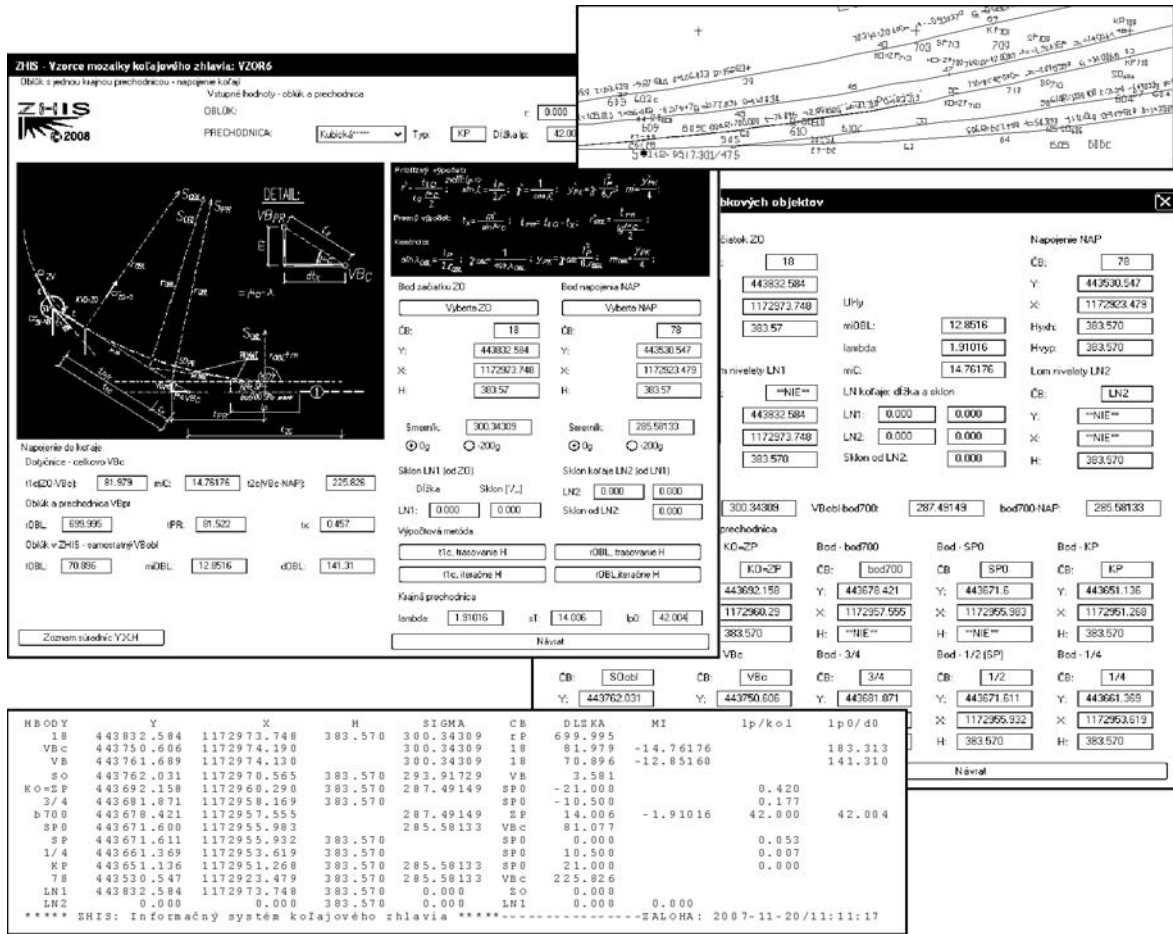
Napojenie jednotlivých koľají po rozvetvení VZOR6

Komplikáciou, nielen pre overenie priestorovej polohy geodetom, ale aj správnym návrhom pri vzniku modelu zhlavia [2] je, ak obidva priebehy (poloha a výška) sú vložené medzi smerové a výškové dotyčnice. Riešením je VZOR6 (obr. 3), hlavne pre napojenie rozvetvených koľají (alebo iných) do jednotlivých koľají skupín, kde je známy

The screenshot displays the ZHIS software interface for VZOR3, which is used for calculating and registering railway track layouts. The interface is divided into several sections:

- Top Section:** Contains input fields for 'PRECHODNICA' (Transition) and 'OBLÚK ZA PRECHODNICOU' (Arc after transition). Parameters include 'PFECHODNICA: Typ: KP', 'Dĺžka tr.: 42.000', 'rOBL: 700.000', and 'Dĺžka oblúka: 6.000'.
- Diagram Section:** Shows a 'DETAIL' diagram of the track layout with various points labeled (VBC, VBP, VBO, etc.) and geometric parameters like radii and angles.
- Calculation Section:** Displays formulas for calculating transition curves and arcs, including 'Práchný výpočet' and 'Kontrola'.
- Input Section:** Fields for 'Úsek pred prechodnicou' (Section before transition) and 'Bod začiatku NAP/ZP' (Start point NAP/ZP) with coordinates Y: 444005.384, X: 1172952.357, H: 383.568.
- Output Section:** Shows calculated parameters for the transition curve and arc, such as 'Dĺžka dPRI: 18.082', 'Smerovosť oblúka', and 'Smerník: 312.6554'.
- Leveling Section:** 'výhybkových objektov' (Switching objects) section with tables for 'Napojenie NAP' and 'Úsek pred prechodnicou', including coordinates and elevations for various points.
- Summary Table:** A large table at the bottom listing all objects (HBODY) with their coordinates (Y, X, H), sigma values, and other parameters like 'DLZKA' (Length) and 'MI' (Slope).

Obr. 2. Parametre zostavy objektov VZOR3

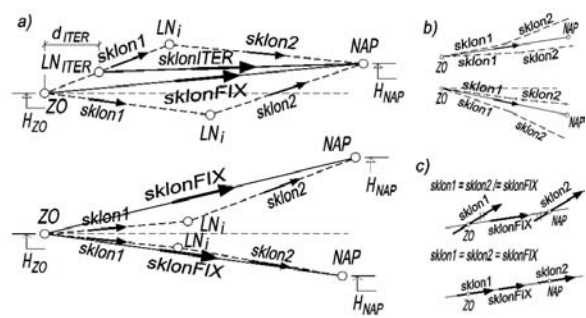


Obr. 3. Parametre zostavy objektov VZOR6

bod začiatku oblúka a smery obidvoch dotyčnic, pričom môžeme aplikovať rôzne výpočtové metódy. Metóda „ t_{ic} , trasovanie H“ predstavuje výpočet podľa zostatkovej dotyčnice t_{ic} (obr. 3), výšky budú trasované až po napojenie NAP. Metóda „ t_{ic} , iteratívne H“ rieši vloženie medzi smerové a výškové dotyčnice na oboch bodoch: vstupného ZO a koncového NAP (obr. 5), zároveň je výškový priebeh vložený medzi ZO a NAP s určením LN_i . V oboch prípadoch sa r_{OBL} dopočíta z dotyčnice t_{ic} . Uvedené je možné riešiť aj podľa zadaného polomeru r_{OBL} metódami „ r_{OBL} , trasovanie H“ a „ r_{OBL} , iteratívne H“, pričom oblúk má svoju dotyčnicu a zostatkové úseky v dotyčnici napojenia ZO (+ alebo -). Pri zadaní vstupných hodnôt sú dané dĺžka prechodnice (oblúk s jednou krajinou prechodnicou v mozaike zhlavia ZHIS), prípadne r_{OBL} , ak použijeme niektorú metódu s presne požadovaným polomerom. Samozrejme aj body ZO a NAP so svojimi smerníkmi dotyčnic (prípadne $\pm 200^\circ$) a požadovaný výškový priebeh (opäť závisí od použitej výpočtovej metódy). Sústavovou VZOR6 je možné prekontrolovanie VZOR3 smerom naspäť. Výstupy obidvoch procedúr sú uvedené na obr. 2 a obr. 3.

Iteračný spôsob určenia lomu nivelety VZOR3 a VZOR6

Nakoľko sú všetky sklony navrhnuté v promile, t. j. veľmi malé výškové uhly, najlepším uprednostneným riešením sú iteratívne výpočty na ich vyhládanie alebo kontrolu výškového lomu v projekte (LN_1 alebo LN_2), obr. 4a. Iterácia vyhláda len jeden lom LN_i [6].



Obr. 4. Iteratívne určenie priestorovej polohy lomu nivelety LN_i

Iteračnými parametrami sú krok $d_{ITER} = 10,000$ m (obr. 5), následne zmenšovaný v cykloch $d_{ITER} = d_{ITER}/10$, presnosť iterácie výslednej hodnoty $\Delta_{sklon} = 0,0001$ ‰ pre ukončenie iterácie. Iterácia prebieha, pokiaľ nepresiahne požadovaný $sklon2$, nasleduje návrat o krok späť a znova prepočet, pričom sú zohľadnené znamienkové konvencie $\pm sklon1$ a $\pm sklon2$. Uvedené je možné dosiahnuť aj klasickou vzorcovou štruktúrou, ale je daná prednosť zostavenej iterácii. Pri teste v iterácii sa vhodne využíva fixný sklon $sklonFIX$ medzi počiatočným a koncovým výškovým napojením. Iterácie vo VZOR3 a VZOR6 sú ošetrené pre prípady, ak dané výpočty nie je možné vykonať, nedosiahne sa $sklon2$ na obr. 4b (výpisy sú označované ****NIE**** pri ich dĺžkach, sklonoch,

súradniciach, výškach a pod.). Iterácie sú vykonávané, len ak sa jedná o jeden lom, v prípade dvoch je nutné použiť trasovanie s následnou kontrolou koncevej výšky a posledného sklonu (*sklon2* alebo *sklon3*). Ďalšie testy riešia, či vôbec dôjde k napojeniu, alebo sú riešené v rámci jedného sklonu (*sklon1 = sklon2 = sklonFIX*), alebo vodorovne (*sklon1 = sklonFIX = 0*) a pod., obr. 4c. Výšky všetkých bodov sú vypočítané priebežne priamo pri výpočte súradníc, vrátane LN_1 , prípadne LN_2 (STN – minimálne dĺžky medzi LN_1 , prípadne LN_i nesmie byť v prechodnici a pod.). Pri VZOR3 na obr. 2 je dôležité aj nasadenie LN_1 so sklonom *sklon1* pred ZP, čo je v ZHIS zohľadnené.

Kontrola samostatnej prechodnice oblúka ZHIS

V zhlaviach, pri zapnutí hlavných koľají, kde je vyžadovaná vzostupnica, sa stretáme v praxi s prechodnicou. Podobné platí aj pre zaústenie týchto hlavných priebežných koľají do rozvetvenej časti zhlavia. Systém ZHIS rieši tieto prechodnice ako samostatné časti, t. j. v ich registrácii modelu zhlavia, pri vyhodnotení a analýze nameraných posunov priestorovej polohy. Následne si popíšeme prácu na kubickú parabolou, pričom v súčasnosti sa pracuje na ďalších typoch prechodníc v rámci vedeckého grantového projektu VEGA 1/3334/06 [1], kde sa musí zohľadniť medzinárodný integrujúci prvok pri rôznych typoch prechodníc jednotlivých železníc EÚ (hlavne okolitých krajín).

Samozrejmosťou sú výpočty jednotlivých bodov prechodnice v určitých vzdialenostiach (1/6, 1/4, 1/3, a pod.) alebo ľubovoľnom bode P_p , kde dĺžka úseku x_0 v osi prechodnice

$$x_0 = x + \gamma^2 \frac{x^5}{40 r^2 l_p^2} \quad (1)$$

Ak $l = l_p$, potom celá dĺžka prechodnice

$$l_0 = l_p + \frac{1}{40} \gamma^2 \frac{l_p^3}{r^2} \quad (2)$$

Ale v praxi nastáva opačný prípad (obr. 5), že poznáme dĺžku x_0 v osi prechodnice a je potrebné získať staničenie x a potom kolmicu k na výpočet súradníc od hlavnej dotýčnice oblúka, kde je výpočet náročný

$$x_0 40 r^2 l_p^2 = x (40 r^2 l_p^2 + \gamma^2 x^4), \quad (3)$$

skrátene

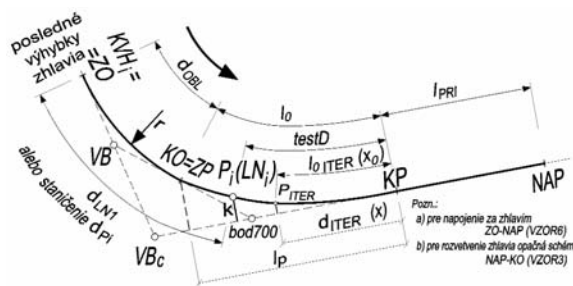
$$a x_0 = x (a + b x^4), \quad (4)$$

kde x je neznáma pre bod P_i (označenie x je uspôsobené v iterácii d_{ITER} , obr. 5). V tomto prípade je jednoznačne nasadená iterácia na výpočet s využitím vzorca (1), kde l_{OITER} - dĺžka v osi prechodnice (mení sa od 0 do *testD*), d_{ITER} dĺžka v iterácii na dotýčnici, *testD* hraničná testovacia dĺžka v osi (napríklad pre P_p , LN_i) môže byť rôzny vzťah podľa toho, či sa jedná o oblúk d_{OBL} , prechodnicu l_0 , alebo priamu l_{PRI} , znížená napríklad o dĺžku d_{LN1} (alebo staničenie d_{pi} od ZO) a pod., napríklad pre VZOR6

$$testD = (d_{OBL} + l_0) - d_{LN1}, \quad (5)$$

$$l_{OITER} = d_{ITER} + \gamma^2 \frac{d_{ITER}^5}{40 r^2 l_p^2} \quad (6)$$

v cykle bude (6) až do podmienky $l_{OITER} < testD$ s krokom iterácie $d_{ITER} = d_{ITER}/10$ po najmenší dielik 0,001 m pre l_{OITER} . Najdôležitejšia premenná v (6) je d_{ITER} pre ďalšie spracovanie v ZHIS (zostane po iterácií).



Obr. 5. Určenie P_i v krajnej prechodnici (VZOR6)

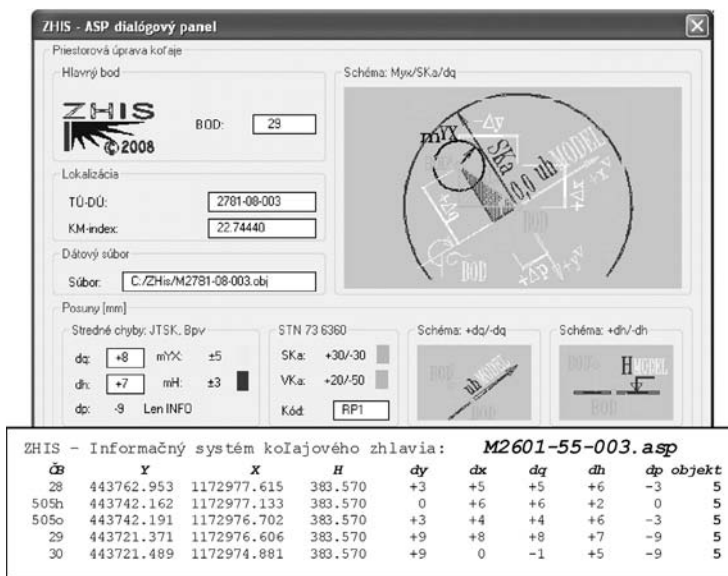
Okrem ľubovoľného bodu P_i v ZHIS je možné určiť aj súradnice LN_i napriek tomu, že výškový lom nesmie byť v prechodnici. Ale ak si konštruktér zvolí zlý návrh, aby vedel, kde sa výškový lom nivelety práve nachádza (od ZP, príp. KP), a potom mohol upraviť svoje riešenie. Alebo druhá možnosť je, ak umiestnenie lomu vychádza z deformovaného stavu koľajiska pred jeho úpravou. V týchto prípadoch nás poloha zaujíma, aby mohol byť odstránený nežiaduci stav. ZHIS testuje, či LN_i (LN_1 , príp. LN_2) sa nachádza v priamej, v prechodnici, alebo v oblúku (VZOR3, VZOR6), a podľa toho je vykonaný výpočet súradníc a výšok.

Záver

Kvalita a presnosť vykonania geodetických prác, ich vyhodnotenie a analýza priestorovej polohy k registrovanému jej stavu sa vo veľkej miere podieľajú na presnej stavebnej údržbe polohy a výšky objektov v zhlaví. Príspevok hlavne poukazuje na kontrolu napojení jednotlivých koľají v koľajových zhlaviach pred ich rozvetvením výhybkami a kontrolu polohy a výšok rozvetvených koľají v koľajovej skupine. Popisuje blokové vzorcové podštruktúry zhlavia VZOR3 a VZOR6 [2], ktoré slúžia na kontrolu projektu pred zaregistrovaním do systému ZHIS, pričom sú k nim geodetické merania porovnávané v rámci ich analýzy. Zároveň je potrebné zopakovať, že ide o absolútne vyhodnotenie priestorovej polohy osi objektov v koľajisku od štátnej priestorovej siete až po daný podrobný bod P_i na objekte (obr. 1).

Výsledným efektom sú určené priestorové posuny (odklony) vzhľadom k absolútnej priestorovej osi objektu registrovaného požadovaného stavu polohy a výšky bodov v ZHIS ako informačného systému správcu (administrátora) daného koľajiska, vrátane číselného a grafického vyhodnotenia (obr. 6).

Iteračné výpočty sú v ZHIS využívané len v prípadoch, ak sa vyskytnú ostré alebo malé uhly, prípadne pri výškach sklony, alebo je potrebné nahradiť riešenia komplikovaných vzorcových zostav (cca 10 % vzorcových schém) [2], [3]. Podrobne sa téme vytvárania modelov zhlaví vlastným systémom ZHIS, registrovaním týchto modelov v informačnom systéme a analýzou geodetických meraní priestorovej polohy výhybkových objektov venuje habilitačná práca [4].



Obr. 6. Zobrazenie odklonu priestorovej polohy modelu v informačnom systéme

Príspevok je súčasťou výstupov grantového výskumu VEGA 1/3334/06 [1].

Literatúra

- [1] Hodas, S.: Koľajové zhlavie – komplexný prvok informačného systému železníc v rámci EÚ Grantový výskumný projekt 1/3334/06, Vedecká grantová agentúra VEGA, Ministerstvo školstva SR, www.minedu.sk, Bratislava, 2006–2008.
- [2] Hodas, S.: Systém ZHIS a iteračné výpočty podprvkov koľajového zhlavie. Stavební obzor, 15, 2006, č. 2, s. 58–62.
- [3] Hodas, S.: Koľajové zhlavie v ZHIS – zvyšovanie kvality a presnosti geodetických meraní pri vyhodnotení priestorovej polohy objektov. Civil and Environmental Engineering, Scientific-Technical Journal, 3, 2007, No. 1, Žilinská univerzita, svf.uniza.sk/cee, 2007, s. 67–78.
- [4] Hodas, S.: Analýza meraní priestorovej polohy objektov koľajového zhlavie v prostredí informačného systému. [Habilitačná práca], Žilinská univerzita, 2007, 107 s. + prílohy CD.
- [5] Hodas, S.: ZHIS – geodetické informácie výhybkových objektov koľajových zhlaví v IS. Nadstavba AutoCAD – softvér, svf.uniza.sk/kgd, Žilina, 2003–2008.
- [6] STN 73 6360 Geometrická poloha a usporiadanie koľaje železničných dráh normálneho rozchodu.
- [7] AutoCAD, AutoLISP, VisualLISP, DCL, AUTODESK Inc., www.autodesk.com, www.autodesk.cz, 2006–2008.

Hodas, S.: Model Processing of Geodetic Measurements of Turnout Layout Connections to Track

This article describes the whole part of processing and analyzing geodetic measurements of connections between separate tracks to the turnout layout by a special system. The processing is based on the comparison of the real state with the absolute spatial position of the trackage of the registered turnout layout models in the information system of the track.

Hodas, S.: Modellauswertung geodätischer Messungen der Kopfanschlüsse in einer Gleisanlage

Der Artikel behandelt den kompletten Teil der Auswertung und Analyse geodätischer Messungen der räumlichen Lage des Anschlusses der einzelnen Gleise an den Kopf durch ein eigenes System. Die Auswertung wird aufgrund des Vergleichs des tatsächlichen Zustands mit der absoluten räumlichen Lage der Gleisanlage des registrierten Kopfmodells im Rahmen des Informationssystems dieser Gleisanlage durchgeführt.

Všetchna čísla časopisu

STAVEBNÍ OBZOR

si mohou čtenáři zakoupit
v redakci časopisu
a v prodejné technické literatury ČVUT
Bílá 90, Praha 6.

•technologie

V zimě hřeje, v létě chladí

Pro ty, kdož chtějí mít kvalitní zateplení s dlouhou životností, vyvinula společnost DuPont speciálně metalizovanou membránu, která v zimě pomůže udržet teplo uvnitř a v létě dokáže chránit interiér proti přehřívání. Membrány jsou výjimečně vysokou paropropustností, a zároveň zachováním vodotěsnosti a větrotěsnosti. Tyto vlastnosti mají zásadní vliv na mikroklima interiéru, kdy v zimě snižují tepelné ztráty a v létě odrážejí sálavé teplo. Zároveň podporují životnost nejen fólie, ale i celé stavby, která tak může „dýchat“. Při vhodné aplikaci mohou uživatelé ušpóřit až 15 % nákladů na vytápění.

Vegetace a stabilita břehů

Ing. Lumír MIČA, Ph.D.
doc. Dr. Ing. Miloslav ŠLEZINGR
VUT – Fakulta stavební
Brno

Řada studií prokázala příznivý vliv vegetace na chování zemní konstrukce. Abychom však dosáhli v rámci návrhu stabilizace břehů požadovaných výsledků, je nutné uplatnit znalosti nejen z oboru vodního hospodářství, ale také z geotechniky, dendrologie a dalších oborů, protože ne každý typ vegetace je pro řešenou úlohu vhodný.

Úvod

Obecně se pak může vliv vegetace na stabilitu břehu posuzovat z hlediska ovlivnění:

■ **povrchové eroze** za břehovou hranou, při níž dochází vlivem vnějších vlivů (větru, deště) k odnášení částic zeminy. Proti tomu se bráníme nejčastěji vegetačním pokryvem travním porostem či jiným typem rostlin. Často se s tímto řešením setkáváme při protierozní ochraně svahů násypů či zářezů;

■ **břehové eroze**, způsobené především proudící vodou. Míra eroze se odvíjí od rychlosti proudící vody. I v tomto případě se významně projeví vliv vegetace, která vytvoří přechodovou vrstvu mezi proudící vodou a zeminou břehu. Na rozdíl od předchozí oblasti je v tomto případě nutné zajistit stabilitu povrchu ve velmi krátké době. Proto se kombinuje vegetace např. s geosyntetickými protierozními prvky [3], [9], které mají zajistit stabilitu rozhraní dřívě, než se vytvoří kořenový systém. Uplatňují se zde jak byliny, tak i dřeviny (stromy a keře);

■ **břehové abraze**, způsobené převážně vlněním eolického původu (tedy vlněním hladiny způsobeným větrem), vlněním způsobeným pohybem plavidel, účinky mrazu a tání

aj. [9]. Základem je preventivní stabilizace břehu v oblasti nejčtenější maximální hladiny M_{max} u nově zřizovaných nádrží (kde nelze stanovit M_{max}) či jezových zdrží v úrovni ovladatelného retenčního prostoru či hladiny stálého nadržení. V případě vzniku abrazního poškození je nutná technická nebo biotechnická stabilizace paty abrazního srubu a následná stabilizace porušeného břehu, např. za využití geosyntetických protierozních prvků v kombinaci s travními či dřevinnými porosty;

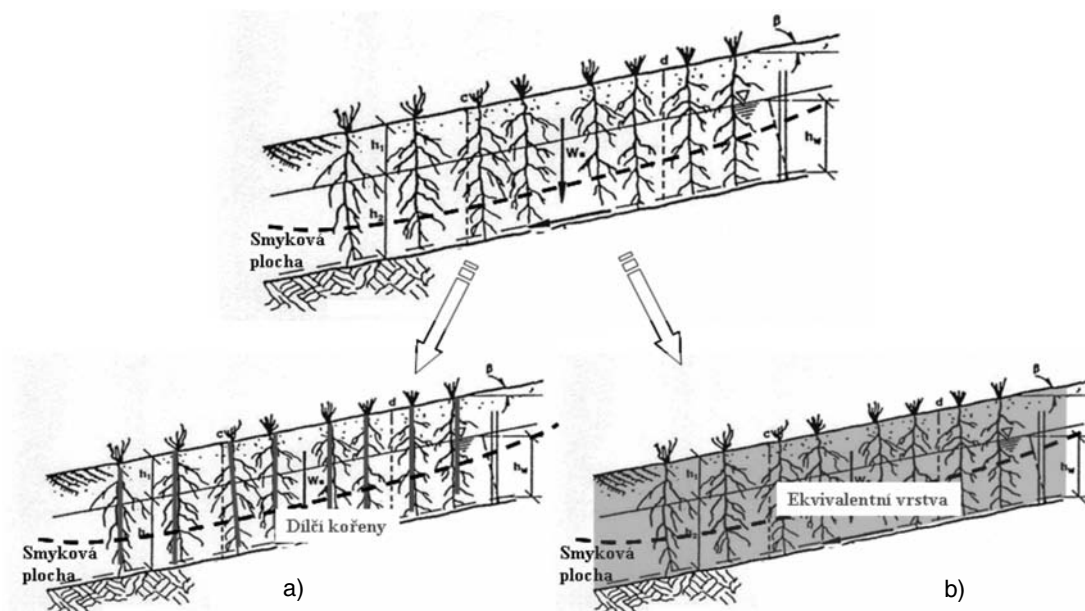
■ stability tělesa svahu tvořícího břeh nádrže, toku.

Proti předchozím oblastem jde o vliv vegetace na podpovrchové vrstvy do hloubky 2–3 m (mělké plošné sesuvy), kde lze předpokládat výskyt kořenů, které mají výztužnou funkci. Právě tomuto tématu bude dáno více prostoru s tím, že budou podrobněji popsány možnosti zavedení výztužných účinků kořenových systémů vegetace do stabilitní analýzy. Není to však jediný pozitivní vliv vegetace. Existují další, které ovlivňují chování zemní konstrukce, např.:

- vlhkost zeminy, přičemž evapotranspirace a zadržení vody listovím snižuje nárůst pozitivních pórových tlaků;
- přitížení, kdy tíha vegetace může (při patě svahu) zlepšit stabilitu díky zvýšenému normálovému napětí na smykové ploše.

Může však mít i negativní účinky, např. vlastní tíhu. Vegetace se může nacházet po celé ploše svahu, a tak v jeho horních partiích má opačný efekt. Vzrostlá vegetace (stromy) působí také jako bariéra proti větru, přes kterou se přenášejí dynamické síly do svahu. Obdobný pohled může být na změnu vlhkosti, resp. pórových tlaků. Kořeny odebírají vlhkost z podloží, což může vést k vysychání a vytváření trhlin.

Nyní se vraťme k výztužné funkci vegetace. Při řešení stability svahu se zohledněním kořenů můžeme použít dva modely – diskrétní a ekvivalentní zlepšené vrstvy (obr. 1).



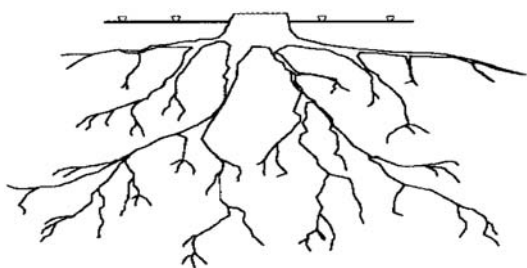
Obr. 1. Možnosti modelování vlivu kořenů
a – diskrétní model, b – model ekvivalentní vrstvy

Diskrétní model

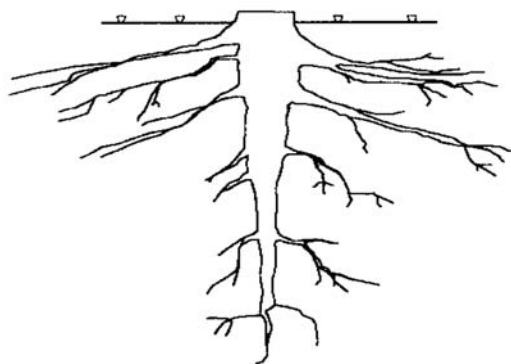
V případě diskrétního modelu jde o modelování dílčích kořenů, které tvoří kořenový bal. Z břehové vegetace jsou samozřejmě nejvhodnější kořeny stromů, popř. keřů. Pro aplikaci tohoto přístupu je nutné znát rozložení, délku a pevnost kořenů. Omezením tohoto přístupu je definování, které kořeny vzít do výpočtu, jejich četnost atd. S velkou pravděpodobností se dá předpokládat, že nejvíce se projeví hlavní (kulový) kořen, tedy kořeny směřující do hloubky. Abychom však mohli s tímto výztužným efektem uvažovat, je nutné zvolit vhodný stromový porost s přiměřeným kořenovým systémem.



a)



b)



c)

Obr. 2. Typy kořenových systémů [11]

a – plošný/deskovitý (bříza, javor, jedle, smrk), b – srdčitý (platan, lípa, borovice), c – hlavní kořen (ořeš, dub, habr)

Vzhledem k charakteru kořenového systému rozeznáváme tři základní typy, kde pro stabilizaci (vyztužení) jsou vhodné stromy s kořeny podle obr. 2, typu b) a c). Známeli typ kořenového systému, je dalším krokem ve výpočtu stanovení pevnosti kořenů.

Pevnost kořenů

Tahovou pevnost kořenů studovalo mnoho autorů, např. [6], a z jejich závěrů vyplývá, že jde o velmi složitou problematiku, protože výsledná pevnost závisí na řadě faktorů, zejména:

- průměru kořene,
- odumírání kořenů,
- sezónním efektem,
- zda rostou ze svahu, nebo do svahu (pozn. vyšší pevnost u kořenů do svahu [6]).

Pro průměr a pevnost kořene byla na základě řady měření odvozena logaritmická závislost

$$T_r = nD^m. \quad (1)$$

Hodnoty n a m se pohybují v intervalu $29 \div 87$ a od $-0,76$ do $-0,45$, resp. závisí na průměru a pevnosti kořene v tahu (pevnost se pohybuje od 8 do 80 MPa pro $\varnothing 2-15$ mm). S časem tedy pevnost narůstá a zvyšuje se stabilita. Může však docházet i k poklesu pevnosti. To nastane při vykácení stromového porostu. Vykácením se snižuje tahová pevnost kořenů v důsledku jejich odumírání a zmenšuje se i jejich objem v zemině. Vlivem odumírání dojde ke snížení pevnosti kořenů, což lze vyjádřit vztahem

$$T_{rt} = T_{r0}e^{-bt}. \quad (2)$$

K zavedení kořene do stabilitní analýzy lze přistupovat obdobně jako svahu vyztuženého geosyntetikem. Kořen působí jako tahový prvek (kotva), který protíná smykovou plochu a působí jako pasivní složka. Příklad výpočtu pomocí diskrétního modelu je možné nalézt v příspěvku [4].

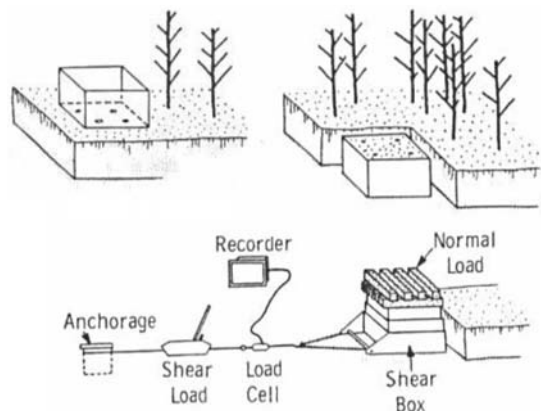
Model ekvivalentní zlepšené vrstvy

Jiným přístupem je modelování vlivu kořenů náhradní vrstvou se zlepšenými smykovými parametry. Zlepšení vychází z přídatné soudržnosti $\Delta c_{\text{koř}}$, kterou zemině dodávají kořeny. Touto problematikou se velmi intenzivně zabývají v Japonsku (Endo, Tsuruta 1969, Ohashi 1983) a v sedmdesátých letech minulého století definovali autoři Waldron (1977) a Wu (1976) rovnici přídatné soudržnosti

$$\Delta c_{\text{koř}} = \Delta c_r = \bar{T}_r (\sin \theta + \cos \theta \tan \phi_{ef}),$$

$$\text{kde} \quad \bar{T}_r = \sum tr_i / A. \quad (3)$$

Abychom však mohli definovat přírůstek soudržnosti, museli bychom znát velikost tahové pevnosti na jednotku smykové plochy. Tuto problematiku podrobně rozebírají ve svém příspěvku Schmidt a kol. [7]. Jiný postup lze nalézt u Ziamera a O'Loughlina [8], kteří uvádějí přímé měření smykové pevnosti bez kořenů a s kořeny (obr. 3). K tomu slouží smykové krabicové přístroje, které konstrukcí kores-



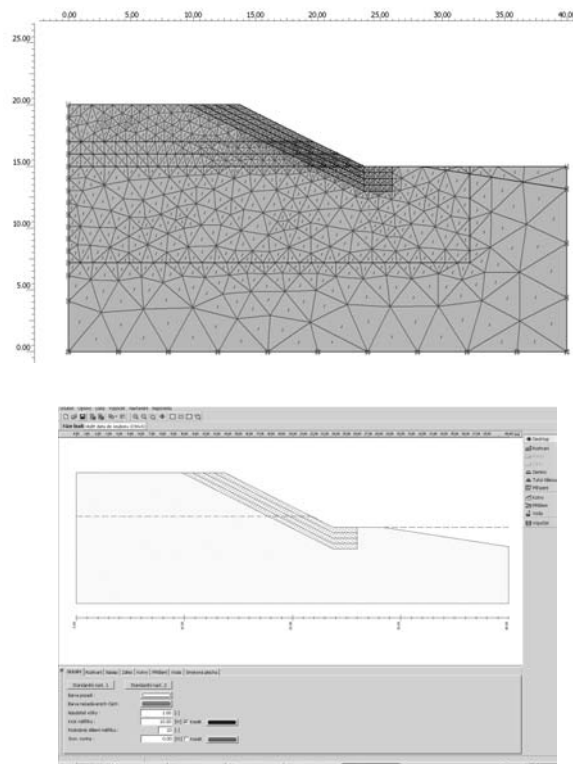
Obr. 3. Měření smykové pevnosti in-situ (Endo a Tsuruta, 1969)
recorder – záznamová jednotka (datalogger), normal load – normálové zatížení, shear box – smyková krabice (krabice pro smyk), anchorage – ukotvení, load cell – siloměr (snímač síly), shear load – smykové zatížení (smyková síla)

pondují s přístroji používanými v laboratořích mechaniky zemin na VUT FAST v Brně. Jediný rozdíl je ve velikosti, kdy v mechanice zemin se nejčastěji používají krabice o rozměrech 100 x 100 mm, kdežto pro zeminu s většími kořeny je nutné použít i rozměry 300 x 300 mm, popř. 500 x 500 mm). Velikost krabice musí být v souladu s velikostí kořenů, aby zkouška byla reprezentativní. Jinou možností, ale mnohem náročnější, je provedení smykové zkoušky přímo v terénu [8]. Podle těchto zkoušek se pohybuje $\Delta c_{\text{koř}}$ v rozmezí od 1,0 do 17,5 kPa.

Známe-li velikost přídavné soudržnosti, můžeme ji zavést do výpočtu. Vyjdeme-li z nejčastěji používané metody pro řešení stability svahu – metody mezní rovnováhy, kdy zavedením Mohrovy–Coulombovy podmínky plasticity (pevnosti) získáme modifikovanou rovnici smykové pevnosti

$$\tau = (c_{ef} + \Delta c_{\text{koř}}) + \sigma_{ef} \tan \phi_{ef} \quad (4)$$

Přínos kořenů je tedy podle této rovnice pouze z hlediska parametru soudržnosti, a nikoli úhlu vnitřního tření. Což je v pořádku, protože úhel vnitřního tření je dán třením mezi částicemi zemin a kořeny nijak nemění strukturu zemin. I když zkoušky ukazují změnu mezi úhlem zemin kořeny vyztužené a nevyztužené. Ale jde o velmi malý přírůstek, který je možné zanedbat. Tento malý nárůst lze přičíst spíše na vrub metodiky zkoušení. Stejným přístupem lze aplikovat přídavnou soudržnost i do metody konečných prvků za využití Mohrovy–Coulombovy podmínky plasticity. Otázkou při tomto postupu je, do jaké hloubky zohlednit přírůstek, tedy jaký je hloubkový dosah kořenů. V odborné literatuře se udává pro stromy hloubka, která má vliv na stabilitu svahu, okolo 2 m, přičemž 80 až 90 % kořenů se nachází do hloubky cca 1 m. Existují samozřejmě výjimky a kořeny mohou dosahovat hlouběji (3,5 m i více). Ale to již jde o ojedinělé křivoloké kořeny (hlavní).



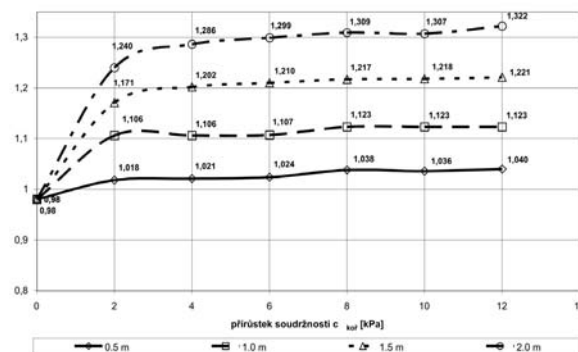
Obr. 4. Geometrie a rozdělení materiálů

Řešením vlivu kořenů na stabilitu svahu metodou mezní rovnováhy se zabývali Erbenová a Bošítk [5]. Stejně problematice se věnovali autoři tohoto příspěvku, kdy pro analýzu využili metodu konečných prvků porovnáním s metodou mezní rovnováhy. Parametrická studie vychází z dostupných hodnot $\Delta c_{\text{koř}}$ v programu Plaxis V8 (2D úloha – rovinný stav deformace). Zemina je modelována patnácti uzlovými prvky s tím, že pro modelování chování zemin byl použit ideálně pružně plastický materiál s podmínkou plasticity podle Mohra–Coulomba. Pro porovnání s metodou mezní rovnováhy byla úloha modelována v programu Fine [10].

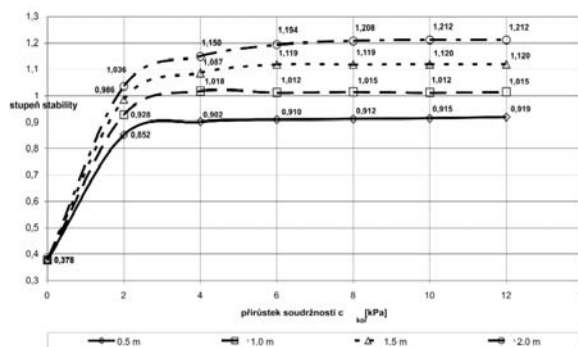
Tab. 1. Vlastnosti materiálů

Popis	γ [kNm ⁻³]	E_{ced} [kPa]	i [-]	c' [kPa]	ϕ'_{cv} [°]	$\Delta c'$ [kPa]
hlína	19	13	0,3	0	27	0
zlepšená zóna	18,5	13	0,3	0	27	2, 4, 6, 8 a 10

Parametrická studie byla řešena pro dva modelové případy. První se týká stability suchého svahu (obr. 5), druhý za přítomnosti vody (obr. 6). Pro oba byla nejdříve stanovena stabilita bez vlivu kořenů, a poté s kořeny [12].



Obr. 5. Změna stupně stability pro suchý svah



Obr. 6. Změna stupně stability pro svah s vodou

Závěr

V článku je prezentována část projektu řešeného v ústavech geotechniky a vodních staveb VUT FAST v Brně v letech 2004–2006. Cílem byl jednak výběr a následné ověření vhodnosti syntetických sítí (geosít) ke stabilizaci břehů, jednak výběr dřevin a ověření jejich využitelnosti pro tyto účely (především schopnost spolupůsobení kořenových systémů s prostorovou geosítí). Následně byl zpracován návrh zapracování geosít do břehu včetně osazení řízků dře-

vin tak, aby byla zajištěna maximální stabilizace břehu v dané lokalitě bez využití technických prvků (především kame-
ne). Výhodou takto navržené stabilizace je její nerozpo-
znatelnost ve svahu a za dodržení stanovených parametrů i
trvanlivost a spolehlivost. Další dílčí části (charakteristiky
kořenových systémů vhodných dřevin, vlastní návrh stabilizač-
ní konstrukce, aj.) nelze vzhledem k omezenému prostoru
podrobně prezentovat. Předmětem příspěvku je tedy před-
stavit jeden z dílčích přístupů k řešení dané problematiky.

Literatura

- [1] Abe, K. – Ziemer, R. R.: Effect of Tree Roots on Shallow-
Seated Landslides. USDA Forest Service, Gen. Tech. Report
PSW-GTR-130, 1991.
- [2] Erbenová, A. – Bošтік, J.: Zvýšení stupně stability břehu vodní
nádrže vlivem kořenového systému rostlin. [Sborník], Lidé,
stavby a příroda, Brno, CERM, 2005, s. 14–18.
- [3] Miča, L. – Vaníček, J.: Použití geosyntetických materiálů ve
vodním stavitelství. [Sborník], 4. vodohospodářská konference
2004, CERM, 2004, s. 300–305.
- [4] Miča, L.: Vliv vegetace a geosyntetického opatření na stabilitu
břehu. [Sborník], Lidé, stavby a příroda, CERM, Brno, 2005,
s. 39–44
- [5] Shields, F. D. – Gray, D. H.: Effects of Woody Vegetation on
the Structural Integrity of Sandy Levees. Water Resources
Bulletin 28(5), 1993, 917–931.
- [6] Schiechl, H. M.: Bioengineering for Land Reclamation and
Conservation. Edmonton, Canada, University of Alberta Press
1980.
- [7] Schmidt, K. M. – Roering, J. J. – Stock, J. D. – Dietrich, W. E.
– Montgomery, D. R. – Schaub, T.: The Variability of Root
Cohesion as an Influence on Shallow Landslide Susceptibility
in the Kreton Coast Range. Can. Geotechnical Journal 38, 2001,
995–1024.
- [8] O'Loughlin, C. – Ziemer, R. R.: The Importance of
Root Strength and Deterioration Rates Upon Edaphic Stability
in Steepland Forests, In: Proceedings of I.U.F.R.O, Oregon,
United States of America, 1982, pp. 70–78.
- [9] Šlezinger, M.: Břehová abraze – příspěvek k problematice
zajištění stability břehů. Brno, CERM 2003.
- [10] Plaxis 2D-Version 8 – Finite Element Code for Soil and Rock
Analyses: PLAXIS b. v., Netherlands, 1995. ISBN 90-5809-508-8.
- [11] Wilde, S. A.: Forest Soils: Their Protection and Relation to
Silviculture. New York, Donald Press 1958.
- [12] Miča, L. – Šlezinger, M.: Stabilizace břehů. Brno, CERM (v tisku).

**Míča, L. – Šlezinger, M.: Vegetation and Stability of
Banks**

**A favourable effect of vegetation on behaviour of ground
structures has been proven in a number of studies.
However, in order to achieve the requested results in
banks stabilization design, it is necessary to apply not
only knowledge of water management, but also geotech-
nics, dendrology, etc. since not each vegetation type is
suitable for the solution of tasks related to banks stabi-
lization.**

Míča, L. – Šlezinger, M.: Vegetation und Uferstabilität

**Eine Reihe von Studien hat den günstigen Einfluss der
Vegetation auf das Verhalten von Erdbaukonstruktionen
nachgewiesen. Um jedoch im Rahmen des Entwurfs der
Uferstabilisierung Ergebnisse zu erzielen, ist es not-
wendig, Kenntnisse nicht nur aus dem Fach Wasserwirt-
schaft, sondern auch aus der Geotechnik, Dendrologie u.a.
geltend zu machen, weil nicht jeder Vegetationstyp für die
zu lösende Aufgabe (Uferstabilisierung) geeignet ist.**

• dizertace



Impact of High Temperature against the Structures of Tunnel Linings

Ing. Šárka Pešková

Dizertace se zabývá vlivem vysokých teplot na konstrukce
tunelových obehávek z vláknobetonu. Numerická analýza se
konfrontuje s výsledky zahraničních i vlastních experimentů.

Odhady mezi materiálových vlastností složených materiálů s využitím Hashin-Shtrikmanových principů

Mgr. Michal Toman

Dizertant se zaměřil na homogenizaci složených materiálů
s využitím výše uvedených principů platných v materiálově
nelineární oblasti. Výsledné vztahy jsou původní.

Experimental Investigation and Modelling of Very Early Age Concrete

Ing. Nam Thanh Tran

Dizertant předvedl originální způsob měření příčné deforma-
ce betonu raného stáří a dvě metody pro zkoušení betonu to-
hoto stáří a pro okamžité i dlouhodobé zatížení. Navrhl jed-
noduché vzorce pro okamžité časově závislé deformace po-
užitelné v praxi.

Komponenta deska v ohybu a šrouby v tahu za požární situace

Ing. Martin Beneš

V práci jsou odvozeny modely tuhosti a únosnosti ocelové
čelní desky připojené šrouby při vysoké teplotě. Modely byly
ověřeny vlastními zkouškami. Údaje o teplotách byly pře-
vzaty ze zkoušky ve Velké Británii.

Sprážené ocelobetonové příhradové nosníky

Ing. Martin Čudejko

V práci je uvedeno experimentální ověření dvou velkoroz-
ponových příhradových sprážených nosníků a použití těchto
výsledků pro kalibraci numerického modelu. Autor vypracoval
několik rozsáhlých parametrických studií k ověření vlivu
jednotlivých parametrů. Výsledky jsou použitelné v praxi.

Některé matematické modely proudění viskózní nestlačitelné tekutiny

Ing. Michal Beneš

Práce se zabývá problematikou nestlačitelného dvojrozměrné-
ho proudění vazké tekutiny. Dokazuje se regularita Stokesova
systému se smíšenými okrajovými podmínkami. Ve druhé
části práce je dokázána existence řešení Markovova–Sto-
kesova systému rovnic na dostatečně malém časovém inter-
valu pro libovolná data.

Vymezování hranic elementárních forem georeliéfu

Ing. Jan PACINA

ZČU – Fakulta aplikovaných věd
Plzeň

Článek se zabývá možnostmi a problémy spojenými s automatickým vyhledáváním hranic elementárních forem georeliéfu, což by měl být první krok k jejich vymezení. Celý tento proces by měl přinést zkvalitnění analýzy morfologie reliéfu pomocí připravovaného Geomorfologického informačního systému.

GmIS

Geomorfologický informační systém (GmIS) je speciální typ geografického informačního systému zaměřeného na sběr, správu a analyzování geomorfologických informací. Je výborným nástrojem pro provádění geomorfologických analýz [8]. V našich podmínkách je vytvářen ve spolupráci Katedry matematiky – oddělení geomatiky, Fakulty aplikovaných věd a Katedry geografie, Fakulty pedagogické, Západočeské univerzity v Plzni a dále Katedry fyzické geografie a geologie, Fakulty přírodovědecké, Univerzity Komenského v Bratislavě. Koncepte, fyzický model databáze a možnosti geomorfologických analýz jsou popsány v [8] a [9]. Následující text se věnuje jedné z důležitých součástí GmIS – vymezení elementárních forem georeliéfu.

Elementární formy georeliéfu tvoří jádro celého GmIS. Jejich klíčová úloha spočívá v tom, že se z vymezených a určených elementárních forem georeliéfu odvozují další typy dat, využívané pro analýzy v GmIS. Geomorfolog vymezuje hranice jednotlivých forem a na základě zkušeností určuje jejich typ podle vrstevnicového podkladu. Přínosem by mělo být částečné zautomatizování procesu elementarizace.

Vstupní data

Vymezování hranic elementárních forem georeliéfu předchází kvalitní příprava vstupních dat. Zahrnuje výběr kvalitních vstupních výškových dat, výškový povrch interpolovaný z těchto dat a dále výpočet odvozených povrchů.

Výškový rastr

Jako vstupní data byla použita Základní báze geografických dat (ZABAGED), mapové listy: 21-44-03, 21-44-04, 21-42-23, 21-42-24, 21-44-08, 21-44-09. Byla zvolena s ohledem na to, že pro generování kvalitního digitálního modelu reliéfu (DMR) jsou zapotřebí kvalitní výšková data. Pro výpočet výškového modelu byly zvoleny pětmetrové vrstevnice, které jsou součástí výškopisné části ZABAGED, distribuované ve formátu DGN (3d-DGN). V území Černého a Čertova jezera na Šumavě odborníci z oblasti geomorfologie vybrali území, které obsahuje charakteristiky vhodné pro elementarizaci georeliéfu. Pro vymezení jeho hranic byl zvolen rastrový přístup. Z toho plyne, že ze vstupních výškových dat musíme interpolovat rastrový povrch výšek, což je pravidelná čtvercová mřížka, jejíž jednotlivé buňky obsahují hodnoty nadmořské výšky. Rastrovému přístupu se věnuje např. [4] a je obsažen ve většině publikací o GIS.

Pro rastrovou interpolaci existuje množství různých algoritmů, např. metoda inverzní vážené vzdálenosti (IDW), krigging, natural neighbor, spline. Ověřování přesnosti jednotlivých metod se věnuje např. [3], kde je pomocí statistických testů porovnávána vhodnost interpolačních algoritmů s ohledem na strukturu a hustotu vstupních dat.

Pro interpolaci byl zvolen nekomerční GIS GRASS v.6.1, který nabízí, mimo jiné interpolační algoritmy, interpolaci pomocí RST spline (RST – Regularized Spline with Tension – regulární spline pod napětím). Ověřování jednotlivých interpolačních algoritmů v GIS GRASS se věnuje např. práce [13]. Vyplývá z ní, že interpolace pomocí RST je pro tuto oblast nejvhodnější.

Teorie pro výpočet RST je uvedena např. ve [2] a [12], postup pro výpočet výškového rastru je např. v [1] a [13]. Zde uvedeme pouze nejdůležitější informace pro výpočet výškového rastru. Parametr *tension* (napětí) nastavuje tuhost výsledného povrchu od tenkého ocelového plátu po pryžovou membránu. Parametr *smooth* určuje přesnost, s jakou výsledný interpolovaný povrch prochází vstupními body. S parametrem *smooth* nastaveným na 0 (*smooth* = 0) prochází výsledný povrch přesně vstupními body. [2]

Pro interpolaci byly zvoleny hodnoty parametrů tak, jak je pro tuto oblast uvedeno v [13]. Hodnota pro maximální počet bodů v jednom segmentu (při interpolaci se využívá quad-tree segmentace) *dpmin* byla nastavena na *dpmin* = 300 a minimální vzdálenost mezi body na *dmin* = 10. Pro parametr *smooth* byla zvolena hodnota *smooth* = 0,8 a *tension* = 15. Aplikovatelný rozsah parametrů *smooth* a *tension* závisí na charakteru vstupních dat. Pro parametr *smooth* je to obecně hodnota 0 až 1 a pro parametr *tension* 5 až 90.

Při aplikaci algoritmů vymezujících hranice elementárních forem georeliéfu se však ukázalo, že hustota vstupních bodů je příliš vysoká. Je způsobena tím, že GRASS modul *v.surf.rst* počítá s každým lomovým bodem (vertexem) vstupních vrstevnic jako se vstupním bodem pro interpolaci. Bylo tedy nutné připravit vstupní data tak, aby při zachování maximální polohové přesnosti obsahovala menší počet vstupních bodů. Jde o metodu trendu, kdy při interpolaci zaniknou drobné geomorfologické útvary, ale vystihne se globální trend povrchu [13]. Při tvorbě takového *trendového* povrchu byl použit tento postup:

- pomocí modulu *v.surf.rst* byl vytvořen výškový rastr generovaný pomocí parametrů *tension* = 40 a *smooth* = 0. Takovýto povrch bude procházet přesně vstupními body, i když bude obsahovat artefakty interpolace;
- podle práce [1] byla z tohoto povrchu vybrána náhodně 3 % bodů a nad nimi opět provedena interpolace pomocí modulu *v.surf.rst* s parametrem *tension* = 20 a *smooth* = 0,8. Volbou hodnoty parametru *smooth* větší než 0 nebude generovaný povrch procházet přesně vstupními body. Jde o *smoothed* DMR (*vyhlazený* DMR). Náhodný byl proveden v programu Matlab pomocí funkce *random*. Výsledkem je vyhlazený DMR.

Použití vyhlazených DMR k výpočtu morfometrických charakteristik vyšších řádů nemusí nutně vést k méně přesným predikcím. Jinak řečeno, není přímý důkaz, že vertikálně přesnější povrchy generují přesné morfometrické charak-

teristiky vyšších řádů. Naopak byla vyslovena hypotéza, že charakteristiky odvozené z hladkých povrchů mohou reprezentovat aktuální místní situaci lépe než parametry odvozené z vertikálně přesných povrchů, které jsou však zatíženy různými artefakty interpolace [1].

Odvozené povrchy

Hranice elementárních forem budeme vyhledávat v povrchích odvozených z interpolovaného rastru nadmořských výšek. Jde o morfometrické charakteristiky prvního řádu (gradient skalárního pole výšek, úhel sklonu topografické plochy γ_N , orientace topografické plochy vůči světovým stranám A_N), morfometrické charakteristiky druhého řádu, tj. normálová křivost (K_N), horizontální křivost K_h , křivost spádnic v zobrazovací rovině – rotor, normálová změna gradientu a_g , a odvozené povrchy vyšších řádů. Popis vlastností a odvození jednotlivých odvozených charakteristik jsou uvedeny v [1], [5] a [14]. Tyto povrchy odvozených morfometrických charakteristik jsou zařazeny mezi fundamentální vrstvy GmIS.

V práci [14] bylo provedeno odvození vzorců pro výpočet morfometrických charakteristik různých řádů pomocí symbolických výpočtů a dále proveden výpočet odvozených charakteristik pomocí různě složitých numerických vztahů pro výpočet směrových parciálních derivací [11] a pomocí již naprogramovaných modulů v GIS GRASS.

S ohledem na numerickou přesnost výpočtu derivací jsou odvozené povrchy třetího a vyššího řádu v tuto chvíli nepoužitelné. Drobná chyba při interpolaci (vzniku) vstupního výškového rastru topografické plochy georeliéfu způsobí drobné (ještě únosné) nepřesnosti v křivostních površích (odvozený povrch 2. řádu). Tyto nepřesnosti při výpočtu dalších odvozených povrchů způsobí, že vzniknou chyby mnohem vyšších řádů, které znemožňují využití těchto povrchů pro automatické vymezení elementárních forem georeliéfu.

Pro ověřování algoritmů vyhledávající hranice elementárních forem georeliéfu mohou být použity povrchy generované algoritmem v GIS GRASS, protože přesněji popisují charakter křivostních poměrů na topografické ploše georeliéfu¹⁾. To je dáno tím, že výpočet odvozených povrchů prvního

druhého řádu probíhá zároveň s interpolací výškového rastru pomocí metody RST a parciální derivace potřebné pro výpočet odvozených povrchů jsou počítány přímo derivováním spline funkce, na rozdíl od numerického výpočtu, kde se hodnoty derivací počítaly z relativně malého okolí diskrétního povrchu.

Elementární formy georeliéfu a jejich hranice

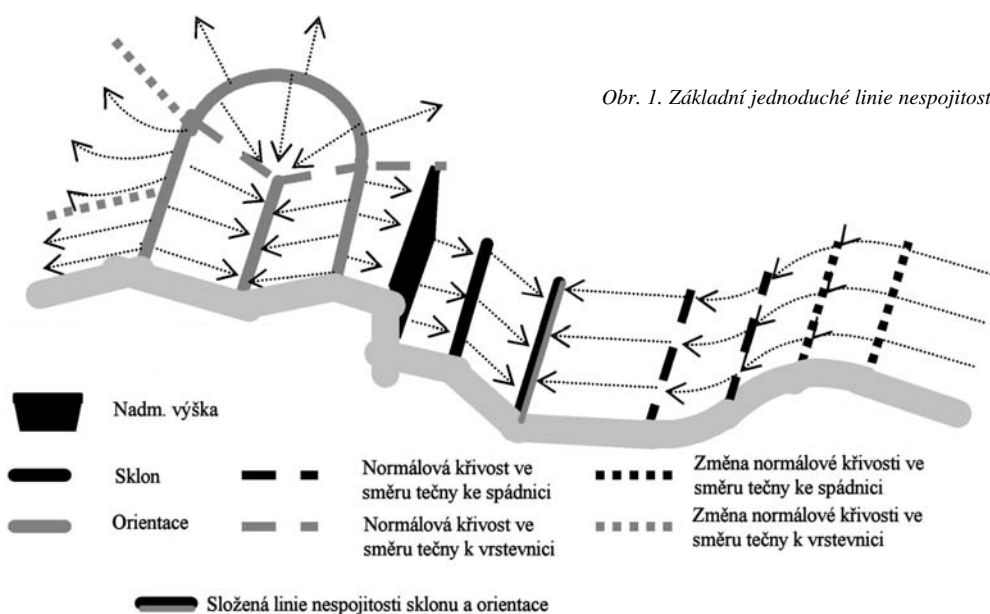
Elementární forma je na dané rozlišovací úrovni (měřítku) geometricky homogenní plocha, která má jednotnou genezi a předpoklady pro stejný průběh současných geomorfologických procesů, přičemž je ohraničena liniemi, na kterých je tato geometrická, genetická i dynamická homogenita narušená. Je to tedy na dané rozlišovací úrovni přirozeně ohraničený základní segment georeliéfu [9].

V souladu s [10] můžeme definovat tři axiomy, které tvoří teoretický základ pro elementarizaci georeliéfu:

- forma georeliéfu může být považována za spojitý povrch (geometrické pole výšek);
- v daném měřítku je možné na zemském povrchu nalézt nespojitosti, které mohou být považovány za přirozené hranice geomorfologických objektů;
- tyto nespojitosti zemského povrchu jsou výsledkem geomorfologických procesů, které mohou být v některých případech ovlivněny gravitací.

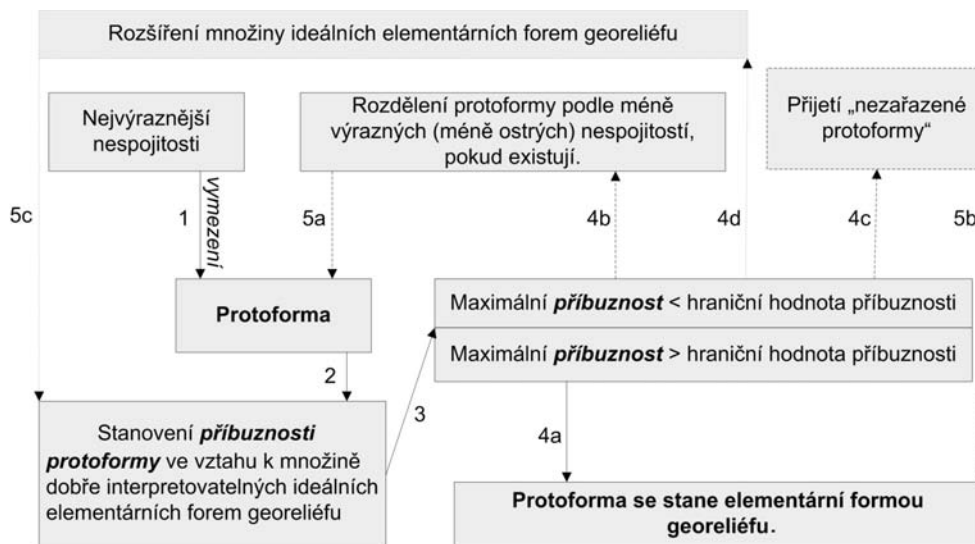
Specifické strukturální elementy pole zajišťují přirozený základ pro jeho segmentaci. Tyto elementy můžeme nazvat *singulární linie a body*. Mezi tyto elementy patří např. *extrémní body* a *linie* (vrcholy, depresní a sedlové body, hřbetnice), *inflexní body* a *nespojité* pole nadmořských výšek a dalších odvozených polí [6].

Definování singulárních linií jako hranic segmentů georeliéfu zajišťuje dobré počáteční podmínky pro to, aby elementarizace georeliéfu byla objektivní. Formální popis segmentů (elementárních forem) hladkou matematickou funkcí může přinést výhody i při identifikaci a interpretaci jednotlivých elementárních forem georeliéfu. Základní linie nespojitosti jsou na obr. 1.



Obr. 1. Základní jednoduché linie nespojitosti [10]

¹⁾ Výsledek konzultace s geomorfologem.



Obr. 2. Schéma elementarizace georeliéfu [10]

Minár a Evans definovali [10] základní množinu ideálních elementárních forem georeliéfu (geometrických forem), přičemž je každá forma popsána pomocí *fitted function* [15]. Tyto geometrické formy mají ideální vnitřní geometrickou spojitost. Na reálném zemském povrchu však takovéto ideální geometrické formy nenalezneme. Při rozpoznávání jednotlivých typů se provádí statistické ověřování *afinity* (příbuznosti) vymezených *protoform* (dosud neurčených elementárních forem) k jednotlivým geometrickým formám. Celý postup elementarizace je znázorněn na obr. 2. Číslo vazeb odpovídají pořadí jednotlivých kroků.

Vymezování hranic

Jak již bylo řečeno, elementární formy georeliéfu tvoří jádro celého GmIS. Aby bylo možné určit jednotlivé typy, musí se tyto formy nejprve vymezit. Můžeme postupovat dvěma způsoby:

- nejprve vymezit hranice elementárních forem vyhledáním linií nespojitosti a dále určit typ elementární formy;
- nalézt bod elementární formy a metodou narůstání oblasti vymezit hranice.

Ideální je kombinace obou přístupů. Jako první krok tedy provést detekci linií nespojitosti – tím získáme fragmenty hranic elementárních forem georeliéfu. Na tyto fragmenty poté aplikovat druhý přístup, při němž se budou definovat středy potenciálních elementárních forem georeliéfu a metodou narůstání oblasti se určí chybějící části jejich hranic. Postup elementarizace byl již ukázán na obr. 2.

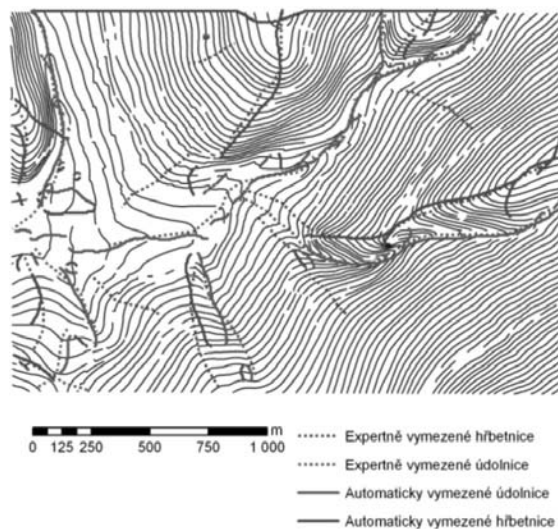
Následující text je věnován první části elementarizace georeliéfu. Bude tedy nutné vyhledat linie nespojitosti v površích odvozených z pole nadmořských výšek. Korektnost vyhledaných hranic je nutné ověřovat vizuální kontrolou. Vzhledem k tomu, že kontrola vyhledaných hranic v rastrovém povrchu $(K_N)_n$ je složitá a vyžaduje zkušenosti²⁾, bylo po poradě s geomorfologem ověřování algoritmů provedeno pouze na rastrovém povrchu nadmořských výšek a v jednom případě na povrchu normálové křivosti $(K_N)_n$.

Hranice vyhledané na výškovém rastru budou tedy údolnice a hřbetnice – v tomto případě jde o hranice prvního

řádu. Za tímto účelem byla na sledovaném území vybrána oblast, ve které geomorfolog vyznačil údolnice a hřbetnice tak, jak by je algoritmus měl vyhledat v ideálním případě. Při vyhledávání linií nespojitosti v povrchu křivosti hledáme lokální extrémy (minima a maxima).

Vyhledání lokálního maxima z okolních sousedů

První a nejjednodušší metodou vyhledání lokálních maxim je porovnání hodnot v nějakém *n*-okolí buňky. Vstupní výškový rastr budeme považovat za matici o rozměru $[m, n]$.



Obr. 3. Vyhledání lokálního maxima z okolních sousedů

Algoritmus prochází vstupní data nejprve po řádcích a aktuální buňku $a_{i,j}$ označí jako lokální maximum pokud $a_{i,j} > a_{i,j-1} \wedge a_{i,j} > a_{i,j+1}$. Stejný postup je následně aplikován i na sloupcích vstupních dat za podmínky $a_{i,j} > a_{i-1,j} \wedge a_{i,j} > a_{i+1,j}$. Popsaný algoritmus vyhledává ve výškových datech pouze hřbetnice. Údolnice³⁾ vyhledáme identicky, pouze za použití opačných znamének. Na obrázku 3 jsou vidět údolnice a hřbetnice, jak je algoritmus vyhledal.

²⁾ Z podkladu povrchu křivosti a vektorových vrstevnic je třeba vyčíst hranice.

³⁾ V křivostních površích budeme vyhledávat kladná a záporná maxima.



Obr. 4. Aplikace masky pro vyhledání lokálních extrémů

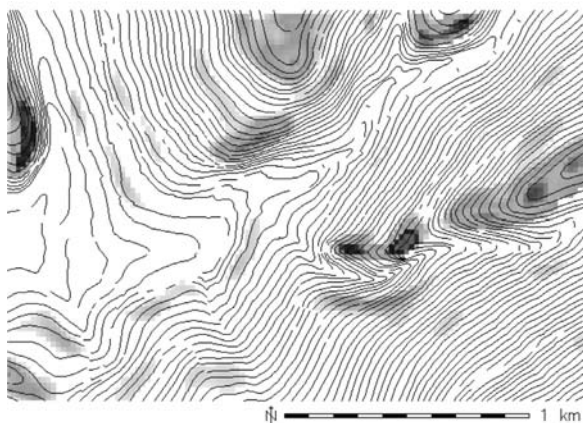
1 – vyhledání lokálního maxima v řádku (hodnota 6), 2 – aplikace masky - vyhledání maxima z pěti okolí (hodnota 5, pozice [2, 3]), 3 – v pozici [2, 3] znovuaplikování masky a vyhledání maxima z pěti okolí (hodnota 4)

Vyhledání lokálního maxima pomocí plovoucí masky

Dalším algoritmem, který byl na vstupní data aplikován, je vyhledání lokálních maxim pomocí plovoucí masky. Pro zjednodušení je postup vyhledávání lokálních maxim pomocí plovoucí masky znázorněn na ukázkových datech na obr. 4. Postup algoritmu je následující:

- algoritmus prochází vstupní data po řádcích (s ohledem k rozměru masky začíná na druhém řádku matice vstupních dat) a vyhledává lokální maxima (viz část 1 obr. 4);
- po nalezení lokálního maxima v řádku (na obr. 4 hodnota 6) je na pět okolí aplikována maska a vyhledáno lokální maximum z tohoto okolí (v našem případě hodnota 5 – část 2 obr. 4);
- postup se opakuje, dokud není dosaženo podmínek zapsaných ve zdrojovém kódu algoritmu (dosažení okraje vstupních dat, na výběr není již žádná hodnota větší než nastavený práh);
- poté se algoritmus vrací na místo, kde v bodě 1 nalezl první lokální maximum v řádku, a pokračuje dále v jeho prohledávání.

S ohledem na charakter vstupních dat byl tento algoritmus ověřován pouze na křivostním povrchu $(K_N)_n$. Výsledkem jsou oblasti, ve kterých by bylo nutné dalším způsobem vyhledat přímo maxima (hranice) – viz obr. 5.

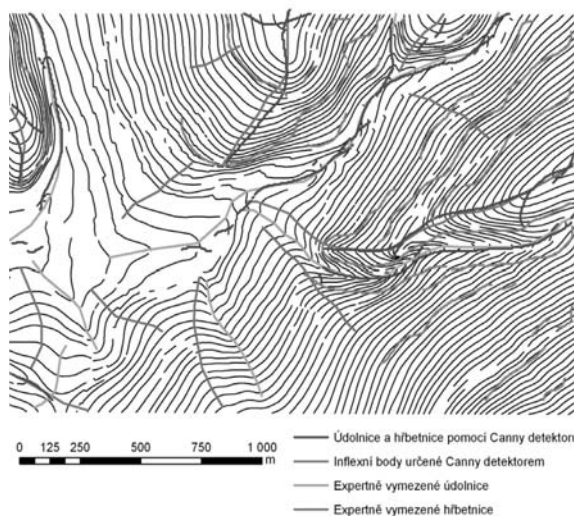


Obr. 5. Oblasti vyhledané algoritmem s plovoucí maskou

Abychom výběr lokálních maxim zúžili pouze na ta, která mají větší význam, byla po konzultaci s geomorfologem stanovena prahová hodnota $(K_N)_n = 0,01$. Tato hodnota odpovídá kružnici s poloměrem normálové křivosti $(R_N)_l = 100$ m. Algoritmus je samozřejmě přizpůsoben i vyhledávání záporných maxim.

Vyhledání lokálního maxima hranovými detektory

Velmi nadějným způsobem pro vymezování hranic elementárních forem georeliéfu je použití hranových detektorů⁴⁾. V prvním kroku je na vstupní data aplikován Cannyho hranový detektor. Ten vyhledá hrany, které odpovídají inflexním bodům ve vstupních datech. Následně se mezi těmito body vyhledají lokální maxima a minima. Při aplikaci tohoto přístupu se dá snadno vypočítat mohutnost hranice⁵⁾. Na obrázku 6 je výsledek výše popsaného algoritmu.



Obr. 6. Údolnice a hřbetnice vyhledané pomocí Cannyho hranového detektoru

Při vizuální kontrole výsledku můžeme konstatovat, že automaticky vymezené údolnice a hřbetnice korespondují s expertně vymezenými liniemi pouze v několika oblastech. To může být způsobeno tvorbou trendového povrchu, kdy Cannyho hranový detektor nebyl schopen detekovat inflexní body na příliš hladkém povrchu. Další příčinou mohou být příliš přísně nastavené prahy při běhu Cannyho algoritmu. Tento přístup slibuje nadějně výsledky, bude však nutné provést další ověřování nastavení tohoto algoritmu.

Závěr

Při tvorbě vstupního DMR bude nutné zjistit, jaké množství náhodně generovaných bodů, jako vstupních dat pro interpolaci, je vhodné použít pro danou lokalitu. V souvislosti s tím se budou muset ověřit i parametry, které řídí interpolaci pomocí RST. Další možností je získání vstupních dat z družicového laserového snímání LIDAR. Tato data by svým charakterem a přesností byla pravděpodobně lepší než ručně digitalizovaná data ZABAGED.

⁴⁾ Hranový detektor vyhledává místa v obraze, kde dochází k náhlé změně jasu (v našem případě hodnota nadmořské výšky nebo křivosti). Tato místa odpovídají hledané hranici.

⁵⁾ O mohutnosti hranice více v [10], [14].

Z výsledků práce [14] vyplývá, že je nutné najít způsob, jak počítat křivostní povrchy s odpovídající kvalitou. Znamená to tedy použít lepší postupy pro výpočet parciálních derivací, než byly použity v této práci. Výsledky jednotlivých algoritmů jsou vizuálně porovnány s expertně vymezenými hranicemi. Bylo by vhodné navrhnout automatické hodnocení vymezených hran, aby bylo možné statisticky určit, které hrany algoritmus vymezil vhodně a které vymezil vlivem různých chyb (artefakty interpolace, chyby ve vstupních datech atd.). Tyto hodnoty můžeme použít také při ověřování modifikovaných algoritmů pro vymezení hranic. U použitých algoritmů bude nutné najít různé prahové hodnoty pro vyhledávání lokálních extrémů, zkusit aplikovat různou velikost porovnávacích masek a u Cannyho hrnového detektoru ověřit různé prahové hodnoty pro detekci hran. U vymezených hranic bude také vhodné provést výběr podle mohutnosti (resp. ostrosti) hranice [10], [14].

Literatura

- [1] Bonk, R.: Scale-Dependent Impact of Selected Factors on Morphometric Parameters Accuracy and Automated Geomorphological Mapping. [Dizertační práce], Comenius University at Bratislava, 2003.
- [2] Cebecauer, T. – Hofierka, T. – Šúri, M.: Processing Digital Terrain Models by Regularized Spline with Tension: Tuning Interpolation Parameters for Different Input Datasets. Proceedings of the Open Source GIS - GRASS Users Conference 2002 - Trento, Italy.
- [3] Chaplot, V. – Darboux, F. – Bourennane, H.: Accuracy of Interpolation Techniques for the Derivation of Digital Elevation Models in Relation to Landform Types and Data Density. *Geomorphology*, 2006. ISSN 0169-555X.
- [4] Jedlička, K. – Břehovský, M. – Šíma, J.: Úvod do geografických informačních systémů. Západočeská univerzita, Plzeň, 2003, 116 s.
- [5] Krcho, J.: Morfometrická analýza a digitální modely georeliéfu. Bratislava, Veda 1990. ISBN 80-224-0018-1.
- [6] Lastočkin, A. N.: Morfodinamiczeskij Analiz. Leningrad, Nedra 1987. ISBN (1904040000-313)/(043(01)-87)92-87.
- [7] Mentlík, P. – Jedlička, K. – Minár, J. – Barka, I.: Geomorphological Information System: Physical Model and Options of Geomorphological Analysis. In: *Geografie*, 111, č. 1, 2006, s.15–32. ISSN 1212-0014.
- [8] Minár, J. – Mentlík, P. – Jedlička, K. – Barka, I.: Geomorphological Information System: Idea and Options for Practical Implementation. *Geografický časopis* 57, 2005, č. 3, s. 247–266. ISSN 0016-7193.
- [9] Minár, J.: Niektoré teoreticko-metodologické problémy geomorfologie vo väzbe na tvorbu komplexných geomorfologických máp. *Acta Facultatis Rerum Naturalium Universitatis Comenianae, Geographica*, Nr. 36, 1996. ISBN 80-223-1025-5.
- [10] Minár, J. – Evans, I. S.: Theoretical Basis of Elementary Landform Segmentation in Geomorphological Mapping. *Geomorphology* (v tisku). ISSN 0169-555X.
- [11] Míka, S.; Brandner, M.: Numerické metody I. ZČU Plzeň, 1996.
- [12] Neteler, M.: Open Source GIS: a GRASS GIS Approach. Kluwer Academic Publisher, USA 2004, ISBN: 1-4020-8064-6
- [13] Pacina, J.: Popis principů fungování vybraných prostorových analýz a jejich implementace v nekomerčním GIS GRASS pro názornou výuku. [Diplomová práce], FAV ZČU Plzeň, 2005. <http://gis.zcu.cz/projekty/GmIS/>
- [14] Pacina, J.: Automatizované vymezení elementárních forem georeliéfu jako součást geomorfologického informačního systému. FAV ZČU Plzeň, 2007. <http://gis.zcu.cz/projekty/GmIS/>
- [15] Troeh, F. R.: Landform Equations Fitted to Contour Maps. *American Journal of Sciences*, 263, 616-627, 1965. ISSN 0002-9599.

Pacina, J.: Specification of Boundaries of Elementary Forms of Georelief

The presented article deals with the potential and problems inherent in an automatic search for boundaries of elementary forms of the georelief, which should become the first step in their specification. The entire elementarization process should lead to perfecting the analysis of relief morphology by means of the geomorphological information system under preparation.

Pacina, J.: Definition der Grenzen elementarer Georeliefformen

Der Artikel befasst sich mit den Möglichkeiten und Problemen, die mit der automatischen Suche der elementaren Formen eines Georeliefs verbunden, sind was der erste Schritt zu ihrer Definition sein sollte. Der ganze Prozess der Elementarisierung soll eine Verbesserung der Analyse der Morphologie des Reliefs mit Hilfe eines vorbereiteten geomorphologischen Informationssystems bringen.

•projekty

Budovu Národního muzea a budovu bývalého Federálního shromáždění spojí tunel

Na podzim roku 2006 byla usnesením vlády převedena Národnímu muzeu do užívání budova bývalého Federálního shromáždění. Projekt počítá s propojením obou budov do jednoho návštěvnického a technologického celku. Získaná budova umožní přestěhování řady kanceláří z původní historické budovy, čímž se získá několik tisíc metrů čtverečních pro expozice, výstavy a práci s návštěvníky. Spojením vznikne velký muzejně kulturní celek, v obou budovách budou umístěny expozice a servis pro návštěvníky.

Předpokladem vytvoření tohoto celku však bylo nutné najít možnost, jak obě budovy propojit, a to jak pro návštěvnický provoz, tak pro zaměstnance muzea a transporty sbírkových předmětů. Národní muzeum ihned po přidělení budovy začalo na vyřešení problému společně s firmou IDS Praha pracovat. Od začátku bylo preferováno podzemní spojení.

Na základě fundovaných průzkumů bylo zjištěno, že obě budovy z technického hlediska lze propojit tunelem v úrovni druhého podzemního podlaží v přední části historické budovy, dlouhým cca 45 m. Propojení v úrovni vestibulu metra bude zakomponováno do projektu generální rekonstrukce historické budovy muzea. V ideálním případě budou obě budovy pro návštěvníky odtud přístupné.

V bývalém Federálním shromáždění se nacházejí gastroprovozy, řada zasedacích místností, včetně velkého hlavního sálu, vhodných pro pořádání konferencí, ale též pro filmové projekce, koncerty apod., ideální prostory pro muzejní obchody atd. Tyto prostory, tedy nebude nutné budovat v historické budově, čímž bude usnadněna její náročná rekonstrukce.

Tisková informace

Problematika kontrolného merania skutočného tvaru slinkového sila

Ing. Marek BAJTALA, Ph.D.
 prof. Ing. Štefan SOKOL, Ph.D.
 STU – Stavebná fakulta
 Bratislava

Príspevok sa zaoberá problematikou budovania siete vzťažných bodov potrebných na zameranie skutočného tvaru slinkového sila. Podrobne je analyzovaná presnosť zamerania vzťažných a podrobných bodov budovaných metódou prechodných stanovísk. Teoretická presnosť určenia vzťažných a podrobných bodov je konfrontovaná s presnosťou dosiahnutou v samotnom experimentálnom meraní.

Možnosti merania

Súčasná doba elektronizácie a automatizácie procesu geodetických činností umožňuje ekonomickejšie, rýchlejšie a jednoduchšie dosahovať požadované výsledky a produkty, ktoré svojou kvalitou dokážu uspokojiť aj najnáročnejšie požiadavky. Ak sú tieto výsledky prezentované vo forme reprezentujúcej neustály pokrok v kvalite činnosti geodeta, je to len výhoda. Mnohé rozhodnutia, týkajúce sa samotného stavu objektu, funkčnosti a prevádzky, sú závislé od výsledkov geodetických meraní a ich interpretácie. Samozrejme všetky tieto poznatky a pokroky vedy a techniky uľahčujú činnosti geodetov, ale aj napriek tomu je potrebné vedieť spomedzi tejto širokej palety možností vybrať tú najvhodnejšiu a časovo najmenej náročnú metódu, ktorá bude zohľadňovať všetky požiadavky investora.

V súčasnosti ešte stále medzi najpoužívanejšie metódy na meranie nielen skutočného stavu objektu patria geodetické metódy, aj keď fotogrametrické metódy a metóda terestrických laserových systémov sa výrazne tlačia do popredia. Čo sa týka geodetických metód, tak z nich je vzhľadom na konštrukčný princíp väčšiny univerzálnych meracích staníc využívaná najmä priestorová polárna metóda. O jej významnosti a jednoznačnej váhe svedčí aj fakt, že sa jej prispôbila aj meracia technika využívajúca veľmi presné elektronické meranie smerov a dĺžok. Veľkou výhodou je jej vysoká presnosť a rýchle určenie priestorovej polohy bodu. Ďalšou výhodou oproti fotogrametrickej metóde je jej jednoduchosť – nie je potrebná signalizácia podrobných bodov ani transformácia súradníc.

Fotogrametria, ako osobitná meračská technika, sa uplatňuje aj v odboroch mimo vlastné pole geodézie pri meračskom sledovaní takých predmetov a javov, kde priame geodetické meranie je obtiažné, časovo náročné, nebezpečné, prípadne aj nemožné. Do tejto oblasti patrí meranie na objektoch zložitej stavby, sledovanie javov alebo úkazov, ktoré buď prebiehajú veľmi rýchle, alebo naopak veľmi pomaly, ako aj iné úlohy v experimentálnom výskume. Pre potreby inžinierskej geodézie, najmä v oblasti kontrolného merania skutočného tvaru objektov, sa využíva blízka digitálna fotogrametria, predovšetkým metóda konvergentného snímkovania so všeobecnou orientáciou osí záberu, ktorú je

dnes možné realizovať pomocou akejkolvek kvalitnejšej digitálnej kamery. Za najnovšiu a veľmi perspektívnu metódu merania sa považujú terestrické laserové systémy (TLS). Ich výhoda spočíva hlavne v automatizácii celého procesu merania a spracovania výsledkov až po vytvorenie výsledného trojrozmerného modelu objektu. Tieto systémy umožňujú bezkontaktné určovanie priestorových súradníc, trojrozmerné modelovanie a vizualizáciu zložitých stavieb a konštrukcií, temer ľubovoľných povrchov, a to predovšetkým mimoriadnou rýchlosťou, primeranou presnosťou, komplexnosťou a bezpečnosťou. Väčšina skenovacích systémov využíva najmodernejšiu pulznú laserovú technológiu na meranie dĺžok a určuje polohu bodov priestorovou polárnou metódou.

Vybudovanie geodetického základu

Všetky spomenuté metódy vychádzajú z geodetického základu, ktorý určuje predovšetkým rozmer a štruktúru samotného podrobného merania a prenáša sa do meracieho procesu zobrazenia tvaru skúmaného objektu. Je evidentné, že ak je potrebné zobraziť skutočný tvar objektu väčšieho rozmeru alebo zložitého tvaru, tak všetky spomenuté metódy musia vychádzať z podkladu, ktorý bude zaručovať správnu návaznosť jednotlivých podrobných meraní a jeho dostatočnú presnosť. Ak chceme určovať tvar nejakého objektu s vysokou presnosťou (rádovo milimetre), geodetický základ je spravidla budovaný ako miestna geodetická sieť, ktorá môže mať rôzny tvar a môže obsahovať rôzny počet vzťažných bodov. Voľba typu geodetickej siete závisí predovšetkým od členitosti stavby a od požadovanej presnosti jej zamerania. Voľba ďalej závisí od rozsahu stavby a konfigurácie staveniska, respektíve tvarového usporiadania okolia stavby. Najčastejšie budujeme sieť vzťažných bodov nasledovnými spôsobmi:

- meračská priamka alebo os,
- polygónový ťah,
- geodetická sieť v tvare reťazca,
- pravouhelníková sieť,
- geodetická sieť tvorená prechodnými stanoviskami,
- kombinácia uvedených geodetických sietí.

Lokalita a podmienky merania

Predmetom merania je silo (*obr. 1*) v areáli cementárne Holcim, závod Rohožník. Silo tvaru valca slúži na uskladnenie slinku (pri teplote cca 130 °C), ktorý tvorí základnú surovinu pri výrobe cementu. Ocelový plášť stavby má polomer 18 m, výška najvyššieho meraného kruhového rezu plášťa a nad zemou je cca 40 m, pričom celková výška sila je cca 50 m. V niektorých častiach došlo počas dlhoročnej prevádzky k deformáciám ocelového plášťa, ktoré boli odstránené zvaraním. Keďže to bolo iba dočasné riešenie, bolo navrhnuté spevnenie pomocou ocelevej konštrukcie v tvare obvodových a vertikálnych ocelových prizváraných výstuží. Z toho dôvodu bolo potrebné presne poznať deformovaný

tvár plášt'a sila. Pomocou vodného lúča sa potom vyrobia obvodové a vertikálne výstuže, ktoré sa na plášť zavaria.



Obr. 1. Slinkové silo

Na základe týchto skutočností bola realizovaná predstavitel'mi cementárne Holcim požiadavka priestorového zamerania skutočného deformovaného tvaru sila. Po dohode s prevádzkovateľom bola požiadavka merania podrobných bodov s presnosťou stredných súradnicových chýb $m_{xy} = m_H = 0,003$ m, pričom jednotlivé podrobné body budú zamerané vo vertikálnych profiloch s rozstupom 2 m v siedmich výškových úrovniach. Vzhľadom k priemeru sila 36 m to predstavuje zameranie 56 vertikálnych profilov. Celkovo je to 392 podrob-

ných bodov. Okrem toho bola daná požiadavka zhustenia podrobných bodov s presnosťou stredných súradnicových chýb $m_{xy} = m_H = 0,01$ m v ďalších 56 profiloch v ôsmich výškových úrovniach (448 bodov). V úsekoch s veľkými tvarovými deformáciami (zlomové úseky na spojoch oceľových obvodových pásov, kde nie je plynulý plášť) bola ďalej dohoda zamerania týchto častí pomocou terestrických laserových systémov, aby bol čo najviac vystihnutý celkový tvar sila (obr. 2).



Obr. 2. Rozmiestnenie podrobných bodov

Experimentálne meranie tvaru sila

Ustanovené podmienky a skutočnosti bolo potrebné zväžiť pri experimentálnom meraní a výbere najvhodnejších metód a postupov. Pri navrhovaní metodiky merania sme vychádzali z predpokladu, že podrobné body budú zamerané geodeticky, fotogrametricky a laserovým skenovacím systémom. Z toho dôvodu sme realizovali signalizáciu podrobných bodov na oceľovom plášti slinkového sila dvoma spôsobmi. Pre potreby geodetického zamerania podrobných bodov s presnosťou $m_{xy} = m_H = 0,003$ m sme zvolili signalizáciu jednotlivých bodov profilov pomocou odrazových fólií o rozmere 40 x 55 mm. Kvôli presnému cieleniu bol v strede odrazovej fólie vyrezaný krúžok $\varnothing 4$ mm, podlepený čiernou podkladovou fóliou (obr. 3) [2].



Obr. 3. Signalizácia bodov odrazovou fóliou

Pre potreby fotogrametrického zamerania bol zvolený spôsob signalizácie podrobných bodov pomocou bieleho spreja nastriekaním kruhov \varnothing 40 mm cez šablónu. Body osadzovali horolezci, pričom jednotlivé zvislé profily boli signalizované geodetickým prístrojom pomocou laserového lúča.

Na meranie bodov určených geodeticky sme použili prístroj Leica TCR 1203, ktorý je charakterizovaný štandardnou odchýlkou merania vodorovného smeru $m_\gamma = 0,9$ mgon, výškového uhla $m_\beta = 0,9$ mgon a štandardnou odchýlkou merania dĺžky na reflexnú fóliu $m_s = 2$ mm + 2 ppm. Na fotogrametrické snímokovanie bola použitá digitálna kamera Nikon D200 s rozlíšením 10 MPx. Skenovanie bolo realizované terestrickým laserovým systémom Trimble GX 3D scanner.

Presnosť určenia podrobných bodov

Pri voľbe spôsobu osadenia podrobných bodov sme vychádzali z predpokladu, že body osadené pomocou odrazových fólií je najvhodnejšie merať priestorovou polárnou metódou, kde súčasne získavame priestorové súradnice podrobných bodov. Pri samotnej rekognoscácii objektu sila (\varnothing 36 m, výška 40 m) a jeho okolitej zástavby sme pri rozbere presnosti zamerania podrobných bodov vychádzali z predpokladu, že najväčšia dĺžka medzi vzťažnými a pozorovanými bodmi nepresiahne 70 m (výškový uhol 50 g). Na základe týchto skutočností sme urobili analýzu presnosti určenia polohy a výšky podrobného bodu priestorovou polárnou metódou.

Najskôr sa budeme venovať polohovej presnosti, kde vychádzame zo známych vzťahov určenia polohy bodu polárnou metódou [1]. Pri odvodení strednej súradnicovej chyby volíme polohu vzťažných bodov tak, že prechádzajú osou X , pričom bod 1 je v počiatku súradnicovej sústavy. Súradnice bodu P určíme podľa vzťahov

$$x_P = x_1 + s \cos(\sigma_{1,2} + \gamma), \quad (1)$$

$$y_P = y_1 + s \sin(\sigma_{1,2} + \gamma). \quad (2)$$

Pre stredné súradnicové chyby m_{xP} , m_{yP} aplikáciou zákona o hromadení chýb dostaneme

$$m_{xP}^2 = m_{x1}^2 - s^2 \cdot \sin^2(\sigma_{1,2} + \gamma) \cdot (m_{\sigma_{1,2}} + m_\gamma)^2 + \cos^2(\sigma_{1,2} + \gamma) \cdot m_s^2, \quad (3)$$

$$m_{yP}^2 = m_{y1}^2 + s^2 \cdot \cos^2(\sigma_{1,2} + \gamma) \cdot (m_{\sigma_{1,2}} + m_\gamma)^2 + \sin^2(\sigma_{1,2} + \gamma) \cdot m_s^2. \quad (4)$$

Vzhľadom k zvolenej súradnicovej sústave môžeme napísať

$$m_{\sigma_{1,2}} = \frac{m_{y2} - m_{y1}}{d}; \quad \sigma_{1,2} = 0. \quad (5)$$

Po dosadení dostaneme

$$m_{xP}^2 = m_{x1}^2 - \frac{s^2}{d^2} \sin^2 \gamma \cdot m_{y2}^2 + \frac{s^2}{d^2} \sin^2 \gamma \cdot m_{y1}^2 - s^2 \cdot \sin^2 \gamma \cdot m_\gamma^2 + \cos^2 \gamma \cdot m_s^2, \quad (6)$$

$$m_{yP}^2 = m_{y1}^2 \left(1 - \frac{s^2}{d^2} \cos^2 \gamma \right) + \frac{s^2}{d^2} \cos^2 \gamma \cdot m_{y2}^2 + s^2 \cdot \cos^2 \gamma \cdot m_\gamma^2 + \sin^2 \gamma \cdot m_s^2. \quad (7)$$

Za predpokladu, že $m_{x1} \doteq m_{x2} \doteq m_{y1} \doteq m_{y2} \doteq m_{xy}$, po úprave dostaneme výslednú strednú súradnicovú chybu bodu P

$$m_{xyP}^2 = m_{xy}^2 \left[1 + \frac{s}{d} \left(\frac{s}{d} - \cos \gamma \right) \right] + \frac{1}{2} \left(m_s^2 + \frac{m_\gamma^2}{\rho^2} s^2 \right). \quad (8)$$

Ak predpokladáme, že vzťažné body sú vzájomne závislé, môžeme vyjadriť strednú chybu východzieho smeru ako $m_{\sigma_{1,2}} = m_{\Delta y} / d$ a po úprave dostaneme

$$m_{xyP}^2 = m_{xy}^2 + \frac{s^2}{2 \cdot d^2} m_{\Delta y}^2 + \frac{1}{2} \left(m_s^2 + \frac{m_\gamma^2}{\rho^2} s^2 \right). \quad (9)$$

Ak strednú chybu súradnicového rozdielu $m_{\Delta y}$ vzťažných bodov nahradíme výrazom $m_{\Delta y} \doteq m_\omega / \rho \cdot d$, kde strednú chybu m_ω považujeme za výslednú strednú chybu orientácie na vzťažných bodoch, môžeme uviesť výsledný vzťah strednej súradnicovej chyby určenia bodu P polárnou metódou

$$m_{xyP}^2 = m_{xy}^2 + \frac{s^2 m_\omega^2}{2 \cdot \rho^2} + \frac{1}{2} \left(m_s^2 + \frac{m_\gamma^2}{\rho^2} s^2 \right). \quad (10)$$

Keďže na meranie sme použili prístroj Leica TCR 1203, ktorý je charakterizovaný štandardnou odchýlkou merania smeru $m_\gamma = 0,9$ mgon a štandardnou odchýlkou merania dĺžky na reflexnú fóliu $m_s = 2$ mm + 2 ppm, dosadením konkrétnych hodnôt do výrazu

$$m_{pol} = \frac{1}{2} \left(m_s^2 + \frac{m_\gamma^2}{\rho^2} s^2 \right) \quad (11)$$

dostaneme presnosť určenia podrobných bodov polárnou metódou $m_{pol} = 0,0017$ m.

Presnosť siete vzťažných bodov

Na základe vypočítanej presnosti vytýčenia podrobných bodov a známej celkovej strednej súradnicovej chyby udanej prevádzkovateľom môžeme odvodením zo vzťahu (10) vypočítať presnosť vzťažných bodov

$$m_{xy}^2 + \frac{s^2 m_\omega^2}{2 \cdot \rho^2} = m_{xyP}^2 - m_{pol}^2. \quad (12)$$

V uvedenom vzťahu sa vyskytuje neznáma stredná chyba m_ω . Jej hodnota závisí od spôsobu určenia vzťažných bodov. Preto sa teraz budeme venovať výberu vhodnej metódy určenia vzťažných bodov a ich presnosti. Vzhľadom na okolitú zástavbu v okolí sila, počet podrobných bodov a výslednú presnosť požadovanú prevádzkovateľom ostávajú tri možnosti budovania siete vzťažných bodov – polygónovým ťahom, prechodnými stanoviskami a kombináciou oboch metód.

Presnosť siete tvorenej polygónovým ťahom

Pri úvahách o presnosti budovania geodetickej siete pomocou polygónového ťahu vychádzame zo vzťahov, ktoré sú odvodené za predpokladu, že vrcholové uhly sú merané

s rovnakou presnosťou. Stredná súradnicová chyba vzťažného bodu určeného polygónovým ťahom podľa [1] bude

$$m_{xy}^2 = 0.5 \left(\sum_{j=1}^{n-1} m_{d_{j,j+1}}^2 + \lambda_d^2 d_{1,n}^2 + \frac{m_\omega^2}{\rho^2} \sum_{j=1}^{n-1} d_{j,n}^2 \right), \quad (13)$$

kde n je počet vrcholov,

$d_{j,n}$ – vzdialenosť medzi koncovým bodom a j -tým bodom,

m_d – stredná chyba polygónovej strany,

λ_d – koeficient systematickej chyby,

m_ω – stredná chyba vrcholového uhla.

Za predpokladu, že všetky smery a dĺžky budú merané s rovnakou presnosťou, priečna chyba bude

$$m_{xn}^2 = \frac{d^2 m_\omega^2}{\rho^2} \sum_{j=1}^{n-1} (n-j)^2 \quad (14)$$

a pozdĺžna chyba

$$m_{yn}^2 = m_d^2(n-1) + m_{dc}^2(n-1)^2. \quad (15)$$

Sčítaním mocninového radu dostaneme výsledný tvar priemernej strednej chyby

$$m_{xn} = \frac{d \cdot m_\omega}{\rho} \sqrt{\frac{n(n-1)(2n-1)}{6}}. \quad (16)$$

Pri voľbe dĺžky polygónového ťahu a počte vrcholov vychádzame z predpokladu, že z jedného stanoviska môžeme zamerať v priemere sedem profilov podrobných bodov. Z toho vyplýva cca osem stanovísk, resp. bodov polygónového ťahu s dĺžkami strán v priemere 50 m. Vzhľadom na slabú dostupnosť niektorých častí vplyvom okolitej zástavby je predpoklad, že počet stanovísk na zameranie podrobných bodov v dolnej a hornej časti slinkového sila bude väčší, do výpočtu budeme uvažovať až dvanásť stanovísk prístrojov.

Dosadením do vzťahu na určenie priečnej odchýlky za predpokladu, že polygónový ťah bude uzavretý, dostaneme výslednú priečnu strednú chybu bodu v strede ťahu $m_{xn} = 0,0052$ m.

Z uvedeného výpočtu je evidentné, že sme museli metódu budovania vzťažných bodov pomocou polygónového ťahu zamietnuť. Ďalšou skutočnosťou, ktorá je v neprospech budovania siete vzťažných bodov polygónovým ťahom, je aj to, že vzhľadom na veľký počet bodov nie je možné zamerať všetky v jeden deň, a tým pádom je potrebné stabilizovať posledný bod polygónového ťahu, kde pribúda chyba z centrácie prístroja nad bodom, čím je narušená kontinuita závislej centrácie.

Presnosť siete tvorenej prechodnými stanoviskami

Ak predpokladáme, že sieť vzťažných bodov bude tvorená prechodnými stanoviskami, môžeme vychádzať zo vzťahu (12), kde predpokladáme, že jednotlivé stanoviská budú určené minimálne zo štyroch známych bodov. Z toho dôvodu môžeme pre strednú chybu orientácie uviesť vzťah

$$m_\omega = \frac{m_\gamma}{\sqrt{4}} = \frac{m_\gamma}{2} \quad (17)$$

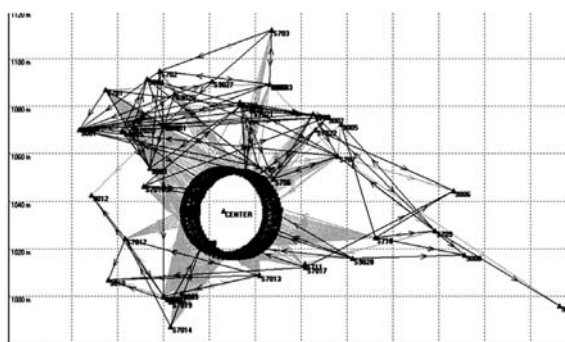
a dosadením do vzťahu (12) dostaneme požadovanú presnosť určenia bodov prechodných stanovísk m_{xy} . Za predpo-

kladu, že priemerná dĺžka orientácie bude cca 70 m, dostaneme výslednú strednú súradnicovú chybu $m_{xy} = 0,0025$ m.

Na to, aby sme mohli realizovať vzťažné body ako prechodné stanoviská, je potrebné poznať okolité body, z ktorých budú určené. Keďže v okolí sila sa nachádzajú okolité stavebné objekty trvalého charakteru s pevnými základmi, tak sme sa rozhodli stabilizovať skupinu vzťažných bodov pomocou odrazových fólií na týchto objektoch. Čo sa týka presnosti určenia týchto vzťažných bodov stabilizovaných odrazovými fóliami, vychádzali sme zo štyroch bodov, ktoré sme stabilizovali ako prvé. Tieto body sme zamerali z prvého prechodného stanoviska, ktorého súradnice sme zvolili ako východzie, a teda absolútne presné vzhľadom na nami zvolený súradnicový systém. Vzťažné body sme merali vo dvoch skupinách prístrojom Leica TCR 1203. Preto môžeme pre výslednú presnosť prvých štyroch vzťažných bodov použiť vzťah (11), kde presnosť meraného uhla vo dvoch skupinách bude $m_{\alpha 2} = m_\gamma / \sqrt{2}$ a dĺžka na orientácie neprekročí 70 m. Dosadením sme dostali presnosť prvých štyroch vzťažných bodov $m_{xyz} = 0,0017$ m, čím sme splnili požiadavku presnosti vypočítanú vyššie, ktorej hodnota bola 0,0025 m. Pri voľbe druhého prechodného stanoviska, ktoré bolo cca 50 m ďalej v smere merania, sme ako vzťažné zvolili tri body vzťažnej siete, predošlé stanovisko a dva podrobné body na silu, ktoré v momente merania môžeme považovať aj ako vzťažné body. Obdobným spôsobom sme postupovali na ďalších prechodných stanoviskách, pričom sme vždy dopredu zamerali nové vzťažné body.



Obr. 4. Použité prístroje na meranie



Obr. 5. Rozmiestnenie vzťažných bodov s prechodnými stanoviskami

Presnosť určenia vzťažných bodov a prechodných stanovísk sme kontrolovali priamo na displeji prístroja. Po zameraní vzťažných bodov bolo možné skontrolovať smerodajné odchýlky (Sd. Easting, Sd. Northing, Sd. Height), viz obr. 6, ďalej jednotkovú strednú chybu sigma a jednotlivé diferencie meraných vzťažných bodoch (dHz, dHoriz. Dist, dEas-

Property	Value
Point Id	S9028
Date/Time	30/11/2006 10:42:25
Method	Resection
Easting	417.5939
Northing	556.2473
Ortho. Height	98.8500
Allow autom. update	No
Sd. Easting	0.0009
Sd. Northing	0.0008
Sd. Height	0.0003
Instrument Height	0.0000
Instrument Type	TCR1203
Instrument S/N	217770
Orientation Correction	0.0000
Centring Error	0.0000
Height Error	0.0000

Obr. 6. Štandardné odchýlky určenia prechodných stanovísk

Point Id	Use	Easting	Northing	Ortho. Height	dHz	dHoriz. Dist.	dEasting	dNorthing	dHeight
S251	3D	1035.6770	1020.6250	98.7910	0.0006	0.0027	0.0027	-0.0007	-0.0009
S311	3D	1043.0730	1029.9480	98.7950	-0.0009	0.0010	0.0011	0.0002	-0.0000
9008	2D	1131.2470	1017.2280	98.0180	0.0002	0.0042	-0.0042	0.0000	-
S354	3D	1043.9750	1037.9280	113.1240	0.0007	-0.0006	-0.0008	-0.0001	0.0004
S304	3D	1042.2340	1028.1310	113.1300	-0.0007	0.0010	0.0010	0.0001	-0.0006

Obr. 7. Štandardné odchýlky merania na vzťažných bodoch

tin, dNorthing, dHeight), ako je uvedené na obr. 7. Ak nastala nevhodná konfigurácia bodov, prípadne nebola dosiahnutá presnosť prechodného stanoviska do 0,001 m, tak sme použili na určovanie prechodného stanoviska ďalší bod, prípadne sme vylúčili bod, na ktorom boli veľké štandardné odchýlky merania (obr. 7). Štandardné odchýlky uvedené na obr. 6 a obr. 7 sú z posledného meraného prechodného stanoviska, kde je vidieť, že neprekročili hodnotu 0,001 m, čo zaručilo dostatočnú presnosť určenia súradníc prechodných stanovísk.

Výšková presnosť

Pri analýze výškovkej presnosti vychádzame z predpokladu, že výška horizontu prístroja prvého prechodného stanoviska je daná. Môžeme ju teda považovať za bezchybnú. Pri rozbere presnosti určenia výšky podrobného bodu vychádzame zo vzťahu, kde výšku podrobného bodu meraného na odrazovú fóliu určíme pomocou vzťahu

$$H_p = H_{\text{prech}} + s \cdot \text{tg}\beta. \quad (18)$$

Aplikáciu zákona o hromadení chýb môžeme určiť výškovú presnosť podrobného bodu P

$$m_{HP} = \sqrt{m_{H_{\text{prech}}}^2 + \text{tg}^2\beta \cdot m_s^2 + \frac{s^2}{\cos^4\beta} \frac{m_B^2}{\rho^2}}. \quad (19)$$

Keďže požadovaná výšková presnosť podrobného bodu $m_{HP} = 0,003$ m, tak po odvodení zo vzťahu (19) si môžeme určiť potrebnú výškovú presnosť ostatných prechodných stanovísk a vzťažných bodov. Dosadením maximálnej dĺžky zámeru na podrobný bod cca 70 m, maximálneho výškového uhla cca 50° do vzťahu (19) a po jeho úprave dostaneme požadovanú presnosť $m_{H_{\text{prech}}} = 0,0016$ m. Keďže výšku horizontu prechodného stanoviska určujeme minimálne zo štyroch vzťažných bodov, je predpoklad, že výšková presnosť bude dodržaná. Dôkazom tohoto tvrdenia sú aj výsledné štandardné odchýlky vo výške na obr. 6 a obr. 7, kde sa pohybujú pod hodnotou 0,001 m.

Hodnotenie výsledkov

Analýza presnosti a konkrétne výsledky meraní priamo v teréne umožnili zameranie podrobných bodov slinkového sila s požadovanou polohovou a výškovou presnosťou. Pri meraní na body, ktoré boli osadené pri hornej hrane slinkového sila, kde kolmost' zámeru na podrobné body bola ovplyvnená okolitou zástavbou, boli kvôli dodržaniu predpísanej presnosti podrobné body určované metódou pretínania z dvoch, prípadne troch stanovísk podľa potreby. Tým bola zabezpečená požadovaná presnosť všetkých podrobných bodov.

Takto vybudované vzťažné a podrobné body ďalej slúžili na zameranie slinkového sila fotogrametrickou metódou a terestrickým laserovým systémom. Pre digitálnu fotogrametriu podrobné body zamerané geodeticky slúžili ako referenčné

(vlícovacie) pre samokalibráciu kamery a transformáciu z modelových súradníc do referenčného systému. Veľmi výhodne sa pracovalo z vybudovanými vzťažnými bodmi pri laserovom skenovaní vytypovaných častí oceľového plášťa sila. Tu vhodné rozmiestnenie vzťažných bodov umožňovalo ľubovoľné postavenie stanoviska pre terestrické laserové systémy, ktoré bolo určené znova ako prechodné geodeticky.

Záver

Meranie potvrdilo predpoklad, že pri zameraní slinkového sila, kde v jeho okolí sa nachádza okolitá zástavba s pevnými základmi, je budovanie siete vzťažných bodov najvhodnejšie realizovať pomocou odrazových fólií metódou prechodných stanovísk. Uvedená metóda ma výhodu hlavne v rýchlosti budovania geodetického základu, pričom súčasne je možné merať podrobné body skúmaného objektu. Počas merania je možné kontrolovať dosiahnutú presnosť určenia prechodného stanoviska, a hlavne umiestňovať stanovis-

ká prístrojov podľa potreby zamerania podrobných bodov. Meranie je možné kedykoľvek prerušiť s tým, že sa neznižuje presnosť následného merania. Ďalšou výhodou je, že podrobné body zamerané z predchádzajúceho stanoviska pri nevhodnej konfigurácii vzťažných bodov určenia nového prechodného stanoviska je možné použiť ako vzťažné body, pričom sa zachová požadovaná presnosť určenia nového prechodného stanoviska. Pri samotnom meraní bolo nakoniec realizovaných 28 prechodných stanovísk prístroja. Pri analýze presnosti metódou polygónového ťahu je nepredstaviteľné dosiahnutie požadovanej presnosti pri takomto počte stanovísk.

Literatúra

- [1] Michalčák, O. a kol.: Inžinierska geodézia I. Bratislava, Alfa 1985.
- [2] Sokol, Š. – Bajtala, M.: Geodetické a fotogrametrické priestorové zameranie slinkových síl PC1, PC2 a vyhotovenie 3D modelu. Technická správa, Bratislava 2006.

Bajtala, M. – Sokol, Š.: Control Measurement of Real Form of Clinker Silo

This paper describes the construction of the grid of reference points needed for the surveying of the real form of a clinker silo. The accuracy of surveying of the reference, as well as detailed points made by the method of temporary survey stations is analyzed in detail. The theoretical accuracy of the determination of the reference and detailed points is confronted with that achieved in experimental measurement itself.

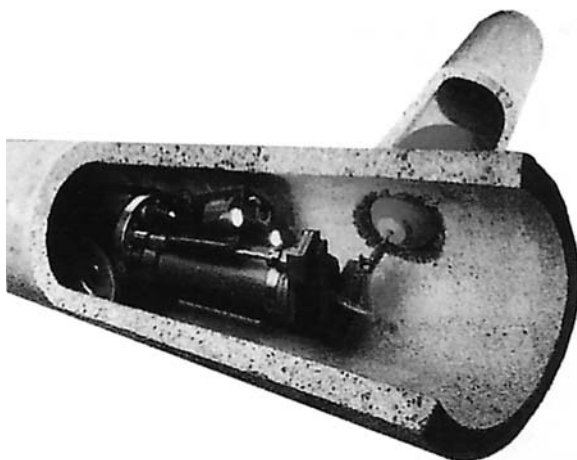
Bajtala, M. – Sokol, Š.: Problematik der Kontrollmessung der tatsächlichen Form eines Zementklinkersilos

Der Beitrag befasst sich mit der Problematik der Errichtung eines Netzes von Bezugspunkten, die für die Vermessung der tatsächlichen Form eines Zementklinkersilos notwendig sind. Die Genauigkeit der Messung der mit der Methode von Übergangspunkten errichteten Bezugspunkte und Detailpunkte wird ausführlich analysiert. Die theoretische Genauigkeit der Bestimmung der Bezugs- und Detailpunkte wird mit der bei der experimentellen Messung selbst erzielten Genauigkeit konfrontiert.

•technologie

Do kanálu s robotem

Originálnych robotů, které dokáží opravit poškozenou kanalizaci, spočítáte v České republice na prstech jedné ruky. Jeden z nich použila společnost SMP CZ při opravě poboč-



né čistírny odpadních vod v Kolovratech. V rámci rekonstrukce bylo nutné zamezit především přítoku balastních splašků a odstranit dílčí závady, např. průhyb v jednotlivých částech řadů, zlikvidovat vrstlé kořeny a opravit praskliny v potrubí i revizních šachtách.

Robot byl pro stavbaře prodlouženou rukou. Umožnil udělat uvnitř kanalizace zásahy a opravy, které by při klasické technologii byly daleko nákladnější. Kromě toho, že ji kompletně vyčistil, natáhl speciální rukávec, který ji chrání zevnitř. Nakonec citlivou kamerou provedené úkony zkontroloval. Práce s tímto moderním zařízením je rychlá a čistá. Bez výkopů je možné opravovat místa, která by byla pro dělníky obtížně dostupná. Postup je šetrný, protože nemá vliv na stávající povrchy a zóny veřejného prostranství a komunikací. Robot je schopen dojet na místo opravy, provádět různé úkony podle zvoleného nástroje a přesně podle pokynů operátora.

Tisková informace

Příspěvek geodézie k revitalizaci historických objektů

prof. Dr.-Ing. Bettina SCHÜTZE

Hochschule Zittau / Görlitz – Stavební odbor, Žitava

doc. Ing. Pavel HÁNEK, CSc.

ČVUT – Fakulta stavební, Praha

Článek na příkladu přeměny historického dvorce v moderní léčebné zařízení dokládá současné trendy revitalizace stavebně a historicky cenných objektů a možnosti spolupráce geodetů se specialisty stavebních oborů a památkové péče.

Úvod

V poslední době se stále častěji setkáváme se snahou měnit – někdy i velmi radikálně – využití historických nebo průmyslových budov a objektů tak, aby se jejich architektonický, dějinný, umělecký či krajinný význam a vliv zachoval a objekty samy se znovu staly součástí denního života společnosti. Současně došlo díky elektronizaci k významným změnám ve sběru a šíření dat, v jejich množství a jakosti, ke sjednocení možností jejich softwarového zpracování a sdílení mezi různými technickými obory. Tím se také rozšířily dosavadní a vznikly nové aplikace geodetických postupů i v tradiční spolupráci ve stavebnictví a památkové péči.

Následující text je věnován probíhající přeměně objektů historického dvorce Gut Gamig v německé spolkové zemi Sasko v moderní léčebnu psychicky a duševně nemocných osob, zejména pak účasti geodetů při přípravě projektových podkladů. Na přípravě měřických prací se podíleli pracovníci německé Laboratoře geodézie a geoinformačních systémů Stavebního odboru VŠ (FH; University of Applied Sciences) v Žitavě a Zhořelci, možnost konzultace měli pracovníci Katedry speciální geodézie FSv ČVUT v Praze – obě pracoviště poji dohoda o spolupráci. Měřické práce provedla drážďanská firma Büro für Industrievermessung.

Gut Gamig

Původně rytířský dvorec Gut Gamig, sloužící jako předsunutá obrana nedalekého hradu a města Dohna, byl písemně poprvé zmíněn roku 1411, ještě pod pravděpodobně českým jménem Kamenig. Leží na malé vyvýšenině v labském údolí jihovýchodně od Drážďan, v podhůří Krušných hor. Během staletí měnil majitele a procházel různými stavebními úpravami. K nejvýznamnějším patří pozdně klasicistní přestavba zámku a pseudorománská přestavba kaple z roku 1840. Tehdy byla postavena i Semperova věž (obr. 1). Ve druhé polovině dvacátého století areál provozovalo zemědělské družstvo. Po reprivatizaci objekty přešly roku 1991 na saskou zemskou evangelicko-luterskou církev, která zde zřídila ve formě registrovaného sdružení (společnosti) Gut Gamig, e. V., dnes uznávanou léčebnu pro psychicky a duševně nemocné lidi. Kapacita je asi 120 osob, součástí léčebné péče je též diferencovaná pracovní terapie a sociální rehabilitace (ekologické zemědělství, domácí práce, krejčovství, krajkářství, malba na hedvábí, tkalcovství, truhlářství, keramika).

Z roku 1690 pochází mapová dokumentace, která dovozuje definovat změny ve využití jednotlivých budov. Obytná budova se změnila na zámek, chlévy a stodoly na správní a terapeutické budovy, konírna na stáj pro ovce, místo pivovaru jsou novostavby dvou sociálně terapeutických ubytoven.



Obr. 1. Gut Gamig roku 1855

Kaple

Kaple (obr. 2) o půdorysu 10,3 x 14,1 m byla postavena roku 1656 na malém vršku severozápadně od zámku na místě starší svatyně. Pod severní částí existuje klenuté skle-



Obr. 2. Kaple po částečné rekonstrukci

pení velikosti zhruba 8 x 8 m. Na jižní straně chrámové lodi byla postavena věž s celkovou výškou 23,5 m. Obvodové zdi budovy, vysoké 10,8 m, nesou valbovou střechu, jejíž hřeben je asi 16,7 m nad terénem. Uvnitř je kromě vlastní modlitebny (výška cca 7,2 m) v severní části poschodová oratoř, nad celým půdorysem je zřízeno halové horní podlaží s dřevěným trámovým stropem.

Před započatím oprav byla shledána významná stavební poškození, zejména trhliny, provlhnutí a deformace zdiva, plošné poškození omítek (obr. 3). Samozřejmou nutností bylo pořízení podrobné geodetické dokumentace, vyhovující potřebám architektů z kanceláře GBS Dresden, ale i finančním možnostem vlastníka, tj. sdružení Gut Gamig, e. V.

Obr. 3. Kaple před opravou



Geodetické práce

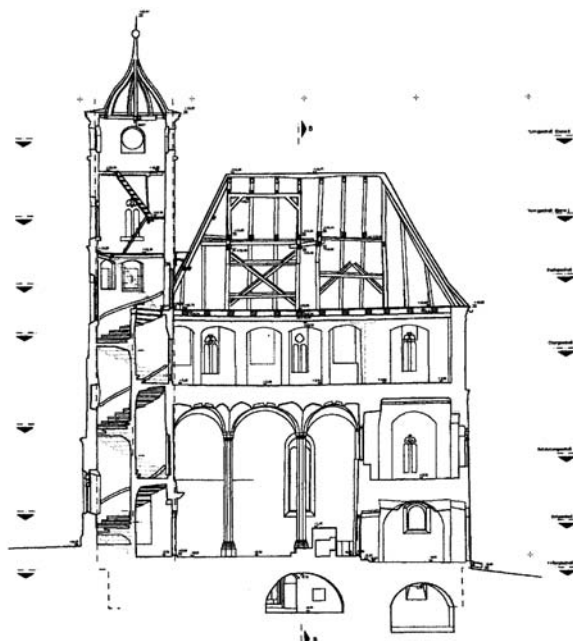
Pro měřické práce byl vypracován projekt, podle něž bylo vně kaple zřízeno bodové pole, zaručující digitální zpracování v jednotném souřadnicovém systému. Z této obvodové sítě bodů byly určeny jednak body v interiérech, sloužící jako stanoviště geodetických přístrojů, jednak vličovací body na fasádě pro vyhodnocení měřických snímků. K měření byla použita prostorová (3D) polární metoda s totální stanicí Leica TCR 1105, pracující s odrazem paprsku laserového dálkoměru přímo o povrch objektu. Tím bylo umožněno zaměření nepřístupných diskrétních bodů, např. fasád, kleneb či krovů. Měřické snímky byly pořízeny komorou Zeiss UMK 1013/18. Práce v terénu trvaly dvoučlenné měřické skupině pět pracovních dnů, kancelářské zpracování, zejména pomocí software CAD, zabralo dvanáct dní.

Měřická firma Büro für Industrievermessung po vzájemné dohodě účastníků dodala výkresovou dokumentaci v měřítku 1 : 50, zahrnující:

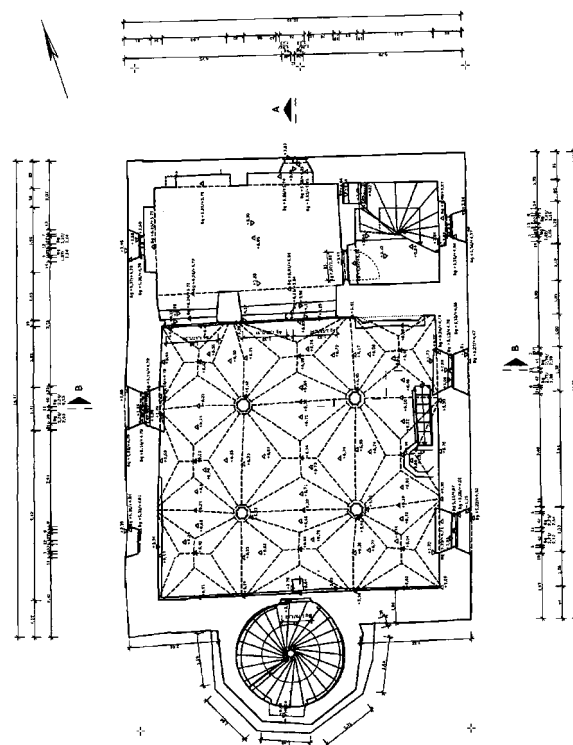
- 5 vodorovných řezů volených podle obr. 4 v úrovni kleneb sklepů, přízemí, modlitebny s oratoří (obr. 5), horního podlaží a krovu,

- 2 svislé řezy (podélný – obr. 4 a příčný),
- 4 pohledy na fasádu,
- 4 měřické snímky fasád.

V průběhu prací se ukázala nutnost vyhotovení ještě dalších vodorovných řezů ve dvou nejvyšších úrovních věže kaple (viz obr. 4). Přesnost bodů fasády je udávána hodnotou 25 mm.



Obr. 4. Svislý podélný řez kaple



Obr. 5. Vodorovný řez v úrovni oratoře

Dokumentace poskytla řadu zajímavých, pro rekonstrukci podstatných poznatků. Svislý řez prokazuje deformace zejména krovu kaple a zdiva věže, což si vynutilo zmíněnou dodatečnou volbu dalších dvou vodorovných řezů věží. Vodorovný řez v úrovni oratoře dokládá značnou deformaci obvodového zdiva v jihozápadním rohu objektu. Digitální měřické snímky fasády jsou průkaznou dokumentací rozsahu poškození. Snímkováním v čase lze podchytit vývoj a rychlost chátření.

Veškerá dokumentace byla architektům poskytnuta v analogové i digitální podobě ve formátech *.dxf a *.dwg, což umožnilo tvorbu speciálních výkresů velkých měřítek (detailů).

Závěr

Zaměření malé kaple v souboru budov Gut Gamig ukazuje, jak pohotově a flexibilně může geodézie díky nové technice spolupracovat se stavebními obory při pořizování potřebné dokumentace. Předpokladem je specifikace problému a dohoda všech účastníků, předností pro projektanty i vlastníky staveb je vysoká přesnost, rychlost a nízké náklady.

Článek byl zpracován v rámci VZ MSM 6840770005 „Udržitelná výstavba“.

Schütze, B. – Hánek, P.: Contribution of Surveying to Revitalization of Historical Buildings

Using an example of conversion of a historical manor to a modern healthcare institution, this paper documents the current trends in revitalization of historically valuable buildings, as well as possibilities of cooperation of surveyors with specialists in the field of civil engineering and monument preservation.

Schütze, B. – Hánek, P.: Der Beitrag der Geodäsie zur Revitalisierung historischer Objekte

Am Beispiel der Umwandlung eines historischen Gehöftes Hofes zu einer modernen Heilanstalt belegt der Artikel die gegenwärtigen Trends der Revitalisierung von baulich und historisch wertvollen Objekten und die Möglichkeiten der Zusammenarbeit von Geodäten mit Spezialisten der Baugewerke und der Denkmalspflege.

Česká betonářská společnost ČSSI
www.cbsbeton.eu

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

7. konference
TECHNOLOGIE BETONU
Technologie, provádění a kontrola
betonových konstrukcí
2008

1993 - 2003
15 let

28. a 29. května 2008
Pardubice, Dům hudby

• literatura



Kolektiv

Stavební ročenka

Jaga, Praha, 2007, 76 s., cena 249 Kč

Každoročně vydávaná Stavební ročenka se řadí k titulům, které mají několikaletou vydavatelskou tradici a jsou oblíbeným periodikem čtenářů. Cílem ročenky je mapovat nové a zajímavé události a poznatky z oblasti stavebnictví v předcházejícím roce. Je koncipovaná tak, aby poskytla vyvážený prostor pro zajímavé a obohacující teoretické i praktické informace z více oblastí stavebnictví. Hlavním tématem Stavební ročenky 2008 budou konstrukce střech. Kromě hlavního tématu však dostanou prostor i ostatní segmenty stavebnictví.



Remmers, K.-H.

Velká solární zařízení

ERA, Praha, 2008, 328 s., cena 350 Kč

Publikace tvoří ucelený zdroj odborných informací a projekčních návrhů, které vycházejí z evropských výzkumných programů. Poprvé vyšla v roce 1999 ve vydavatelství Solarpraxis (Berlín) pod názvem Grosse Solaranlagen. Její další, doplněná a aktualizovaná vydání vyšla v letech 2001 a 2005. V českém jazyce jde o první vydání.

STAVEBNÍ OBZOR

ROČNÍK 17 ČÍSLO 04/2008

Navigace v dokumentu

OBSAH

Witzany, J. – Čejka, T. – Zigler, R. Vliv dynamického zatížení s vysokou frekvencí na snížení tuhosti prefabrikovaných stěnových systémů vícepodlažních budov	97
Zemánková, J. Lomová mechanika a hodnocení mechanického chování některých stavebních materiálů	106
Pavlík, Z. – Fiala, L. – Pavlíková, M. – Černý, R. Parametry transportu kapalné vlhkosti a síranů míšenského pískovce	110
Satrapa, L. – Králík, M. Rozložení rychlosti v příčném profilu měrného žlabu	114
Štroner, M. Určení parametrů řetězovky z dat laserového skenování	119
Suchá, J. – Štroner, M. – Marková, K. Další praktické zkušenosti ze zaměřování průběhu nadzemních vedení vysokého napětí	123

4 • 2008

ročník 17

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



Fakulta stavební
VUT v Brně



Fakulta stavební
VŠB TU-Ostrava



Česká komora autorizovaných
inženýrů a techniků

OBSAH

Witzany, J. – Čejka, T. – Zigler, R. Vliv dynamického zatížení s vysokou frekvencí na snížení tuhosti prefabrikovaných stěnových systémů vícepodlažních budov	97
Zemánková, J. Lomová mechanika a hodnocení mechanického chování některých stavebních materiálů	106
Pavlík, Z. – Fiala, L. – Pavlíková, M. – Černý, R. Parametry transportu kapalně vlhkosti a síranů mšenského pískovce	110
Satrapa, L. – Králík, M. Rozložení rychlosti v příčném profilu měrného žlabu	114
Štroner, M. Určení parametru řetězovky z dat laserového skenování	119
Suchá, J. – Štroner, M. – Marková, K. Další praktické zkušenosti ze zaměřování průběhu nadzemních vedení vysokého napětí	123

CONTENS

Witzany, J. – Čejka, T. – Zigler, R. Effects of Dynamic Load with High Frequency on Reduction of Stiffness of Prefabricated Wall Systems of Multi-Storey Buildings	97
Zemánková, J. Fracture Mechanics and Analysis of the Mechanical Behaviour of Some Building Materials and Structures	106
Pavlík, Z. – Fiala, L. – Pavlíková, M. – Černý, R. Parameters of Liquid Moisture and Sulphate Transport of Mšené Sandstone	110
Satrapa, L. – Králík, M. Speed Distribution in the Transverse Profile of the Measurement Duct	114
Štroner, M. Determination of Catenary Curve Parameters from Laser Scanning Data	119
Suchá, J. – Štroner, M. – Marková, K. Further Practical Experience from Surveying High-Voltage Lines	123

INHALT

Witzany, J. – Čejka, T. – Zigler, R. Der Einfluss dynamischer Belastung mit hoher Frequenz auf die Verringerung der Steifigkeit vorgefertigter Wandsysteme mehrgeschossiger Gebäude	97
Zemánková, J. Bruchmechanik und Bewertung des mechanischen Verhaltens einiger Baumaterialien	106
Pavlík, Z. – Fiala, L. – Pavlíková, M. – Černý, R. Parameter des Transports von Feuchtigkeit und Sulfaten in Sandstein aus Mšené-lázně	110
Satrapa, L. – Králík, M. Verteilung der Geschwindigkeit im Querprofil der Messrinne	114
Štroner, M. Bestimmung der Parameter einer Kettenlinie aus Daten des Laserscannens	119
Suchá, J. – Štroner, M. – Marková, K. Weitere praktische Erfahrungen aus der Vermessung des Verlaufs von Hochspannungs-Freileitungen	123

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 lektorovaný 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 7. 3. 2008 Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

Vliv dynamického zatížení s vysokou frekvencí na snížení tuhosti prefabrikovaných stěnových systémů vícepodlažních budov

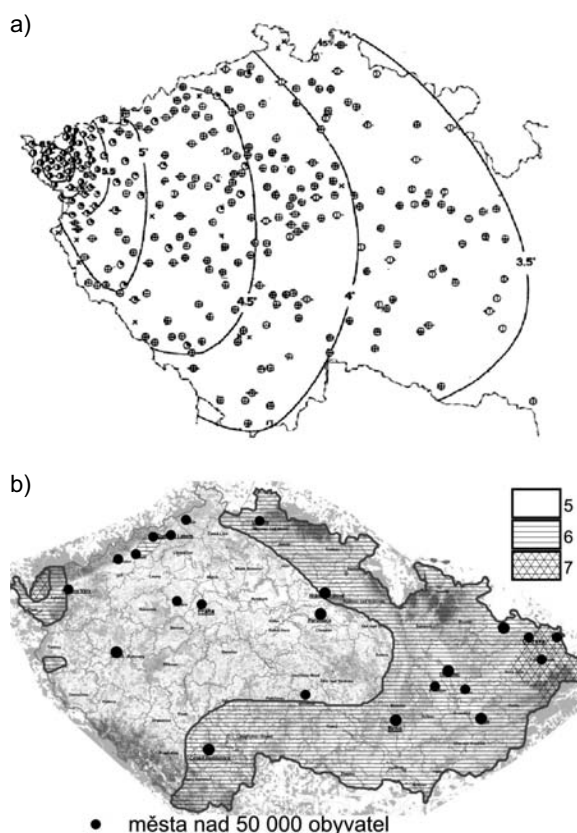
prof. Ing. Jiří WITZANY, DrSc.
Ing. Tomáš ČEJKA, Ph.D.
Ing. Radek ZIGLER, Ph.D.
ČVUT – Fakulta stavební
Praha

V článku jsou uvedeny výsledky experimentální a teoretické analýzy odezvy prefabrikované stěnové konstrukce vícepodlažního objektu na účinek technické seizmicity. Experimentální výzkum se uskutečnil na modelu sedmipodlažní nosné prefabrikované stěnové konstrukce panelového domu v měřítku 1 : 3. Model prefabrikované konstrukce byl postupně vystaven osmi zatěžovacím stavům zahrnujícím cyklické a monotónně rostoucí zatížení. Cyklické zatížení vyvozené elektrodynamickým buďčem Tira-vib simulovalo účinek technické seizmicity. Pokles tuhosti nosného prefabrikovaného systému byl monitorován především měřením relativních posunů mezi stěnovými dílci a deformací systému ve vodorovných a svislých směrech.

Účinky přirozené a technické seizmicity

I v současné době jsou v západních Čechách a v Němecu detekována slabší zemětřesení. Nejsilnější z nich, která jsou pocíťována i obyvateli panelových domů, mohou být i příčinou vzniku poruch na těchto objektech. První historický záznam o zemětřesení v této oblasti pochází z roku 1198. Zemětřesení se zde zpravidla skládají do rojů. Mimořádně silný roj s neaktivnějšími zemětřeseními byl v období zvýšené aktivity na přelomu 19. a 20. století. Po následujícím období klidu byl silnější seizmický roj zaregistrován až na přelomu roků 1985 a 1986 v oblasti obce Nový Kostel a dosáhl lokální hodnoty magnitudo 4,8 (intenzita 7° MSK-64). Kromě výše zmíněných oblastí je převážná část území České republiky charakterizována seizmickým ohrožením do pátého stupně, pro jižní Čechy a Moravu do šestého stupně (vliv východoalpských a západokarpatských zemětřesení, obr. 1). Zvýšená seizmická aktivita byla dále zaznamenána od roku 1997. Koncem roku 2000 dosáhl silný třes lokální magnituda 3,4 a pocítili ho obyvatelé Chebska, Sokolovska, Karlovarska a na Tachovsku. Silný zemětřesný roj byl zaregistrován od srpna 2001, v jehož osmi fázích bylo zaznamenáno přes 1 500 zemětřesení, z nichž více než 5 % pocítili i místní obyvatelé [1].

Podle mapy seizmického ohrožení České republiky (příloha národního aplikačního dokumentu Eurokódu 8 [3]) lze očekávat projevy přírodního zemětřesení s makroseizmickou intenzitou v rozmezí 6 až 6,5 stupňů Richterovy stupnice, v hodnotách quaziefektivního zrychlení lze očekávat hodnoty v rozmezí 0,06 až 0,40 g, tj. 0,59 až 3,90 ms⁻². Uvedené skutečnosti dokládají potřebu dále se zabývat otázkami, které souvisejí s odezvou panelových konstrukcí na účinky přirozené seizmicity, možnými důsledky a vlivem na re-



Obr. 1.

a – makroseizmické pole nejintenzivnějšího zemětřesení z roje v roce 1985/1986 [1], b – předpokládané maximální účinky zemětřesení podle makroseizmické stupnice MSK-64 [2]

ziduální statickou bezpečnost panelových staveb. Nedílnou součástí těchto prací musí být průběžný monitoring a sledování vybraných reprezentantů panelových budov z uvedeného hlediska včetně vyhodnocování a zpracování návrhů a preventivních opatření pro zajištění statické bezpečnosti panelových staveb nacházejících se v seizmicky aktivních oblastech západních Čech.

Panelové objekty nacházející se v blízkosti komunikací, dálniční a železniční dopravy, v oblasti vedení tras metra a dále v blízkosti intenzivní stavební činnosti, popř. i průmyslové činnosti, jsou vystaveny technické seizmicitě. Ve smyslu ČSN 73 0040 [7] jsou otřesy způsobené technickou seizmicitou hodnoceny jako nahodilá dlouhodobá, popř. krátkodobá, zatížení. Intenzita a charakter technické seizmicity závisí na hmotnosti pozorovaných staveb, řešení základové konstrukce a geologických poměrech v dané oblasti. Intenzita otřesů, způsobených např. dopravou, závisí dále na hmotnosti, rychlosti a zrychlení pohybujících se vozidel, povrchu a konstrukci vozovky, popř. železničního svršku. Dominantní frekvence otřesů podloží od silniční dopravy jsou zpravidla v intervalu 10 Hz až 80 Hz. Frekvenční spektrum seizmické odezvy a hodnotu seizmického zatížení lze nejpřesněji stanovit experimentálním měřením in situ.

Zvláštní pozornost vyžadují stavební objekty vystavené intenzivním účinkům otřesů a vibrací způsobených dopravou, stavebními stroji a činností. V těchto případech je nutné detailně zdokumentovat stav konstrukcí, zejména všechny projevy mechanických poruch, a zajistit průběžné sledování a monitoring příslušnými přístroji a průběžné vyhodnocování zjištěných skutečností.

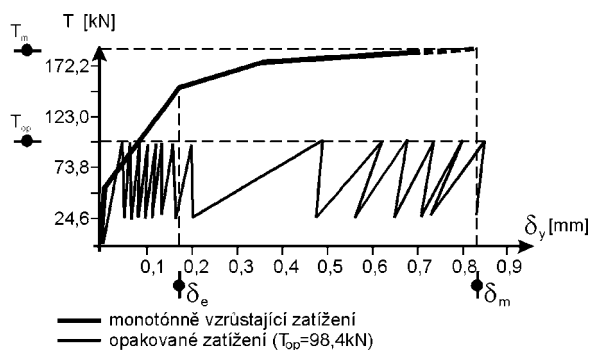
Charakteristické vlastnosti panelových konstrukcí vícepodlažních budov

Prefabrikované stěnové konstrukce vícepodlažních budov přinesly zcela novou kvalitu do konstruování pozemních staveb, která vyžadovala hlubší teoretické znalosti, nahrazení empirie teorií, nahrazení idealizovaných a značně zjednodušených modelů chování konstrukce a jejich částí výstižnými modely výpočetními, fyzikálními (materiálovými) a modely zatížení.

Vysoká tuhost prefabrikované betonové stěnové konstrukce a z ní vyplývající závažné mechanické stavy napjatosti, způsobené zejména účinky objemových změn (teplota, vlhkost), účinky změny tvaru základové spáry apod., jsou nejčastěji příčinou poruch, zejména styků dílců charakteristických nedostatečnou poddajností a únosností. Pro prefabrikované stěnové systémy je charakteristický mechanismus přetváření a porušení, při němž se stěnové dílce posouvají ve styčích porušených trhlinami, tj. v dotykových nebo kontaktních plochách. V praxi většinou stačí uvažovat nelineární pružné chování pouze ve styčích a chování dílců uvažovat jako lineárně pružné, neboť tlaková i smyková namáhání dílců jsou zpravidla podstatně nižší než jejich únosnost na mezi úměrnosti (únosnost v pružné oblasti). Lze tedy vycházet z předpokladu, že meznímu stavu konstrukce jako celku předchází porušování styků, resp. že konstrukce přechází z lineárně pružného chování do nelineárně pružného až plastického stavu, zpravidla překročením meze úměrnosti ve styčích.

Tuhost styku při působení opakovaného zatížení je proměnná, klesající v závislosti na počtu cyklů. Zvláštností cyklických účinků je skutečnost, že porušení styků, popř. konstrukce, nastává i při namáhání, která nedosahují mezní pevnosti, ale v podstatě při libovolné úrovni namáhání v jednotlivých zatěžovacích cyklech, jestliže alespoň v jednom

z těchto cyklů byla překročena mez úměrnosti lineární pružného chování styku (konstrukce) určené závislostí „zatížení \times deformace“. Porušení styku (konstrukce) nastává dosažením mezní deformace přírůstkovým zhroucením (obr. 2). Zvětšující se deformace styku v každém následujícím cyklu zatížení, tj. postupující plastifikace styku – jako důsledek opakovaného účinku zatížení smykovou silou T_{op} – mají za následek postupné snižování tuhosti (účinnosti) styku až na hodnotu $\lim K_{op,i}$, která je nižší než tuhost styku při dosažení mezního zatížení při monotónně vzrůstajícím zatížení $K_{u,m}$, přičemž platí $K_{op,1} > K_{op,2} > \dots > K_{op,i} < K_{u,m}$.



Obr. 2. Pracovní diagram svislého styku pro zatížení monotónně narůstající posouvající silou a pro nízkocyklické zatížení posouvající silou $T_{op} < T_m$ [4]

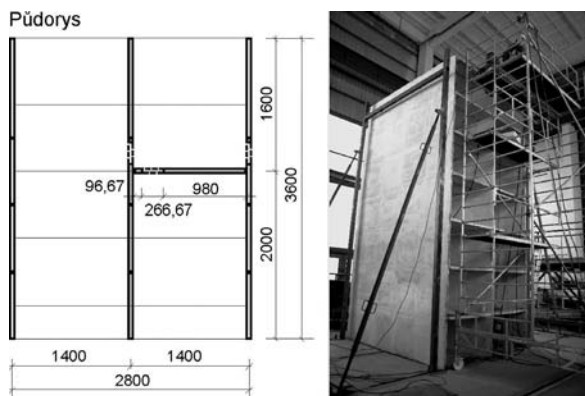
Počet cyklů n_{op} opakovaného zatížení smykovou silou T_{op} je závislý na velikosti síly T_{op} . Se vzrůstající velikostí smykové síly T_{op} klesá. Experimentální zkoušky prokázaly, že pro teoretický odhad počtu cyklů n_{op} do porušení lze vycházet z předpokladu, že velikost mezní deformace styku δ_m , popsané složkami $\delta_{y,m}$ a $\delta_{x,m}$, je nezávislá na historii zatížení. S narůstající tažností (duktilitou) styku, tj. rozsahu intervalu $(\delta_{y,el} - \delta_{y,m})$, narůstá počet cyklů opakovaného zatížení [4].

Nedostatečné znalosti o chování a napjatosti rozhodujících nosných styků a dílců, podcenění vzájemného spolupůsobení jednotlivých dílců, částí a subsystémů, nahrazení prostorového působení nosného systému zjednodušujícími idealizovanými modely, které nedostatečně zohledňovaly skutečné chování prefabrikované konstrukce, a řada dalších nedostatků v procesu navrhování, výroby a montáže panelových domů jsou příčinou vad a poruch zejména v oblasti mechanické odolnosti a stability.

Posouzení zbytkové statické bezpečnosti, zejména starších typů panelových domů realizovaných do roku 1974, které vykazují některé závažné projektové vady, vyžaduje stanovení reziduálních tuhostí styků porušených trhlinami [5].

Výzkum odezvy panelové konstrukce na účinky technické seizmicity

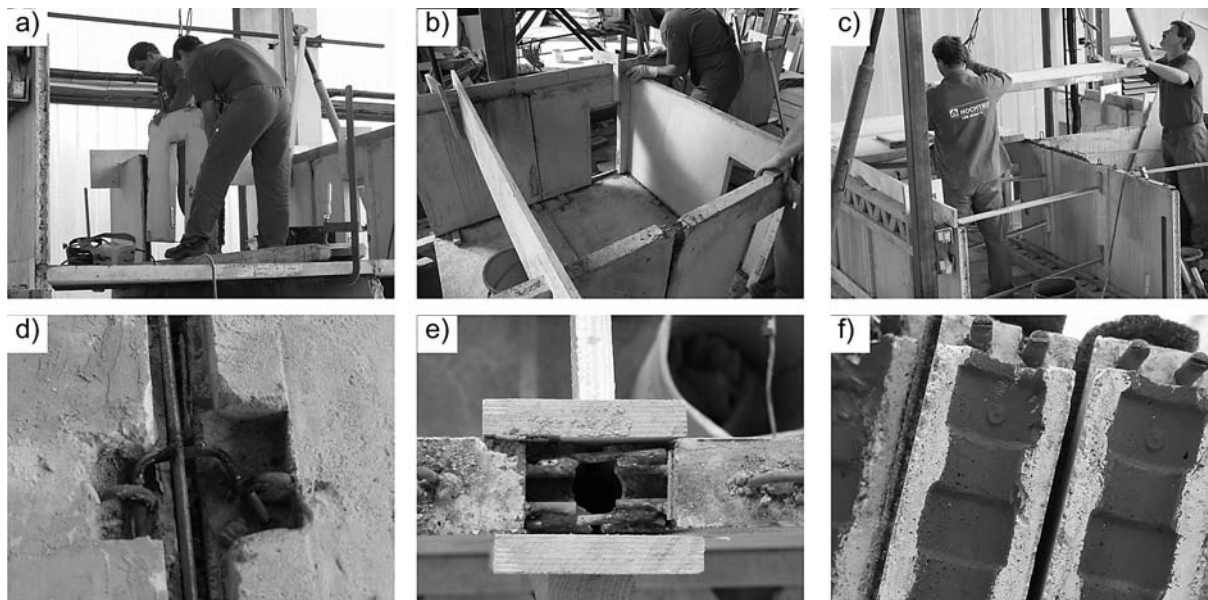
V rámci výzkumného záměru MSM6840770001 „Spolehlivost, optimalizace a trvanlivost stavebních materiálů a konstrukcí“ byla realizována v roce 2007 druhá etapa výzkumu reziduální statické bezpečnosti modelu prefabrikované stěnové konstrukce v měřítku 1 : 3, vystavené účinkům opakovaného zatížení a účinkům technické seizmicity. Model prefabrikované konstrukce (obr. 3) byl tvořen třemi příčnými stěnami s osovou vzdáleností 1,4 m (odpovídá rozponu 4,2 m) a podélnou stěnou oslabenou dveřním otvorem, umístěnou v příčném modulu. Skladba prefabrikovaných dílců, vyztužení stěnových a stropních dílců, vyztužení stropní



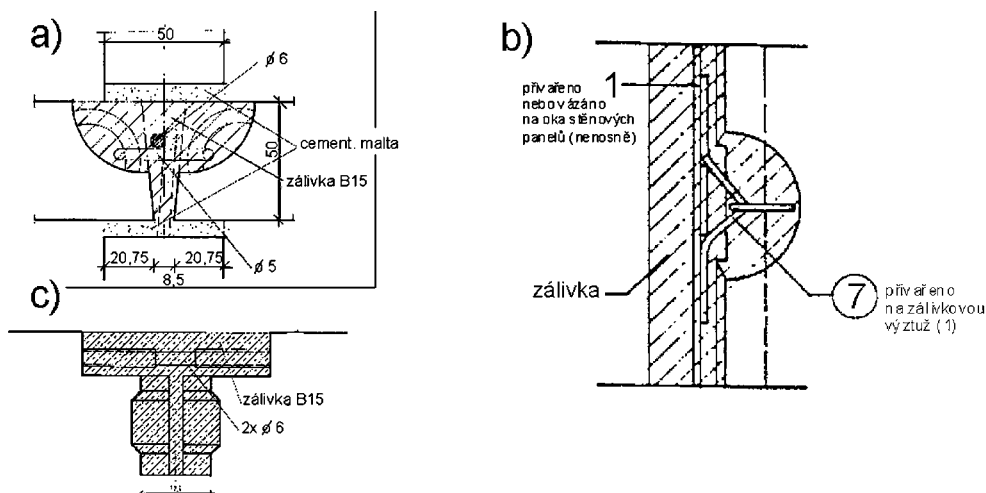
Obr. 3. Pohled na zkušební sestavu a schéma půdorysného výškového uspořádání modelu prefabrikované stěnové konstrukce v měřítku 1 : 3

desky a profilování stykových ploch odpovídá panelové soustavě T06B. Konstruktivní výška podlaží byla 0,933 m (odpovídá konstrukční výšce 2,8 m). Stěnové a stropní dílce tl. 50 mm (odpovídá tl. dílce 150 mm) byly vyrobeny z betonu C16/20. Pro zálivku bylo použito betonu B20 a pro výztuž zálivky oceli kvality E 10216. Skladba dílců a uspořádání nosného systému je patrná z obr. 3. Montáž zkušebního modelu (zajistila společnost Hochtief, experimentální výzkum se uskutečnil ve zkušebně TAZUS) je zachycena na obr. 4. Provedení styků nosných dílců je znázorněno na obr. 5. Stykové plochy stropních i stěnových dílců byly před montáží dvakrát opatřeny separačním nátěrem (simulace smršťovací trhliny ve styku dílců).

Opakované zatížení zkušebního modelu bylo realizováno dvojicí ocelových táhel vyvozujících na horním volném konci modelu šikmou sílu s vodorovnou a svislou složkou. Svislá složka stabilizovala zkušební model konstrukce proti překlopení (vyvozovala tlakové napětí v ložných spárách a na-



Obr. 4. Montáž zkušebního modelu, podrobnosti provedení styků nosných prefabrikovaných dílců
a, b, c – montáž stěnových a stropních dílců; d – zálivková výztuž, spojení závěsných ok stropních dílců; e – spojení výztuže horních zhlaví sousedních stěnových dílců v místě svislého styku; f – profilování styčné spáry stěnových dílců opatřené separačním nátěrem



Obr. 5. Podrobnosti řešení styků nosných prefabrikovaných dílců

hrazovala účinek svislého zatížení¹⁾; obr. 6). Opakované zatížení bylo vyvozováno dvojicí hydraulických válců Enerpac RCH – 603, umístěných na šikmých ocelových táhlech. Dynamické zatížení bylo vyvozeno elektrodynamickým budičem TIRA vib, typ TV5550/LS o hmotnosti 750 kg s pohyblivou hmotou 13,2 kg. Frekvenční rozsah budiče je 0–3 kHz, maximální výchylka pohyblivé hmoty je 50,8 mm. Budič byl osazen prostřednictvím trnů na stropní konstrukci nejvyššího podlaží modelu a přizpůsoben na vodorovné kmitání.

Tab. 1. Zatěžování zkušebnímu modelu bylo rozděleno do čtyř zatěžovacích stavů

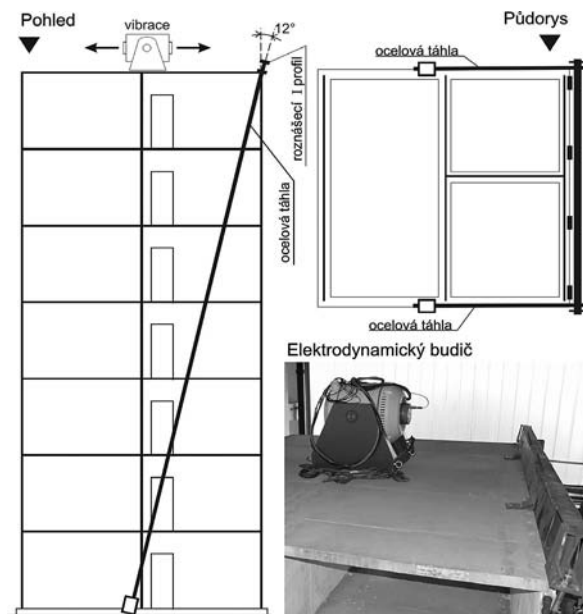
	1. zatěžovací stav	2. zatěžovací stav	3. zatěžovací stav	4. zatěžovací stav
druh zatížení	statické stupňovité zatížení	statické stupňovité a dynamické zatížení	statické stupňovité zatížení	statické stupňovité rostoucí zatížení
zatížení [kN]	0; 10; 20; 30; 20; 10; 0	0; 10; 20; 30; 20; 10; 0 + 80 000 vibrací	0; 10; 20; 30; 20; 10; 0	0; 10; 20; 30; 20; 10; 0 0; 30; 0 0; 30; 40; 0 0; 30; 40; 50; 0 0; 30; 40; 50; 60; 0 0; 30; 40; 50; 60; 70; 0 0; 30; 40; 50; 60; 70; 80
celkem	7 opakování	10 x vibrování + 12 x opakování zatížení statického	5 opakování	

1. zatěžovací stav: 7x opakované monotónně narůstající statické zatížení 0-2x10-2x20-2x30-2x20-2x10-0 [kN];

2. zatěžovací stav: 12x opakované monotónně narůstající statické zatížení 0-2x10-2x20-2x30-2x20-2x10-0 [kN] a dynamické zatížení. Mezi jednotlivými cykly monotónně narůstajícího zatížení v uvedeném rozsahu se uskutečnilo 10x dynamické zatížení modelu s frekvencí kmitání 15 Hz a celkovém počtu kmitů $8 \cdot 10^4$. Uvedené zatěžovací stavy „monotónní – cyklické zatížení“ se opakovaly celkem desetkrát;

3. zatěžovací stav: 5x opakované monotónně narůstající statické zatížení 0-2x10-2x20-2x30-2x20-2x10-0 [kN];

4. zatěžovací stav: opakované monotónně narůstající zatížení, které se v každém následujícím zatěžovacím cyklu zvyšovalo o 2x10 [kN] až do porušení konstrukce (0-2x10-2x20- ... 2x80 [kN]).

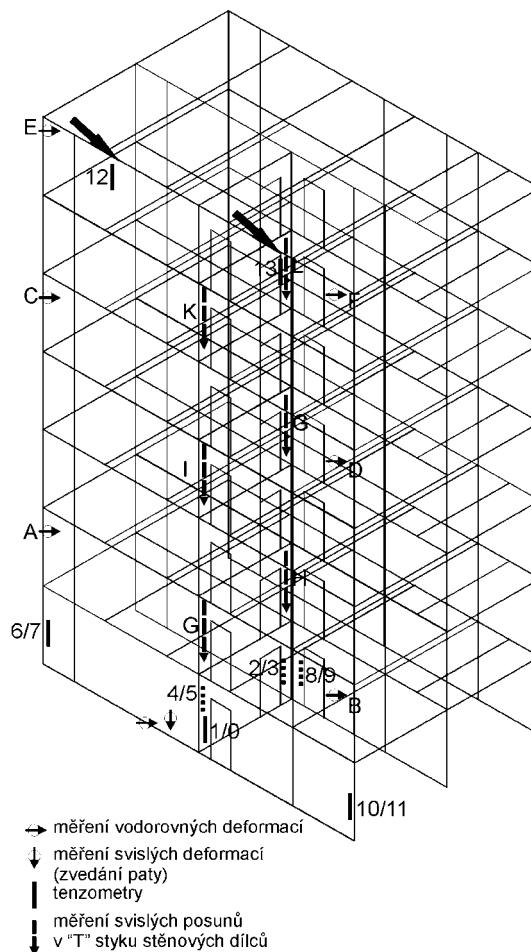


Obr. 6. Schéma zatěžování modelu zkušebnímu objektu šikmými silami prostřednictvím ocelových táhel, pohled na osazený elektrodynamický budič

Odezva prefabrikované konstrukce na opakované dynamické zatížení

Na zkušebním modelu byly v jednotlivých cyklech a zatěžovacích stavech měřeny relativní posuny ve vybraných svislých stycích stěnových dílců, vodorovné deformace ve třech úrovních, svislé deformace v patě štítové stěny a normálové napětí ve stěnových dílcích (obr. 7). V průběhu dynamického zatížení byla měřena vodorovná odezva konstrukce trojicí akcelerometrů Wilcoxon model CMMS 793 L,

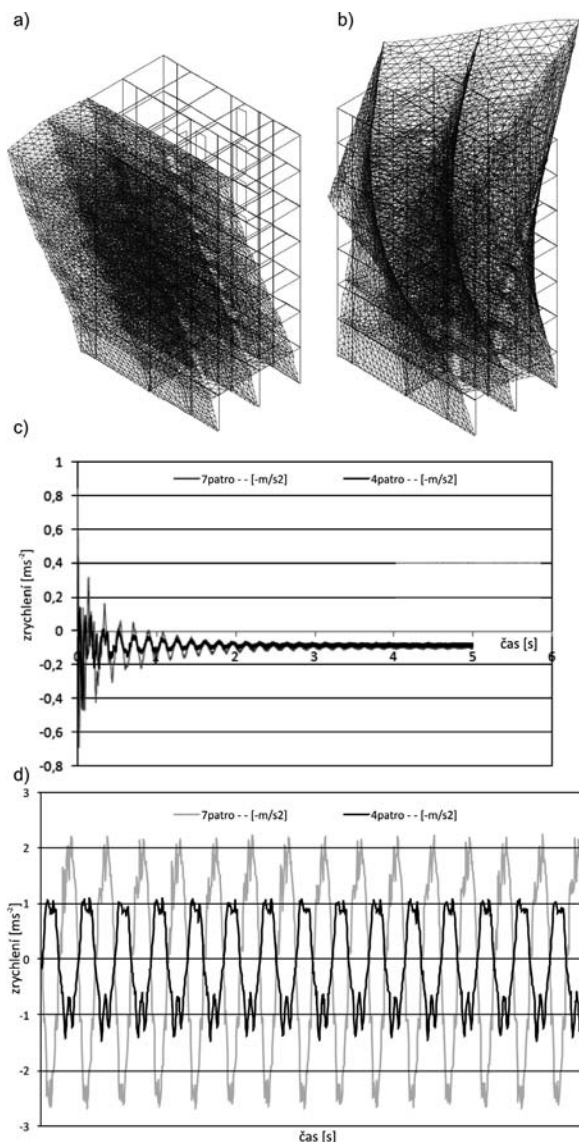
s výstupní citlivostí 51 mV/ms⁻². Jeden z akcelerometrů byl umístěn na pohyblivé části budiče a snímal pohyb hmoty, druhý snímač byl umístěn ve 4. podlaží modelu a třetí v 7. podlaží modelu (obr. 7). Zkouškou byla stanovena první a druhá vlastní frekvence (obr. 8).



- měření vodorovných deformací
- ↓ měření svislých deformací (zvedání paty) tenzometry
- ↓ měření svislých posunů v "T" styku stěnových dílců

Obr. 7. Rozmístění měřících přístrojů

¹⁾ V realizovaných panelových konstrukcích vícepodlažních budov nejsou stěnové dílce propojeny průběžnou svislou výztuží, kterou nahrazuje tlakové „předpětí“ od účinku svislého zatížení. Vznik svislých tahových napětí nelze proto připustit.

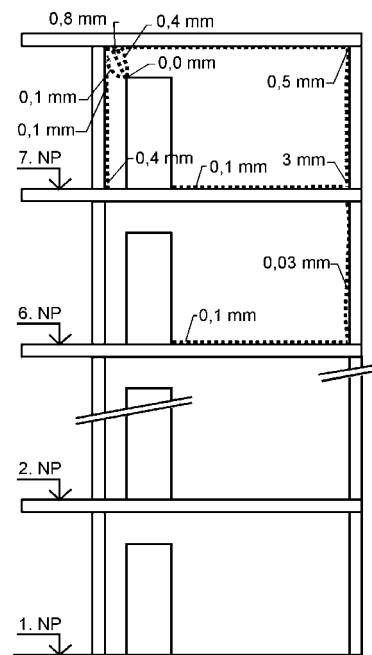


Obr. 8.

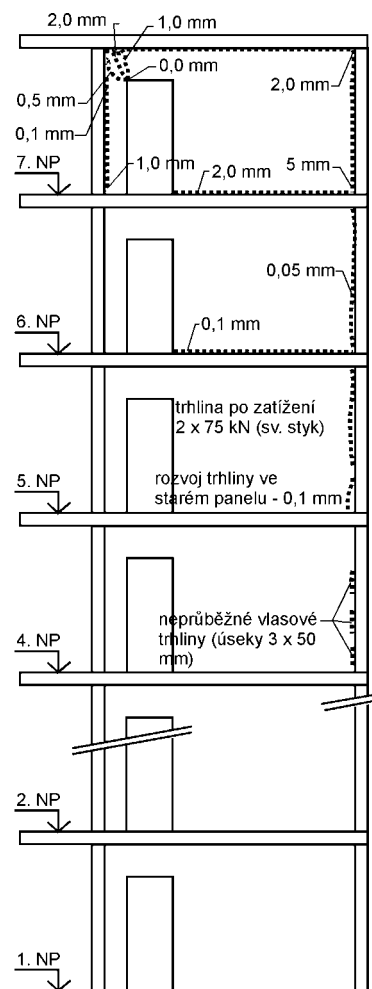
a, b – tvar první a druhé vlastní frekvence, c – záznam kmitání pro experimentální stanovení vlastních frekvencí, d – záznam kmitání konstrukce při dynamickém zatížení

1. zatěžovací stav – v jednotlivých po sobě následujících dílčích zatěžovacích stavech opakovaného monotónně narůstajícího zatížení (0-2x10-2x20-2x 30 [kN]) dochází k nevýznamnému nárůstu vodorovných deformací, který po sedmi opakovaných zatíženích činil – v případě celkové deformace 12,3 % a trvalé deformace 50 % v porovnání s celkovou a trvalou deformací v prvním zatěžovacím cyklu 1. zatěžovacího stavu;

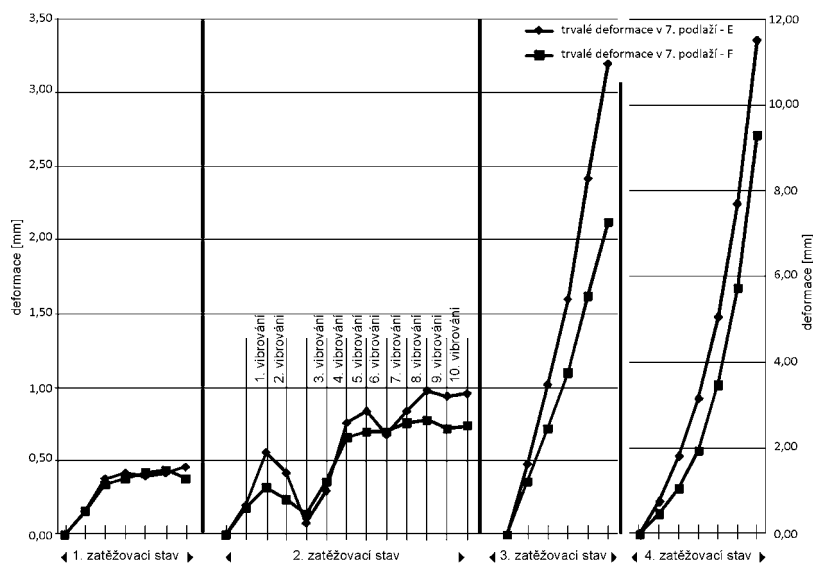
2. zatěžovací stav – po 10 zatěžovacích stavech, v jejichž průběhu byla konstrukce vystavena 12x opakovanému monotónně narůstajícímu zatížení (0-2x10-2x20-2x30-x20-2x10-0 [kN]) a dynamickému zatížení celkem 10x (80·10³) kmitů o frekvenci 15 Hz, došlo při zatížení 2x30 kN ke zvýšení celkové vodorovné deformace o 121,1 % v porovnání s celkovou deformací v prvním zatěžovaném cyklu 1. zatěžovacího stavu a trvalé deformace o 200 %. Porušení styků nosných dílců po 1. a 2. zatěžovacím stavu je schematicky znázorněno na obr. 9;



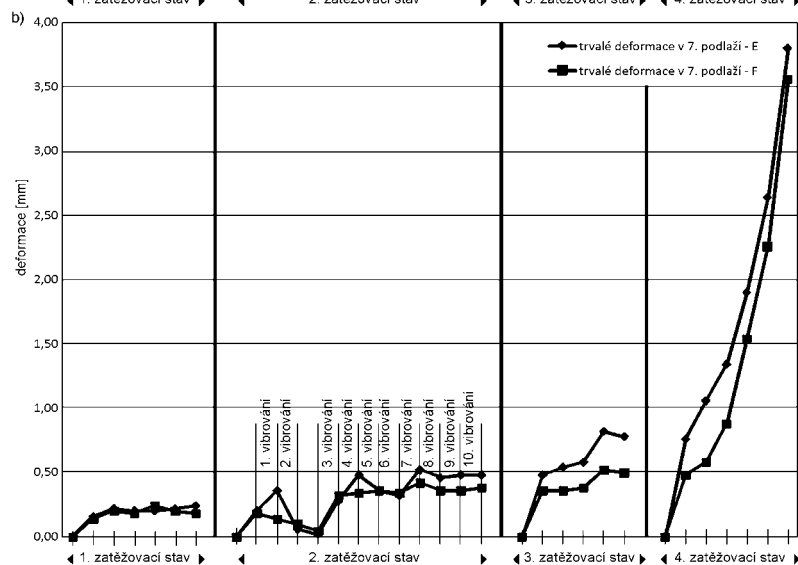
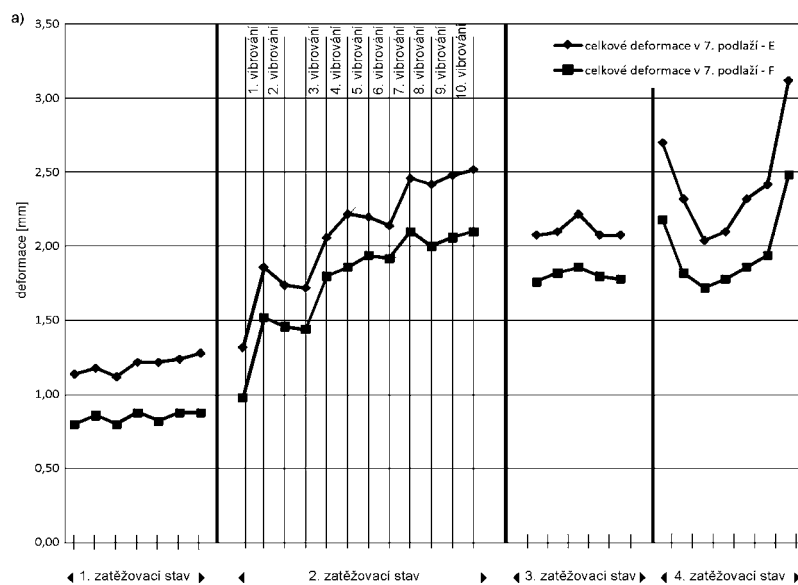
Obr. 9. Schéma postupného porušování styků a dílců zkušebního modelu v průběhu 1. a 2. zatěžovacího stavu



Obr. 10. Schéma postupného porušování styků a dílců zkušebního modelu v průběhu 3. a 4. zatěžovacího stavu



Obr. 11. Nárůst vodorovné deformace (průhybu f_h) v jednotlivých zatěžovacích stavech na úrovni 7. podlaží ($f_h \times N_p$).



Obr. 12. Průběh závislosti vodorovných deformací v jednotlivých cyklech ($f_{h, celk.} \times N_p$, $f_{h, trv.} \times N_p$) na horním volném konci; a – celkových, b – trvalých

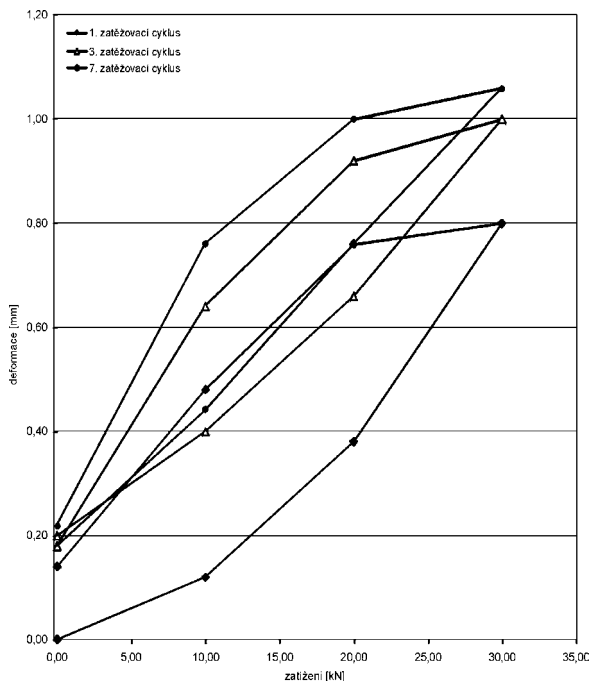
3. zatěžovací stav – celková deformace v prvním zatěžovacím cyklu 3. zatěžovacího stavu při statickém zatížení 2×30 kN vzrostla v porovnání s celkovou deformací v prvním zatěžovacím cyklu 1. zatěžovacího stavu na hodnotu 2,08 mm, tj. o 82,5 %, a trvalá deformace vzrostla na hodnotu 0,48 mm, tj. o 200 % v porovnání s hodnotou v prvním zatěžovacím cyklu 1. zatěžovacího stavu.

Po pěti zatěžovacích cyklech 3. zatěžovacího stavu došlo k nárůstu celkové vodorovné deformace na hodnotu 2,08 mm a trvalé vodorovné deformace na hodnotu 0,78 mm, tj. 0 % a 62,5 % v porovnání s prvním zatěžovacím cyklem 3. zatěžovacího stavu a o 82,5 %, popř. o 387,5 %, v porovnání s prvním zatěžovacím cyklem 1. zatěžovacího stavu;

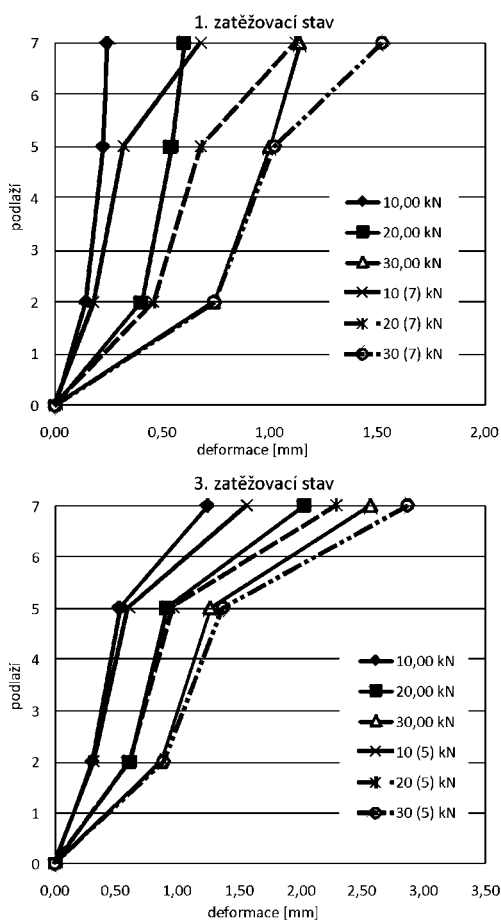
4. zatěžovací stav – v důsledku postupného zvyšování zatížení v každém následujícím cyklu o 2×10 kN došlo v průběhu 4. zatěžovacího stavu postupně s nárůstem zatížení k progresivnímu nárůstu celkových a trvalých vodorovných deformací. V sedmém zatěžovacím cyklu 4. zatěžovacího stavu dosáhla celková vodorovná deformace při zatížení 2×30 kN hodnoty 3,12 mm a trvalá vodorovná deformace hodnoty 2,64 mm, tj. o 173,7 %, a o 1 785,1 % více v porovnání s prvním zatěžovacím cyklem 1. zatěžovacího stavu, a o 15,5 %, popř. o 247,3 %, více v porovnání s prvním zatěžovacím cyklem 4. zatěžovacího stavu. Porušení styků nosných dílců po 1. a 2. zatěžovacím stavu je schematicky znázorněno na obr. 10.

Průběh celkových a trvalých vodorovných deformací v jednotlivých zatěžovacích stavech a cyklech je znázorněn na obr. 11 a obr. 12. Z obrázků jsou patrné přírůstky vodorovných deformací na úrovni 7. NP, tj. ve vrcholu zkušebního modelu v jednotlivých zatěžovacích cyklech a zatěžovacích stavech. Průběh závislosti zatížení x vodorovné deformace v jednotlivých zatěžovacích stavech na úrovni 2., 5. a 7. NP znázorňují obr. 13 a obr. 14.

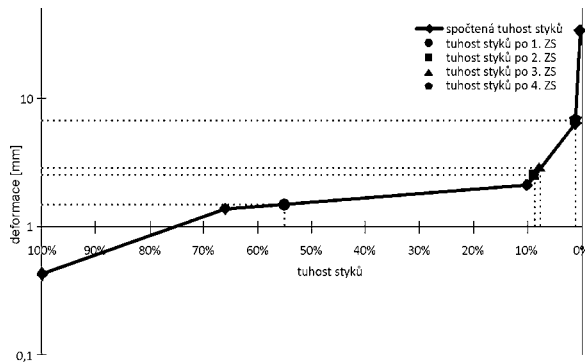
Teoretický pokles tuhosti svislých styků stěnových dílců vytvářejících ztužující sestavu tvaru písmene H odpovídající experimentálním hodnotám celkových vodorovných deformací v jednotlivých zatěžovacích stavech je znázorněn na obr. 15.



Obr. 13. Průběh vodorovných deformací na úrovni 7. podlaží v 1. zatěžovacím stavu



Obr. 14. Průběh vodorovných deformací na úrovni 2., 5. a 7. NP v 1. a 3. zatěžovacím stavu



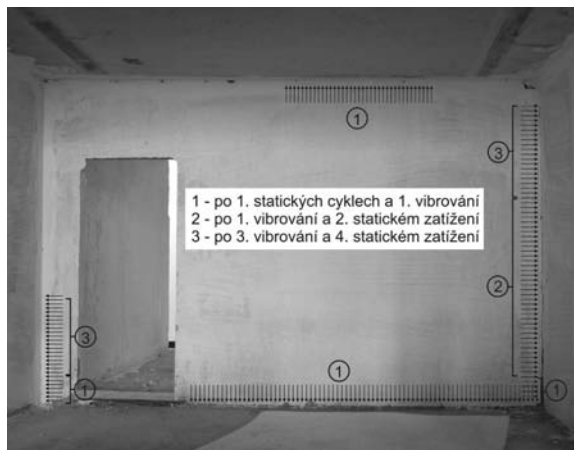
Obr. 15. Teoretická závislost vodorovné deformace f_h na horním volném konci zkušební sestavy na tuhosti styků K_s

Shrnutí výsledků experimentálního výzkumu

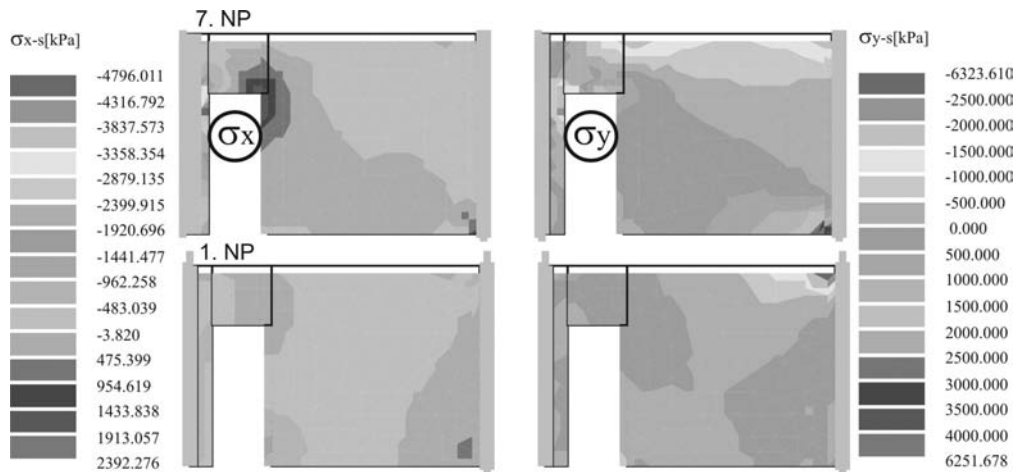
Výsledky experimentálního výzkumu, uskutečněného na zkušebním modelu vystaveném účinkům opakovaného monotónně narůstajícího zatížení v rozsahu 0–2x30 kN a 0–2x80 kN a dynamického zatížení s frekvencí 15 Hz, jehož předmětem byla odezva a vliv těchto účinků na reziduální tuhost a statickou bezpečnost prefabrikovaného systému, lze shrnout do následujících závěrů:

- Analýza a porovnání experimentálně stanovených přírůstků celkových a trvalých deformací ve vrcholu zkušebního modelu v jednotlivých zatěžovacích cyklech 1., 2. a 3. zatěžovacího stavu pro případ zvolené frekvence 15 Hz (experimentálně naměřené 1. a 2. vlastní frekvence na úrovni 7. patra jsou $f_1 = 5,62$ Hz a $f_2 = 13,92$ Hz, na úrovni 4. patra jsou $f_1 = 5,37$ Hz a $f_2 = 13,92$ Hz) ukazuje na poměrně malý vliv dynamického účinku na postupné snižování tuhosti nosného systému v důsledku degradace styků (vznik strukturálních trhlin a jejich rozvoj ve stycích nosných dílců). Relativně vysoká frekvence dynamického zatížení, vyvolaná elektrodynamickým budičem s velmi malou amplitudou kmitů, jímž byl zkušební model v 3. zatěžovacím stavu vystaven, nezpůsobily výraznější vizuálně pozorovatelná porušení styků nosných prefabrikovaných dílců. V průběhu 3. zatěžovacího cyklu nedošlo k progresivnímu nárůstu deformací a významnému poklesu tuhosti a odolnosti nosného stěnového systému.

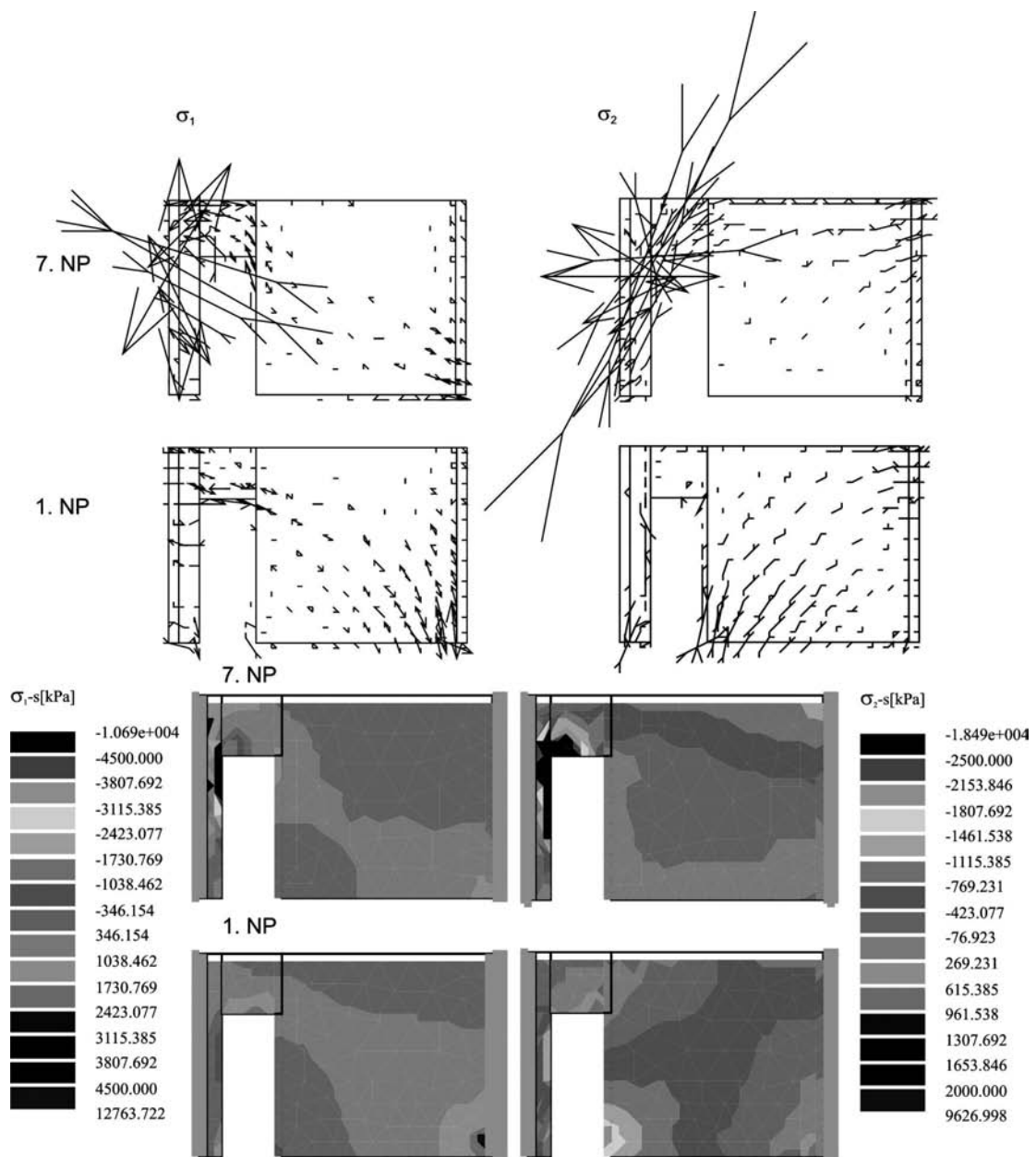
- Nárůst celkových a trvalých deformací, způsobených účinkem opakovaného nízkocyklického zatížení v průběhu 1.–3. zatěžovacího stavu, tj. po 24 cyklech, činil 82,5 % a



Obr. 16. Porušení svislých a vodorovných styků podélné stěny, příčných stěn a stropních desek



Obr. 17. Normálové a smykové napětí v podélné stěně při zatížení šikmou silou na horním volném konci 2x30 kN (styky se sníženou tuhostí 10^{-1})



Obr. 18. Průběh hlavních napětí v podélné stěně při zatížení šikmou silou na horním volném konci 2x30 kN (porušené styky se sníženou tuhostí 10^{-3})

387,5 % v porovnání s prvním zatěžovacím cyklem 1. zatěžovacího stavu. Nárůstem celkových a trvalých deformací způsobených účinkem dynamického zatížení ve 2. zatěžovacím stavu, tj. po 80×10^4 cyklů s vysokou frekvencí a velmi malou amplitudou, který činil 90,9 % a 166 %, dokládá, že vyšetřovaný účinek dynamického zatížení nezpůsobil ve svislých stycích stěnových dílců namáhání překračující mez jejich lineárně pružného působení.

Na rozdíl od dynamického zatížení s vysokou frekvencí nízkocyklické opakované smykové namáhání, při němž je alespoň v některých cyklech dosaženo ve svislých stycích stěnových dílců namáhání překračující mez úměrnosti závislosti $T \times \delta$ (obr. 2), způsobuje progresivní pokles tuhosti styku a v důsledku toho má podstatně závažnější vliv na postupné snižování statické bezpečnosti nosného systému v porovnání s dynamickými účinky způsobenými technickou seizmicitou (např. účinek dopravy, obr. 15).

● Na základě analýzy experimentálních výsledků odezvy prefabrikované zkušební sestavy na dynamické zatížení lze konstatovat relativně vysokou spolehlivost a odolnost obdobných nosných stěnových prefabrikovaných systémů vícepodlažních budov vzhledem k účinkům běžné technické seizmicity s frekvenčním spektrem seizmické odezvy a velikosti seizmického zatížení v ověřovaném rozsahu.

Tyto závěry nelze v plném rozsahu aplikovat na všechny prefabrikované stěnové systémy, zejména na případy nosných prefabrikovaných stěnových konstrukcí (panelových budov) s nedostatečným vodorovným vyztužením stropní desky, popř. s prokazatelně porušenými styky nosných dílců.

● Nárůst opakovaného statického zatížení ve 4. zatěžovacím stavu, nárůst vodorovné i svislé složky zatížení měl za následek postupný vznik trhlin a porušení styků nosných dílců, v nichž byla překročena jejich mezní únosnost ve smyku, provázený postupným poklesem tuhosti nosného systému, nárůstem vodorovných deformací.

● Experimentální zatěžování zkušebního modelu v rámci 4. zatěžovacího stavu prokázalo mimořádně závažný účinek podélných stěn i ve stadiu, kdy došlo k jejich oddělení v nejvyšších podlažích zkušebního modelu od navazujících příčných stěn a stropní konstrukce průběžnou trhlinou (obr. 16). V tomto stadiu působily oddělené podélné stěny jako ztužující volně vložené diafragmy s charakteristickým účinkem tlakové diagonály významně stabilizující konstrukci v podélném směru vzhledem k účinkům vodorovného zatížení (obr. 10, obr. 17, obr. 18).

Příspěvek vznikl za podpory Výzkumného záměru MSM 6840770001 „Spolehlivost, optimalizace a trvanlivost stavebních materiálů a konstrukcí“.

Literatura

- [1] Geofyzikální ústav Akademie věd České republiky, Seismické oddělení.
- [2] Kaláb, Z.: Posouzení seizmického zatížení středověkého Dolu Jeroným v České republice. Acta Montanistica Slovaca, 8, 2003, č. 1.
- [3] Eurokód 8: Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení. ČNI, 2005.
- [4] Witzany, J.: Chování styků betonových dílců namáhaných stykem při opakovaném zatížení. Pozemní stavby, 1987, č. 8, s. 343 – 348.
- [5] Witzany, J.: Regenerace nosné konstrukce panelových budov. Pozemní stavby, 1989, č. 9, s. 373–378.
- [6] Witzany, J. – Zigler, R. – Pašek, J.: Experimentální výzkum prostorového chování modelu 1:3 prefabrikované stěnové konstrukce vícepodlažního objektu. Stavební obzor, 10, 2001, č. 12, s. 21–23. ISSN 1210-4027.
- [7] ČSN 73 0040 Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva. ČSN, 1996.

Witzany, J. – Čejka, T. – Zigler, R.: Effects of Dynamic Load with High Frequency on Reduction of Stiffness of Prefabricated Wall Systems of Multi-Storey Buildings

This article presents results of an experimental and theoretical analysis of the response of a prefabricated wall structure of a multi-storey building to technical seismicity effects. The experimental investigation employed a model of a seven-storey carrying prefabricated wall structure of a prefabricated panel building in the scale of 1 : 3. The model of the prefabricated structure was gradually exposed to eight loading states, including the cyclic and monotonously rising loading. The cyclic load induced by the Tira-vib electrodynamic exciter simulated technical seismicity effects. The drop of stiffness of the prefabricated system was monitored in the first place by measuring relative displacements between the wall units and the deformation of the system in horizontal, as well as vertical direction.

Witzany, J. – Čejka, T. – Zigler, R.: Der Einfluss dynamischer Belastung mit hoher Frequenz auf die Verringerung der Steifigkeit vorgefertigter Wandsysteme mehrgeschossiger Gebäude

Im Artikel werden die Ergebnisse einer theoretischen Analyse der Reaktion einer vorgefertigten Wandkonstruktion eines mehrgeschossigen Gebäudes auf die Einwirkung technischer Seismizität vorgestellt. Die experimentelle Forschung wurde am Modell einer sieben-geschossigen tragenden vorgefertigten Wandkonstruktion eines Plattenbaus im Maßstab 1 : 3 durchgeführt. Das Modell der vorgefertigten Konstruktion wurde schrittweise acht Belastungszuständen ausgesetzt, die zyklische und monoton ansteigende Belastungen enthielten. Die durch einen elektrodynamischen Erreger Tira-vib eingetragene zyklische Belastung simulierte die Einwirkung technischer Seismizität. Der Abfall der Steifigkeit des tragenden vorgefertigten Systems wurde vor allem durch die Messung der relativen Verschiebungen zwischen den Wandteilen und der Verformungen des Systems in waagerechter und senkrechter Richtung aufgezeichnet.

Lomová mechanika a hodnocení mechanického chování některých stavebních materiálů

Ing. Jaroslava ZEMÁNKOVÁ, CSc.

ÚTAM – AV ČR

Praha

Článek se snaží přehlednou a zjednodušenou formou prezentovat možnosti, přínosy a úskalí aplikace lomové mechaniky ve stavební praxi. Při jejím užití pro stavebnictví či renovaci prvků historických budov je hlavní výzvou výběr lomové teorie a jeho ověření, jelikož převládající namáhání je buď tlakové, či kombinace smykových typů zatížení, zatímco klasická lomová mechanika byla vystavěna pro kovové materiály a tahový mod zatížení.

Lomová mechanika hodnotí a kvantifikuje vliv trhlin na celistvost a nosnou schopnost, popř. životnost, konstrukčního prvku. Byla vypracována, a proto nejlépe funguje, pro křehké materiály. Při aplikaci však jejich vlastnosti vyvolávají potřebu zvláštních postupů, odlišných od toho, co bylo vyvinuto pro tvárné kovové materiály. Rozvoji těchto postupů významně napomohla „keramická horečka“ v osmdesátých letech minulého století.

Lomová mechanika vznikla kolem poloviny minulého století jako nástroj pro posouzení bezpečnosti kovových konstrukcí vůči porušení rychlým nestabilním lomem. Tento typ lomu dostal označení křehký, jelikož probíhal za situace, kdy téměř celá konstrukce byla ve stavu elastické napjatosti, jak byla dimenzována vzhledem k tehdy platným předpisům pro projektování a doporučeným „koeficientům bezpečnosti“. Ukázalo se, že příčinou tohoto typu poruchy obvykle byla existence či postupný vznik (např. procesem únavy) větší či menší trhliny. Podrobnější analýzy ukázaly, že k výskytu takového porušení přispívaly další okolnosti, jako např. velikost konstrukce, zbytková pnutí, zejména v okolí svarových spojů, nízké teploty, degradace mechanických vlastností materiálu konstrukce, rychlá či rázová zatížení apod. Nutno podotknout, že vesměs šlo o konstrukce namáhané v tahu.

Trhlina v zatížené konstrukci způsobuje na jejím čele vysokou koncentraci napětí. Veškeré lomové teorie a koncepce [1], [2] vycházejí z tohoto faktu a snaží se pojednat otázku nestability trhlin jako důsledek buď překročení lokální pevnosti materiálu v místě maximálních špiček napětí, nebo na základě energetické bilance systému s trhlinou. Oba přístupy se snaží vyjádřit podmínku stability či nestability trhliny vztahem

$$X \geq X_c, \quad (1)$$

kde X je lomový parametr, matematicky vyčíslitelný na základě relevantní lomové teorie, X_c je jeho kritická hodnota, experimentálně zjištěná pro okamžik rozvoje lomu. Tato veličina je pak chápána jako materiálová charakteristika určující odpor daného materiálu proti šíření lomu (často se nazývá lomová houževnatost).

Historicky první pokus o vysvětlení toho, že do určitého okamžiku neškodná trhlina se stane nestabilní a rozvine se do lomu šířícího se rychlostí, jež může být zlomkem rychlosti zvuku v daném prostředí, mnohdy za doprovodu vedlejších větví, předložil už v roce 1920 Griffith. Vycházel z prosté energetické bilance homogenního izotropního elastického materiálového systému, přičemž předpokládal, že trhlina je „hnána“ uvolněnou elastickou energií napjatosti z míst, kde napěťové pole odrelaxuje jako důsledek její existence (diskontinuity posuvů podél líců trhliny), a že její rozvoj vyžaduje pouze energii na tvorbu nových přírůstků ploch lomu. Tu nazval povrchovou lomovou energií, určenou při dané teplotě jen konstitucí a typem materiálu. Jelikož v té době ještě nebylo možné spočítat pole napětí kolem ostré trhliny, aproximoval Griffith trhlinu úzkou protáhlou elipsou. Získal vztah mezi kritickým nominálním tahovým napětím σ_{nc} , v jehož poli v rovinném nekonečném prostředí se defekt nacházel, a délkou trhliny a . Tento vztah představuje jakousi univerzální vazbu, ke které se v elastomechanice došlo i s užitím jiných lomových teorií

$$\sigma_n = \text{konst} \sqrt{\frac{E\gamma}{\pi a}}, \quad (2)$$

kde E je Youngův modul pružnosti v tahu, γ specifická povrchová (lomová) energie.

Později, kdy již bylo možné počítat pole napětí a posuvů v okolí kořene trhliny, zobecnili tuto koncepci Irwin a Orowan a okamžik nestability trhliny se diskutoval prostřednictvím jasně definované fyzikální veličiny, tzv. hnací síly trhliny, či jinak, rychlosti uvolňování deformační energie G , a jiné materiálové charakteristiky, obecněji zavádějící odpor proti šíření trhliny, než představovala veličina povrchové energie

$$G = G_c = R. \quad (3)$$

Nově pojatá veličina odporu materiálu proti rozvoji trhliny R představuje skutečný energetický požadavek reálného materiálu při vzniku nové plošné jednotky lomu a jako taková reflektuje i jiné disipativní mechanismy při šíření trhliny než jen tvorbu nového povrchu. U tvárnějších materiálů je to především energie spojená s existencí menší plastické zóny vznikající před nestabilitou. Tato veličina bývá proto řádově větší než hodnota γ a v rámci lineární lomové mechaniky (LLM) se nazývá *lomová houževnatost*.

Kromě energetických přístupů, analyzujících příčiny nestability trhlin, se záhy po získání uzavřené formy řešení pole napětí a posuvů kolem ostrých (matematických) trhlin objevila nová koncepce LLM, opírající se o inženýrskou koncepci lokální kohezní pevnosti. Ukázalo se, že v idealizovaných případech elastické, např. tahové rovinné napjatosti nekonečného tělesa s centrální trhlinou, lze složky napětí u čela trhliny, o kterých se soudí, že když jejich hodno-

ta dosáhne lokální hodnoty materiálové pevnosti, tak se čelo trhliny stane nestabilní, vyjádřit vztahem

$$\sigma_{ij} = \frac{K_I}{r^{1/2}} \cdot f_{ij}^I(\theta), \text{ přičemž platí } G \approx K_I^2/E. \quad (4)$$

Zde r ; θ jsou polární souřadnice s počátkem v kořeni trhliny, úhlová funkce nabývá v přímém směru hodnoty 1. Tato koncepce nahrazuje „kohezně pevnostní“ účinek maximální tahové složky napětí na čele trhliny, jež díky singularitě typu $r^{-1/2}$ nabývá teoreticky nekonečné hodnoty, účinkem „amplitudy“ této složky napětí v blízkosti kořene trhliny K . Těto veličině se začalo říkat *faktor (nebo součinitel) intenzity napětí* K_i ($i = I, II, III$). Jeho hodnota je pro modelovou centrální trhlínu v nekonečném rovinném prostředí dána při tahovém namáhání součinem velikosti nominálního tahového napětí v tělese odmocnině délky trhliny

$$K_I = \sigma_n \sqrt{\pi a}. \quad (5)$$

O tom, které složky napětí jsou v případě složitějšího zatížení v popředí zájmu, rozhoduje typ zatížení systému s defektem, konkrétně orientace předpokládaného lomového napětí vůči lícům a čelu trhliny. I zcela obecné zatížení lze totiž získat superpozicí řešení vztahujících se ke třem základním typům (modům) zatížení a porušení – tahovému (normálnímu) lomu ($i = I$), smykovému lomu ($i = II$) a trhacímu lomu ($i = III$). Podmínka nestability trhliny pak je

$$K_i = K_{ic}. \quad (6)$$

Je evidentní, že v technické praxi kovových konstrukcí se dominantním stal tahový otevírací mod porušení, protože je nejčastější, tedy technicky nejzajímavější, ale i nejnebezpečnější. I tato teorie tedy dochází k podobnému závěru jako teorie Griffithova, že totiž v okamžiku nestability jsou součinné zatížení a odmocnina z rozměru defektu úměrné materiálové charakteristice (srovnej se vztahem (2)). Oba základní přístupy lomové mechaniky tak umožňují diskutovat při známém zatížení kritický rozměr defektu či při známém rozměru trhliny přípustné zatížení.

Veškerý další vývoj lomové mechaniky se odehrával v rámci tahového namáhání prvního typu, ať tím myslíme modifikace pro tvárné a houževnaté materiály (nelineární lomová mechanika, dvouparametrová atd.), dynamickou mechaniku, výpočty či kategorizaci příslušných faktorů intenzity napětí v podobě sborníků nebo tvorbu normativních předpisů pro určování lomové houževnatosti různých materiálů. Podotkněme, že posledně jmenovaný výstup představuje užitečnou bázi pro hodnocení a porovnávání materiálů z hlediska odolnosti vůči porušení obecně. *Nicméně fakt rozpracovanosti přístupu pro první tahový mod zatížení představuje pro aplikace do stavební mechaniky určitý handicap z důvodu převládajícího jiného charakteru namáhání, kdy jsou podmínky nestability včetně přednostního směru šíření trhlín komplikovanější.*

Teorie lomové mechaniky nabízí kromě analýzy kritických parametrů provozních stavů možnost diskutovat *směr šíření* poruch. U normálního lomu už automaticky a intuitivně víme, že půjde o přímý směr ve směru roviny líců trhliny, ale u dalších modů či u smíšeného zatížení není tento směr apriorně předvídatelný. Tato skutečnost současně znamená, že rovněž kritická hodnota lomové řídicí veličiny by měla být určena pro nejpravděpodobnější směr rozvoje defektu.

Je tedy zřejmé, že při užití lineární lomové mechaniky v teorii a praxi historického stavebnictví a podobných aplikací bude nezbytné volit, vyvíjet, počítat a ověřovat takové přístupy, které počítají se smíšeným, vícemodovým namáháním konstrukčních prvků. K nim pak bude potřebné určit a změřit kritické hodnoty vybraných lomových parametrů podle příslušné teorie pro relevantní materiály stavebních prvků. Z dosud známých koncepcí se tak nabízejí ty, které jsou založené na energetických modelech, jelikož na rozdíl od složek tenzoru napětí lze příspěvky uvolňované elastické energie prostě sečítat. V první řadě by tedy šlo o koncept *hnací síly trhliny* G .

Jednou z teorií, nabízejících užití pro případ tlakového zatížení a pro případ smíšených modů zatížení, je Sihovo kritérium *hustoty deformační energie*. Jde sice o přístup poměrně málo využívaný a ne zcela exaktně fyzikálně odvodněný a objasněný, ale v praxi fungující stejně dobře, není lépe než uvedené frekventovanější přístupy.

V tomto přístupu je lomovým parametrem *faktor hustoty deformační energie* S . Na rozdíl od konvenční koncepce K , která je pouze měřítkem amplitudy lokálních napětí, je základní parametr této lomové teorie S směrově citlivý a je pojat jako veličina vhodná nejen pro určení kritických zatížení v systému s trhlínou, ale rovněž identifikující směr nejmenšího odporu proti šíření trhliny.

Teorie vychází ze dvou základních axiomů:

a) trhlina se bude šířit ve směru maximální hustoty potenciální energie neboli ve směru minimální hustoty deformační energie (jde o nestabilní stav rovnováhy)

$$\frac{\partial S}{\partial \theta} = 0, \quad \frac{\partial^2 S}{\partial \theta^2} > 0 \text{ pro } \theta = \theta_o, \text{ který udává směr šíření;} \quad (7)$$

b) nestabilita trhliny nastává při kritické intenzitě tohoto potenciálového pole

$$S_{cmin} = \text{konst.} = S(K_I, K_{II}, K_{III}) \text{ pro } \theta = \theta_o. \quad (8)$$

Vyjádříme-li přitom deformační energii napjatosti na základě složek tenzoru napětí na čele trhliny v desce ve stavu rovinné deformace a při obecném zatížení líců trhliny příslušnými faktory intenzity napětí $K_{I,II,III}$, lze hustotu deformační energie W zapsat s užitím polárních souřadnic r ; θ jako

$$W = S/r = 1/r (a_{11}K_I^2 + 2a_{12}K_I K_{II} + a_{22}K_{II}^2 + a_{33}K_{III}^2). \quad (9)$$

Výraz pro faktor hustoty deformační energie pak explicitně plyne z poslední rovnice, v níž koeficienty a_{ij} jsou funkcemi elastických konstant (modulu pružnosti E , Poissonova čísla ν) a polární úhlové souřadnice.

V souvislosti s experimentálním určováním kritických hodnot lomových parametrů (lomové houževnatosti) na křehkých materiálech je třeba se zmínit o jednom problému. Abychom zjistili správnou hodnotu lomové houževnatosti, je nezbytné mít ve zkušebním tělese ostrou reálnou trhlínu. Faktor intenzity napětí je totiž definičně spjat s polem napjatosti vykazujícím singularitu typu $r^{-1/2}$, viz vztah (4). Jinými slovy, jen tam, kde jsou složky tenzoru napětí kolem kořene defektu popsány s takovouto singularitou, může K plně charakterizovat „amplitudu“ pole. Bývá častým prohřeškem proti teoretické bázi přístupu nahrazovat přirozenou trhlínu různými zářezy a vruby. Je však známo, že kolem zářezů a vrubů nevzniká pole s touto singularitou a příslušné složky napětí nejsou úměrně pouze faktoru intenzity napětí, ale závisí i na parametrech vrubu. Odlišný charakter napjatosti

pak vede k tomu, že při formálně stejném postupu jako s trhlinou naměříme obvykle vyšší hodnoty lomové houževnatosti. Je proto žádoucí vycházet z výsledků měření se skutečnými iniciačními trhlinami.

Ty se však u křehkých materiálů [3], [4] vyrábějí velmi špatně právě v důsledku nízkého odporu proti jejich šíření. Porovnejme: zatímco u kovů se hodnoty lomové houževnatosti K_{Ic} pohybují v rozmezí desítek až více než 100 MPam^{1/2}, u plastů a konstrukční keramiky řádově kolem jednotek až do 10 MPam^{1/2}, sklo, kámen a horniny dosahují hodnot pouze v řádu desetin (vše vztaheno k pokojovým teplotám). Proto na základě řady studií k pokusům vytvořit ostrou počáteční trhlinu do zkušebního tělesa byly doporučeny dva způsoby – metoda vtisku pomocí Vickersova či Knoopova tvrdoměru a použití vzorků s ševronovým vrubem.

Metoda vtisku umožňuje vznik trhliny s polokruhovým či poloeliptickým tvarem čela pod indentorem. Pole napjatosti na čele takové trhliny je však složité a vyžaduje přijetí určitých předpokladů o způsobu a směru jejího rozvoje. Při vtisku navíc vznikají značná reziduální pnutí, jejichž vliv je nezbytné buď vyloučit odstraněním povrchové vrstvy, vyžeháním, nebo započtením odhadu jejich velikosti. To přirozeně dává této metodě určité rysy empiričnosti.

Větší oblibu proto získala metoda užívající vzorek s ševronovým zářezem. Zde totiž přirozená trhlina vzniká samovolně z vrcholu zářezu pomalým podkritickým růstem. Hodnota K_{Ic} se určuje na základě záznamu síla-posuv (průhyb) z hodnoty maximální zátěžné síly, takže není zapotřebí měření délky trhliny při nestabilitě. Jediným problémem je stanovení a výpočet faktoru intenzity napětí (kalibrace K), které se získávají na základě numerických řešení či přibližných analytických modelů [5].

Z výše uvedeného vyplývá, že při stejné napjatosti konstrukčního segmentu např. z kovu a skla, kdy se liší lomová houževnatost v rozmezí tří řádů, se bude přípustná délka defektů lišit v rozmezí šesti řádů. Dostáváme se tak k rozměrům trhlín, jež jsou v těchto velmi křehkých materiálech jen obtížně detekovatelné i nejmodernější technikou. Přitom takových defektů je obvykle velmi mnoho, jsou různě orientovány k silovému toku, mají různé rozložení na povrchu a uvnitř těles. V těchto případech je „pevnost“ materiálu vlastně určována nejslabším místem (článkem) v materiálu, tj. největší příhodně orientovanou trhlínkou. Deterministickou analýzu mechanického chování je pak nezbytné nahradit pravděpodobnostními přístupy, jelikož inženýr zde nepracuje s jednou reprezentativní hodnotou limitního zatížení (mezi pevností), ale s jejím statistickým rozložením [6]. Pro pokročilou keramiku bylo např. prokázáno, že pevnostní chování mnoha z těchto materiálů dobře popisuje Weibullova pravděpodobnostní teorie. Podle ní je pravděpodobnost lomu P_f dána vztahem

$$P_f = 1 - \exp \left[- \iiint_V \left(\frac{\sigma - \sigma_u}{\sigma_o} \right)^m \cdot dV \right], \quad (10)$$

kde V je objem namáhaného materiálu, σ napětí v tomto objemu působící, σ_u představuje hodnotu napětí, pod níž se materiál nebude porušovat, a σ_o je normalizační parametr (zvaný charakteristická pevnost), m je modul Weibullova rozložení. Poslední tři veličiny se považují za materiálové charakteristiky. Anž bychom dále komentovali detaily tohoto předpisu, všimněme si jeho praktických důsledků.

Je zřejmé, že při zvolené hodnotě pravděpodobnosti porušení, kterou můžeme nazírat jako jakýsi „koeficient bezpeč-

nosti“, je dovolené namáhání funkcí nejen materiálových parametrů, ale i objemu. (Pro zajímavost, toto zjištění „pohřbilo“ naděje na výrobu celokeramického vznětového motoru.) Jestliže totiž např. objem velikosti V_2 má povolené napětí σ_2 , pak součást ze stejného materiálu stejně namáhaná s objemem V_1 bude mít přípustné napětí

$$\sigma_1 = \sigma_2 \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{1/m}. \quad (11)$$

Tento závěr je nutné si uvědomovat i při „čtení“ pevnostních charakteristik křehkých materiálů udávaných výrobcem, nejde-li o normalizovanou zkoušku. Stačí neuvádět, k jaké pravděpodobnostní veličině jsou údaje vztaheny, při jaké zkoušce byly určovány (v tahu, třibodovém či čtyřbodovém ohybu – i gradient napětí má význam) a jaká byla velikost zkušebních těles (čím menší, tím optimističtější výsledky). Zajímavou informaci nese i modul Weibullova rozložení m , popisuje totiž šířku rozložení, a tím i homogenitu a reprodukovatelnost produkce. Nízké hodnoty m znamenají široké rozložení s velkým rozptylem, a naopak. Pro konstruktéra pracujícího s pokročilou keramikou či jiným velmi křehkým materiálem je tak např. zajímavější materiál s nižší charakteristickou pevností, ale vyšším Weibullovým modulem.

Pro konstrukční části se složitým mechanickým i tepelným namáháním byla vypracována metodika pravděpodobnostního dimenzování, kdy lze pro namáhanou křehkou součást vynést mapu čar konstantního rizika lomu. Koncentrace těchto čar a přiřazené hodnoty intenzity rizika lomu pak určují místa s největší pravděpodobností porušení, jež u křehkých materiálů nemusí odpovídat místům s největším napětím.

Teorie pravděpodobnostního navrhování spolu s lomové mechanikou databází se stala základem i pro pravděpodobnostní odhad životnosti či metodou pro výstupní kontrolu kvality křehkých komponent prostřednictvím přetěžovací zkoušky (prooftest), jež má zaručit jejich minimální životnost. Smyslem je vyřazení nekvalitní produkce malé pevnosti (dané nízkou lomovou houževnatostí spolu s výskytem plejády malých trhlín špatně identifikovatelných defektoskopickými metodami a účinnými nedestruktivními postupy). Jinak řečeno, jde o „orezáni“ Weibullova rozložení v části nízkých hodnot pevnosti. Komponenta se při této zkoušce zatěžuje způsobem, který napodobuje provozní zatížení, ale maximální složky napětí při zkoušce převyšují napětí návrhové. Míra tohoto převýšení je určována požadavkem plánované minimální životnosti.

Cenným dědictvím snah z období keramického boomu je i metodika hodnocení životnosti křehkých materiálů při dlouhodobém zatížení a za působení agresivního prostředí. Tím může být pro materiály cokoli včetně vlhkosti a složek ovzduší. Křehké materiály nemají schopnost odolávat vyššímu zatížení, protože jeho energii nedokáží „spotřebovat“ v plastické deformaci, jež je pro konstrukci méně rizikovým poškozením než lom. Dislokace a podobné poruchy vnitřní struktury, jež činí např. kovové materiály plastickými, zde nemají obvykle splněny podmínky pro snadný pohyb. Proto u křehkých materiálů podobné vnitřní konstituce nevzniká ani významné poškození cyklickou únavou, zato docela důležité pomalým nárůstem mikrotrhlín i při nízkých napětích a za spolupůsobení vnějšího prostředí. Nazývá se statická únava. Byla pro ni rozpracována analýza časově závislého porušování, jež pomocí diagramů S-P-T (Strength-Probability- Time/ Temperature) určuje životnost konstrukce při zvolené hodnotě spolehlivosti.

Nástroje lomové mechaniky mohou být užitečné u materiálů užívaných ve stavebnictví i v dalším směru. Mnohé jsou kompozitní či vrstvené, u nichž je pro pevnostní chování a spolehlivost klíčové chování rozhraní mezi maticí a výztuhou, popř. vrstvami materiálůvých složek. Je známo, že porušení tohoto typu materiálu obvykle začíná na okrajích částí rozhraní, kde dochází k dekohezi spoje vázaných materiálů a vzniku mikrotrhlin v rozhraní. Rychlost, směr a mechanismus jejich šíření pak určuje chování a životnost celé komponenty. Tyto aspekty rozvoje trhlin se přitom nedají popsat klasickou lomovou mechanikou pro homogenní izotropní materiál.

Praktická závažnost problému si vynutila vznik další větve lomové mechaniky – *lomovou mechaniku rozhraní*. Rozhraní je místo, kde se stýkají a spojují dva materiály odlišných mechanických a teplotních vlastností, což přirozeně při mechanickém a teplotním namáhání vede k napětovým koncentracím. Přitom okolí okraje rozhraní dvou materiálů vykazuje jiný typ koncentrace napětí než čelo trhliny v rozhraní. Jelikož exponent singularity může být komplexní číslo, mluví se o oscilující singularitě. Na rozdíl od čela trhliny se však reálná část exponentu krajové singularity nerovná jedné polovině, a proto zde chybí jednoduchá vazba mezi amplitudou pole – faktorem intenzity napětí K a rychlostí uvolňování deformační energie G , jak ji známe u trhliny, viz vztah (4). Takže lomová mechanika není pro analýzu nestability okraje použitelná.

Pro trhlínu v rozhraní však byla příslušná teorie rozpracována [8]. Z důvodu oscilačního charakteru chování složek napětí i posuvů na čele trhlin, imanentně smíšeného modu napjatosti u čela trhliny i při vnějším „jednomodovém“ namáhání, vyjadřovaného skrze komplexní faktor intenzity napětí apod., je však komplikovaná jak z hlediska matematického formalizmu, tak z hlediska interpretačního. Dále budou komentovány jen některé její rysy, které by bylo dobré znát například v případě snah likvidovat účinek trhlin v historických stavebních materiálech „zalepením“ jejich liců (obdoba uzavření trhliny svarem v ocelových konstrukcích), vrstvením různých materiálů, ochranných nástřiků apod.

Uvedené anomálie deformačně napětového pole kolem rozhraní jsou důsledkem asymetrie materiálůvých vlastností u spoje. Matematická analýza elastické rovinné úlohy ukázala, že chování bimateriálového rozhraní za podmínek rovinné deformace může být plně popsáno pomocí kompozitních či Dundursových parametrů α , β či bimateriálové konstanty ε , mající závažnou úlohu pro chování trhliny v rozhraní. Tyto veličiny jsou funkcemi elastických konstant, tj. modulů, a Poissonova čísla obou vázaných materiálů. Přitom fyzikálně α představuje měřítko rozdílu tahových modulů (tuhostí) přes bimateriálový spoj, β je měřítkem odlišnosti plošných modulů. Veličina ε určuje míru a periodu oscilací složek napětí a posuvů u čela trhliny a také poměrné zastoupení obou zátěžných modů v kořeni trhliny (tzv. mixitu). Přípustné hodnoty Dundursových parametrů vyplňují paralelogram ohraničený v souřadném systému α , β přímkami $\alpha = \pm 1$, $\alpha - 4\beta = \pm 1$. Tento diagram je velmi užitečný pro diskusi povahy singularit (koncentrací napětí) u rozhraní s okrají různé geometrie, umožňuje výběr a kombinaci spojovaných materiálů a jejich vnějšího zatížení tak, aby se dosahovalo u rozhraní namáhání požadovaného charakteru s minimálními koncentracemi, či dokonce napjatosti rovnoměrné. Obecně však je možné říci, že čím větší je rozdílnost mechanických a teplotních charakteristik vázaných materiálů, tím větší koncentrace napětí u rozhraní a jejich okrajů vznikají, a tím nižší spolehlivost je nutné očekávat. Tento poznatek se významně uplatňuje u funkčně vrstvených ma-

teriálů (FGM), kdy se mezi rozhraní dvou materiálůvýchází silně odlišných charakteristik vkládá přechodová vrstva materiálu s vlastnostmi snižujícími ostrou diskontinuitu charakteristik obou spojovaných materiálů.

Závěrem je nutné zdůraznit, že lomová mechanika je nástroj pracující s výbavou adekvátní mechanice kontinua. Avšak lom a porušení jsou jevy řízené sice globálně vnějšími fyzikálně mechanickými veličinami, ale odehrávajícími se lokálně v strukturální úrovni materiálu. Je proto přirozené, že přesnější popis porušování by měl zohlednit i konstituci materiálu a s ní spojené mechanismy. Takové teorie jsou budovány, ale zavádějí nás do jiné úrovně uvažování. Přesto však se lze domnívat, že to, co dosud lomová mechanika nabízí, může pomoci porozumění řady jevů a rysů porušení, s nimiž se inženýr v praxi setkává, a vyvarovat se naopak některých přehmatů a chyb z neznalosti.

Literatura

- [1] Anderson, T. L.: Fracture Mechanics. Fundamentals and Applications. London, CRC Press 1995.
- [2] Liebowitz, H. (edit): Fracture. Vol. 1-7. New York, Academic Press 1968–1972.
- [3] Davidge, R. W.: Mechanical Behaviour of Ceramics. Cambridge, Cambridge University Press 1979.
- [4] Menčík, J.: Pevnost a lom skla a keramiky. Praha, SNTL 1990.
- [5] Joch, J. – Zemánková, J. – Kazda, J.: Analysis of a Chevron-Notch FPB Specimen by the 3D FEM. Journ. Amer. Ceram. Soc., Vol. 71, No. 3, 1988.
- [6] Zemánková, J.: Některé zásady konstrukčního návrhu při použití keramických materiálů. Strojírnoství, 37, 1987, č. 8, s. 413–416.
- [7] Zemánková, J. – Fiala, Z.: Užití lomové mechaniky pro bimateriálová rozhraní a její omezení. Inženýrská mechanika (Eng. Mech.), Vol. 7, No. 4, 1998, s. 227–236.
- [8] Rice, J. R.: Elastic FM Concept for Interfacial Cracks. Journ. Appl. Mech., Vol. 55, March 1988.

Zemánková, J.: Fracture Mechanics and Analysis of the Mechanical Behaviour of Some Building Materials and Structures

The objective of this paper is to provide an easy to follow presentation of possibilities, advantages but also stumbling blocks of fracture mechanics used in some spheres of civil engineering practice. The main challenge in this field is the proper fracture theory or model choice and its verification, considering that the prevailing load of such structures is in the pressure or shear mode, whereas classical fracture mechanics has been built for metals and tensile loading.

Zemánková, J.: Bruchmechanik und Bewertung des mechanischen Verhaltens einiger Baumaterialien

Der Artikel bemüht sich, in übersichtlicher und vereinfachter Form die Möglichkeiten, Beiträge und Klippen der Anwendung der Bruchmechanik in der Baupraxis vorzustellen. Bei deren Anwendung für das Bauwesen oder die Renovierung von Elementen historischer Gebäude ist die hauptsächliche Herausforderung die Auswahl einer Bruchtheorie und deren Überprüfung, denn die überwiegende Beanspruchung ist entweder eine Druckbeanspruchung oder eine Kombination von Schubbeanspruchungstypen, während die klassische Bruchmechanik für metallische Materialien und einen Zugbelastungsmodus aufgebaut worden ist.

Parametry transportu kapaln \acute{e} vlhkosti a s \acute{i} ran \acute{u} m \acute{s} ensk \acute{e} ho p \acute{i} skovce

Ing. Zbyšek PAVLÍK, Ph.D.

Ing. Lukáš FIALA

Ing. Milena PAVLÍKOVÁ, Ph.D.

prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.

ČVUT – Fakulta stavební

Praha

Článek se zabývá identifikací materiálových parametrů charakterizujících současný přenos vody a s \acute{i} ran \acute{u} v p \acute{i} skovci, který byl v oblasti střední Evropy často používán jako konstrukční či ornamentální materiál historických budov.

Úvod

Degradace a pokles funkčnosti stavebních materiálů a konstrukcí je v přímé vazbě s nárůstem obsahu vlhkosti a koncentrace ve vodě rozpustných solí. Většina chemických a fyzikálních degračních procesů těchto materiálů vyžaduje přítomnost vody [1]. Voda představuje nebezpečí jako rozpouštědlo hydratovaných pojiv (zejména sádrových, vápenato-uhličitanových a vápenných), případně může působit jako transportní médium pro další škodlivé látky (solí, kyselinotvorné plyny z ovzduší).

Zaměříme-li se na nárůst vlhkosti z pohledu mechanických vlastností stavebních materiálů, zjistíme, že přítomnost vysokého obsahu vlhkosti výrazně snižuje pevnost v tlaku i v ohybu, a to i u materiálů, které jsou pro nosné stavební konstrukce běžně používány. Závažnost tohoto problému dokumentuje fakt, že obsah vlhkosti je zahrnut ve výpočtech pevnosti zdíva podle českých i zahraničních technických norem. Vlivem vlhkosti dochází i k délkovým a objemovým změnám materiálů, což je nebezpečné zejména v případě, kdy jsou pevně zabudovány v konstrukcích. V důsledku toho mohou vznikat mikrotrhliny, které negativně ovlivňují statickou funkci konstrukcí a představují další nebezpečí. např. koroze vlivem atmosférických plynů.

Stavební materiály vystavené vlhkým klimatickým podmínkám jsou velice citlivé na působení mrazu. Jestliže materiál obsahuje kapalnou vlhkost, dojde při změně skupenství z kapaln \acute{e} fáze na pevnou (led) přibližně k 9% nárůstu objemu. Tato změna může v závislosti na velikosti a tvaru pórů vést k poškození materiálu vlivem tlaků vyvolaných na stěny porézního prostoru. Důležitá je zde pevnost materiálu, případně jeho modul pružnosti.

Vlhkosti stavebních konstrukcí jsou připisovány i negativní vlivy působící na zdraví uživatelů budov, především růst bakterií, řas, hub a plísní [2]-[4]. Mikroorganismy mohou také způsobit degradaci stavebních materiálů, neboť produkují kyselé sekrety, např. kyselinu šťavelovou. Řasy a houby mohou svými kořeny strukturu materiálů narušit.

V běžných provozních podmínkách není do stavebních konstrukcí transportována pouze čistá voda, často obsahuje disociované ionty solí, které mohou za specifických podmínek výrazně zvýšit a zrychlit degradaci stavebních materiálů. „Stárnutí“ stavebních materiálů vlivem ve vodě rozpust-

ných solí považuje řada autorů za jeden z hlavních degračních procesů, přičemž je nutné vzít v potaz, že působení solných roztoků jsou vystaveny v podstatě všechny stavební konstrukce [5]-[8]. Přestože degradace vlivem ve vodě rozpustných solí a jejich působení na stavební materiály byly v posledních desetiletích předmětem intenzivního výzkumu, mechanismy a vlivy, které ovlivňují chování solných roztoků, formování krystalů solí a proces poškození vlivem růstu krystalů, nejsou zcela objasněny a popsány.

Článek se zabývá studiem p \acute{i} skovce, s nímž se často setkáváme u historického zdíva či ornamentálních architektonických prvků. Jelikož působení roztoků solí způsobuje povrchovou degradaci, strukturní destabilizaci či celkovou degradaci památkově chráněných objektů [9]-[10], jde z hlediska zachování kulturního dědictví o velmi aktuální problematiku. V rámci výzkumu poškození stavebních konstrukcí solnými roztoky byla navržena řada konzervačních a sanačních opatření za účelem konsolidace a ochrany porézních materiálů. Tyto metody však nejsou většinou schopny eliminovat degrační procesy v širším časovém horizontu [10]. Proto je třeba navrhnout a vyvinout nové metody, které by umožnily jak ochranu před degrační vlivem solných roztoků, tak odsolení již narušených materiálů či konstrukcí.

Abychom byli schopni efektivně optimalizovat konzervační a sanační metody, případně stanovit rozsah a závažnost poškození konstrukcí, je nutné detailně porozumět mechanismům současného přenosu vlhkosti a iontů solí. Transport vlhkosti v nasyceném porézním prostředí byl již dostatečně popsán. V reálné konstrukci se však setkáme s transportem vlhkosti v materiálech a konstrukcích, které plně nasyceny nejsou, a právě tato problematika není dosud dostatečně objasněna a uspokojivě popsána. Tento případ transportu vlhkosti je navíc komplikovaný rozdílnou velikostí pórů stavebních materiálů, jejichž poloměr (uvážujeme-li pro zjednodušení kulové póry) se může lišit v rozsahu několika řádů. Je tedy zřejmé, že navrhnout model pro popis současného transportu vlhkosti a solí, navíc se zohledněním transportu vlhkosti v plynné fázi, je velice obtížné.

Cílem článku je přispět k identifikaci mechanismů transportu solného roztoku a stanovit parametry p \acute{i} skovce, které mají přímou vazbu k transportu solí.

Parametry transportu vody a solí

Stanovení materiálových parametrů popisujících transport vody a solí závisí na jeho předpokládaném mechanismu. Pro výpočet součinitele vlhkostní vodivosti jako funkce obsahu vlhkosti jsme použili tři odlišné metody inverzní analýzy experimentálně stanovených profilů vlhkosti a koncentrace solí. Nejprve byly inverzní analýze podrobeny profily vlhkosti změřené pro pronikání destilované vody do suchých vzorků materiálů. Poté byl součinitel vlhkostní vodivosti vypočten z vlhkostních profilů 1M vodného roztoku Na $_2$ SO $_4$.

Nakonec jsme pro výpočet součinitele vlhkostní vodivosti použili profily koncentrace síranů za předpokladu, že v kapalně fázi pórového roztoku nedochází k difúzi iontů (SO_4)²⁻.

V prvních dvou případech výpočtu součinitele vlhkostní vodivosti jsme uvažovali difúzní mechanismus transportu vlhkosti a předpokládali funkční závislost součinitele vlhkostní vodivosti κ [m^2s^{-1}] na obsahu vlhkosti w [m^3m^{-3}]. Pro inverzní analýzu experimentálně stanovených vlhkostních profilů $w(x, t)$ jsme použili Matanovu metodu [11], jejíž aplikace vede ke vztahu pro výpočet součinitele vlhkostní vodivosti

$$\kappa(w_0) = \frac{1}{2t_0 \left(\frac{dw}{dz}\right)_{z=z_0}} \int_{z_0}^{\infty} z \frac{dw}{dz} dz, \quad (1)$$

kde $t_0 = \text{konst}$ je čas, ve kterém známe rozložení vlhkostního pole $w(z, t_0)$, z je prostorová proměnná [12].

Současný transport vody a solí jsme popsali difúzně advektivním modelem, navrženým Bearem a Bachmatem [13], [14]. V tomto modelu je bilance obsahu vlhkosti a solí popsána dvěma parabolickými diferenciálními rovnicemi:

- bilance hmotnosti síranových iontů

$$\frac{\partial(wC_f)}{\partial t} = \text{div}(wD \text{grad}C_f) - \text{div}(C_f \bar{v}) - \frac{\partial C_b}{\partial t}, \quad (2)$$

kde C_f je koncentrace volných síranových iontů ve vodě [kgm^{-3}], C_b koncentrace vázaných iontů na stěny porézního prostoru [kgm^{-3}], D difúzní koeficient síranových iontů, [m^2s^{-1}], Darcyho rychlost [ms^{-1}] a w objemový obsah vlhkosti [m^3m^{-3}];

- bilance hmotnosti vody

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \text{div}(\kappa \text{grad}w), \quad (3)$$

kde κ je součinitel vlhkostní vodivosti [m^2s^{-1}].

Vyjádríme-li Darcyho rychlost pomocí součinitele vlhkostní vodivosti

$$\bar{v} = -\kappa \text{grad}w, \quad (4)$$

můžeme transport vodného roztoku Na_2SO_4 popsat systémem dvou parabolických vzájemně kombinovaných diferenciálních rovnic s materiálovými parametry D , κ a vstupními proměnnými C_b , C_f , w , které musíme stanovit experimentálně.

Inverzní analýzu systému parabolických rovnic (2)-(4) můžeme provést obdobným způsobem jako pro jednu rovnici, ale pouze za předpokladu, že počáteční a okrajové podmínky experimentu jsou dostatečně jednoduché a materiálové parametry D , κ jsou funkce obsahu vlhkosti a koncentrace solí. Nejjednodušší možností takovéto analýzy je opět aplikace Boltzmannovy – Matanovy metody za předpokladu konstantních počátečních podmínek a Dirichletových okrajových podmínek na obou koncích vzorků, které musí platit jak při měření obsahu vlhkosti, tak při měření koncentračních profilů solí. Další podmínkou je rovnost jedné z Dirichletových okrajových podmínek počáteční podmínce. Po aplikaci Boltzmannovy transformace a po několika alge-

braických úpravách získáme pro výpočet difúzního koeficientu iontů solí vztah

$$D(z_0) = - \frac{C_f(z_0) \kappa(z_0) \left(\frac{dw}{dz}\right)_{z_0} + \int_{z_0}^{\infty} z \left(\frac{d(wC_f)}{dz} + \frac{dC_b}{dC_f} \frac{dC_f}{dz}\right) dz}{w(z_0) \left(\frac{dC_f}{dz}\right)_{z_0} + 2t_0 \cdot w(z_0) \cdot \left(\frac{dC_f}{dz}\right)_{z_0}}, \quad (5)$$

kde z je prostorová proměnná, t_0 čas odpovídající profilům vlhkosti a koncentrace solí $w = w(z, t_0)$, $C_f = C_f(z, t_0)$, $w_0 = w(z_0, t_0)$, $C_{f0} = C_f(z_0, t_0)$, odpovídající hodnoty součinitele vlhkostní vodivosti a difúzního koeficientu solí $\kappa(z_0) = \kappa(w_0, C_{f0})$, $D(z_0) = D(w_0, C_{f0})$ a $C_b = f(C_f)$ je vazebná izoterma solí (v našem případě Na_2SO_4). Inverzní analýza rovnic (2)-(4) byla podrobně popsána například v práci [15].

Aplikaci difúzně advektivního modelu jsem také provedl výpočet součinitele vlhkostní vodivosti za předpokladu, že nedochází k difúzi síranových iontů v kapalně fázi ($D = 0$). Pro tento výpočet máme vztah

$$\kappa(z_0) = \frac{\int_{z_0}^{\infty} z \left(\frac{d(wC_f)}{dz} + \frac{dC_b}{dC_f} \frac{dC_f}{dz}\right) dz}{2t_0 \cdot C_f(z_0) \cdot \left(\frac{dw}{dz}\right)_{z_0}}. \quad (6)$$

Experiment a materiál

Studiem základních vlastností pískovce z lomu Lázně Mšené jsme se podrobně zabývali v pracích [16], [17]. Tento psamitický rovnoměrně zrnitý našedivělý kámen s nažloutlými až hnědými skvrnkami je z 95 % tvořen křemennými polooválnými zrny. Zrna ostatních minerálů se vyskytují pouze zřídka, nejvíce je zastoupen turmalín, epidot, muskovit a zirkon. Zrna křemene dosahují rozměrů do $\varnothing 0,1$ mm, zatímco např. zrna muskovitu mají poloměr až $0,3$ mm. Matrice je tvořena jílovými minerály, převážně kaolinitem [16].

Pro usnadnění interpretace výsledků inverzní analýzy jsme ověřovali i materiálové parametry pískovce, konkrétně objemovou hmotnost ρ_b , hustotu matrice ρ_{mat} , celkovou otevřenou pórovitost ψ a nasycený obsah vlhkosti w_{sat} . Výsledky měření na principu vakuové vodní nasákavosti [18] jsou prezentovány v tab. 1.

Tab. 1. Základní materiálové parametry mšenského pískovce

Objemová hmotnost ρ_b	Hustota matrice ρ_{mat}	Nasycený obsah vlhkosti w_{sat} [kgm^{-3}]	Otevřená pórovitost [m^3m^{-3}]
[kgm^{-3}]			
1 807	2 627	310	0,312

Pro měření vlhkostních profilů a profilů koncentrace solí jsme použili tyčové vzorky o rozměrech $20 \times 40 \times 160$ mm, které bylo nutné izolovat epoxidovým tmelem, abychom zajistili jednorozměrný transport vlhkosti či síranových iontů. Po vysušení byly vystaveny čelní stranou pronikání čisté destilované vody nebo 1M vodnému roztoku Na_2SO_4 (koncentrace 142 g/l roztoku) po dobu 30 , 60 a 90 minut. Poté byly rozřezány na osm dílů a stanovena vlhkost a obsah síranů.

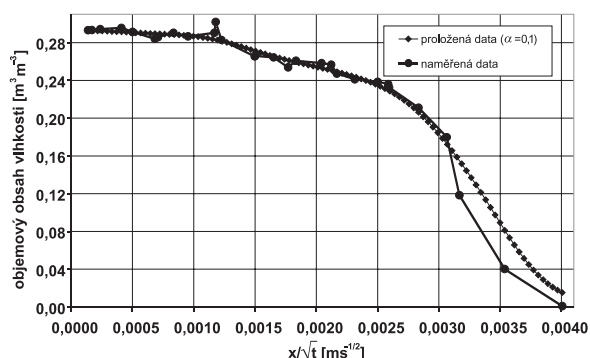
Vlhkost byla změřena gravimetricky, vážením vlhkých a suchých vzorků. Pro stanovení koncentrace síranových iontů jsme vysušené vzorky nejprve rozemleli ve vibračním mlýn-

ku na zrna menší než 0,063 mm, následně přelili vodou o teplotě 80 °C a nechali louhovat. Koncentrace síranů v jednotlivých výlužcích byla změřena iontovým chromatografem Chrom SDS 150, SHOdex.

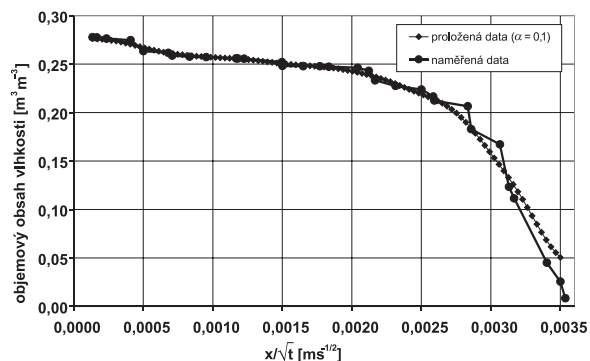
Pro stanovení vazebné izotermy síranových iontů jsme použili modifikovanou adsorpční metodu Tanga a Nilssona. Nejprve probíhalo měření na větších nerozdrcených vzorcích (40 x 40 x 10 mm). Díky tomu byl zachován vnitřní povrch porézní struktury vzorků pískovce a získané výsledky se více blíží situaci v reálné stavební konstrukci [19]. Na základě získané vazebné izotermy Na_2SO_4 ($C_b = f(C_f)$) jsme následně vypočetli profily vázaných a volných síranových iontů.

Výsledky a diskuze

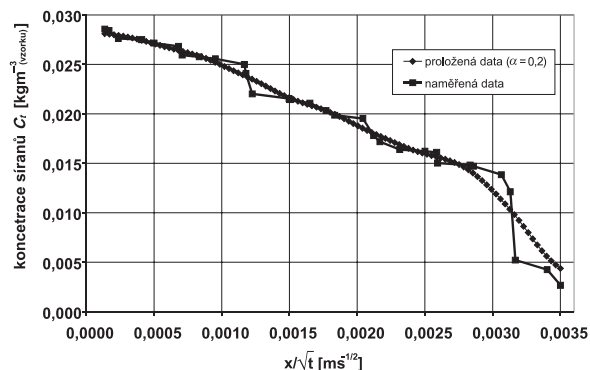
Profily obsahu vlhkosti a celkové koncentrace síranů jsou prezentovány v obr. 1 až obr. 3. Pro počítačovou inverzní



Obr. 1. Profil objemového obsahu vlhkosti pro pronikání destilované vody v Boltzmannově tvaru

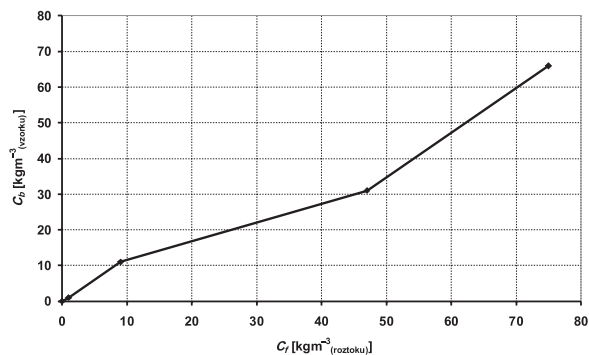


Obr. 2. Profil objemového obsahu vlhkosti pro pronikání 1M roztoku Na_2SO_4 v Boltzmannově tvaru



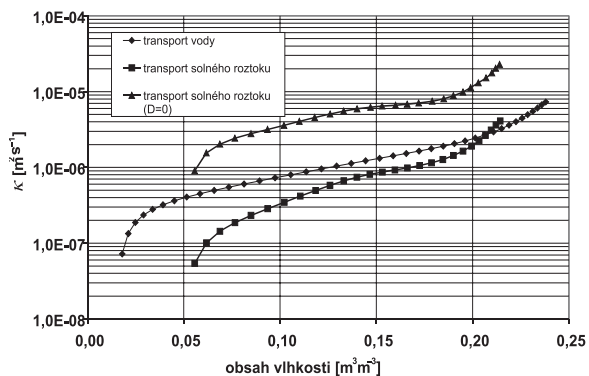
Obr. 3. Profil celkového obsahu síranů v Boltzmannově tvaru

analýzu bylo nezbytné experimentální data proložit kontinuální funkcí, proto jsme aplikovali metodu lineární filtrace s fitovacím parametrem α . Profily objemového obsahu vlhkosti zřetelně popisují rychlost transportu destilované vody a 1M roztoku Na_2SO_4 . Můžeme vidět, že na okraji vzorku bylo dosaženo vlhkosti, která se velmi blíží nasycení. Z porovnání výsledků je evidentní, že destilovaná voda je transportována rychleji než roztok Na_2SO_4 . Tento fakt připisujeme vyšší viskozitě a objemové hmotnosti síranového roztoku v porovnání s destilovanou vodou. Vazebná izoterma síranů pro obr. 4 vypovídá o velmi nízké vazebné kapacitě pískovce pro síranové ionty. V pracích [20], [21] jsme se zabývali transportem a vázáním chloridů a dusičnanů v pískovci. Publikované výsledky potvrzují skutečnost, že vazebná kapacita materiálu je pro jednotlivé roztoky solí odlišná.



Obr. 4. Vazebná izoterma síranů pro mšenský pískovec

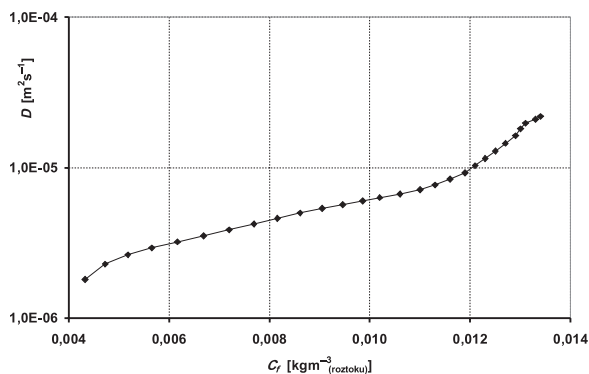
Součinitel vlhkostní vodivosti jako funkci vlhkosti popisuje obr. 5. Je zřejmé, že pro pronikání destilované vody je v celém rozsahu vlhkosti vyšší než pro pronikání roztoku Na_2SO_4 . To odpovídá zjištěným vlhkostním profilům a koresponduje s rozdíly ve viskozitě a objemové hmotnosti vody a síranového roztoku. Výsledky výpočtu součinitele vlhkostní vodivosti, stanovené z koncentračních profilů síranů, jsou výrazně vyšší než výsledky získané standardní inverzní analýzou vlhkostních profilů. Je tedy evidentní, že při popisu transportu solného roztoku porézními materiály není možné zanedbat difúzi iontů solí v kapalné fázi.



Obr. 5. Součinitel vlhkostní vodivosti jako funkce vlhkosti mšenského pískovce

Závislost součinitele difúze síranových iontů na jejich koncentraci je patrná z obr. 6. Z kvantitativního hlediska jsou vypočtené hodnoty součinitele difúze značně vysoké, neboť jsou až o tři řády vyšší než hodnoty stanovené při transportu iontů solí ve vodě. Difúzní mechanismus není tedy pravděpodobně jedinou silou, která způsobuje transport iontů so-

lí kapalnou fází. Vysoké hodnoty difúzního koeficientu můžeme připisat např. difúzi na povrchu pórů, osmotickým vlivům či elektrochemickým silám. Tato problematika však bude vyžadovat podrobný teoretický rozbor získaných výsledků, případně realizaci dalších, cíleně navržených experimentů.



Obr. 6. Difúzní koeficient síranů stanovený pro mšenský pískovec

Závěr

Hlavní, v praxi uplatnitelný výstup této studie, představují výpočty součinitele vlhkostní vodivosti a koeficientu difúze síranů. Přestože nejsme v současném stavu poznání schopni rozlišit jednotlivé mechanismy, jejichž působení je v získaném difúzním koeficientu zahrnuto, představují prezentované výsledky cenné informace, které mohou být využity např. při návrhu odsolování. Získané výsledky upozornily na velmi důležitý fakt, že rozdílné ionty solí jsou transportovány v porézním materiálu rozdílnou rychlostí. Tento závěr je ve kvalitativní shodě s hodnotou difúzních koeficientů chloridů, dusičnanů a síranů ve volné vodě, které jsou tabelizovány v [20]. Podle našeho názoru je rozhodujícím faktorem, který ovlivňuje rychlost transportu iontů solí, tvar a velikost jejich molekul. Síranové ionty jsou transportovány pomaleji zejména proto, že jejich molekula je složitě prostorově uspořádaná a rozměrná.

Výzkum byl podpořen výzkumným záměrem MSM č. 684 077 00 31 MŠMT ČR.

Literatura

- [1] Roels, S.: Modelling Unsaturated Moisture Transport in Heterogeneous Limestone. Katholieke Univesiteit Leuven, Belgium, 2000.
- [2] Adan, O. C. G.: On the Fungal Defacement of Interior Finishes. [Ph.D. Thesis], Eindhoven University of Technology, 1994.
- [3] Fenema, O. R.: Water and Ice. Food Chemistry. (Ed. Fenema O. R.). New York, Marcel Dekker 1994, pp. 23–67.
- [4] Nielsen, K. F.: Mould Growth on Building Materials, Secondary Metabolites, Mycotoxins and Biomarkers. The Mycology Group, Biocentrum – DTU, Technical Univesity Denmark, Lyngby, 2002.
- [5] Goudie, A. S. – Viles H.: Salt Weathering Hazards. Chichester, John Wiley & Sons 1997, 241 p.
- [6] Sayward, J. M.: Salt Action on Concrete. US Army Corps of Engineers Special Report 84–25, 1984, 69 p.
- [7] Doornkamp, J. C. – Ibrahim, H. A. M.: Salt Weathering. Progress in Physical Geography 14, 1990, pp. 335–348.
- [8] Thorborg von Konow: Proceedings of the ARCCIP Workshops, European Research on Cultural Heriatge, Vol. 5, 2006, pp. 213–223.

- [9] Cooke, R. U. – Gibbs, G. B.: Crumbling Heritage, Studies of Stone Weathering in Polluted Atmospheres. National Power plc and PowerGen plc, Swindon, 1995, 68 p.
- [10] Price, C.: Stone Conservation, An Overview of Current Research. The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 1996, 73 p.
- [11] Matano, C.: On the Relation between the Diffusion Coefficient and Concentration of Solid Metals. Jap. J. Phys., 8, 1933, pp. 109–115.
- [12] Prchalová, J. – Pavlík, Z. – Černý, R.: A Comparison of Various Techniques for Determination of Moisture Diffusivity from Moisture Profiles. Proceedings of the 6th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries. Trondheim, Norwegian University of Science and Technology, Vol. 1, 2002, pp. 135–142.
- [13] Bear, J. – Bachmat, Y.: Introduction to Modelling of Transport Phenomena in Porous Media. Vol. 4, Dordrecht, Kluwer 1990.
- [14] 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.
- [15] Pavlík, Z. – Jiříčková, M. – Fiala, L. – Černý, R.: Inverse Modeling of Salt Diffusion and Advection in Building Materials, Research in Building Physics and Building Engineering, London, Taylor and Francis 2006, pp. 155–160.
- [16] Pavlík, Z. – Fiala, L. – Pavlíková, M. – Černý, R.: Transportní parametry vody a chloridů materiálů historických budov. Stavební obzor, 16, 2007, č. 6, s. 174–178.
- [17] Černý, R. – Pavlík, Z. – Michálek, P.: Characterization of Water and Salt Transport Properties of Mšené Sandstone. Workshop 2006 [CD-ROM], Prague, Czech Technical University, 2006, pp. 364–365.
- [18] Jiříčková, M.: Application of TDR Microprobes, Minitensiometry and Mini hygrometry to the Determination of Moisture Transport and Moisture Storage Parameters of Building Materials. Prague, Czech Technical University, 2004, p. 102.
- [19] Jiříčková, M. – Černý, R.: Chloride Binding in Building Materials. Journal of Building Physics, Vol. 29, 2006, pp. 189–200.
- [20] CRC Handbook of Chemistry and Physics, 85th Edition, Ed. David R. Lide, CRC Press 2004–2005.

Pavlík, Z. – Fiala, L. – Pavlíková, M. – Černý, R.: Parameters of Liquid Moisture and Sulphate Transport of Mšené Sandstone

This paper deals with identification of material parameters describing the coupled water and sulphate transport in sandstone, frequently used material in Central Europe for construction and ornamental parts of historical architecture.

Pavlík, Z. – Fiala, L. – Pavlíková, M. – Černý, R.: Parameter des Transports von Feuchtigkeit und Sulfaten in Sandstein aus Mšené-lázně

Der Artikel befasst sich mit der Identifizierung der den gleichzeitigen Transport von Wasser und Sulfaten charakterisierenden Materialparameter im Sandstein, der im Gebiet von Mitteleuropa oft als Konstruktions- oder Ornamentmaterial historischer Gebäude eingesetzt worden ist, für deren Konzentration und den Wasserdampf-Diffusionsleitkoeffizient als Funktion des Feuchtegehalts.

Rozložení rychlosti v příčném profilu měrného žlabu

doc. Ing. Ladislav SATRAPA, CSc.
Ing. Martin KRÁLÍK, Ph.D.

ČVUT – Fakulta stavební
Praha

Na podnět pracovníků Povodí Ohře byla zpracována teoretická úvaha o rozložení rychlosti v příčném profilu měrného žlabu. Hydraulické publikace uvádějí rozložení rychlosti po výšce sledovaného profilu pomocí různých zákonů rozložení, vesměs logaritmické nebo mocninové. Aby bylo možné tyto rovnice použít, je třeba splnit podmínky, při kterých je lze aplikovat. Jednou ze základních podmínek je symetrický nebo nevýznamně zakřivený nátok do měrného profilu. Výsledkem teoretických úvah a laboratorních měření je popis rovnic, okrajových podmínek a nejistot měření průtoku v praxi.

boratorního měření bude doplněno výzkumem v terénu. Pro chyby na otevřených kanálech malých rozměrů s malými průtoky jsme odvodili soustavu křivek přesnosti.

Vstupní data

Pracovníci Povodí Ohře byli iniciátory výzkumu v oblasti chyb měření průtoku v otevřených obdélníkových betonových korytech s malými průtoky. Tato koryta, umístěná převážně při odtoku z čistíren odpadních vod, slouží k odvádění vyčištěné vody do toku. Pro bilanční výpočty čistírny odpadních vod jsou nutné přesné údaje. Měří se rychlost s následným vyhodnocením průtoků hydrometrováním. Vzhledem k malé velikosti kanálů přicházejí v úvahu zjednodušené metody zpracování, při nichž mohou být chyby výsledného průtoku i několikaprocentní (obr. 3-obr. 6).

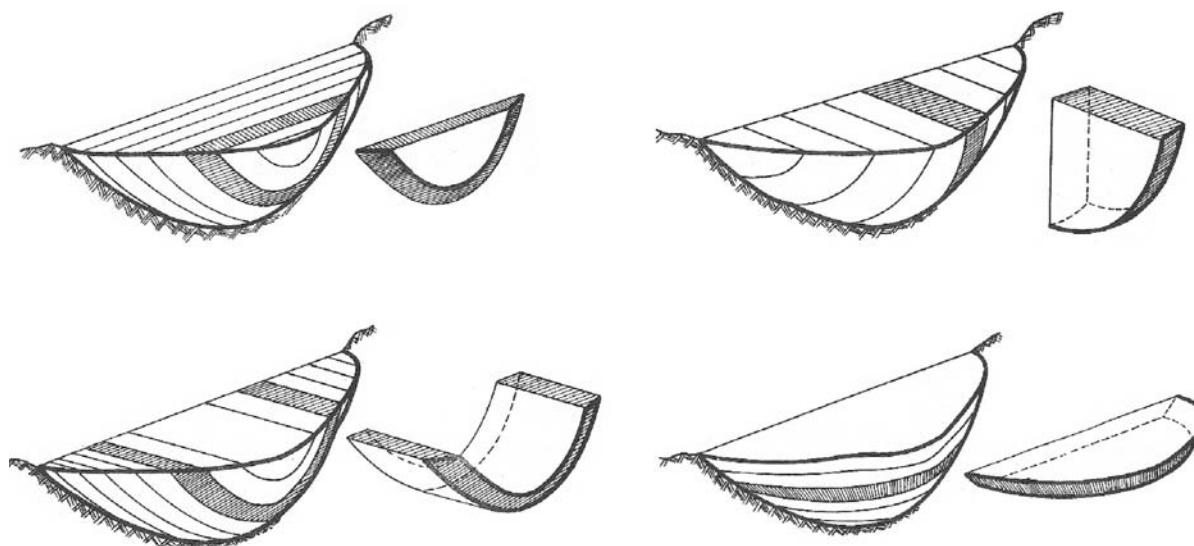
Úvod

Při výpočtu průtoku v měrných žlabech z průměrné profilové rychlosti dochází ke komplikacím při měření rychlosti (zvláště u malých žlabů a malých průtoků). U úplné šesti-bodové metody hydrometrování dochází k překrývání vrtulek v měřených bodech, proto ji nelze aplikovat u kanálů malých rozměrů. Otázkou je, jak profilovou průměrnou rychlost změřit nebo spočítat při měření v menším počtu bodů ve svislici a menším počtu svislic. Odpověď by měly dát následující teoretické úvahy a laboratorní měření, opírající se o dostupné informace o rozložení rychlosti a chybách při měření.

Laboratorní měření bylo provedeno pro hloubky vody 0,1 m, 0,2 m, 0,3 m, 0,4 m a 0,5 m (obr. 2). Ověření průběhu rychlosti (po svislici a po šířce) teoretického rozdělení a la-

Měření rychlosti

Nejrozšířenějšími přístroji k měření rychlosti proudění v tocích a kanálech jsou hydrometrické vrtule. Lze jimi měřit bodovou rychlost v jednotlivých místech proudu, popř. průběh rychlosti ve svislicích měrného profilu. Z výsledků lze generovat rychlostní pole v měrném profilu a určit střední profilovou rychlost. Průtok v tocích a kanálech se nejčastěji určuje na základě zaměřené průtočné plochy (odpovídající vodnímu stavu) a současně vypočtené střední profilové rychlosti. Pro řadu podobných měření při různém vodním stavu lze sestavit měrnou křivku profilu. Nutným předpokladem je, aby všechna měření proběhla při ustáleném stavu proudění. Rozdílné metody vyhodnocení průtoku jsou uvedeny na obr. 1, kde je znázorněno i skutečné rozdělení rychlostního pole po výšce a po šířce profilu.

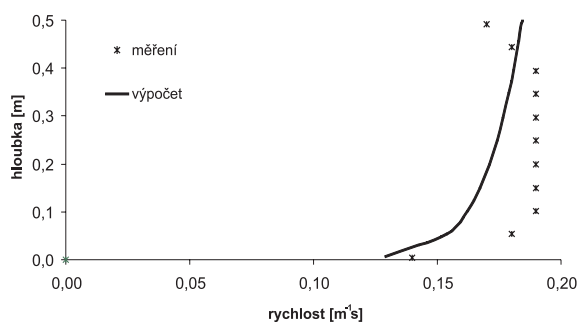


Obr. 1. Způsob výpočtu průtoku v neprizmatickém korytu

Existují i jiné postupy měření rychlosti a průtoku v kanálech, např. metody kolorimetrická, chemických roztoků, solného mraku, ultrazvuková a radioizotopová. Je na místě podotknout, že přesnost výsledků u těchto metod je menší (kromě ultrazvukové metody – přesnost je nejlepší) a mnohé jsou ve srovnání s hydrometrováním časově i materiálově náročnější.

Laboratorní měření

Měření probíhala v hydrotechnické laboratoři Fakulty stavební ČVUT Praha. Měrný žlab délky 8 m, šířky 0,528 m a výšky 0,8 m byl připojen na oběh vody, která procházela přes regulační šoupu do nádrže, kde byla uklidňována perforovanými stěnami. Odtud se dostávala přes Thomsonův převliv potrubím až do žlabu. Hydrotechnická vrtule Greisinger STS 005, sloužící k měření, byla umístěna v měrném profilu 5 m od počátku žlabu a 3 m před jeho koncem napojena na přístroj Greisinger GMH 3350. Hradítka a stavítka pro regulaci hladiny vody byla osazena na konci žlabu. Výsledky měření byly vyneseny do grafů (obr. 2-obr. 6) včetně teoretické rychlosti spočítané podle normy [6].



Obr. 2. Porovnání vypočtených rychlostí s rychlostmi změřenými v laboratoři

Neúplné metody měření průtoku

Hydrometrická praxe nemůže vystačit jen s měřením úplným (šestibodovou metodou měření rychlosti ve svislici). Pro tento způsob není vždy dostatek času, přístrojů ani pracovníků. V některých případech je nereálné vzhledem k malé velikosti otevřeného kanálu. Proto se využívají i zkrácené (neúplné) způsoby hydrometrování, a to i za cenu menší přesnosti výsledků. Výpočet průměrné svislicové rychlosti není při měření rychlosti v jednom nebo ve dvou bodech složitý, známe-li rozdělení rychlosti ve svislici. Mnoho autorů se snažilo rozdělení rychlosti ve svislici popsat, výsledky tohoto bádání jsou matematické křivky – parabola prvního stupně, parabola druhého stupně, parabola vyšších stupňů, parabola se zlomkovým exponentem, kuželosečka, logaritmická křivka, exponenciála, sinusoida a kombinace uvedených křivek. Z podstaty jevu vyplývá, že skutečné rozdělení rychlosti ve svislici není možné jednoduchými rovnicemi postihnout.

ČSN EN ISO 748

Norma [6] upravuje metody pro stanovení rychlosti a plochy průtočného profilu vody proudící v otevřeném korytu bez ledové pokrývky a pro výpočet jejího průtoku. Metodou zkoumání rychlostního pole jsou hodnoty rychlosti získány měřením v několika bodech v každé svislici mezi hladinou vody a dnem koryta. Počet a rozmístění bodů by mělo být

zvoleno tak, aby bylo přesně určeno rozdělení rychlosti v každé svislici. V těchto bodech změříme bodovou rychlost a zvolenou metodou vypočteme průtok. Pro zjištění přesných hodnot průtoku (hydrometrování) jsou důležité následující zásady:

- výběr vhodného profilu (přímý úsek s pravidelným dnem, dostatečnou hloubkou i rychlostí v korytě, kolmý ke směru proudění);
- znalost průtočné plochy s dostatečnou přesností;
- dostatečný počet měrných svislic a jejich bodů (6 bodů);
- volba minimální doby měření v jednotlivých bodech (30 s);
- výběr vhodné vyhodnocovací metody.

Volba počtu svislic, bodů na svislicích a doba měření jednotlivých rychlostí záleží hlavně na požadované přesnosti a na stálosti průtoku. I přes zásady měření uváděné normou [6] se při vyhodnocení mohou vyskytnout náhodné chyby, které by měly být zahrnuty do celkové nejistoty měření.

Nejistoty vyhodnocení

Při měření rychlosti a následném vyhodnocování průtoku v otevřených korytech nepravidelného i pravidelného tvaru jsou podle normy [6] nejistoty rozděleny do několika oblastí:

- měření šířky,
- měření hloubky,
- stanovení průměrné rychlosti (doba měření, počet bodů ve svislici, vztah k měřené rychlosti a počet svislic).

Teoreticky spočítané nejistoty měření průtoku jsou pro malé kanály a jim odpovídající průtoky dále uvedeny. Všechny jsou analyzovány pro průtok do 10 ls⁻¹. Analýza přesnosti vychází z těchto vstupních dat:

- chyba vlastní hydrometrické vrtule ± 5 % měřené hodnoty
- chyba osazení vrtule do bodu měření ± 10 mm pro žlab šířky 200 mm ± 20 mm pro žlab šířky 400 mm
- chyba stanovení šířky koryta ± 3 mm
- chyba stanovení hloubky vody ± 3 mm

Rovnice pro rozdělení rychlosti po svislici a po šířce je převzata z normy [6]

$$v_x = v_a \left(\frac{x}{a} \right)^{\frac{1}{m}},$$

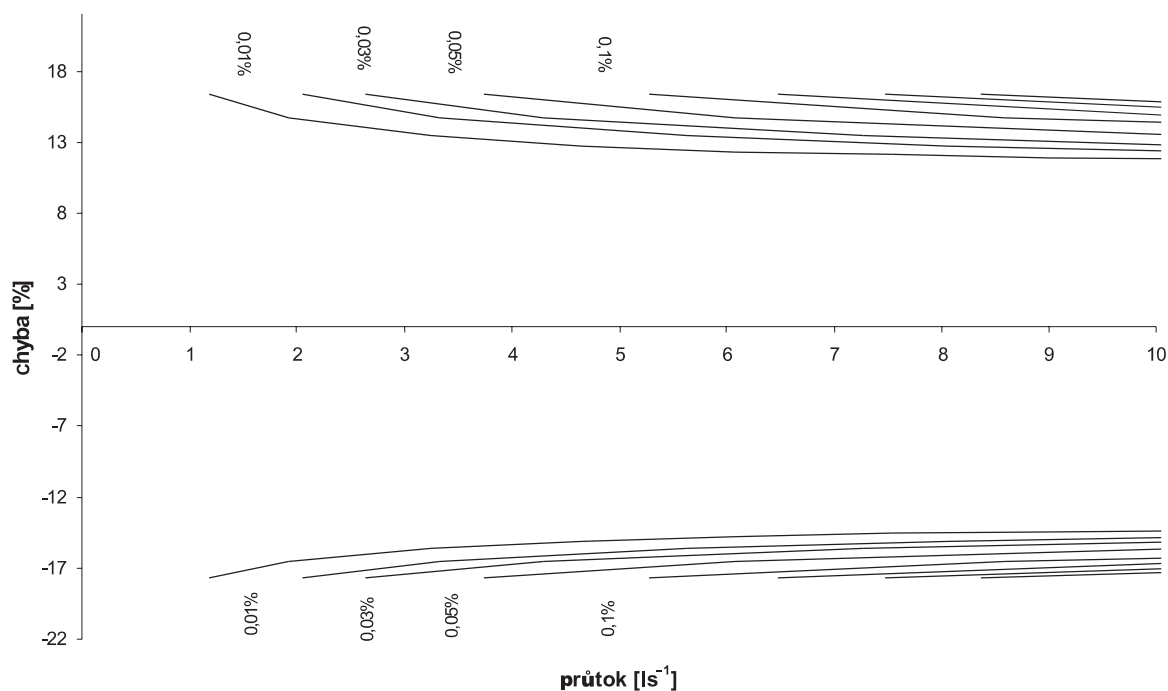
kde v_x je neznámá bodová rychlost v extrapolované a interpolované zóně ode dna nebo od stěny, v_a rychlost v bodě měření, a vzdálenost měřené rychlosti ode dna nebo od stěny, x vzdálenost neznámé rychlosti ode dna nebo od stěny, m exponent, tedy

$$m = \frac{C_{ver}}{\sqrt{g}} \left(\frac{2\sqrt{g}}{\sqrt{g} + C_{ver}} + 0,3 \right),$$

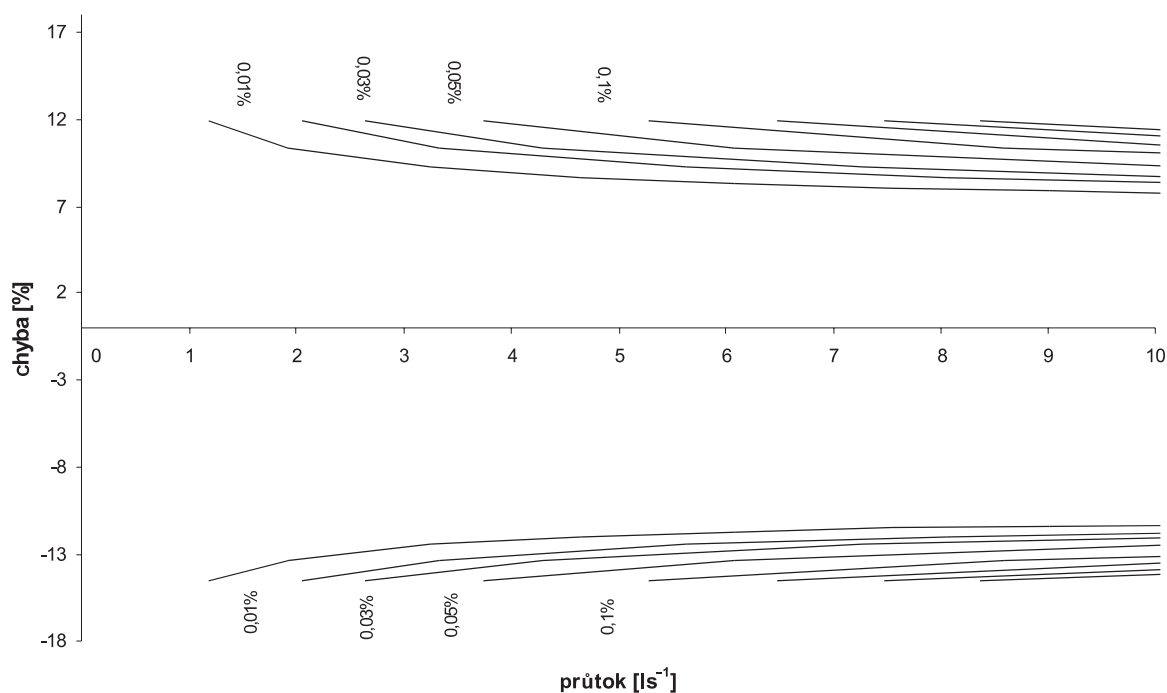
kde C_{ver} je Chezyho koeficient.

Šířka žlabu 0,2 m, hloubka vody 0,2 m

Při měření rychlosti v šířce žlabu 0,2 m od jednoho kraje a hloubce 0,4 m výpočtem nejistot měření vznikne soustava křivek vyjadřujících jejich závislost na sklonu žlabu (obr. 3). Umístění hydrometrické vrtulky v bodě 0,2 š a 0,4 h je velice výhodné, jelikož se zde nachází střední profilová rych-



Obr. 3. Nejistoty měření průtoků při šířce kanálu 0,2 m a hloubce vody 0,2 m (měření rychlosti v 0,2 šířky a v 0,4 hloubky)



Obr. 4. Nejistoty měření průtoků při šířce kanálu 0,2 m a hloubce vody 0,2 m (měření rychlosti v 0,5 šířky a v 0,5 hloubky)

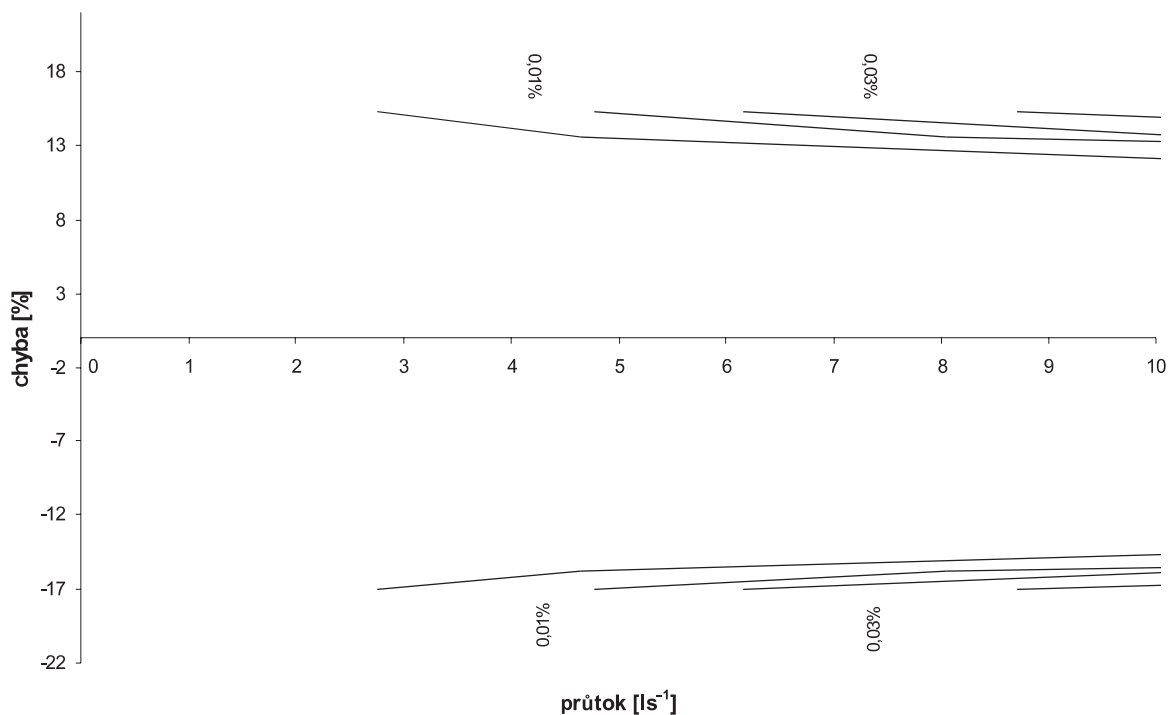
lost (alespoň podle teoretického rozboru). Při měření rychlosti v polovině šířky a v polovině hloubky žlabu vznikne podobný systém křivek (obr. 4). V grafech je uveden u každé čáry podélný sklon žlabu, pro který byl spočítán Chezyho koeficient a průtok.

Při porovnání grafů na obr. 3 a obr. 4 je zřejmé, že při měření rychlosti v různých částech průřezu kanálu se chyby liší. Je to způsobeno chybou měření rychlosti (teoretické rozložení), kdy uprostřed příčného profilu vzniká v rozložení rychlosti svislý lom, který se ve skutečnosti nevytvoří. Při

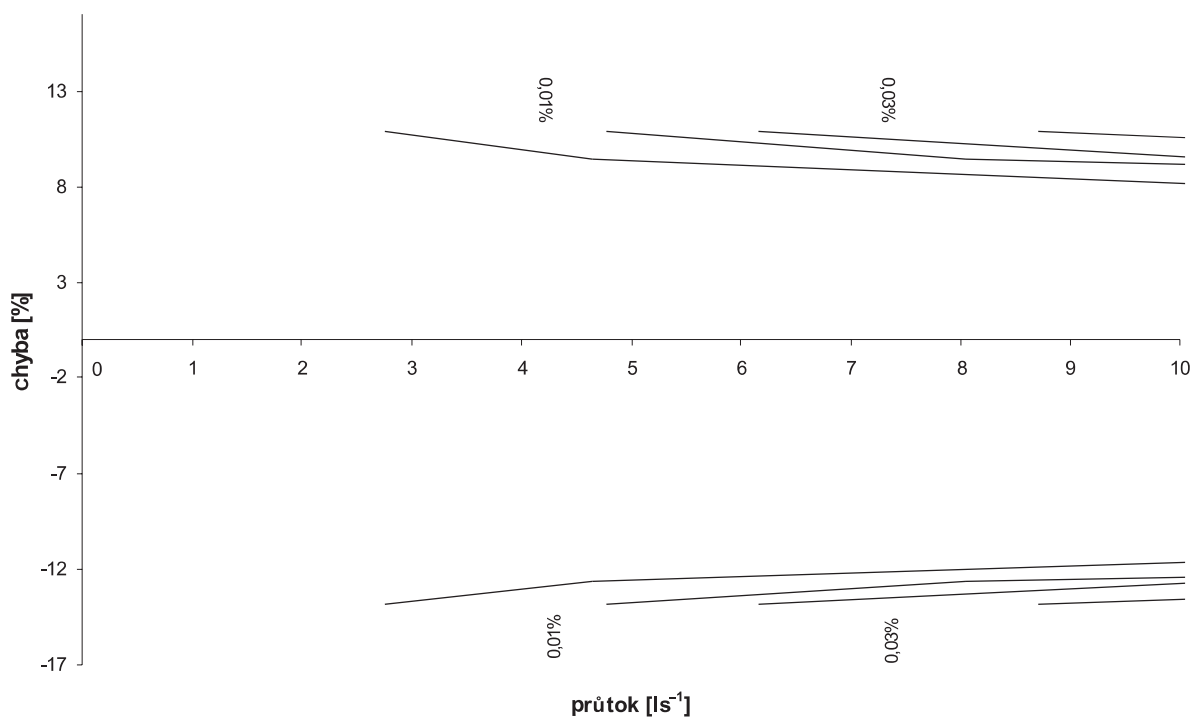
použití přírůstku hloubky ke hloubce 0,5 h se rychlost zvyšuje a při použití úbytku hloubky se rychlost snižuje – toto platí i pro měření rychlosti v 0,2 m šířky a 0,4 m hloubky. Na rozdíl od měření rychlosti v 0,5 m šířky a 0,5 m hloubky, kdy přírůstek šířky odpovídá snížení rychlosti.

Šířka žlabu 0,4 m, hloubka vody 0,4 m

Systém křivek vzniklý při výpočtu nejistot u žlabu šířky 0,4 m je podobný jako v případě šířky 0,2 m. S tím rozdí-



Obr. 5. Nejistoty měření průtoků při šířce kanálu 0,4 m a hloubce vody 0,4 m (měření rychlosti v 0,2 šířky a v 0,4 hloubky)



Obr. 6. Nejistoty měření průtoků při šířce kanálu 0,4 m a hloubce vody 0,4 m (měření rychlosti v 0,5 šířky a v 0,5 hloubky)

lem, že pokud nás zajímá průtok do 10 l/s , tak je podélný sklon žlabu k jeho dosažení menší než při šířce 0,2 m. Při porovnání grafů na obr. 5 a obr. 6 je možné postřehnout odlišné nejistoty při výpočtech průtoků dané teoretickým rozdělením rychlostí a umístěním měřicí vrtulky. Platí zde stejné poznámky jako u žlabu šířky 0,2 m, týkající se nejistot při měření průtoků v závislosti na umístění vrtulky.

Přesnější vyhodnocení

Pro přesnější vyhodnocení malých průtoků (do 10 l/s) je možné použít opakované měření veličin, které vede k poměrně lepším výsledkům nejistot při měření průtoků. Při opakovaných měřeních můžeme libovolně kombinovat počet i zkoumané veličiny:

- měření šířky,

- měření hloubky,
- měření rychlosti v pozici 0,5 š, 0,5 h,
- měření rychlosti v pozici 0,2 š, 0,4 h nebo 0,8 š, 0,5 h,
- měření rychlosti dvakrát v pozicích 0,2 š, 0,4 h a 0,8 š, 0,5 h.

Platí přímá úměra – čím více opakovaných měření, tím vyšší přesnost výsledného průtoku. Je zřejmé, že několikanásobné měření fyzikálních veličin znamená delší časové zatížení celého hodnocení. Někdy ani není možné v praxi takto časově náročné měření provádět (neustálené proudění ve žlabech). Spokojíme se proto s menší přesností vyhodnocení. Při opakovaném měření existuje hranice, za níž se větší počet měření vyšší přesností vyhodnocených průtoků významně neprojeví. Tuto hranici získáme posouzením časových a ekonomických podmínek s požadovanou přesností výsledků vyhodnocení, která závisí na účelu použití výsledného průtoku (popř. celé konzumní křivky koryta).

Závěr

Teoretické rozložení rychlosti po šířce a po hloubce profilu kanálu a související nejistoty vypočtených průtoků popisuje mocninový zákon rozložení rychlostního pole [6]. Omezená platnost mocninového rozložení je dána podstatou věci, kdy uprostřed měrného profilu ve svislém směru vzniká ostrý hřbet (rychlosti). Tento úkaz není v praxi možný ve žlabech a kanálech s prizmatickým profilem a vhodným nátokem vody do zkoumaného profilu (proudnice jsou plynulé). U otevřených kanálů se rychlost v jednotlivých bodech příčného profilu mění plynule (*obr. 1, obr. 2*).

Cílem výzkumu bylo v hydraulické laboratoři ověřit platnost rozdělení rychlosti v profilu a definovat nejistoty měření a vyhodnocení průtoků pro různé typy a uspořádání měrného kanálu. Porovnáním vypočtených průtoků ze změřených rychlostí s průtoky vody změřených jiným systémem měření průtoků v laboratoři (Thomsonův přeliv) se vyjádří chyby měření rychlosti a průtoku. Pro různé typy a pro různou drsnost žlabů vznikají křivky nejistot průtoku, které by se mohly používat k vyhodnocování průtoku v čistírnách odpadních vod a úpravárnách vody.

Článek vznikl za podpory výzkumného záměru MSM č. 6840770002 „Revitalizace vodního systému krajiny a měst zatíženého významnými antropogenními změnami“.

Literatura

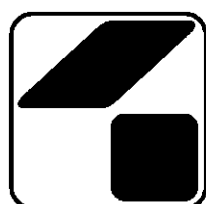
- [1] Kolář, V. – Patočka, C. – Bém, J.: *Hydraulika*. Praha, SNTL/Alfa 1973.
- [2] Čábelka, J. – Gabriel, P.: *Matematické a fyzikální modelování v hydrotechnice*. Praha, Academia 1987.
- [3] Tolman, B.: *O pohybu vody v korytech otevřených*. Praha, Česká matice technická 1908.
- [4] Agroskin, I. I. – Dmitrijev, G. T. – Pikalov, F. I.: *Hydraulika*. Praha, SNTL 1955.
- [5] Procházka, J.: *Přesnost merania rýchlostí a prietokov vody hydrometrickým krídlom*. Bratislava, VÚV 1958.
- [6] ČSN EN ISO 748: *Měření průtoku v otevřených korytech – Metody rychlostního pole*. ČSN, 2001.
- [7] Dušek, I.: *Analýza plošného rozdělení rychlostí v měrných kanálech*. ČVUT Praha, 2007.

Satrapa, L. – Králík, M.: Speed Distribution in the Transverse Profile of the Measurement Duct

On the initiative of the staff of the Ohře River Authority, a theoretical exploration on the speed distribution in a transverse profile of a measurement duct was conducted. Publications on hydrology present the speed distribution along the height of the monitored profile by means of various laws of distribution, mostly logarithmic or power ones. In order that these equations can be used, all the conditions under which they can be applied should be met. It is not easy even in laboratory conditions, to fulfill all the demands. One of the basic terms necessary for a correct assessment of the discharge is a symmetrical or slightly curved inlet into the measuring profile. The theoretical considerations and laboratory measurements have resulted in a description of the equations, boundary conditions and uncertainties of the discharge measurement in practice.

Satrapa, L. – Králík, M.: Verteilung der Geschwindigkeit im Querprofil der Messrinne

Auf Anregung von Mitarbeitern der Wasserwirtschafts-direktion Ohře wurde eine theoretische Erwägung über die Verteilung der Geschwindigkeit im Querprofil der Messrinne erarbeitet. Hydraulik-Publikationen führen die Verteilung der Geschwindigkeit entlang der Höhe des beobachteten Profils mit Hilfe verschiedener Gesetze der Verteilung überwiegend als logarithmische oder exponentielle an. Damit diese Gleichungen benutzt werden können, müssen die Bedingungen erfüllt werden, unter denen sie angewandt werden können. Alle Bedingungen zu erfüllen ist auch unter Laborbedingungen nicht einfach. Eine der für die richtige Auswertung der Durchflüsse notwendigen Grundbedingungen ist ein symmetrischer oder unbedeutend verkrümmter Anlauf in das Messprofil. Ergebnis der theoretischen Betrachtungen und Labormessungen ist die Beschreibung der Gleichungen, Randbedingungen und Unsicherheiten der Durchflussmessung in der Praxis.



STAVBA ROKU
2008

www.stavbaroku.cz

Určení parametrů řetězovky z dat laserového skenování

Ing. Martin ŠTRONER, Ph.D.
 ČVUT – Fakulta stavební
 Praha

Práce se zabývá matematickým určením parametrů řetězovky z nadbytečného počtu bodů v prostoru s ohledem na možnosti laserového skenování. Výsledky lze využít pro matematické modelování, ale také pro dopočet charakteristických nebo neměřitelných bodů.

Úvod

Produktem laserového skenování jsou mračna bodů, která je pro další efektivní využití nutno zpracovat (více k obecným postupům zpracování dat laserového skenování lze nalézt v [1]). Jednou z možností je prokládání geometricky definovaných prostorových útvarů naměřenými body metodou nejmenších čtverců. V rámci řešení projektu č. 103/06/94 GA ČR „Zpracování a analýza produktů hromadného sběru 3D dat terestrickými skenovacími systémy“ jsou řešeny algoritmy pro tento typ zpracování měření laserového skenování, a protože mezi objekty skenované při praktických měřeních často patří různé druhy elektrických či kabelových vedení nebo troleje, jejichž průběh lze aproximovat pomocí rovnice řetězovky, věnujeme se stanovení parametrů řetězovky ze známých bodů, určených např. měřením v terénu.

Matematická formulace problému

Řetězovka je křivka, kterou vytvoří řetěz, lépe řečeno homogenní dokonale ohebné nepružné vlákno, jež je na svých koncích zavěšeno (nikoli nutně ve stejné výšce) v gravitačním poli. Základní matematická rovnice má podle [2] tvar

$$Z = \frac{a}{2} \cdot \left(e^{\frac{X}{a}} + e^{-\frac{X}{a}} \right) = a \cdot \cosh\left(\frac{X}{a}\right), \quad (1)$$

kde X a Z jsou souřadnice v rovině, a je parametr (tzv. parametr řetězovky). Vrchol (nejnižší bod) leží v bodu $[0, a]$.

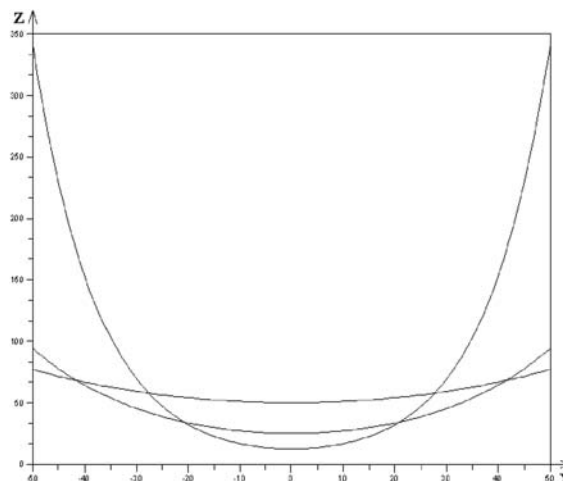
Délka oblouku řetězovky s od vrcholu po bod se souřadnicí X se vypočítá podle vzorce

$$s = a \cdot \sinh\left(\frac{X}{a}\right). \quad (2)$$

Takto definovaná rovinná křivka nemůže být použita pro výpočet s reálným měřením v obecně položené souřadnicové soustavě. Řetězovku, obecně umístěnou v rovině XZ , lze popsat rovnicí

$$Z = a \cdot \cosh\left(\frac{X + T_x}{a}\right). \quad (3)$$

Vzhledem k tomu, že aplikovat uvedené vzorce lze pouze na visící „vlákna“, je křivka umístěna ve svislé rovině otočené od osy X o směrnik σ . Zároveň je třeba doplnit posun (translaci) ve všech třech osách (T_x, T_y, T_z).



Obr. 1. Řetězovky s různými parametry a

Při použití transformační matice $\mathbf{R}_z(\sigma)$ pro rotaci okolo osy Z o úhel σ

$$\mathbf{R}_z(\sigma) = \begin{pmatrix} \cos(\sigma) & \sin(\sigma) & 0 \\ -\sin(\sigma) & \cos(\sigma) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

parametrické rovnice základní řetězovky v rovině XZ s parametrem d

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d \\ 0 \\ a \cdot \cosh\left(\frac{d}{a}\right) \end{pmatrix} \quad (5)$$

a matice translace

$$\mathbf{T} = \begin{pmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{pmatrix} \quad (6)$$

lze provést transformaci

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \mathbf{R}_z \cdot \begin{pmatrix} d \\ 0 \\ a \cdot \cosh\left(\frac{d}{a}\right) \end{pmatrix} + \mathbf{T},$$

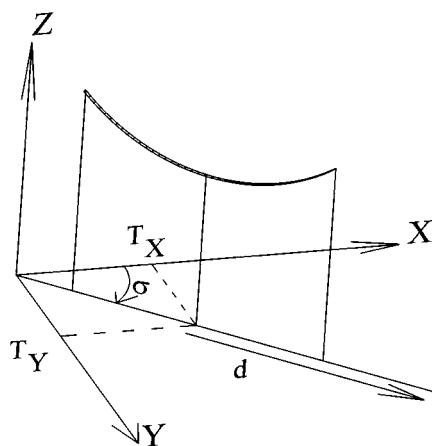
$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\sigma) & \sin(\sigma) & 0 \\ -\sin(\sigma) & \cos(\sigma) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} d \\ 0 \\ a \cdot \cosh\left(\frac{d}{a}\right) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{pmatrix} \quad (7)$$

a získat obecnou rovnici řetězovky v prostoru

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d \cdot \cos(\sigma) + T_x \\ d \cdot \sin(\sigma) + T_y \\ a \cdot \cosh\left(\frac{d}{a}\right) + T_z \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Ve vzorci (8) jsou X, Y, Z souřadnice bodu řetězovky, a parametr řetězovky, σ směrnik řetězovky v průmětu do roviny XY , T_x, T_y, T_z posuny počátku souřadnicových os a d je vodorovná vzdálenost od počátku vrcholu řetězovky se znaménkem kladného či záporného směru (parametr rovnice).

Jsou zde tedy tři známé hodnoty na každý bod (X, Y, Z), celkem pět neznámých charakterizujících řetězovku (T_x, T_y, T_z, σ, a) a jedna neznámá na každý bod (d). Minimální počet bodů pro určení rovnice řetězovky v prostoru je tedy tři. Grafické znázornění některých veličin je na obr. 2.



Obr. 2. Grafické znázornění veličin

Výpočet parametrů řetězovky

Lze provést zjednodušený výpočet parametrů řetězovky tak, že se provede transformace celého souboru bodů do roviny tak, že se za pootočení zvolí vhodný úhel určený ze směrniku např. dvou nejvzdálenějších bodů nebo jako směrnik přímky v rovině XY . Teoreticky je však správnější výpočet vyrovnáním metodou nejmenších čtverců, která zpracuje celý výpočet vcelku, a proto tato zjednodušená varianta výpočtu není předmětem této práce.

Vzhledem k tomu, že rovnice nejsou lineární, je třeba výpočet parametrů rovnice (8) provést iterací. K tomu je vhodné vypočítat dostatečně přesné přibližné hodnoty pro snížení počtu iterací a snížení nebezpečí nekonvergence.

Výpočet přibližných hodnot

Směrnik σ_0 lze získat proložení přímky všemi body v rovině (souřadnice X, Y). Posuny T_x, T_y – pokud lze předpokládat přibližně stejnou výšku závěsů na obou koncích, pak se zvolí jako střed mezi nejvzdálenějšími body. Lze také (po-

kud je měření husté) použít bod s nejmenší výškou. Lze dále využít zpřesnění odhadu na T_{x0}, T_{y0} .

Podle [3] lze řetězovku nahradit rozvojem

$$Z = \frac{a}{2} \cdot \left(e^{\frac{d}{a}} + e^{-\frac{d}{a}} \right) = a + \frac{d^2}{2a} + \frac{d^4}{24a^3} + \dots, \quad (9)$$

kde po vynechání členů vyššího než druhého řádu lze pak využít zjednodušeného zápisu řetězovky ve tvaru obecné paraboly v rovině

$$Z = c_0 \cdot (d - p)^2 + d_0, \quad (10)$$

kde p je posun vrcholu paraboly po ose d , c_0 a d_0 další konstanty. Pokud se rovnice rozepíše pro tři body (1, 2, 3), rovnice se po dvou odečtou a následně vydělí, lze získat rovnici

$$p = \frac{\frac{\Delta Z_{21}}{\Delta Z_{23}} \cdot (d_3^2 - d_2^2) - (d_1^2 - d_2^2)}{\frac{\Delta Z_{21}}{\Delta Z_{23}} \cdot (2d_3 - 2d_2) - (2d_2 - 2d_1)}, \quad (11)$$

kde p se posléze využije pro určení polohy vrcholu paraboly, resp. přibližnou polohu vrcholu řetězovky. Body je vhodné volit tak, aby ΔZ_{ij} nebyly blízké nule.

Přibližně nebo libovolně zvolené hodnoty T_x, T_y se pomocí parametru p zpřesní

$$\begin{aligned} T_{x0} &= T_x + p \cdot \cos(\sigma_0) \\ T_{y0} &= T_y + p \cdot \sin(\sigma_0) \end{aligned} \quad (12)$$

Parametr d lze pro každý bod vypočítat ze vztahů (8), a to podle rovnice

$$d_i = \frac{X_i - T_{x0}}{\cos(\sigma)} = \frac{Y_i - T_{y0}}{\sin(\sigma)}. \quad (13)$$

Dále je třeba vypočítat parametr řetězovky a . Zde již výpočet není triviální a je třeba použít iteračního postupu. Při návrhu postupu výpočtu byla iterace využita dvakrát. Pro přibližné zjištění velikosti parametru a lze vyjít z faktu, že funkce (15) klesá s jeho rostoucí hodnotou. Jestliže se z naměřených bodů vyberou dva, které mají největší výškový rozdíl ΔZ , je možno stanovit jako počáteční hodnotu parametru např. $a_0 = 0,01$ m, spočítat ΔZ_0 ze vzorce (15), a jestliže $\Delta Z < \Delta Z_0$, parametr a se navýší o zvolený krok a výpočet probíhá znovu až do doby, než $\Delta Z > \Delta Z_0$. Takto určený parametr a je chybný maximálně o délku kroku.

$$\Delta Z = Z_1 - Z_2, \quad (14)$$

$$\Delta Z_0 = a_0 \cdot \cosh\left(\frac{d_1}{a_0}\right) - a_0 \cdot \cosh\left(\frac{d_2}{a_0}\right). \quad (15)$$

Krok může být zvolen např. o velikosti 1 m. Zpřesnění výpočtu může být provedeno jednoduchou iterací s použitím vzorců

$$\frac{\partial \Delta Z}{\partial a} = \left(\cosh\left(\frac{d_1}{a}\right) - a \cdot \sinh\left(\frac{d_1}{a}\right) \cdot \frac{d_1}{a^2} \right) - \left(\cosh\left(\frac{d_2}{a}\right) - a \cdot \sinh\left(\frac{d_2}{a}\right) \cdot \frac{d_2}{a^2} \right). \quad (16)$$

Lze potom napsat rovnici

$$\Delta Z = \frac{\partial \Delta Z}{\partial a} \cdot da + \Delta Z_0 \quad (17)$$

a změnu da přibližné hodnoty a určit ze vzorce

$$da = -(\Delta Z - \Delta Z_0) / \frac{\partial \Delta Z}{\partial a}, \quad (18)$$

$$a_0 = a + da, \quad (19)$$

a posléze opakovaně počítat rovnice (15), (18) a (19), dokud da neklesne pod stanovenou hodnotu (např. 0,01 m).

Výpočet vyrovnáním

S dostatečně přesnými přibližnými hodnotami $a_0, \sigma_0, T_{X0}, T_{Y0}, T_{Z0}$ je možno přistoupit k výpočtu vyrovnáním zprostředkujících metodou nejmenších čtverců. Pokud se seřadí neznámé pro vyrovnání $\mathbf{h} = (T_x, T_y, T_z, a, \sigma, d_1, d_2, \dots, d_n)$, pak Jacobiho matice (matice plánu experimentu) \mathbf{A} , resp. její submatice \mathbf{A}_i pro každý bod, má tvar (20). Počet sloupců matice \mathbf{A} závisí na počtu bodů, pro n bodů je to $5 + n$.

$$\mathbf{A}_i = \begin{pmatrix} \frac{\partial X_i}{\partial T_x} & \frac{\partial X_i}{\partial T_y} & \frac{\partial X_i}{\partial T_z} & \frac{\partial X_i}{\partial a} & \frac{\partial X_i}{\partial \sigma} & \frac{\partial X_i}{\partial d_1} & \frac{\partial X_i}{\partial d_2} & \dots & \frac{\partial X_i}{\partial d_n} \\ \frac{\partial Y_i}{\partial T_x} & \frac{\partial Y_i}{\partial T_y} & \frac{\partial Y_i}{\partial T_z} & \frac{\partial Y_i}{\partial a} & \frac{\partial Y_i}{\partial \sigma} & \frac{\partial Y_i}{\partial d_1} & \frac{\partial Y_i}{\partial d_2} & \dots & \frac{\partial Y_i}{\partial d_n} \\ \frac{\partial Z_i}{\partial T_x} & \frac{\partial Z_i}{\partial T_y} & \frac{\partial Z_i}{\partial T_z} & \frac{\partial Z_i}{\partial a} & \frac{\partial Z_i}{\partial \sigma} & \frac{\partial Z_i}{\partial d_1} & \frac{\partial Z_i}{\partial d_2} & \dots & \frac{\partial Z_i}{\partial d_n} \end{pmatrix} \quad (20)$$

Jednotlivé derivace lze vyčíslit

$$\frac{\partial X_i}{\partial T_x} = 1, \quad \frac{\partial X_i}{\partial T_y} = 0, \quad \frac{\partial X_i}{\partial T_z} = 0, \quad \frac{\partial X_i}{\partial a} = 0,$$

$$\frac{\partial X_i}{\partial \sigma} = -d_i \cdot \sin(\sigma), \quad \frac{\partial X_i}{\partial d_j} : \text{pro } i = j \text{ platí } \frac{\partial X_i}{\partial d_j} = \cos(\sigma),$$

$$\text{jinak } \frac{\partial X_i}{\partial d_j} = 0,$$

$$\frac{\partial Y_i}{\partial T_x} = 0, \quad \frac{\partial Y_i}{\partial T_y} = 1, \quad \frac{\partial Y_i}{\partial T_z} = 0, \quad \frac{\partial Y_i}{\partial a} = 0,$$

$$\frac{\partial Y_i}{\partial \sigma} = d_i \cdot \cos(\sigma), \quad : \text{pro } i = j \text{ platí } \frac{\partial Y_i}{\partial d_j} = \sin(\sigma)$$

$$\text{jinak } \frac{\partial Y_i}{\partial d_j} = 0, \quad (21)$$

$$\frac{\partial Z_i}{\partial T_x} = 0, \quad \frac{\partial Z_i}{\partial T_y} = 0, \quad \frac{\partial Z_i}{\partial T_z} = 1,$$

$$\frac{\partial Z_i}{\partial a} = \cosh\left(\frac{d_i}{a}\right) + a \cdot \sinh\left(\frac{d_i}{a}\right) \cdot \frac{-d_i}{a^2},$$

$$\frac{\partial Z_i}{\partial \sigma} = 0, \quad \frac{\partial Z_i}{\partial d_j} : \text{pro } i = j \text{ platí } \frac{\partial Z_i}{\partial d_j} = \sinh\left(\frac{d_j}{a}\right),$$

$$\text{jinak } \frac{\partial Z_i}{\partial d_j} = 0.$$

Některé derivace jsou nulové nebo konstantní, a pak lze pro celkem čtyři body a druhý bod v pořadí uvést příklad

$$\mathbf{A}_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial X_2}{\partial \sigma} & 0 & \frac{\partial X_2}{\partial d_2} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \frac{\partial Y_2}{\partial \sigma} & 0 & \frac{\partial Y_2}{\partial d_2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \frac{\partial Z_2}{\partial a} & 0 & 0 & \frac{\partial Z_2}{\partial d_2} & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (22)$$

Vektor redukovaných „měření“ \mathbf{l} se skládá ze subvektorů \mathbf{l}_i pro každý bod stejně jako matice \mathbf{A}

$$\mathbf{l}_i = \begin{pmatrix} X_i - X_{0i} \\ Y_i - Y_{0i} \\ Z_i - Z_{0i} \end{pmatrix}, \quad (23)$$

kde X_{0i}, Y_{0i}, Z_{0i} jsou souřadnice vypočtené dosazením přibližných hodnot neznámých do rovnice (8)

$$d\mathbf{h} = -(\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{A})^{-1} \cdot \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{l}. \quad (24)$$

Vyrovnáním se získají přírůstky neznámých $d\mathbf{h}$. Dále se při výpočtu postupuje např. podle [4] tak, že přírůstky neznámých se přičtou k přibližným hodnotám, a tím se získají buď již vyrovnané hodnoty neznámých, a nebo pokud je třeba další iterace, se takto získané hodnoty použijí opět jako přibližné. Iterace se zastaví, když směrodatná odchylka po vyrovnání s_0 se mezi dvěma iteracemi liší o méně než zvolená tolerance.

$$s_0 = \sqrt{\frac{\mathbf{v}^T \cdot \mathbf{v}}{r}}, \quad (25)$$

$$\mathbf{v} = \mathbf{A} \cdot d\mathbf{h} - \mathbf{l}, \quad (26)$$

r je počet nadbytečných hodnot, zde $r = 2n - 5$, \mathbf{v} je vektor oprav přidělených souřadnicím bodů vyrovnáním.

Ověřování postupu výpočtu

Postup výpočtu byl ověřován na simulovaných datech v prostředí volně dostupného výpočetního prostředí s otevřeným kódem (open source) Scilab verze 4 [5]. Sestavený skript vždy vygeneroval body řetězovky podle zadaných hodnot s následným vnesením měřických chyb o velikosti generované podle normálního rozdělení se střední hodnotou 0 a směrodatnou odchylkou v intervalu 0,01 m až 0,10 (v protokolu označeno sig_xyz). Ověřování probíhalo pro různý počet generovaných bodů, pro vyšší počet bodů než 500 je již výpočet poměrně náročný na výpočetní výkon a čas. Pro dostatečně přesné určení parametrů řetězovky postačí menší počet bodů, než je obvykle při skenování k dispozici, a je proto vhodné vzhledem k počtu neznámých počet bodů vstupující do výpočtu decimovat. Ve všech případech směrodatná odchylka po vyrovnání odpovídala této

směrodatné odchylce normálního rozdělení a výpočet pro různé konfigurace i nevhodně zvolené počáteční hodnoty konvergoval po maximálně třech iteracích.

Pro ilustraci je uveden výstupní protokol, v závorce u příbližných a vyrovnaných metod je uveden rozdíl hodnoty použité pro generování a hodnoty vypočítané. Přibližné hodnoty :2: byly zpřesněny s použitím paraboly podle vzorců (10), (11), (12).

Program Řetězovka

Počet bodů: 50
sig_xyz = 0.010 m

Generační hodnoty :

a = 50.000 m
sig = 30.000 gon
Tx = 20.000 m
Ty = -30.000 m
Tz = 40.000 m

Přibližné hodnoty :1:

a = 20.963 m (29.037 m)
sig = 29.996 gon (0.004 gon)
Tx = 13.329 m (6.671 m)
Ty = -33.383 m (3.383 m)
Tz = 64.127 m (-24.127 m)

Posun s použitím paraboly : 7.312 m

Přibližné hodnoty :2:

a = 49.231 m (0.769 m)
sig = 29.996 gon (0.004 gon)
Tx = 19.844 m (0.156 m)
Ty = -30.063 m (0.063 m)
Tz = 40.735 m (-0.735 m)

Vyrovnané hodnoty :X:

a = 49.932 m (0.068 m)
sig = 29.996 gon (0.004 gon)
Tx = 19.998 m (0.002 m)
Ty = -30.006 m (0.006 m)
Tz = 40.065 m (-0.065 m)

Směrodatná odchylky neznámých:

s(Tx) = 0.0045 m
s(Ty) = 0.0026 m
s(Tz) = 0.0358 m
s(a) = 0.0373 m
s(sig) = 0.0061 gon

Směrodatná odchylka jednotková po vyrovnání:

s0 = 0.0097 m

Závěr

Článek přibližuje způsob odvození obecné rovnice řetězovky v prostoru, postup výpočtu přibližných hodnot parametrů řetězovky a postup výpočtu těchto parametrů vyrovnáním metodou nejmenších čtverců. Výpočet je navržen pro potřeby zpracování dat z laserového skenování, ale je možno jej využít obecně, např. v případech, kdy se geodeticky zaměřuje průběh vedení a je třeba určit polohu neviditelných nebo nezměřitelných bodů, délku vedení nebo nejnižší bod vedení.

Článek byl zpracován v rámci projektu č. 103/06/94 GA ČR „Zpracování a analýza produktů hromadného sběru 3D dat terestrickými skenovacími systémy“.

Literatura

- [1] Kašpar, M. – Pospíšil, J. – Štroner, M. – Křemen, T. – Tejkal, M.: Laserové skenovací systémy ve stavebnictví. 1. vyd. Hradec Králové, Vega 2003, 112 s. ISBN 80-900860-3-9.
- [2] <http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%98et%C4%9Bzovka>
- [3] Böhm, J. – Hora, L. – Kolenatý, E.: Vyšší geodézie – díl I. [Učební text], Praha, Vydavatelství ČVUT 1979.
- [4] Böhm, J. – Radouch, V. – Hampacher, M.: Teorie chyb a vyrovnávací počet. Praha, Geodetický a kartografický podnik 1990, ISBN 80-7011-056-2.
- [5] <http://www.scilab.org>

Štroner, M.: Determination of Catenary Curve Parameters from Laser Scanning Data

The present paper describes the mathematical determination of catenary curve parameters from redundant points in space viewing possibilities of laser scanning. The outcomes can be used for mathematical modelling, as well as for the calculation of characteristic or unmeasurable points.

Štroner, M.: Bestimmung der Parameter einer Kettenlinie aus Daten des Laserscannens

Die Arbeit befasst sich mit der mathematischen Bestimmung der Parameter einer Kettenlinie aus der überschüssigen Anzahl von Punkten im Raum unter Berücksichtigung der Möglichkeit des Laserscannens. Die Ergebnisse können für die mathematische Modellierung, aber auch für die Errechnung charakteristischer oder nicht messbarer Punkte genutzt werden.



Další praktické zkušenosti ze zaměřování průběhu nadzemních vedení vysokého napětí

Ing. Jitka SUCHÁ, Ph.D.
Ing. Martin ŠTRONER, Ph.D.
ČVUT – Fakulta stavební, Praha

Ing. Kateřina MARKOVÁ
3G Praha, s. r. o.

Třetí článek věnovaný měření průběhu nadzemních vedení vysokého napětí uvádí další vlivy, které mohou výrazně ovlivnit jeho přesnost a kvalitu.

Úvod

Článek navazuje na texty [4], [5] a popisuje další zkušenosti získané v rámci měření [2] sloužícího k porovnání vhodnosti trigonometrické metody a metody fy PRAGOPROJEKT. Zásadní porovnání bylo provedeno již v rámci [5], zde jsou uvedeny doplňující informace, které vyplynuly z nových zkušeností.

Venkovní elektrická vedení vysokého napětí

Pro venkovní silnoproudá elektrická vedení platí ustanovení ČSN 34 1100 Elektrická vedení venkovní. Norma udává minimální vzdálenost vedení od země, komunikací, budov, stromů apod. (tab. 1). Hlavním důvodem pro zaměřování venkovních vedení je tedy jejich vzdálenost od určitých objektů, která není v terénu známa. Na průhyb vodiče elektrického vedení má vliv několik faktorů, které je nutné během měření respektovat. Průhyb vodiče se mění s teplotou a s množstvím procházejícího elektrického proudu. Proto je nutné při měření zaznamenávat teplotu okolí, nejlépe s přesností 0,5 °C, a čas. Je vhodné také měřit za přiměřených povětrnostních podmínek. Při působení větru může vodič kmitat ve svislém směru 0,08-0,10 m a příčné vychýlení vodiče ze svislé roviny způsobí zmenšení průhybu vodiče až o 0,1-0,2 m. Dobré podmínky jsou při teplotě mezi 10 až 15 °C, naopak nevhodné při teplotě -5 °C s námrazou na vodiči [1].

Tab. 1. Vzdálenost od objektů

Minimální vzdálenost	Vzdálenost [m]
od země a nad zemědělskými plochami	6
na místech nepřístupných nebo zneprístupněných	1 (do 1 kV) 3 (10–110 kV)
od nosné konstrukce	0,07–0,30

Měření

Cílem měření [2] bylo určit průběh vedení vysokého napětí současnou metodou používanou ve fy PRAGOPROJEKT a starší trigonometrickou metodou a porovnat jejich

výsledky. Měření bylo provedeno v Praze 20.10.2006 za bezvětří, teplota se pohybovala v rozmezí 10 až 14 °C. Rozsah měření zahrnoval tři pole vedení vysokého napětí, přičemž dvě pole jsou dlouhá 90 m a třetí pole 125 m. Měření oběma metodami probíhalo současně, aby byly zajištěny společné body pro následné porovnání.



Obr. 1. Tři pole vedení vysokého napětí

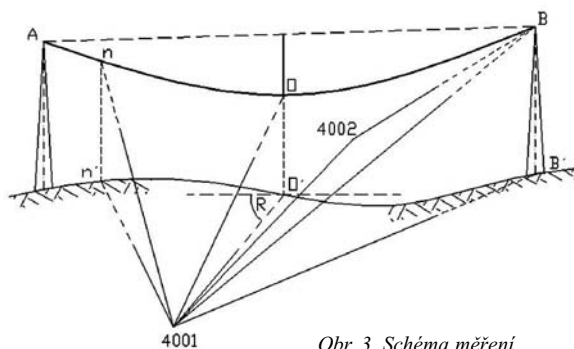


Obr. 2. Topcon GPT-2006

Pro měření byl použit přístroj Topcon GPT-2006 (obr. 2). Směrodatná odchylka směru měřeného v obou polohách dalekohledu σ_ϕ je podle výrobce 1,8 mgon, směrodatná odchylka měřené délky v jedné poloze dalekohledu σ_d je 3 mm + 2 ppm. Bezhranolový mod měření délky nebyl při experimentu použit, neboť se signál od vodiče elektrického vedení neodrážel, zřejmě byl příliš malý cíl, který vyžaduje výkonnější bezhranolový dálkoměr. Podmínky při experimentálním měření byly velmi dobré (dobrá viditelnost a vzdálenost do 100 m).

Trigonometrická metoda

Před měřením se pomocí olovnice promítne průběh vedení na terén, a to dvěma body dostatečně od sebe vzdálenými. Mezi těmito body je nataženo pásmo a místo největšího průhybu se na terén vyznačí měřickým hřebem. V tomto místě se vytyčí kolmice na průběh vedení a na kolmici se ve vhodné vzdálenosti stabilizuje stanovisko, ze kterého probíhá měření. Měří se pouze jedna vzdálenost, a to délka kolmice, na níž je umístěno stanovisko. Dále se měří vodorovné směry a zenitové vzdálenosti na body závěsu A, B a na bod největšího průhybu O, resp. na jeho průmět na terén O' (obr. 3).



Obr. 3. Schéma měření

Měření se nepřipojuje na souřadnicový systém JTSK, resp. místní systém, neboť trigonometrická metoda neřeší úlohu souřadnicově. Výsledkem tedy nejsou prostorové souřadnice, ale pouze převýšení mezi body závěsu A, B a bodem největšího průhybu O. Veškeré výpočetní vztahy a podrobnější popis metody je uveden v [4].

Metoda fy PRAGOPROJEKT

Stanoviska 4001 a 4002 (obr. 3) by měla být volena tak, aby byla dobrá viditelnost na oba závěsy vedení A a B, a rovněž vzájemná viditelnost mezi stanovisky. Je vhodné, aby vedení procházelo mezi stanovisky, ale není to podmínkou, stačí dodržet podmínku pro protínání z úhlů. Tedy úhel protnutí na obou závěsných bodech by se měl podle [3] pohybovat v rozmezí 50-170 gon, v některých publikacích je připuštěno až 25-170 gon. Na stanovisku 4001 se zaměří orientace na stanovisko 4002, provede se měření úhlové a délkové. Dále se měří vodorovné směry a zenitové úhly na závěsy A a B a na podrobné body „n“ na vedení včetně bodu O. Na druhém stanovisku 4002 se zaměří orientace na sousední stanovisko 4001 a dále se provede pouze úhlové měření na oba závěsy A, B. Je důležité cílit na stejné místo jako při prvním měření. Také se zaměří terén pod vedením, a to všechny důležité body terénního reliéfu. Úlohu je možné řešit v S-JTSK, pokud se provede připojení na stávající

bodové pole, v našem případě pro porovnání s trigonometrickou metodou byl výpočet proveden v místní souřadnicové soustavě. Veškeré výpočetní vztahy a podrobný popis metody je opět uveden v [4].

Přesnost vytyčení kolmice

Výsledkem trigonometrické metody jsou pouze tři převýšení. Výsledkem metody fy PRAGOPROJEKT jsou souřadnice všech podrobných bodů „n“ a bodů A, B a O. Tyto metody lze proto porovnat v rozsahu tří převýšení, která se v případě této metody určí ze známých souřadnic. Výsledky porovnání jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2. Porovnání převýšení

Převýšení		h [m]		Rozdíl [cm]
		trig.	souř.	
pole 1	A	9,417	9,390	-2,7
	O	8,071	8,105	3,4
	B	10,371	10,508	13,7
pole 2	A	9,430	9,469	3,9
	O	8,761	8,759	-0,2
	B	11,744	11,694	-5,0
pole 3	A	9,529	9,555	2,5
	O	7,635	7,626	-0,9
	B	10,283	10,233	-5,0

Přesnost trigonometrické metody se obecně pohybuje v rozmezí ± 3 až ± 5 cm. Tomu odpovídají i výsledky našeho měření (tab. 2), kdy došlo k porovnání trigonometrické metody a přesnější metody fy PRAGOPROJEKT. Pouze převýšení h_B má hodnotu 13,7 cm. Tato hodnota neodpovídá předpokládané přesnosti, a proto byla zkoumána příčina, která mohla způsobit tak velký rozdíl. Jednou z příčin velkého rozdílu by mohla být hrubá chyba v měření. Měření však byla provedena v takovém rozsahu, že umožňují kontrolní výpočty. Chyba byla tedy zřejmě způsobena nepřesným vytyčením kolmice. Tento požadavek ovlivňuje zásadně přesnost měření, a to následujícím způsobem. Do výpočtu převýšení h_B vstupuje neznámá délka d_B odvozená z pravoúhlého trojúhelníku [4], který je dán vytyčenou kolmicí. Tedy přesnost vytyčení kolmice ovlivňuje přesnost určení převýšení. V tabulce 3 je uvedeno, jak velké chyby se smí měřič dopustit při vytyčení kolmice, aby bylo dosaženo předpokládané přesnosti v převýšení do 5 cm. Hodnoty jsou určeny pro závěs B.

Tab. 3. Trigonometrická metoda – odchylka v převýšení

odchylka [cm]	1	2	3	4	5	10	13,7
chyba v kolmici [mgon]	73	140	208	275	343	685	943

Z údajů tabulky vyplývá, že chybu 13,7 cm v převýšení na bodu B v poli 1 způsobila chyba ve vytyčení kolmice 0,943 gon, a to za předpokladu, že měřené veličiny jsou bezchybné. Z tabulky dále vyplývá, že při požadavku přesnosti v převýšení do 5 cm musí být přesnost kolmice určena maximálně s přesností do 0,343 gon. Vytyčení kolmice před měřením je tedy nutné věnovat dostatečnou pozornost.

Ověřování úhlu protnutí na určovaném bodu

Během měření metodou fy PRAGOPROJEKT byly některé závěsné body elektrického vedení zaměřovány opětovně, z dalších bodů místního bodového pole. Bylo proto možné zvolit různé konfigurace dvou stanovisek pro určení souřadnic závěsných bodů A, B metodou protínání z úhlů. Šlo tedy ověřit vliv velikosti úhlu protnutí na přesnost výsledných souřadnic protnutého bodu.

Tab. 4. Polohová odchylka v závislosti na úhlu protnutí

Poloha	Závěsný bod	Stanoviska	ω [gon]	p [mm]
pole 1	A	4001-4002	97,476	0,0
		4001-4005	64,2358	8,1
		4001-4006	58,7534	9,3
		4002-4006	38,7226	12,9
		4002-4005	33,2402	13,7
	B	4004-4006	27,9304	57,5
		4001-4002	84,5596	0,0
		4001-4004	106,8747	1,9
		4001-4005	120,2659	5,4
		4002-4004	191,4343	14,0
pole 2	A	4004-4005	13,3912	33,5
		4002-4005	195,1745	67,9
		4003-4004	87,165	0,0
		4003-4005	74,7446	1,5
	B	4004-4006	56,1237	10,8
		4005-4006	12,4204	12,2
		4003-4004	84,1378	0,0
		4003-4005	87,1619	0,7
		4005-4006	176,7176	48,8

Polohové odchylky p závěsných bodů a k nim náležející úhly protnutí z jednotlivých kombinací stanovisek jsou uvedeny v tab. 4. V prvním řádku je vždy uvedena „ideální kombinace“ bodů (nejvhodnější úhel protnutí), která byla použita při výpočtu výsledných souřadnic závěsných bodů. V dalších řádcích jsou jiné možné kombinace bodů bodového pole, ze kterých šly také vypočítat souřadnice závěsných bodů pod dalšími, již méně ideálními úhly protnutí. Polohová odchylka p byla určena ze vzorce

$$p = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2},$$

kde Δx a Δy jsou souřadnicové rozdíly. V tabulce jsou odděleny tučnou čarou „vhodné“ a „nevhodné“ kombinace trojic bodů podle úhlu protnutí, jestliže uvažujeme, že při protínání by měl být úhel protnutí na určovaném bodu v mezích 50-170 gon. Z údajů je patrné, že jestliže úhel protnutí překročí, případně se přiblíží, stanoveným mezím, polohová odchylka se zvětšuje a dosahuje až centimetrových hodnot. Příliš ostrý úhel nebo úhel blízký se hodnotě 200 gon má negativní vliv na přesnost výsledných souřadnic protínacího bodu. Proto je nutné se při měření vyvarovat nevhodného postavení přístroje a vždy dodržet vhodné meze úhlu protnutí. V polohových odchylkách se samozřejmě kromě vlivu

velikosti úhlu protnutí projeví také přesnost cílení, proto je třeba při protínání z úhlů být dostatečně pečliví při opakovaném měření na daný bod z různých stanovisek.

Závěr

Z provedeného měření vyplynulo, že v případě určení výsledného převýšení jednotlivých bodů nadzemního vedení nad terémem je přesnost trigonometrické metody závislá na přesnosti vytyčení kolmice. Přesnost metody fy PRAGOPROJEKT je naopak závislá na velikosti úhlu protnutí, a tedy na přesnosti určení souřadnic závěsných bodů. V obou případech nelze tuto otázku v rámci měření opomíjet.

Článek byl zpracován v rámci 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] Bureš, Z. – Šitina, P. – Václávek, J.: Navrhování venkovních vedení vn a nn, 1. vydání. Praha, SNTL 1989.
- [2] Marková, K.: Měření průběhu nadzemních vedení vysokého napětí. [Diplomová práce], ČVUT v Praze, 2007.
- [3] Ratiborský, J.: Geodézie 10, 1. vydání. Praha, Vydavatelství ČVUT 2000.
- [4] Suchá, J. – Štroner, M. – Špačková, L.: Historické a současné metody zaměření průběhu nadzemních vedení vysokého napětí. Stavební obzor, 17, 2008, č. 1, s. 26–30.
- [5] Suchá, J. – Štroner, M. – Špačková, L.: Porovnání metod zaměření průběhu nadzemních vedení vysokého napětí. Stavební obzor, 17, 2008, č. 2, s. 60–63.

Suchá, J. – Štroner, M. – Marková, K.: Further Practical Experience from Surveying High-Voltage Lines

The third paper on the measurement of high-voltage lines presents further effects which may influence its accuracy and quality in a significant manner.

Suchá, J. – Štroner, M. – Marková, K.: Weitere praktische Erfahrungen aus der Vermessung des Verlaufs von Hochspannungs-Freileitungen

Der dritte Artikel, der der Messung des Verlaufs von Hochspannungs-Freileitungen gewidmet ist, zeigt weitere Einflüsse auf, die deren Genauigkeit und Qualität erheblich beeinflussen können.



BAU 2009

12. – 17. ledna 2009

Nové výstaviště Mnichov

www.bau-muenchen.com

• projekty

Galerie Fénix

Moderní komplex se třemi podzemními a sedmi nadzemními podlažními vyrostl na zastavěné ploše 15 000 m². Architektonicky výrazná budova je prosklenou pasáží rozdělena na dvě části, které nabídnou čtyřhvězdičkový hotel Clarion Congress Hotel Prague a obchodní centrum s názvem Galerie Fénix Vysočanská. Obchodní část zabírá dvě podlaží s celkovou plochou přesahující 12 000 m². Nově vzniklé lokální centrum nákupu a služeb mimo jiné disponuje supermarketem, pizzerií, fitness centrem a dalšími obchody.



Hotel Clarion s kapacitou 560 pokojů, špičkovým kongresovým zázemím pro 2 500 osob a luxusní restaurací je zaměřen na náročnější business a kongresovou klientelu. V podzemní části objektu je technické zázemí, velkokapacitní hotelová prádelna a parkovací místa pro 630 aut a 9 autobusů. Generálním dodavatelem nové dominanty náměstí OSN v Praze 9–Vysočanech, jehož celkové investice dosáhly 2,5 mld. Kč, je akciová společnost PSJ holding.

Tisková informace

• dizertace



Tvorba modelu řízení nákladů na stavební zakázce v rámci manažerského účetnictví stavebního podniku

Ing. Eva Vítková

V práci je navržen model, který umožňuje mapování jakéhokoli druhu vzniklého nákladu na stavební zakázce až v celkovém hospodaření stavebního podniku. Samotné modelování bylo rozděleno na dva velké okruhy – řízení nákladů na stavební zakázce a řízení nákladů na stavební zakázce v rámci manažerského účetnictví. Druhá část modelování propojila vzniklé náklady na stavební zakázce s celkovým hospodařením podniku, a tím umožnila náhled na možnosti ovlivnění budoucích nákladů.

Matematicko-ekonomické modelování cen stavebních prací

Ing. Petr Skála

Práce se ve svém obsahu zabývá problematikou matematicko-ekonomického modelování cen stavebních prací. Prvním cílem bylo vytvoření funkčního modelu cen stavebních prací ve formě ukazatele (milionového ukazatele), na němž lze provádět další měření a zkoumání. Druhý cíl se zaměřil na modelování cen stavebních prací v souvislosti se zákonem o zadávání veřejných zakázek.

Modelování optimální struktury zdrojů finančního krytí škod na pojišťovaných stavbách

Ing. Tomáš Hanák

Dizertace pojednává o situaci na pojistném trhu s důrazem na oblast pojišťování staveb, zabývá se problematikou pojistitelnosti rizik, především přístupem k povodňovému riziku. Cílem je vytvoření modelu optimální struktury zdrojů finančního krytí škod na pojišťovaných stavbách za účelem dosažení co nejnižších nákladů na jejich tvorbu z pohledu majitele stavby. Model vyhodnocuje různé kombinace tří základních zdrojů krytí škod: pojištění, spoření a úvěru.

SOUTĚŽ DEKHOME

ENERGETICKY ÚSPORNÝ
MODERNÍ RODINNÝ DŮM

Úkolem soutěže je navrhnout rodinný dům tak, aby se na zastavěné ploše maximalizovaly možnosti jeho efektivního využití při zachování estetické a funkční hodnoty celého díla. Návrh by měl maximálně zdůraznit výhody, krásy a možnosti dřevěných konstrukčních prvků systému DEKHOME. Termín odevzdání soutěžních návrhů je 27. června 2008.

www.dekhome.cz

CBS
Česká betonářská společnost ČSSI
www.cbsbeton.eu
a
ČBS Servis, s. r. o.
www.cbsservis.eu

Seminář
NOVÉ BETONÁŘSKÉ NORMY 2008

1993
2008

5. května 2008
Praha, Mašarykova kolej ČVUT

• projekty

Nordica Ostrava



Kancelářská budova společnosti Skanska Property nabídne počátkem příštího roku okolo 12 000 m² administrativních ploch nejvyšší kvality přímo v centru města. Předpokládané investiční náklady sedmipodlažní budovy se 132 parkovacími stáními ve dvou podzemních patrech a s plochami pro obchody a restauraci v přízemí dosáhnou 400 mil. Kč.



Autorem projektu je ostravský rodák a vedoucí švédského architektonického studia Tengbomarkiteker Ivan Krejčí. Generálním dodavatelem stavby budovy je Skanska CZ.

Tisková informace



STAVEBNÍ VELETRHY BRNO 2008

Brněnské výstaviště slaví letos 80 let od svého vzniku. Stavební veletrhy Brno 2008 spolu s oslavou tohoto významného jubilea proběhnou ve dnech 22. – 26. dubna formou tradičních veletrhů IBF a SHK BRNO. Zvýrazněnými tématy budou „stavební stroje“ a „bytová výstavba“. Nadcházející akce tak bude jednou z největších v České republice vůbec.

Účast na veletrhu SHK BRNO přislíbily přední firmy v oborech sanita a vytápění. Pavilony Z a F budou zaplněny doslova „až po střechu“. Důraz bude kladen na úsporné a energeticky nenáročné technologie. Nově budou v rámci tohoto projektu rozvíjeny také nomenklatury, které zahrnují osvětlovací techniku, elektroinstalaci a systémovou integraci budov. Veletrh URBIS INVEST nabídne v rámci samostatného pavilonu přehlídku investičních příležitostí zemí střední a východní Evropy.

Doprovodný program je jako každý rok sestavován ve spolupráci a za garance prestižních českých i zahraničních oborových svazů a asociací. Zachována bude nejen soutěž o zlaté medaile a o nejefektivnější výstavní expozici, ale také spolupráce a podpora v oblasti školství.

Zvýhodněné vstupné, možnost parkování či domluvení jednání přímo na výstavišti si lze zajistit registrací on-line.

www.bvv.cz

•projekty

Nejvyšší budova v České republice

Budova na pražské pankrácké pláni byla původně určena jako sídlo Československého rozhlasu. Stavební povolení bylo vydáno již v roce 1983, avšak i na konci tisíciletí byl projekt rozestavěn a opuštěný. V roce 2000 jej odkoupila společnost ECM a během sedmi let z objektu vytvořila jednu z nejmodernějších budov v ČR. Kompletní přestavba, jejíž součástí je rozšíření půdorysu o 4 m na západ a 1 m na východ, mění budovu do vysokého technického a designového



standardu. Velký důraz je kladen na bezpečnost a fungující vazby v rámci celého objektu. Svůj rukopis vtiskl této nepřehlédnutelné budově významný americký architekt Richard Meier.

CITY TOWER, jak se nyní budova nazývá, je svými 109 m nejvyšší budovou v České republice. V rámci 27 nadzemních a 3 podzemních podlažích nabízí více než 44 000 m² kancelářské plochy, 490 m² obchodních ploch a 1 100 m² skladovacích prostor. V posledním patře bude pro nájemce i veřejnost otevřena restaurace s jedinečnou výhlídkou na Prahu. Podzemní garáže budou disponovat více než osmi sty parkovacími místy. Budova je vybavena 18 výtahy, z nichž nejrychlejší dosahují rychlosti až 6 m/s. Na stavbu bylo použito více než 2 300 t nových ocelových konstrukcí.

Česká republika disponuje jednou z nejpřísnějších norem na fasády v celé EU. Projekt CITY TOWER, jehož raritou je mimo jiné 30 500 m² prosklené fasády, splňuje všechny závazné směrnice, normy i povolení. Velký důraz je kladen na bezpečnost celého objektu. Samozřejmostí je elektrická požární signalizace, integrovaný bezpečnostní systém nebo přes 9 500 sprinklerových hlavic. Postupné dokončení projektu se plánuje v průběhu roku 2008. Generálním dodavatelem stavebních prací je konsorcium firem Metrostav a PSJ Holding.

Ministerstvo kultury České republiky koncem loňského srpna potvrdilo souhlasné stanovisko pražského magistrátu s výstavbou výškových budov na pankrácké pláni. Současně tak podpořilo názor pražských památkářů, že realizace projektů nezpůsobí konflikt s UNESCO. Toto rozhodnutí je významným krokem pro pokračování schvalovacích procesů projektů CITY EPOQUE Rezidence a EPOQUE Hotel. Autorem obou projektů je architekt Radan Hubička.

Tisková informace

Sdružení pro sanace betonových konstrukcí Združenie pre sanáciu betónových konštrukcií

pořádají

symposium



SANACE 2008

22. – 23. května 2008

Brno, Rotunda pavilonu A, Brněnské výstaviště

Symposium se orientuje přednostně na sanaci a údržbu stávajících konstrukcí. Současně však, díky novým materiálům, také na modernizaci procesů výstavby a využití nových technologických možností. Je zařazeno do akreditovaného vzdělávacího programu pro členy ČKAIT.

www.ssbk.cz

STAVEBNÍ OBZOR

ROČNÍK 17 ČÍSLO 05/2008

Navigace v dokumentu

OBSAH

Makovička, D. – Makovička, D. jr. Princip dynamického filtru pro snížení přenosu vibrací z podloží do konstrukce	129
Pavlík, Z. – Jerman, M. – Černý, R. Návrh a posouzení vnitřního tepelně izolačního systému na bázi hydrofilní minerální vlny	134
Toman, J. Měření teplotního spádu uvnitř materiálu	138
Jokl, M. Hodnocení tepelného stavu prostředí na základě skutečných pocitů člověka	141
Čápková, D. – Hauveisen, M. Výstavba cyklostezek v ČR	148
Urban, R. – Štroner, M. Prostorový skenovací systém s virtuálními binárními značkami	151
Štroner, M. – Pospíšil, J. Zhuštění neskenovaných mračen bodů daty z digitálního snímku	156

5 • 2008

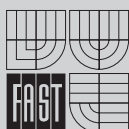
ročník 17

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



Fakulta stavební
VUT v Brně



Fakulta stavební
VŠB TU-Ostrava



Česká komora autorizovaných
inženýrů a techniků

OBSAH

- Makovička, D. – Makovička, D. jr.
**Princip dynamického
 filtru pro snížení
 přenosu vibrací
 z podloží
 do konstrukce** 129
- Pavlík, Z. – Jerman, M. – Černý, R.
**Návrh a posouzení
 vnitřního tepelně
 izolačního
 systému na bázi
 hydrofilní
 minerální vlny** 134
- Toman, J.
**Měření teplotního
 spádu uvnitř
 materiálu** 138
- Jokl, M.
**Hodnocení tepelného stavu
 prostředí na základě
 skutečných pocitů
 člověka** 141
- Čáповá, D. – Hauveisen, M.
**Výstavba cyklostezek
 v ČR** 148
- Urban, R. – Štroner, M.
**Prostorový skenovací systém
 s virtuálními binárními
 značkami** 151
- Štroner, M. – Pospíšil, J.
**Zhuštění naskenovaných
 mračen bodů daty
 z digitálního
 snímku** 156

CONTENS

- Makovička, D. – Makovička, D. jr.
**Principle of the Dynamic
 Filter for the Reduction
 of Vibrations Transfer
 from the Subsoil
 to the Structure** 129
- Pavlík, Z. – Jerman, M. – Černý, R.
**Design of an Interior Thermal
 Insulation System
 on the Hydrophilic
 Mineral Wool Basis
 and Verification
 of its Functionality** 134
- Toman, J.
**Measurement of the
 Temperature Gradient inside
 Material** 138
- Jokl, M.
**Assessment of the Thermal
 Condition of the Environment
 Based on Real Human
 Feelings** 141
- Čáповá, D. – Hauveisen, M.
**Construction of Cycling Paths
 in the Czech Republic** ... 148
- Urban, R. – Štroner, M.
**Spatial Scanning System
 with Virtual Binary
 Targets** 151
- Štroner, M. – Pospíšil, J.
**Compression of Scanned
 Point Clouds by Means
 of Data from a Digital
 Picture** 156

INHALT

- Makovička, D. – Makovička, D. jr.
**Das Prinzip eines dynamischen
 Filters zur Reduzierung der
 Übertragung von Vibrationen
 aus dem Untergrund
 in die Konstruktion** 129
- Pavlík, Z. – Jerman, M. – Černý, R.
**Entwurf eines inneren
 Wärmedämmsystems
 auf Basis hydrophiler
 Mineralwolle
 und Beurteilung seiner
 Funktionsfähigkeit** 134
- Toman, J.
**Messung des Wärmegefälles
 innerhalb eines
 Materials** 138
- Jokl, M.
**Bewertung des
 Wärmezustands des Milieus
 aufgrund der tatsächlichen
 Gefühle des Menschen** .. 141
- Čáповá, D. – Hauveisen, M.
**Der Bau von Radwegen
 in Tschechien** 148
- Urban, R. – Štroner, M.
**Räumliches Scannsystem
 mit virtuellen binären
 Zeichen** 151
- Štroner, M. – Pospíšil, J.
**Verdichtung gescannter
 Punktwolken durch
 Daten aus einer
 Digitalaufnahme** 156

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 lektorovaný 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 14. 4. 2008 Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

Princip dynamického filtru pro snížení přenosu vibrací z podloží do konstrukce

doc. Ing. Daniel MAKOVÍČKA, DrSc.
ČVUT – Kloknerův ústav
Praha

Ing. Daniel MAKOVÍČKA
Statika a dynamika konstrukcí
Kutná Hora

Pro snížení přenosu vibrací z podloží do základových konstrukcí je výhodné provést na rozhraní obou prostředí dynamický filtr. Jeho principem je vytvoření vhodné vrstevnaté konstrukce, která umožní při průchodu vlnění tímto souvrstvím snížení intenzity vibrací. Vrstevnatá konstrukce je vyskládaná z vrstev s velkou a s velmi malou objemovou hmotností a také s vysokou a nízkou rychlostí šíření vlnění těmito vrstvami. Na příkladu konkrétní budovy je uveden princip návrhu dynamického filtru a ověření jeho účinnosti po dostavbě objektu na základě provedených měření vibrací od dopravy po přilehlé komunikaci.

Úvod

Pro snížení přenosu vibrací do konstrukcí budov, které jsou bezprostředně ohroženy vibracemi od technické seizmicity [2], [3], působené např. účinky dopravy, odstřely v lo-mech, vibracemi od základů těžkých strojů s dynamickými účinky apod., bývá vhodné vybudovat ve směru k vozovce nebo jinému zdroji vibrací dynamický filtr. Je-li vytvořen vrstevnatou konstrukcí, může být proveden v odstupu několika metrů od budovy nebo navazovat na její základovou konstrukci. V půdorysu musí jako zastínění přesahovat rozměr objektu o několik metrů na obě strany.

Pro osazení svislého dynamického filtru lze zpravidla využít přesah stavební jámy ve srovnání s půdorysem základů konstrukce, v případě hotových konstrukcí je nutné provést výkop před čelní fasádou. Hloubka výkopu bývá do 1 m pod úroveň základové spáry domu. Pokud je hladina spodní vody nad úroveň založení, musí být výkop pro konstrukci filtru důsledně odvodněn, jinak jeho budování ztrácí smysl. Případně se dynamický filtr pro budovy s více podzemními podlažními, která jsou pod hladinou podzemní vody, navrhuje jen od povrchu terénu po přibližně úroveň hladiny podzemní vody tak, aby jeho účinnost byla zaměřena především na omezení přenosu povrchového vlnění.

Vrstevnatá konstrukce filtru, resp. její výrazně hmotné vrstvy, jsou navrhovány buď jako zděné ve dvou nebo více řadách (vrstvách), nebo jako železobetonové stěny tloušťky

minimálně 150 mm. Prostor mezi těmito výrazně hmotnými vrstvami stěn se vyplňuje lehkým porézním materiálem, alespoň stejné tloušťky. Na dno výkopu se ukládá drenážní potrubí pro odvod srážkové vody nebo snížení hladiny spodní vody. Voda proniklá do konstrukce filtru musí mít možnost vytéci, proto by měla být konstrukce odvodněna. Povrch filtru se obvykle zakrývá asfaltovou fóliovou izolací, bránící zatékání vody shora. Překrýt ji lze tenkou (do 150 mm) zatračněnou plochou nebo betonovou dlažbou do pískového lože. Nevhodné je zabetonování až po obvodové stěny konstrukce nebo zakrytí keramickou dlažbou do podkladního betonu s výplní spár mezi dlažebními prvky na bázi cementů apod.

Využití dynamického filtru není omezeno jen pro svislé plochy, ale lze jej použít i pro vodorovné konstrukce v základové spáře. Skladba ve formě vrstevnaté konstrukce je obdobná jak pro svislý, tak vodorovný směr. Je však nutné posoudit únosnost jeho vrstev na zatížení budovou pro vodorovné filtry a zemním tlakem pro svislé filtry.

Princip filtru

Princip je založen na snížení přenosu vibrací vrstvami s výrazně odlišnými mechanickými vlastnostmi. Počet vrstev určuje efektivnost filtru. Zpravidla se používají konstrukce složené ze tří až pěti vrstev, přičemž jednotlivé vrstvy jsou mezi sebou chráněny fólií, např. geotextilií, proti proražení. Dynamický filtr musí být chráněn proti zaplnění vodou, může tam voda natéci, ale musí mít možnost vytéci, proto by měl být budován nad hladinou spodní vody nebo odvodněn.

Princip dynamického filtru vychází z teorie šíření vlnění vrstevnatým prostředím s různým akustickým odporem. Jestliže použijeme pro vysvětlení teorie šíření vibrací v jednorozměrném prostředí [1], pak o efektivnosti dynamického filtru rozhoduje poměr procházejících tlaků (vlnění) p z prostředí a do prostředí b , tedy

$$p_b / p_a = 2 / [1 + (\rho_a \cdot c_a) / (\rho_b \cdot c_b)] = k_{a,b},$$

kde $k_{a,b}$ je konstanta přenosu;

ρ_a, ρ_b – objemová hmotnost prostředí (vrstvy) a, b ;

c_a, c_b – rychlost šíření podélného vlnění v prostředí a, b ;

- $A_a = \rho_a \cdot c_a$ – akustický odpor prostředí a ;
 $A_b = \rho_b \cdot c_b$ – akustický odpor prostředí b ;
 p_a – akustický tlak ve výchozím (počátečním) prostředí, např. v podloží;
 p_b – akustický tlak v prostředí b po průchodu rozhraním a/b .

Obecně průchodem vlnění n vrstevnatou konstrukcí dostaneme výsledný tlak

$$p_{\text{výsl}} = (k_1 \cdot k_2 \cdot \text{až } k_n) \cdot p_a \cdot$$

O účinnosti dynamického filtru tedy rozhoduje poměr akustických odporů prostředí A ve filtru prostrádaných. Pro informaci jsou charakteristiky vybraných materiálů možných vrstev prostředí uvedeny v *tab. 1*.

Tab. 1. Charakteristiky prostředí a jejich akustický odpor

Prostředí	ρ [kg/m ³]	c [10 ³ · m/s]	$A = \rho \cdot c$ [10 ³ · kg/m ² s]
beton	2 500	2,80 (podle struktury)	7 000
zdivo	1 600	2,10 (podle struktury)	3 360
štěrkopísky	1 800	0,60 (podle struktury)	1 080
perlit (ep 100)	90	0,90 (podle velikosti pórů)	81
heraklit	700	2,10 (podle zaplnění pórů cementem)	1 470
pryže	1 200	0,16 (přibližně)	192
vlhká hlína	1 700	1,50 (podle struktury)	2 550
polystyren	35,3 až 50	0,70 až 0,90 (podle struktury)	25 až 45

Svislá konstrukce dynamického filtru může být navázána bezprostředně na obvodovou suterénní zeď – stěnu objektu. Filtr lze umístit před rubovou hydroizolací nebo za ni; v případě, že objekt rubovou hydroizolací chráněn není, je nutné zajistit druhotnou hydroizolaci. V městských aglomeracích lze filtr umístit na pažení základové jámy opatřené ztraceným bedněním na bázi pilot apod. I zde je nutno zajistit jeho ochranu z obou stran geotextilií a hydroizolací. Zbývající prostor mezi filtrem a stěnou objektu lze vyplnit zásypaním zeminou nebo štěrkokopísky. Materiály s nižší objemovou hmotností jsou vhodnější. Pokud se použije štěrkokopisková směs, nesmějí ostré hrany kameniva poškodit hydroizolační vrstvu (to je důvod vkládání geotextilie).

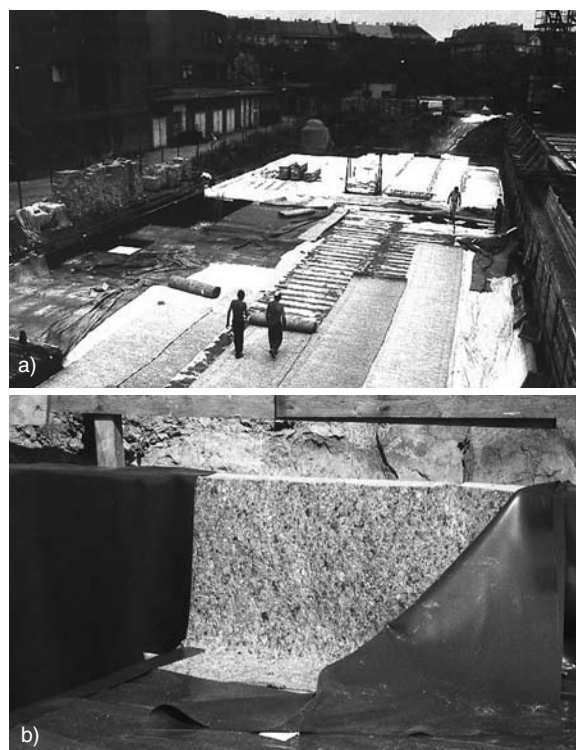
Na kontaktu s povrchem je vhodné filtr zakrýt proti zatekání srážkové vody a ukončit betonovou dlažbou uloženou do písku nebo zakrýt zatravněnou vrstvou nezpevněné zeminy předzahrádky nebo minimálně pružným asfaltovým tmelem. Na trhu jsou standardně vyráběné materiály pro lehké porézní vrstvy filtru:

– expandovaný perlit je jemně pórovité kamenivo bílé barvy, vyráběné ve frakcích 0-0,2 a 0-4 mm. Má velkou izolační schopnost, jeho nevýhodou je značná nasákavost. Tvarované polyetylenové fóliové matrace, plněné expandovaným perlitem, se vyrábějí v rozměru 150 × 50 × 8 cm (pokrytá plocha je 0,75 m²). Jejich výhodou je, že perlit není při pokládce rozfoukáván větrem. V minulosti jej autoři použili pro návrh vodorovného filtru v základové spáře budovy nemocnice ležící nad tunelem metra (*obr. 1*). Filtr byl tvořen v pořadí odspoda nahoru betonovou deskou základové vany,

perlitovými matracemi, na nich osazenými prefabrikovanými stropními deskami, znovu perlitovými matracemi a vrchní deskovou konstrukcí základové vany. Jednotlivé vrstvy byly odděleny asfaltovými izolačními pásy a geotextilií; – pórovitá lehčená kameniva typu agloporit, keramzit, expandit a další jsou zpravidla vhodná svou pórovitou strukturou, nízkou objemovou hmotností a v porovnání s perlitem výrazněji objemovou stálostí, ale vyšší hmotností přibližně 400-700 kg/m³; – vhodné jsou též pórovité pryže s nízkou objemovou hmotností, polystyrény apod., které jsou zpravidla cenově dostupnější.

Návrh filtru a jeho účinnost

Pro obytnou budovu v Praze, v těsné blízkosti Plzeňské ulice, byly navrhovány následující varianty skladby svislého



Obr. 1. Výstavba vodorovného dynamického filtru v základové spáře budovy v Praze 9

a – pokládání geotextilie na perlitové matrace, *b* – napojení vodorovné a svislé konstrukce filtru, kladení asfaltových pásů hydroizolace

dynamického filtru:

– železobetonová obvodová stěna podzemních podlaží objektu, bentonitová hydroizolace, extrudovaný polystyrén tloušťky 100 mm, ochranná geotextilie, štěrkopískový zásyp, ztracené dřevěné pažení základové jámy;

– železobetonová stěna podzemních podlaží objektu, bentonitová hydroizolace, vibroizolační pryžová deska tloušťky 25 mm o dynamické tuhosti 50 MPa/m, ochranná geotextilie, štěrkopískový zásyp, ztracené dřevěné pažení základové jámy;

– železobetonová stěna podzemních podlaží objektu, bentonitová hydroizolace, extrudovaný polystyrén tl. 30 mm, perlitová matrace tl. 80 mm, přízdívka z plných cihel tloušťky 100 mm, ochranná geotextilie, štěrkopískový zásyp, ztracené dřevěné pažení základové jámy.

Z tabulky 2 vyplývá, že druhá varianta je nevýhodná, protože při ní dojde místo k poklesu procházejících vibrací přibližně k jejich nárůstu, odhadem dvojnásobně. Při použití první varianty dojde k poklesu prostupující energie přibližně na 16 %, při třetí variantě přibližně na 11 %. Projektant z těchto alternativních skladeb filtru vybral první variantu.

Tab. 2. Charakteristiky přenosu k_{vysl} pro navržené konstrukční uspořádání dynamického filtru

Přestup mezi vrstvami	k_i	$k_{vysl} = k_1 \times k_2 \times \dots \times k_i$
varianta 1		
štěrkopísek / polystyrén	0,08	0,16
polystyrén / beton	1,99	
varianta 2		
štěrkopísek / pryž	1,15	1,91
pryž / beton	1,65	
varianta 3		
štěrkopísek / zdivo	1,51	0,11
zdivo / perlit	0,05	
perlit / polystyrén	0,76	
polystyrén / beton	1,99	

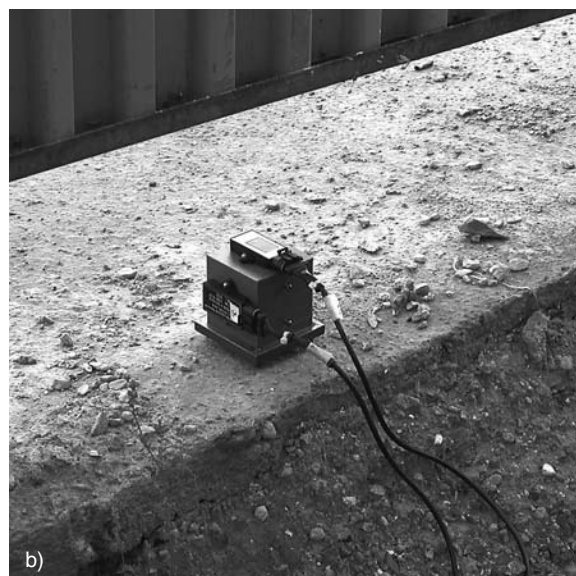
Je nutné zdůraznit, že metodika výpočtu je pouze přibližná a využívá zjednodušení na jednorozměrné systémy. Zanedbává tloušťku vrstev a případné jejich imperfekce. Chyba se pohybuje okolo 30 %, ale může být i větší v závislosti na struktuře materiálu, velikosti pórů, vlhkosti, aktuálních charakteristikách prostředí apod. Při výpočtu byl zjednodušen průchod akustické energie hydroizolací, protože jde o tenké vrstvy s relativně nejasnými charakteristikami prostředí; provedení hydroizolace je však ve prospěch snížení přenosu vibrací.

Ověřování účinnosti filtru

V době zkoušek byla budova po stavební stránce téměř dokončena, chybělo pouze dokončit dlažbu v některých chodbách, elektroinstalace ve vybraných podlažích a vodovodních a kanalizačních potrubních rozvodů. Co se týče rozdělení hmot v konstrukci, byl objekt prakticky dokončen včetně nosných i nenosných prvků. Budova nebyla obsazena, takže konstrukce budovy nebyla zatížena stálou složkou užitných zatížení. Od komunikace Plzeňské ulice byl

mezi obvodovou zdí budovy a chodníkem nezpevněný, dosud neupravený terén. Vrstvy dynamického filtru byly vytaženy nad povrch terénu a překryty geotextilií. Před vchoďovými dveřmi byla vytvořena mělká bezpečnostní betonová ochranná stěna. Vlastní chodník v Plzeňské ulici končil přibližně na úrovni stavebního oplocení pozemku (obr. 2b).

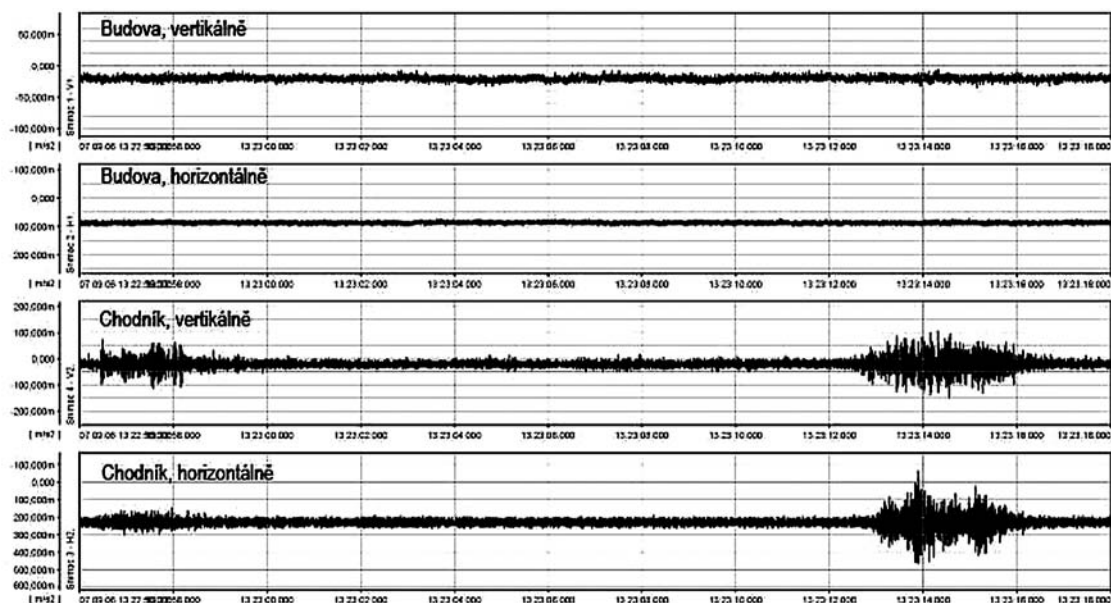
Pro měření vibrací od dopravy bylo vybráno podlaží na úrovni terénu Plzeňské ulice, a sice vstupní chodba (obr. 2a) a přilehlé byty, aby bylo možné měřit současně vibrace i na chodníku. Před měřením byly přerušeny dokončovací práce v objektu, aby vibrace od dopravy nebyly překryty vibracemi od drobných mechanismů (vrtaček, sbíječek apod.) uvnitř objektu.



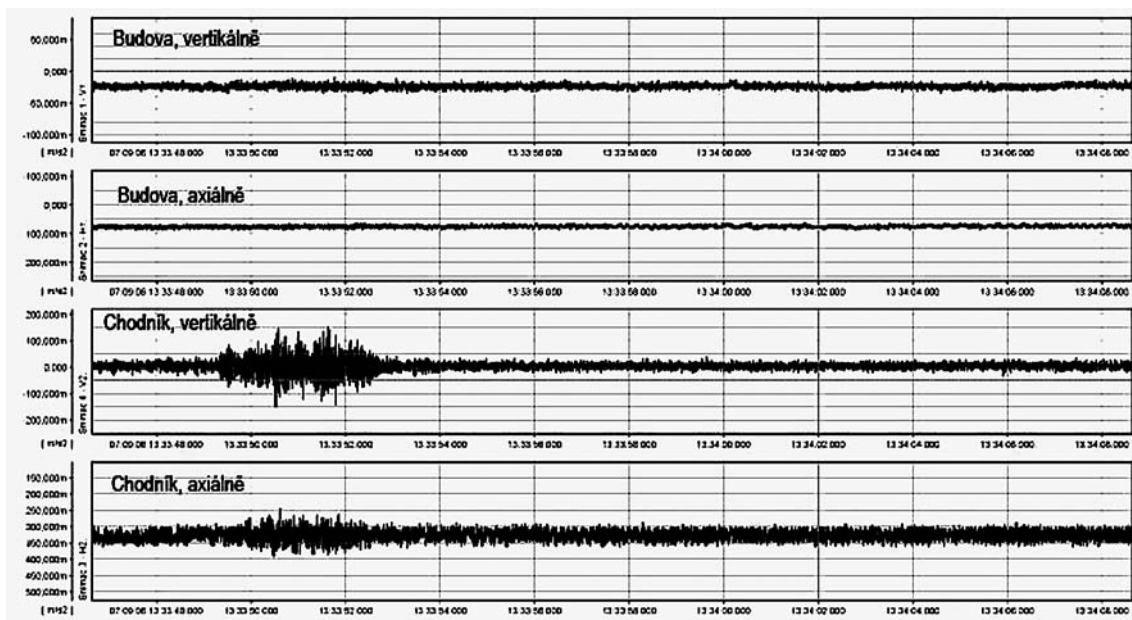
Obr. 2. Fotografie osazení měřících kostek pro měření přenosu vibrací

a – ve vstupní chodbě budovy, b – na okraji chodníku Plzeňské ulice za ohrazením staveniště

Z hlediska přenosu z ulice do budovy je zajímavé porovnání vibrací ve zrychlení ve vstupní chodbě do budovy ze strany Plzeňské ulice, kryté keramickou dlažbou, a měřením na chodníku z podkladního betonu s horní vrstvou z litého asfaltu. Chodník je původní ve stáří několika desítek let se ztuhnutým podložím umožňujícím přenos vibrací z vozovky do konstrukce chodníku. Měřeno bylo v globálních směrech pohybu (vztaženo k ose kolejí tramvají, které jsou rovnoběžné s čelní fasádou budovy). Porovnání průběhu vi-



Obr. 3. Záznam z měření časových průběhů zrychlení při přejezdu dvou tramvajových souprav po Plzeňské ulici (na počátku přejezd tramvaje po vzdálenější koleji a na konci po bližší koleji vzhledem k měřené budově) ... záznamy v chodbě budovy a na chodníku ve vertikálním a horizontálním příčném směru



Obr. 4. Záznam z měření časových průběhů zrychlení při přejezdu tramvajové soupravy po bližší koleji vzhledem k měřené budově ... záznamy v chodbě budovy a na chodníku ve vertikálním a horizontálním axiálním směru

brací je zřejmé z obr. 3 a obr. 4 a porovnání maximální úrovně výkmitů zrychlení vibrací v budově ve srovnání s chodníkem v tab. 3. Pro porovnání dynamických účinků tramvajové dopravy s jinými typy dopravy lze využít výsledky uvedené v [3]. Ze získaných výsledků vyplývají následující závěry:

a) dominantním zdrojem vibrací objektu je přejezd tramvajových souprav po Plzeňské ulici. Doprava po koleji bližší k objektu má větší účinek. Jednotlivé výchylky se mírně liší v závislosti na rychlosti přejezdu tramvaje a jejím obsazením cestujícími. Nicméně přenos vibrací od tramvajové dopravy do objektu je velmi malý, a zejména ve vyšších podlažích zaniká v šumu pozadí – přejezd tramvaje není z hle-

diska vibrační téměř pozorovatelný. Účinky přejezdu nákladních automobilů a autobusů jsou proti přejezdu tramvajových souprav výrazně nižší;

b) vliv dopravy se uvnitř objektu projevoval ve špičkových zrychleních vertikálně do 23 mm/s², horizontálně (příčně a axiálně) do 16 mm/s²;

c) efektivnost dynamického filtru na rozhraní budovy a přilehlé komunikace, uvedenou v tab. 3, lze vyjádřit poměrem špičkových výkmitů zrychlení kmitání v příslušném směru při přejezdu tramvaje, naměřených na chodníku vedle objektu a v jeho vstupní chodbě. Tento poměr je v průměru pro vertikální směr 0,085, pro horizontální příčný směr 0,046 a pro axiální směr 0,135. Při návrhu filtru byla stanovena

přibližná hodnota účinnosti filtru 0,16 (varianta 1). Z výsledků měření je zřejmé, že tento poměr – snížení přenosu vibrací je ještě výhodnější 0,135 < 0,16. Pro vertikální směr a pro horizontální příčný směr je postup vibrací z Plzeňské ulice do objektu ještě nižší. Na tom, zejména ve vertikálním směru, se podílejí nezpevněné pruhy terénu před domem (mezi chodníkem a budovou objektu);

d) chůze osob po chodbách objektu nebo v bytech vyvolávala vibrace několikanásobně vyšší, než se projevují vibrace od povrchové dopravy. Při poskocích na podlaze byly tyto vibrace řádově vyšší;

e) z hlediska posuzování vibrací bylo rozhodující kmitání velkých stropních desek ve vyšších podlažích budovy, jejichž vlastní frekvence jsou mezi 29-32 Hz v závislosti na rozpětí desek a jejich tloušťce. Na této frekvenční složce dosahují vibrace (efektivních) RMS hodnot zrychlení vertikálně do 2,1 mm/s². V horizontálním směru je tato složka nižší přibližně do 1 mm/s².

Tab. 3. Účinnost dynamického filtru při přejezdu tramvaje

Záznam číslo	Poměr maxim špičkových výkmitů zrychlení v budově a na chodníku		
	vertikálně	horizontálně příčně	horizontálně axiálně
1	0,114	0,058	–
2	0,09	0,037	–
3	0,083	0,044	–
4	0,078	–	0,087
5	0,079	–	0,148
6	0,087	–	0,172
8	0,06	–	0,133
průměr	0,085	0,046	0,135

Závěr

Stavební konstrukce budov zpravidla zesílí vibrace, které se do budovy šíří základovým prostředím. Míra tohoto zesílení (popř. zeslabení) je závislá na blízkosti frekvenčních špiček spektra buzení, tedy účinků dopravy a vlastních frekvencí kmitání budovy.

Pro daný objekt bylo v etapě zahajování výstavby provedeno měření na ztraceném bednění základové jámy a na základové desce. Z těchto měření byl proveden odhad přenosu vibrací ze základového prostředí, resp. pažení základové jámy do vlastní konstrukce budovy. Výsledkem byl nárůst vibrací vlastní konstrukce budovy ve srovnání s pažením základové jámy přibližně na trojnásobek až pětinasobek. Tento nárůst bylo možné řešit buď před zahájením výstavby návrhem vhodného pružného založení budovy [3], nebo v etapě zahájených stavebních prací provedením dynamického filtru ze strany od komunikace. Rozhodnutí bylo učiněno ve prospěch dynamického filtru.

Pro správnou funkci dynamického filtru byla nutná důsledná kontrola jeho provádění; především musely být filtry přerušeny veškeré tuhé spoje – mosty mezi pažením základové jámy a vlastní základovou konstrukcí, zaměřená zejména na kontrolu zásypu s vyloučením velkých valounů nebo kusů betonu, tuhého neizolovaného vstupu potrubí a ostatních vedení do objektu apod. Dále bylo pečlivě kon-

trolováno odvodnění vrstev filtru, měření přenosu vibrací mezi komunikací a budovou po dostavbě ukázalo, že tato cesta byla efektivní a vhodná.

Práce na této problematice byla podporována projektem č. 103/08/0859 GA ČR „Odezva konstrukcí při statických a dynamických zatíženích působených přírodní a lidskou činností“ s pokračováním podpory projektem č. 103/06/1521 GA ČR „Spolehlivost a rizika konstrukcí v extrémních podmínkách“.

Literatura

- [1] Koloušek, V. a kol.: Stavební konstrukce namáhané dynamickými účinkami. Bratislava, SVTL 1967.
- [2] Makovička, D. – Makovička, D.: Response Analysis of Building Loaded by Groundborne Transient Vibration. In: III. European Conference on Computational Mechanics, Solids, Structures and Coupled Problems in Engineering. National Laboratory of Civil Engineering, Dordrecht, Springer 2006, p. 748 + 11 pp on CD.
- [3] Makovička, D. – Makovička, D.: Determination of Seismic Transport Effects on Buildings. In: Brebbia, C. A.: Earthquake Resistant Engineering Structures VI. Southampton, WIT Press 2007, pp. 353-362.

Makovička, D. – Makovička, D. jr.: Principle of the Dynamic Filter for the Reduction of Vibrations Transfer from the Subsoil to the Structure

In order to decrease vibrations transfer from the subsoil to the foundation structures, it is advisable to create a dynamic filter at the boundary of both systems. It is based on the generation of a suitable layered structure which will facilitate the reduction of the intensity of vibrations during the passage through this formation. The layered structure is composed of layers with a high and very low bulk density and also a high and low speed of vibrations propagation through these strata. The principle of the design of the dynamic filter and the verification of its efficiency is shown in the example of a specific building after the construction completion based on measurements of vibrations from traffic along the adjacent road.

Makovička, D. – Makovička, D. jr.: Das Prinzip eines dynamischen Filters zur Reduzierung der Übertragung von Vibrationen aus dem Untergrund in die Konstruktion

Zur Reduzierung der Übertragung von Vibrationen aus dem Untergrund in Fundamentkonstruktionen ist es vorteilhaft, an der Schnittstelle beider Milieus einen dynamischen Filter auszuführen. Dessen Prinzip ist die Ausbildung einer Schichtenkonstruktion, die beim Durchgang der Schwingungen durch dieses Schichtensystem eine Reduzierung der Intensität der Vibrationen ermöglicht. Die Schichtenkonstruktion wird aus Schichten mit großer und mit sehr geringer Dichte und auch mit sehr großer und sehr geringer Ausbreitungsgeschwindigkeit der Schwingungen durch diese Schichten aufgebaut. Am Beispiel eines konkreten Gebäudes werden das Prinzip des Entwurfs eines dynamischen Filters und die Erprobung seiner Wirksamkeit nach der Fertigstellung des Objektes aufgrund durchgeführter Messungen der Vibrationen aus dem Verkehr auf der anliegenden Straße angeführt.

Návrh a posouzení vnitřního tepelně izolačního systému na bázi hydrofilní minerální vlny

Ing. Zbyšek PAVLÍK, Ph.D.

Ing. Miloš JERMAN

prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.

*ČVUT – Fakulta stavební
Praha*

Článek se zabývá řízeným návrhem vnitřního kontaktního tepelně izolačního systému na bázi hydrofilní minerální vlny, který by měl nahradit běžně používané systémy vnitřního zateplení využívající fóliové parozábrany.

Úvod

Energetická krize v sedmdesátých letech minulého století si vynutila pozornost stavebních fyziků, projektantů i výrobců stavebních materiálů. Již nebylo možné projektovat budovy plnící především statickou funkci a vymezení prostoru. Z energetických důvodů bylo nezbytně nutné soustředit se na vnitřní pohodu uživatelů, zejména z pohledu tepelné techniky a hygienických požadavků na vnitřní prostor. Do té doby byla hygienická kvalita vnitřního prostoru budov zajišťována přirozenou infiltrací vnějšího vzduchu stavebními konstrukcemi (především spárami oken) a tepelné ztráty byly doplňovány vytápěcími systémy [1]. Tento stav však nebyl trvale udržitelný. Jelikož došlo k výraznému navýšení nákladů na vytápění, což je samozřejmě i současný problém, bylo nutné se zabývat možnostmi zateplení nejen budov nových, ale i stávajících.

Pro vývoj materiálové základny ve stavebnictví v posledních desetiletích je charakteristický prudký rozvoj materiálů pro tepelné izolace a návrh nových konstrukčních a technologických řešení s cílem omezit tepelné ztráty budov, a reagovat tak na stále přísnější požadavky tepelně technických norem. Byla vyvinuta řada tepelně izolačních systémů, které využívají nejrůznější tepelně izolační materiály, a to jak organické (pěnové plasty, korek, dřevěná vlna, sláma), tak anorganické (pěnové sklo, skleněná a minerální vlákna). Výrobky jsou specifické uspořádáním struktury, tvarem, hořlavostí, což ve vztahu k požadavkům projektantů určuje možnosti jejich aplikace v konstrukcích [2].

Pro zateplení stávajících i nově budovaných stavebních konstrukcí se používají nejčastěji vnější zateplovací systémy. Jejich výhodou je možnost vytvořit celistvou izolační vrstvu, a tím eliminovat tepelné mosty, které mohou představovat v některých případech zvýšení tepelné propustnosti konstrukce až o 40 % proti prostupu tepla samotnou izolací. Vnější tepelně izolační systém přispěje podstatně ke snížení namáhání obvodové konstrukce (zejména jejich spojů) výkyvy teplot a povětrnostními vlivy. Zateplení zvenčí se provádí buď systémy provětrávanými, nebo kontaktními. U provětrávaných systémů se vkládá tepelná izolace mezi nosné prvky roštu, který nese povrch fasády, jenž může tvořit sklo, kov, dřevo, vláknocementové šablony i keramika apod. Kontaktní systémy tvoří celek jednotlivých vrstev systému. Tepelná izolace působí v tomto případě jako nosný prvek povrchových vrstev. Povrch fasády tvoří většinou omítka, v ojedinělých případech lepený obklad.

S využitím vnitřních tepelně izolačních systémů se setkáváme v praxi zřídka. Je to způsobeno zejména tím, že jejich aplikace přináší z pohledu stavební fyziky problémy, které musí být při návrhu zateplení zohledněny a vyřešeny. Patrně největší nevýhodou představují tepelné mosty, jež nelze zcela eliminovat. Dalším problémem jsou velké teplotní rozdíly ve zdívu, které není proti výkyvům počasí zvenčí chráněno zateplovacím systémem. Při tomto způsobu může být podstatně rychleji narušováno než při zateplení zvenčí. Dochází také k menší akumulaci tepla v obvodovém plášti (vnitřní prostor rychleji chladne) a ke zmenšení vnitřního prostoru. Velkým problémem je také zabránění prostupu vodní páry z interiéru do vrstvy tepelné izolace, kde by za určitých teplot mohlo dojít k její kondenzaci. Zamezit tomu lze parozábranou, např. vložením polyetylenové fólie. Rizikem tohoto konstrukčního řešení je nebezpečí jejího mechanického porušení, které opět může být příčinou kondenzace. Především z tohoto důvodu se zabýváme návrhem nového vnitřního tepelně izolačního systému, který by toto riziko eliminoval.

Zateplení zevnitř nachází uplatnění zejména tam, kde nelze zateplení zvenčí provést. Typickým příkladem je zateplování historických objektů, kde je nutné vyhovět požadavkům památkářů na zachování architektonického vzhledu obvodového pláště. Často jsou také vnitřní tepelně izolační systémy aplikovány u budov s výrazně členěným průčelím, u kterých by vytvoření kompaktního tepelného pláště z exteriéru bylo časově a technologicky náročné.

Návrhem vnitřního izolačního systému se zabýváme již delší dobu. Během přibližně pěti let byla vyvinuta řada tepelně izolačních materiálů na bázi hydrofilní minerální vlny a retardérů vodní páry, jejichž úkolem je moderovat transport vodní páry z interiéru do tepelně izolační vrstvy zateplovacího systému [3]-[8]. Přestože výsledky výzkumu jsou velmi perspektivní, a vyústily dokonce v pilotní aplikaci navrženého systému při zateplení budovy mateřské školy, jde o systém, při jehož použití je nutné vzít v úvahu specifické podmínky zateplované konstrukce, zejména s ohledem na vlhkostní parametry materiálů zastoupených v konstrukci. Z tohoto důvodu jsme navrhli materiály, které by měly umožnit univerzální aplikaci izolačního systému bez omezujících požadavků a předpokladů.

Řízený návrh materiálů

Výsledkem návrhu jsou nové materiály či celé stavební systémy určené pro předem specifikovanou aplikaci [9]. V našem případě bylo nutné navrhnout zejména tepelně izolační materiál a materiál retardéru vodní páry. Vývoj materiálů probíhal v několika etapách. V rámci počítačové analýzy problému jsme optimalizovali vlastnosti materiálů v souladu s požadavky tepelně technických stavebních norem. Získané informace pro návrh a výrobu [10], [11] jsme předali výrobcům materiálů, kteří je při výrobě zohlednili. Výrobou tepelně izolačního materiálu se zabývala firma Rockwool, která podle požadavků dodala materiál na bázi minerální vlny

s hydrofilní úpravou. Retardér pro vodní páru byl vyroben ve spolupráci s firmou Mamut-Therm. Ve druhé fázi návrhu izolačního systému probíhalo měření jeho materiálových parametrů. Experimenty měly ověřit, zda vyprodukované materiály odpovídají zadaným požadavkům. Získané parametry byly použity jako vstupní data pro počítačové ověření funkčnosti navrženého systému [12], [13]. Simulace potvrdila správnou funkci tepelně vlhkoštní funkce izolačního systému, a proto bylo zahájeno jeho ověřování v podmínkách „semi-scale“.

Popis a princip funkce systému

Základní idea navrženého vnitřního tepelně izolačního systému spočívá v nahrazení klasické skladby zateplené vnější obvodové konstrukce (ve směru od exteriéru k interiéru) ve složení: nosná stavební konstrukce, tepelná izolace, parozábrana a vnitřní omítka skladbou: nosná konstrukce, retardér pro vodní páru na principu cementového tmelu s vysokým faktorem difúzního odporu, hydrofilní tepelná izolace na bázi minerální vlny) a paropropustná omítka.

Na základě výsledků laboratorních zkoušek a počítačových simulací byla vybrána pro aplikaci v navrhovaném systému hydrofilní minerální vlna Dachrock firmy Rockwool, materiál na bázi cementového flexibilního lepicího tmelu SM-T FLT firmy Mamut-Therm jako retardér pro vodní páru, který zároveň bude plnit funkci mechanickou při kotvení tepelně izolačních desek, a materiál SM-T VJ stejné firmy na bázi vápna jako vnitřní omítka. Pro snadnější interpretaci výsledků a lepší orientaci uvádíme v *tab. 1* základní charakteristiky materiálů [13].

Tab. 1. Základní materiálové parametry aplikovaných materiálů

Parametr	ρ	c	κ	μ	λ_{dry}	θ_{sat}	θ_{hyg}
	[kg/m ³]	[J/kgK]	[m ² /s]	[-]	[W/mK]	[vol. %]	
omítka SM-T VCJ	1 490	1 004	8,00E-09	18,00	0,87	42,0	9,5
pálená cihla	1 746	895	3,00E-07	8,50	0,69	33,0	1,5
retardér SM-T FLT	2 423	801	8,90E-01	22,45	1,60	12,2	4,7
Dachrock	60	810	5,50E-06	4,30	0,04	96,5	2,0

ρ – objemová hmotnost, c – měrná tepelná kapacita, κ – součinitel vlhkoštní vodivosti, μ – faktor difúzního odporu vodní páry, λ_{dry} – součinitel tepelné vodivosti ve vysušeném stavu, θ_{sat} – nasycený obsah vlhkosti, θ_{hyg} – hygroskopický obsah vlhkosti

Experiment „semi-scale“

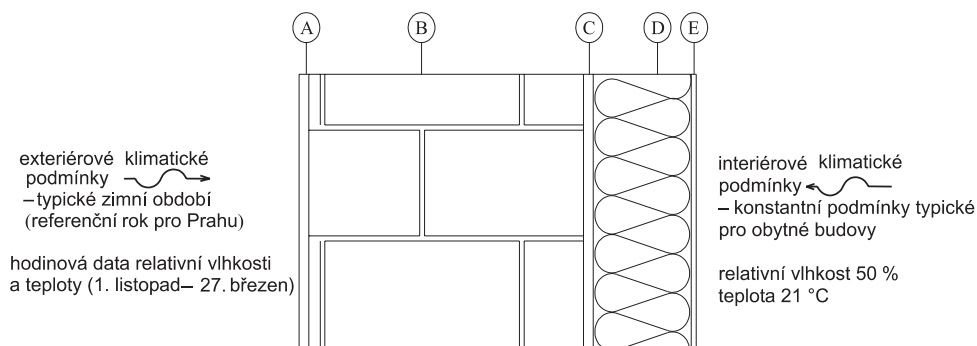
Pro simulaci reálných podmínek stavební konstrukce jsme izolační systém aplikovali na navlhčený fragment cihelné zdi tl. 300 mm. Ze schématu na *obr. 1* je zřejmá tloušťka jednotlivých vrstev systému a působení simulovaných klimatických podmínek. Konstrukce byla vystavena diferenčnímu klimatu odpovídajícímu zimnímu období, které je pro správnou funkčnost obvodových konstrukcí nejkritičtější. Na exteriérové straně byla simulována klimatická data odpovídající období od 1. listopadu do 27. března. Jako klimatická data byl použit referenční rok pro Prahu. Na straně interiéru byly nastaveny konstantní klimatické podmínky zvolené podle normových výpočetních hodnot pro obytné budovy (relativní vlhkost 50 %, teplota 21 °C).

Měřicím a simulačním systémem NONSTAT [14] byl monitorován obsah kapalně vlhkosti, relativní vlhkost a teplota. Obsah kapalně vlhkosti se měřil zařízením polské firmy Easy Test, které pracuje na principu TDR, což je mikrovlnná metoda měření relativní permitivity s frekvenčním klubkem v rozsahu 50 MHz až 2 GHz [15]. Chyba měření udávaná výrobcem je ± 2 % v rozsahu objemové vlhkosti 0-100 %. Pro měření relativní vlhkosti a teploty jsme použili senzory firmy Ahlborn (*obr. 2*). Kapacitní senzory relativní vlhkosti jsou aplikovatelné v rozsahu 5-98 % s přesností ± 2 %, teplotní odporové senzory mají přesnost $\pm 0,4$ °C v rozsahu -20 až 0 °C, v rozsahu 0 až 70 °C je přesnost měření teploty $\pm 0,1$ °C.

Výsledky a diskuze

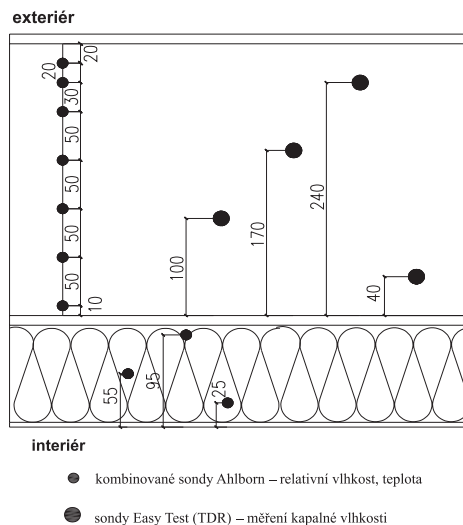
Průběh teploty po šířce zateplené cihelné konstrukce lze sledovat na *obr. 3*. Získané výsledky zřetelně demonstrují dobrou tepelně izolační funkci hydrofilní minerální vlny. Teplota vnitřního povrchu se pohybuje nad 20 °C, což plně zajišťuje vnitřní pohodu uživatelů, a zároveň vylučuje případné biologické znečištění jak vnitřního povrchu, tak vnitřního vzduchu. Přestože jednou z hlavních nevýhod vnitřních izolačních systémů je vystavení vnější nosné konstrukce nepříznivým klimatickým podmínkám, v cihelné stěně téměř nedošlo během experimentu k poklesu teplot pod bod mrazu. Toto zjištění je jistě pozitivní, zejména vzhledem k životnosti nosné konstrukce stejně jako trvanlivosti vnějších povrchových vrstev.

Profily relativní vlhkosti jsou patrné na *obr. 4*. V cihelném zdívu byla pozorována vysoká relativní vlhkost, která koresponduje s výsledky měření obsahu kapalně vlhkosti. Objemová vlhkost se pohybovala v rozsahu 3-5 % (*obr. 5*), což podle ČSN P 73 0610 [16] odpovídá velmi nízkému až

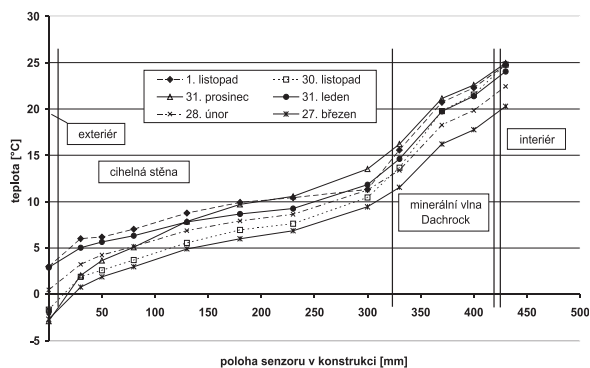


Obr. 1. Schéma konstrukce

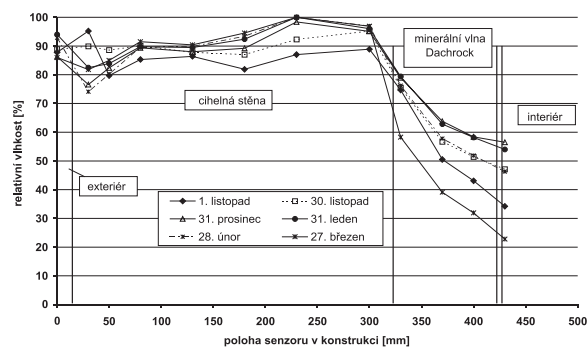
A – vápenná omítka typu SM-T VJ, Mamutherm tl. 10 mm, B – cihelná stěna tl. 300 mm, C – cementový tmel SM-T FLT, Mamutherm tl. 3 – 10 mm, D – minerální vlna Dachrock, Rockwool tl. 100 mm, E – vápenná omítka SM-T VJ, Mamutherm tl. 5 mm (vyztuženo plastovou sítí)



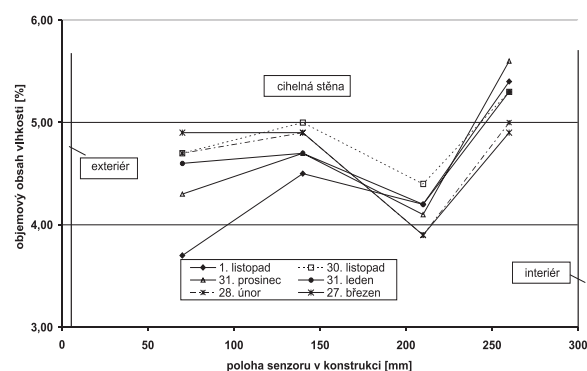
Obr. 2. Umístění senzorů v konstrukci [mm]



Obr. 3. Průběh teploty v zateplené konstrukci



Obr. 4. Průběh relativní vlhkosti v zateplené konstrukci



Obr. 5. Průběh kapalné vlhkosti v zateplené cihelné stěně

nízkému zavlhčení konstrukce. Jelikož přesnost použitých senzorů pro měření obsahu kapalné vlhkosti je $\pm 2\%$, je možné říci, že vlhkost byla v konstrukci rovnoměrně rozložena. Tato vlhkost je důsledkem částečného navlhčení konstrukce před samotnou realizací experimentu a nemohla být ze zdiva během práce odpařena, neboť jsme konstrukci zatížili klimatickými podmínkami odpovídajícími zimnímu období. Je tedy možné předpokládat, že během letního období bude z konstrukce odpařena, což potvrzují také výsledky počítačových simulací.

V celé tloušťce izolační desky Dachrock byly hodnoty relativní vlhkosti nižší než maximální hygroscopická vlhkost, díky čemuž bylo prokázáno, že aplikace navrženého systému nezpůsobí kondenzaci ve vrstvě tepelné izolace ani na jejím povrchu. Tepelně izolační schopnosti vnitřní tepelné izolace zůstanou tedy zachovány. Nevzniká ani nebezpečí vzniku plísní, které by mohly poškodit funkčnost vnitřních povrchových vrstev a snížení kvality vnitřního vzduchu.

Závěr

Prezentované výsledky představují velmi cenné informace, které přispějí k aplikaci navrženého izolačního systému ve stavební praxi. Pozitivní je rovněž zjištění, že profily relativní vlhkosti, kapalné vlhkosti a teploty jsou v dobré shodě s výsledky počítačové simulace funkčnosti navrženého systému. Díky tomu bude možné ověřit funkčnost konstrukce v širším časovém horizontu se zohledněním hysterzních jevů.

Článek vznikl za podpory projektu č. FI-IM3/188 MPO ČR.

Literatura

- [1] Hens, H.: Building Physics – Heat, Air and Moisture, Fundamentals and Engineering Methods with Examples and Exercises. Ernest & Sohn, Wiley Company 2007, p. 267.
- [2] Svoboda, L. – Tobolka, Z.: Stavební izolace. Technická knižnice autorizovaného inženýra a technika. Praha, ČKAIT 1994.
- [3] Pavlík, Z. – Jiříčková, M. – Pavlík, J. – Černý, R.: Interior Thermal Insulation System Based on Hydrophilic Mineral Wool. Journal of Building Physics, Vol. 29, No. 1, 2005, pp. 21-35.
- [4] Pavlík, Z. – Felix, M. – Černý, R.: Semi-Scale Testing and Computer Simulations of Hygrothermal Performance in Moisture Management of Building Envelopes. Proceedings of CIB World Building Congress, Ottawa: IRC NRC, 2004, pp. 79-1-79-11.
- [5] Pavlík, Z. – Jiříčková, M. – Pavlík, J. – Černý, R.: Vnitřní tepelně-izolační systém na bázi hydrofilní minerální vlny. Tepelná ochrana budov, 7, 2004, č. 1, s. 17-22.
- [6] Pavlík, Z. – Pavlík, J. – Černý, R.: INROCK – vnitřní tepelně-izolační systém na bázi hydrofilní minerální vlny. Tepelná ochrana budov. Praha, Contour 2004, s. 123-129.
- [7] Pavlík, Z. – Jiříčková, M. – Černý, R.: Ověření funkčnosti nového vnitřního tepelně-izolačního systému na bázi kapilárně aktivní minerální vlny. Stavební obzor, 12, 2003, č. 1, s. 6-9.
- [8] Pavlík, Z. – Maděra, J. – Jiříčková, M. – Černý, R.: Hygrothermal Testing of Building Envelopes in Semi-Scale Conditions. Research in Building Physics, Lisse: A. A. Balkema Publisher 2003, pp. 389-396.
- [9] Maděra, J.: Počítačová analýza optimálních tepelných a vlhkostních vlastností materiálů a systémů pro vnitřní tepelnou izolaci historických budov. [Doktorská dizertační práce], ČVUT, Praha, 2003.

- [10] Jerman, M. – Maděra, J. – Černý, R.: Computational Design of the Properties of Water Vapor Retarders for Interior Thermal Insulations. CTU Reports - Proceedings of Workshop, CTU, 2007, pp. 340-341.
- [11] Jerman, M. – Tesárek, P. – Černý, R.: Properties of Water Vapor Retardere. Computational and Experimental Analysis of Structure and Properties of New Building Materials from Nano- to Macrolevel IV. ČVUT, Praha, 2007, pp. 45-50.
- [12] Jerman, M. – Maděra, J. – Černý, R.: Computational Simulation of Hydrothermal Performance of Interior Thermal Insulation System Based on Advanced Types of Hydrophilic Mineral Wool. Computational and Experimental Analysis of Structure and Properties of New Building Materials from Nano- to Macrolevel V. ČVUT, Praha, 2007, pp. 95-104.
- [13] Jerman, M. – Maděra, J. – Černý, R.: Počítačová analýza přenosu tepla a vlhkosti v obvodovém pláští. Construmat 2007 [CD-ROM]. Ostrava, VŠB - Technická univerzita, 2007, pp. 334-337.
- [14] Pavlík, Z. – Jiříčková, M. – Černý, R.: System for Testing the Hygrothermal Performance of Multi-Layered Building Envelopes. Journal of Thermal Envelope and Building Science, 2002, (3/25), pp. 239-249.
- [15] Pavlík, Z. – Černý, R.: Application of TDR Measurement Technology for Construction Materials in Semi-Scale Experiments, A Practical Example. International Agrophysics, pp. 57-60.
- [16] ČSN P 73 0610 Hydroizolace staveb – Sanace vlhkého zdiva – Základní ustanovení. ČSNi, 2000.

Pavlík, Z. – Jerman, M. – Černý, R.: Design of an Interior Thermal Insulation System on the Hydrophilic Mineral Wool Basis and Verification of its Functionality

The presented paper introduces controlled design of an interior thermal insulation system on the basis of advanced hydrophilic mineral wool which is supposed to replace commonly used interior thermal insulation systems with a water vapour barrier.

Pavlík, Z. – Jerman, M. – Černý, R.: Entwurf eines inneren Wärmedämmsystems auf Basis hydrophiler Mineralwolle und Beurteilung seiner Funktionsfähigkeit

Der Artikel befasst sich mit dem gesteuerten Entwurf eines inneren Wärmdämmverbundsystems auf Basis hydrophiler Mineralwolle, das die üblicherweise angewandten inneren Wärmedämmsysteme mit Benutzung einer Foliendampfsperre ersetzen soll.

Česká betonářská společnost ČSSI
www.cbsbeton.eu
a
ČBS Servis, s. r. o.
www.cbsservis.eu

7. konference
TECHNOLOGIE BETONU
Technologie, provádění a kontrola
betonových konstrukcí
2008

1993 - 2008
15 let

28. a 29. května 2008
Pardubice, Dům hudby

• dizertace



Strain Development under Cyclic Loading

Ing. Marek Foglar

Dizertace přináší nové poznatky o únavě betonu, přičemž se vychází z rozsáhlé rešerše, experimentů a numerických analýz. Závěry práce umožňují praktické použití například v předpovědi vývoje průhybu betonového mostu v čase.

Revize výpočetních postupů pro určování součinitele prostupu tepla okenních ráámů

Ing. Michael Pexidr

Práce řeší vliv konstrukčního řešení funkční spáry otvorových výplní na tepelně technické vlastnosti ráámů těchto výplní. Je založena na porovnání výpočtu a normových zkoušek a konstatuje, že výsledky současných výpočtů nejsou objektivní. Dizertant proto navrhl modifikaci výpočtu tak, aby se výsledky blížily výsledkům ze zkušeben.

Identification of Nonlinear Mechanical Model Parameters Based on Softcomputing Methods

Ing. Anna Kučerová

Práce je významným příspěvkem ke klasifikaci softcomputingových metod pro parametrickou identifikaci nelineárních mechanických modelů. Dizertace byla obhájena na vysoké škole ve Francii a FSv tuto práci uznala jako doktorskou.

Měření teplotního spádu uvnitř materiálu

prof. Mgr. Jan TOMAN, DrSc.

ČVUT – Fakulta stavební
Praha

Předkládané řešení se týká uspořádání měření pro určení teplotního spádu uvnitř materiálu. Cílem je nalézt způsob, jak změřit bodovou teplotu uvnitř kompaktního materiálu či konstrukce vystavených teplotnímu spádu.

Úvod

Nejprve je třeba poznamenat, že v dnešní době, kdy je nutno respektovat nejen ekonomické, ale i ekologické podmínky technických řešení, je třeba znát fyzikálně technické parametry, které objektivně popisují užité vlastnosti používaných materiálů. V rámci obecně tepelně technických oborů, jako je vytápění, tepelné izolace, řešení otázek vlhkostních, větrání apod., a tím spíše v podmínkách horkých a vysokoteplotních provozů, je nutné znát rozložení teplotních polí. To ovšem vyžaduje umět měřit bodovou teplotu uvnitř kompaktních materiálů i uvnitř konstrukcí.

Dosavadní postup byl poměrně obtížný, zvláště u tuhých kompaktních materiálů. Do určitých bodů uvnitř materiálu se vkládala teplotní čidla, např. vpichem čidla elektrického teploměru či navrtáním otvoru a následným osazením čidla. Kromě technických problémů s osazením, aby byl dobrý tepelný kontakt mezi čidlem a materiálem, byla velice složitá i přesná lokalizace bodu, ve kterém se teplota bude měřit, a propojení tohoto bodu s vyhodnocovací jednotkou pro přenos signálu.

Technické uspořádání

Výše uvedené nedostatky odstraňuje nově navrhované uspořádání pro určení teplotního spádu uvnitř materiálu [1]. Jeho podstatou je systém termočlánků umístěných do elektricky nevodivého materiálu. První a druhý vodič termočlánku, které jsou z rozdílných kovů, jsou bodově svařeny. K těmto vodičům jsou pak připojeny spojovací vodiče, jimiž jsou termočlánky napojeny na milivoltmetr či měřicí ústřednu.

Popis čidla

Při realizaci přípravku je výhodné použít termočlánek chromel-alumel s teplotní citlivostí $40 \text{ mV} \cdot \text{K}^{-1}$ v teplotním intervalu -180 až $300 \text{ }^\circ\text{C}$ [2]. Aby se zaručilo dokonalé propojení obou kovů tvořících termočlánek hlavně z hlediska elektrického, bylo použito bodové svařování. Protože je však tento spoj poměrně křehký, při následné manipulaci docházelo často k jeho rozlomení. Aby se tomu zamezilo, bylo spojení zpevněno obletováním speciální pájkou s vysokým bodem tání, čímž se podstatně zvýšila jeho pevnost. Objem vlastního čidla se sice zvětšil na kuličku $\varnothing 1,5 \text{ mm}$, to ale vzhledem k uváděným tepelným vlastnostem kovů a velikosti vzorku v podstatě nezměnilo schopnost spoje registrovat bodovou teplotu.

Základní provedení přípravku znázorňuje schéma na obr. 1. Vodič 1 je bodově svařen s vodičem 2. Bodový svar obou

kovů termočlánku je zpevněn pájkou s vysokým bodem tání (např. stříbrnou) tak, že průměr čidla je $1,2$ – $1,5 \text{ mm}$. Na svaru je tedy vytvořen překrývací spoj 3. Vodič 1 termočlánku je opatřen přírodním spojovacím drátem 10, vodič 2 termočlánku spojovacím drátem 20. Těmi je pak přípravek připojován k měřidlu, milivoltmetru či měřicí ústředně. Vodič 1 a vodič 2 mají $\varnothing 0,8$ – $1,0 \text{ cm}$, aby byla dostatečná prostorová stabilita navrhovaného systému a nedošlo k porušení konfigurace jednotlivých měřicích míst. Hotový přípravek je třeba zabudovat v přesně určené poloze do materiálu. Podle druhu materiálu se volí i různý postup.



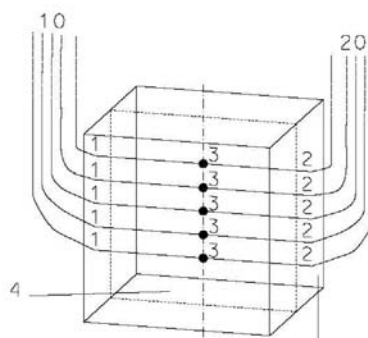
Obr. 1. Schéma termočlánku

1 – první vodič, 2 – druhý vodič, 3 – čidlo přeletované pájkou, 10, 20 – přírodní vodiče

Zabudování čidla

■ Měkké materiály

U měkkých druhů, jako jsou minerální vlny, polystyreny apod. (obr. 2), se propíchne materiál 4 vodičem 1 (nebo vodičem 2) o $\varnothing 0,8$ – 1 mm , aby bylo možné změřit hloubku vnoření termočlánku do materiálu, a tím přesně určit místo, ve kterém bude registrována teplota. Lze použít více termočlánků, které jsou do materiálu vtlačovány, až vodiče 1 vystoupí na opačném povrchu vzorku, a dále jsou vytahovány, aby se termočlánky umístily do požadované polohy uvnitř daného materiálu.



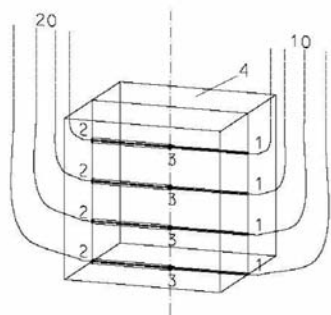
Obr. 2. Umístění termočlánků v měkkém materiálu

1 – první vodič, 2 – druhý vodič, 3 – čidlo přeletované pájkou, 4 – proměřovaný materiál, 10, 20 – přírodní vodiče

■ Tvrdší materiály

U materiálů, jako je dřevo, plasty apod. (obr. 3), se v daném místě vyvrtá otvor nepatrně většího průměru, než je průměr přípravku, tedy $1,5$ – $2,0 \text{ mm}$. Pokračuje se až na druhou stranu materiálu vrtákem menšího průměru (cca 1 mm), aby otvorem bylo možné prostrčit pouze vodič 1 (nebo vodič 2) termočlánku. Dotažením pak čidlo termočlánku, které je pod

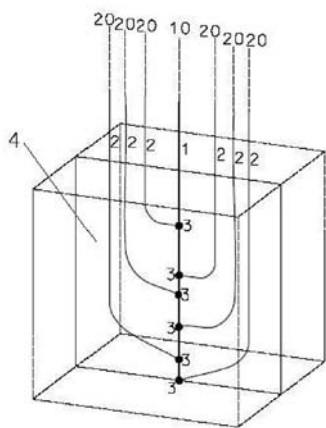
překrývacím spojem 3, dosedne ke stěně na počátku otvoru menšího průměru, čímž je zajištěn dobrý tepelný kontakt čidla a materiálu v určené poloze.



Obr. 3. Umístění termočlánků do tvrdších materiálů
1 – první vodič, 2 – druhý vodič, 3 – čidlo přeletované pájkou,
4 – proměřovaný materiál, 10, 20 – přívodní vodiče

■ Ztvrdlé lité materiály

U ztvrdlých litých materiálů, jako jsou betony, kompozity, sádky apod., ve kterých je obtížné vrtat otvory tak malých průměrů, je nutné osadit čidla již při výrobě vzorků či vytváření konstrukcí. Protože však při tuhnutí a zhuňování směsi by se těžko udržela nastavená poloha čidla, bylo navrženo stromečkové uspořádání (obr. 4). Termočlánek je vytvořen ve stromečkové konfiguraci, kdy vodič 1 jednoho kovu tvoří kmen, který je společným pólem pro všechna měřená místa. Tato místa jsou určena připojením druhého pólu termočlánku tvořeného vodičem 2 do předem zvolených míst a tvořícím větve stromečkové konfigurace. Lze tedy říci, že v měřených místech se nachází právě překrývací spoj.



Obr. 4. Systém termočlánků „stromeček“ zalitý do ztvrdlého materiálu
1 – první vodič, 2 – druhý vodič, 3 – čidlo přeletované pájkou,
4 – proměřovaný materiál, 10, 20 – přívodní vodiče

Při ověřování funkce přípravku bylo stanoveno, že bude-li vzdálenost jednotlivých měřicích míst na kmenu systému 1 cm a více, nedojde ke zkrácení teploty tím, že v proměřovaném směru je vlastně kov termočlánku. Při tloušťce drátu obou vodičů 1 mm a méně a při jejich dobrém kontaktu s materiálem je i při větší tepelné vodivosti kovů termočlánků než materiálu vzhledem k zanedbatelné ploše jejich průřezu spád teploty určován převážně jeho tepelnými vlastnostmi. Chyba způsobená vložením měřicího systému do materiálu je hlavně pro malý hmotnostní i objemový poměr systému a materiálu, jejich dobrý tepelný kontakt a při minimální

vzdálenosti 1 cm jednotlivých čidel, která jsou pod překrývacími spoji, zanedbatelná. Použijí-li se termočlánekové dráty pro dané kovy \varnothing 1 mm, bude celý systém dostatečně tuhý a nedojde k jeho deformaci při tuhnutí ani při zhuňování materiálu ve formě při výrobě vzorku. Poloha bodů, ve kterých je teplota sledována, je potom přesně definována.

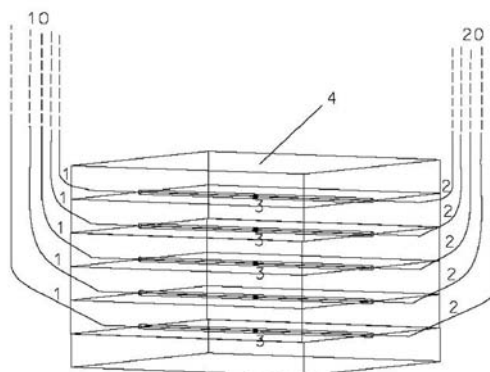
Takový systém lze zabudovat i do konstrukce, ve které se bude teplotní pole sledovat. Přípravek se umístí do formy, popř. do bednění dřívě, než se začne naplňovat tekutým materiálem. Vzhledem k tomu, že je dostatečně pevný, se při dobrém ukotvení k bednění při tuhnutí materiálu ani při jeho zhuňování vibrací neporuší jeho konfigurace. Tak je i po zatvrdnutí možné určit přesnou polohu bodů v materiálu či konstrukci.

■ Tvrdé kompaktní materiály

V materiálech, u kterých není možné použít systém popsáný pro tvrdší materiály (tvrdé kamenivo, keramiku apod.), je nutné vyvrtat otvor většího průměru. Na jeho dno se umístí termočlánek a přívodní vodiče se otvorem vyvedou. Termočlánek se zajistí utěsněním otvoru materiálem z vývrtu.

■ Deskové materiály

U deskových materiálů nebo sendvičovém uspořádání systému, kde je proměřován spád teploty ve směru tloušťky desek, se vloží jednotlivé termočlánek mezi desky, ze kterých je vzorek utvořen. U měkkých materiálů, jako jsou polystyreny, hobry apod., se přípravek zamáčkne do jejich povrchu a poloha teplotního čidla, tedy jeho vzdálenost od teplotně namáhaného povrchu vzorku, je daná jejich tloušťkou. V deskách z tvrdých materiálů, jako jsou betonové kompozity, keramiky apod., je nutné pro čidlo termočlánku včetně překrývacího spoje i pro vodič 1 a vodič 2 vybrousit drážky, aby nedošlo k porušení přímého kontaktu jednotlivých desek (obr. 5).



Obr. 5. Systém termočlánků mezi deskami
1 – první vodič, 2 – druhý vodič, 3 – čidlo přeletované pájkou,
4 – proměřovaný materiál, 10, 20 – přívodní vodiče

Výhodou těchto řešení je možnost přesného určení polohy bodu, ve kterém se měří teplota milivoltmetrem nebo měřicí ústřednou [3]. Bodovou teplotu čidel je tak možné spolehlivě určit s přesností 0,1 °C v libovolném čase. Protože tepelná kapacita čidla je velice malá a tepelná vodivost obou kovů termočlánku je v porovnání se stavebními materiály značná, je jeho teplotní setrvačnost zanedbatelná. I jeho rozměry jsou vzhledem k rozměrům sledovaného objektu zanedbatelné. Proto je možné prohlásit, že při dobrém tepelném kontaktu materiálu s kovy termočlánku (i v případě stromečkového uspořádání) udává získaný údaj bodovou teplotu v materiálu v místě čidla v daném čase s dostatečnou přesností.

Hodnocení a závěr

Znalost časového průběhu teploty v jednotlivých bodech uvnitř materiálu umožní kromě konkrétních informací o rozložení teplot v daném materiálu, např. také použitím inverzní metody řešením rovnice vedení tepla, určit teplotní závislost některých tepelně technických materiálových parametrů, např. součinitele teplotní či tepelné vodivosti materiálu, a získat řadu dalších informací využitelných v technické praxi, protipožární ochraně apod.

Uvedený systém pro určení teplotního spádu uvnitř materiálu je aplikovatelný všude tam, kde je třeba znát rozložení teplotního pole v prostoru vyplněném kompaktním materiálem [4]. Jak již bylo řečeno, jde o jeho využití v oboru vytápění, tepelné izolace, větrání, při řešení otázek vlhkostních apod. Navrhované přípravky usnadní práci nejen v normálních podmínkách, ale umožní proměřit teplotní pole i v extrémních podmínkách vlhkostních a v horkých či vysokoteplotních provozech [5]. Neméně důležitá je aplikace v oblasti akreditovaných zkušeben, výzkumných a vědeckých pracovišť. Zde se pak za znalosti teplotních polí v materiálu mohou vypočítat parametry, které popisují řadu materiálových vlastností, např. v závislosti a teplotě či vlhkosti materiálu.

Článek vznikl za podpory výzkumného záměru MŠMT ČR č. MSM 6840770031.

Literatura

- [1] Toman, J.: Přípravek pro určení teplotního spádu uvnitř materiálu. [Užitný vzor]. Vlastník: ČVUT Fakulta stavební, 2008.
- [2] Horák, Z. – Krupka, F. – Šindelář, V.: Technická fyzika. Praha, SNTL 1960.
- [3] Měřicí, záznamová a řídicí ústředna M3+. [Návod k použití], Comet systém.
- [4] Poděbradská, J. – Toman, J. – Černý, R.: Závislost součinitele teplotní vodivosti cementových kompozitů vyztužených skleněnými vlákny na teplotě. Stavební obzor, 12, 2003, č. 7, s. 206–209. ISSN 1210-4027.
- [5] Toman, J. – Zuda, L. – Černý, R.: High-Temperature Thermal Properties of Alkali-Activated Aluminosilicate Materials with Electrical Porcelain Filler. In: Roczniki Inżynierii Budowlanej, 2006, Vol. 6, No. 1, pp. 145–48. ISSN 1505-8425.

Toman, J.: Measurement of the Temperature Gradient inside Material

The submitted paper describes the measurement arrangement for the determination of the temperature gradient inside material. The aim is to find a method of measuring the point temperature inside a compact material or structure exposed to the temperature gradient.

Toman, J.: Messung des Wärmegefälles innerhalb eines Materials

Die vorliegende Lösung betrifft die Messanordnung zur Bestimmung des Wärmegefälles innerhalb eines Materials. Es ist das Ziel, eine Art und Weise zu finden, wie die punktförmige Temperatur eines konkreten Materials oder einer Konstruktion, die einem Wärmegefälle ausgesetzt sind, zu messen ist.

• dizertace



Six Pillars of Project Excellence

Ing. Karel Valenta

Dizertační práce zpracovává základní problém stavebního managementu, jak nastavit klíčové faktory a parametry úspěšnosti jednotlivých realizovaných projektů, aby stavební podnik byl souhrnně úspěšný. Práce obsahuje tři studie ověřující předložené hypotézy, jak nastavit množinu základních faktorů úspěšnosti projektů a jak vytvořit nástroje pro stanovení aktuálního stavu projektu během jeho realizace.

Vliv fyzikálních a chemických parametrů na úpravu povrchových vod s obsahem huminových látek

Mgr. Lenka Pivokonská

Dizertace je zaměřena na optimalizaci reakčních podmínek při úpravě vody obsahující přírodní organické látky. Výsledky dosažené v laboratorních podmínkách jsou ověřeny v poloprovozu.

Spolehlivost jezových konstrukcí

Ing. Miloslav Čáp

Práce je zaměřena na spolehlivost jezových konstrukcí s využitím evropských norem a pravděpodobnostní teorie navrhování.

Stavební obzor na CD

Ročníky

2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007
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
+ DPH

Objednávky

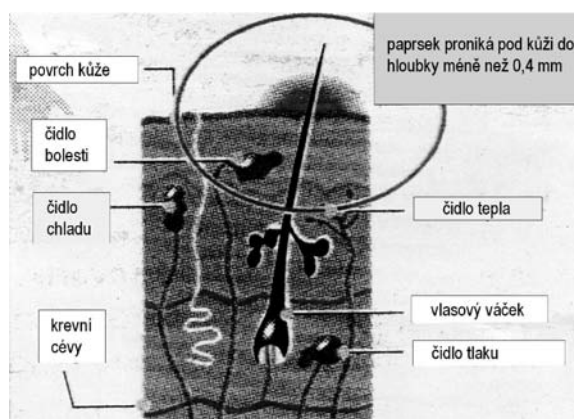
Ing. Milan Gattringer, MG DTP,
Borovanská 3388,
143 00 Praha 4, tel./fax: 241 770 220
e-mail: mgdtp@volny.cz

Hodnocení tepelného stavu prostředí na základě skutečných pocitů člověka

prof. Ing. Miloslav JOKL, DrSc.

ČVUT – Fakulta stavební
Praha

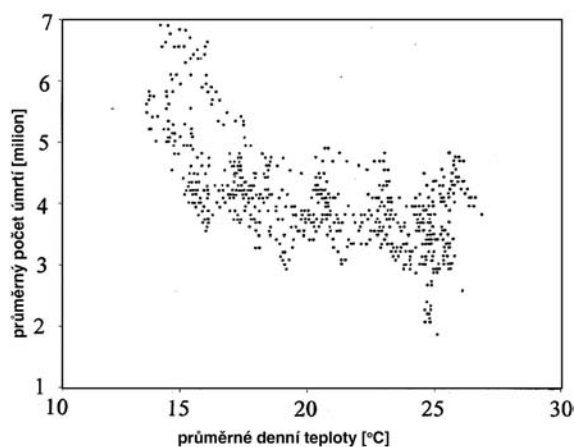
Nový způsob hodnocení tepelného stavu prostředí, založený na hladině operativní teploty v decithermech, umožňuje hodnocení podle pocitů vnímaných člověkem, porovnání s úrovní hluku v decibelech, s úrovní oděrové konstituenty v decidérech a stanovení celkové úrovně prostředí součtem hladin jednotlivých konstituent násobených korespondujícími váhovými konstantami. Posoudit lze i účinnost vytápěcích a chladicích zařízení i ohrožení lidského organismu přehřátím nebo podchlazením.



Obr. 2. Receptory tepla a chladu v kůži

Úvod

Cílem článku je přiblížit nový způsob hodnocení tepelného stavu prostředí, který by vystihoval, jak je prostředí vnímáno člověkem. Tím by měla být respektována i skutečnost, že pokles operativních teplot je pocíťován tím nepříjemněji, čím jsou teploty nižší, např. pokles o 3 °C, např. z 10 °C na 7 °C je vždy nepříjemnější než pokles z 20 °C na 17 °C. Zvýšená senzitivita lidského organismu na chlad se promítá i do úmrtnosti. Průměrná patnáctidenní úmrtnost v závislosti na průměrné denní teplotě je uvedena na obr. 1. Lineární



Obr. 1. Průměrná úmrtnost (15 denní) v závislosti na průměrné denní teplotě [2]

korelace má $r = 0,64$, pro kvadratickou závislost ($M = 17,69 - 1,149 T + 0,025 T^2$) stoupá na $r = 0,72$. Minimální úmrtnost je při teplotě 23 °C. Z grafu je zřejmé, že úmrtnost rychle stoupá pod 18 °C, a zvláště rychle pod 16 °C [2]. Různé vnímání tepla a chladu má také fyziologické pozadí – speciální senzory pro teplo a chlad v kůži (obr. 2) a různá vyhodnocovací centra v mozku (obr. 3). Nový způsob hod-

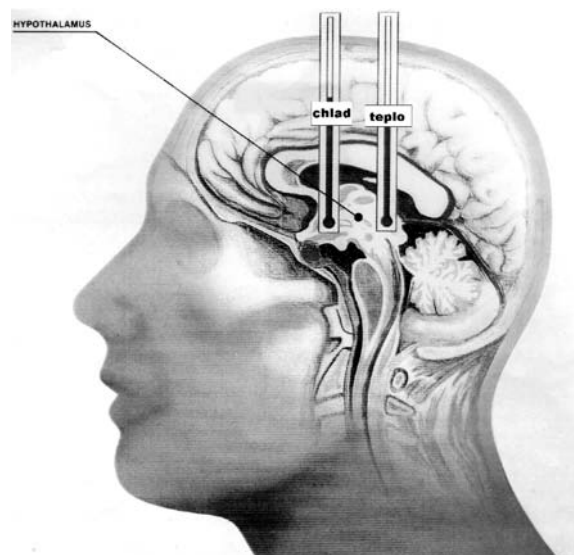
nocení vychází z fyziologie lidského organismu a z platnosti Weberova–Fechnerova zákona

$$R = k \cdot \log S, \quad (1)$$

kde R je odezva lidského organismu,

S – stimul prostředí, který odezvu vyvolává,

k – součinitel úměrnosti (proporcionality).



Obr. 3. Centra pro vyhodnocování tepla a chladu v mozku

Návrh nového způsobu hodnocení

Pro tepelný stav prostředí lze tento zákon aplikovat ve tvaru

$$L_{th} = k_{th} \cdot \log \left(\frac{T}{T_{threshold}} \right), \quad (2)$$

kde L_{th} je hladina operativní teploty [dTh];

T – operativní teplota [°C];
 $T_{\text{threshold}}$ – prahová operativní teplota, tj. v tomto případě optimální operativní teplota [°C].

Tento vztah koresponduje se vztahem pro hodnocení hluku, tzv. hladinou akustického tlaku,

$$L_p = 20 \cdot \log\left(\frac{P}{P_0}\right), \quad (3)$$

v němž stimulus je ve tvaru poměru akustických tlaků jednak ve vyšetřovaném prostoru P , jednak prahovém akustickém tlaku P_0 (dolní limit vnímaného tlaku, tj. 20 μ Pa). Pro hladinu akustického tlaku byla zavedena jednotka decibel [dB], pro tepelnou hladinu je utvořena jednotka decitherm [dTh].

Analogické vztahy existují po hodnocení oděrové konstituenty prostředí na základě oxidu uhličitého pro tzv. decicarbon dioxide a na základě těkavých organických látek pro tzv. decitvoc (souborně deciodors) [11].

Odpovídají nové jednotky pocitům člověka?

Vztah (2) pro hodnocení tepelného stavu prostředí se jak z hlediska fyziologie člověka, tak z hlediska podobnosti [14] jeví oprávněný, nicméně je nezbytné jeho experimentální ověření, tj. nutnost prokázat, že decithermy skutečně odpovídají pocitům člověka. Vnímání úrovně prostředí lze hodnotit již osvědčenou stupnicí podle ASHRAE [1] (zima, chladno, mírně chladno, neutrálně, mírně teplo, teplo, horko), jež by měla být přímo úměrná hodnotám tepelné hladiny v decithermech, tj. nutno prokázat, že platí

$$L_{\text{th}} = k_1 \cdot (AV), \quad (4)$$

kde AV jsou hodnoty pro hodnocení úrovně prostředí [1] a k_1 je koeficient.

Má-li současně podle Weberova–Fechnerova zákona platit vztah (2), pak je nutno experimentálně prokázat, že platí

$$AV = k_2 \cdot \log\left(\frac{T}{T_{\text{opt}}}\right), \quad (5)$$

aby $L_{\text{th}} = k_1 AV$, pak po dosazení bude

$$L_{\text{th}} = k_1 \cdot AV = k_1 \cdot k_2 \cdot \log\left(\frac{T}{T_{\text{opt}}}\right) = k_{\text{th}} \cdot \log\left(\frac{T}{T_{\text{opt}}}\right). \quad (6)$$

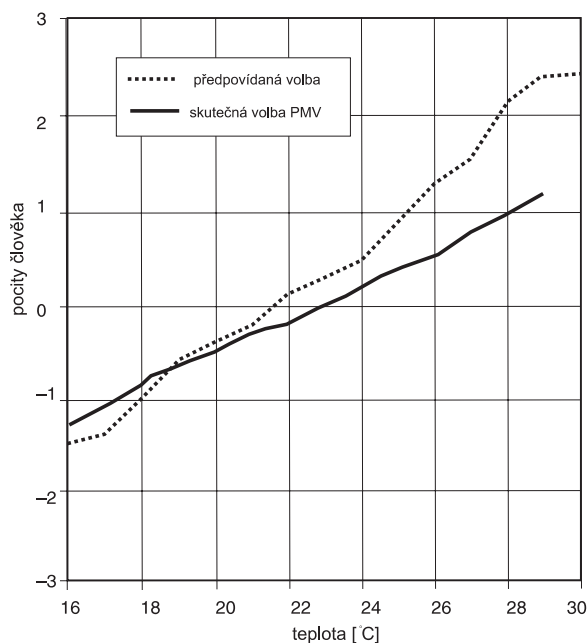
Výsledek měření, která prováděli Fishman a Pimbert [7], popř. de Dear [3], je na obr. 4. Na vodorovné ose jsou vymezeny operativní teploty, na svislé ose průměrné volby subjektů (average votes ASHRAE) podle stupnice ASHRAE. Průměrné hodnoty byly stanovovány pro rozmezí každých $\pm 0,2$ °C, tj. např. pro 20 °C : 19,8–20,2 °C, průměrná tepelná produkce byla 80 W/m², 26 subjektů udávalo své pocity osmkrát denně (mezi 9,30 až 16,30 hodinou), a to po celý rok, tj. je výsledkem 54 080 hodnot. Z grafu je zřejmé, že se rozcházejí hodnoty ASHRAE s vypočítanými hodnotami PMV (největší soulad je v okolí neutrálního stavu, což odpovídá skutečností, pro které bylo odvozeno). Pro hodnoty ASHRAE lze z grafu odvodit vztah

$$\begin{aligned} AV &= 14,469 \log T - 19,172 = 14,469 \log T - 14,469 \log 21,14 = \\ &= 14,469 \cdot \log\left(\frac{T}{21,14}\right), \end{aligned} \quad (7)$$

tj. v obecném tvaru

$$AV = k_2 \cdot \log\left(\frac{T}{T_{\text{opt}}}\right). \quad (8)$$

A tudíž také platí $L_{\text{th}} = k_1 AV$, je tedy zřejmé, že decithermy odpovídají pocitům člověka. Současně je evidentní, že pocitům člověka neodpovídají operativní teploty.



Obr. 4. Pocity člověka [1] v závislosti na operativní teplotě interiéru (aktivita 80 W/m², oděv 0,64 až 0,82 clo [7])

Stanovení hladiny operativní teploty

Je-li prokázáno, že hladiny operativní teploty odpovídají skutečným pocitům člověka, lze přistoupit k jejich stanovení pro konkrétní optimální, dlouhodobě a krátkodobě únosné operativní teploty.

■ **Optimální teploty** jsou determinovány neutrálním fyziologickým stavem člověka při určité aktivitě a oblečení. Vzhledem k obtížnosti experimentálního stanovení optimálních operativních teplot v neutrálním stavu organismu (v tomto případě však již byly k dispozici hodnoty z práce [13]) jsou také stanovovány na základě počtu lidí spokojených s daným prostředím (nebo nespokojených, a to v rozmezí 10–30 % v závislosti na požadavku na kvalitu prostředí) [17], [6], [4]. Optimální hodnoty stanovené na základě neutrálního fyziologického stavu člověka jsou uvedeny souhrnně v tab. 1 [13]. Obdobně jako u hluku a oděrů jim odpovídá $dTh = 0$, neboť $\log 1 = 0$.

■ **Dlouhodobě únosné teploty** také mají svá rozmezí. Začátek je totožný s maximálními hodnotami optima, konec je omezen operativní teplotou na úrovni průměrné teploty pokožky, neboť pro vyšší operativní teploty je již nebezpečí hypertermie organismu, která je jen krátkodobě únosná (je spojena s růstem tělesné teploty v rozsahu 46–90 dTh).

Dlouhodobě únosné operativní teploty lze připustit pouze v oblasti tepla – porušenou tepelnou rovnováhu vyrovnává organismus pocením. V oblasti chladu koresponduje pocení pouze třes, který se však u většiny lidí nevyskytuje (pokud nejde o třes nervového původu), a není jej tudíž možno brát

Tab. 1. Optimální operativní teplota a termoregulační rozmezí v závislosti na q_m [13]

[°C]	50	70	80	100 [W/m ²]	120	150	180
sweat	32,2	31,4	31,1	30,3	29,6	28,5	27,4
sweat – opt	5,6	6,8	7,5	8,8	10,1	12	14
sweat – opt (0,5)	5,5	6,5	7	8,5	10	12	13,5
max	29,3	27,9	27,2	25,8	24,4	22,3	20,2
max C – opt	2,7	3,4	3,7	4,3	4,9	5,9	6,8
max C – opt (0,5)	2,5	3	3,5	4	4,5	5,5	6,5
max B (0,632)	28,3	26,7	25,9	24,3	22,6	20,2	17,7
max B – opt	1,7	2,1	2,3	2,7	3,1	3,7	4,3
max B – opt (0,5)	1,5	2	2	2,5	3	3,5	4
max A (0,368)	27,6	25,8	24,9	23,1	21,3	18,6	15,9
max A – opt	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,2	2,5
max A – opt (0,5)	1	1	1	1,5	1,5	2	2,5
opt	26,6	24,6	23,6	21,5	19,5	16,5	13,4
min A(0,368)	25,9	23,7	22,6	20,4	18,2	14,9	11,6
min A – opt	-0,7	-0,9	-1	-1,1	-1,3	-1,5	-1,8
min A – opt (0,5)	-0,5	-0,5	-0,5	-1	-1	-1,5	-1,5
min B (0,632)	25,4	23,1	21,9	19,6	17,3	13,8	10,4
min B – opt	-1,2	-1,5	-1,6	-1,9	-2,2	-2,6	-3,1
min B – opt (0,5)	-1	-1	-1,5	-1,5	-2	-2,5	-3
min	24,7	22,2	21	18,5	16	12,3	8,6
min C – opt	-1,9	-2,4	-2,6	-3	-3,5	-4,2	-4,8
min C – opt (0,5)	-1,5	-2	-2,5	-3	-3	-4	-4,5

v úvahu jako ochranný mechanismus. V oblasti chladu je tedy nutno respektovat pouze hodnoty krátkodobě únosné.

Oblast dlouhodobě únosných hodnot je současně oblastí syndromu nemocných budov SBS, neboť je již mimo optimální hodnoty, avšak zároveň je dlouhodobě snesitelná.

■ **Krátkodobě únosné teploty** jsou opět určovány rozmezím. Jejich začátek je v oblasti tepla totožný s maximálními dlouhodobě únosnými hodnotami, v oblasti chladu s minimálními hodnotami optima. Konec je v oblasti operativní teploty na úrovni prahu bolestivosti (cca 42 °C), stejně jako je tomu u hluku. Analogicky jako u hluku a oděrů lze této hodnotě přiřadit $dTh = 135$ jako maximum. Rozsah v $dTh = 91-134$. V oblasti chladu je nutno respektovat podmínku, zda je člověk schopen při uvažované operativní teplotě z hlediska energetického výdeje (tj. namáhavosti práce) trvalé, např. celosměnové práce. V České republice je touto mezní teplotou 10 °C, v USA pouze 15 °C.

■ **Neúnosné teploty** jsou charakterizovány již jen svým začátkem, totožným s koncem krátkodobě únosných teplot. Rozsah 135 dTh a více.

Stupnice hladin operativní teploty

Jsou určovány základním vztahem (2), v němž

$$k_{th} = \frac{135}{\log\left(\frac{42}{T_{opt}}\right)}. \quad (9)$$

Po dosazení do rovnice bude výsledný vztah

$$L_{th} = [135/\log(42/T_{opt})] \log(T/T_{opt}). \quad (10)$$

Hladiny operativní teploty jsou analogicky jako operativní teploty optimální, únosné a neúnosné (tab. 2). Optimální jsou ještě trojí – velmi příjemné, příjemné a přijatelné (z předpisového hlediska též optimálně přípustné). Únosné se ještě dělí na dlouhodobě a krátkodobě únosné.

Tab. 2. Doporučené hodnoty termálních hladin operativní teploty [dTh]

optimální	velmi příjemné	0–20
	příjemné	21–30
	přijatelné (přípustné z hlediska předpisů)	31–45
únosné	dlouhodobě únosné	46–90
	krátkodobě únosné	91–134
neúnosné	–	135 a více

Aplikace

Byly zvoleny tři příklady aplikace tepelných hladin:

- na hodnoty stanovené experimentálně na základě neutrálního fyziologického stavu člověka, viz tab. 1;
- na hodnoty optimálních operativních teplot v kabině dopravního letadla, rovněž vycházejících z experimentálních hodnot, avšak pro předpisové účely souborně shrnutých do tab. 3;
- na návrh nové mikroklimatické části vládního nařízení č. 178/2001Sb. v platném znění.

■ Aplikace na hodnoty stanovené experimentálně na základě neutrálního fyziologického stavu člověka [13]

Z výsledků pokusů byly zvoleny hodnoty (tab. 1):

- a) pro 1,2 Met (70 W/m²), 0,5 clo (optimální operativní teplota 24,5 °C)

$$L_{th} = 576,718 \cdot \log\left(\frac{T}{24,5}\right). \quad (11)$$

Teplota pokožky určující konec rozmezí dlouhodobě únosného [6]

$$T_{sk} = -0,0276 q_m + 35,7 = 34 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (12)$$

kde $q_m = 70 \text{ W/m}^2$. Stupnice termálních hladin operativní teploty je na obr. 5;

- b) pro 1,72 Met (100 W/m^2), 0,5 clo (optimální operativní teplota $21,5 \text{ } ^\circ\text{C}$)

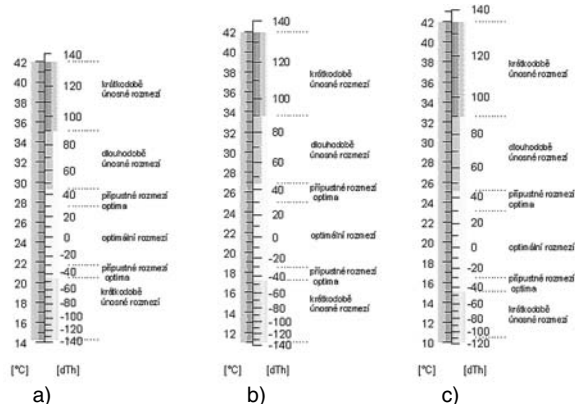
$$L_{th} = 464,22 \cdot \log\left(\frac{T}{21,5}\right). \quad (13)$$

Teplota pokožky určující konec rozmezí dlouhodobě únosného je $33 \text{ } ^\circ\text{C}$. Stupnice hladiny operativní teploty je na obr. 5;

- c) pro 2,1 Met (120 W/m^2), 0,5 clo (optimální operativní teplota $19,5 \text{ } ^\circ\text{C}$)

$$L_{th} = 405,144 \cdot \log\left(\frac{T}{19,5}\right). \quad (14)$$

Teplota pokožky určující konec rozmezí dlouhodobě únosného je $32,5 \text{ } ^\circ\text{C}$. Stupnice hladiny operativní teploty je na obr. 5.



Obr. 5. Stupnice hladin operativní teploty pro 1,2 Met, 0,5 clo (optimální operativní teplota $24,5 \text{ } ^\circ\text{C}$), 1,72 Met, 0,5 clo (optimální operativní teplota $21,5 \text{ } ^\circ\text{C}$) a pro 2,1 Met, 0,5 clo (optimální operativní teplota $19,5 \text{ } ^\circ\text{C}$)

a – 1,2 Met, 0,5 clo, b – 1,72 Met, 0,5 clo, c – 2,1 Met, 0,5 clo

Ve všech těchto případech lze pak podle odpovídajících tepelných hladin posoudit, zda hodnoty operativních teplot jsou v příslušném interiéru velmi příjemné, příjemné, přijatelné nebo pouze dlouhodobě nebo krátkodobě únosné, případně již neúnosné.

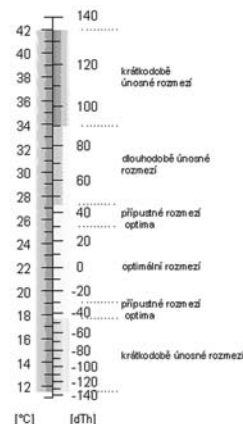
■ Aplikace na hodnoty optimálních operativních teplot v kabině dopravního letadla

V kabině dopravního letadla bude podle tab. 3 optimální operativní teplota $22 \text{ } ^\circ\text{C}$ ($dTh = 0$). Korespondující stupnice hladiny operativní teploty 1,2 Met (70 W/m^2), 0,75 clo, tj.

$$L_{th} = 480,724 \cdot \log\left(\frac{T}{22}\right), \quad (15)$$

je na obr. 6. Na počátku letu může být operativní teplota snížena na $21 \text{ } ^\circ\text{C}$ ($dTh = -10$). Po určité době, kdy si cestující dělají pohodlí odkládáním šatstva (pokles na 0,5 clo) a začínají se procházet po kabině (vzrůst na 1,72 Met), by měla

být zvýšena na $23 \text{ } ^\circ\text{C}$ ($dTh = 9$). Vzestup teploty lze připustit na max. $25,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ (odpovídá již 31 dTh). Dlouhodobě únosné teploty v případě poruchy končí na $33,76 \text{ } ^\circ\text{C}$ (89,4 dTh).



Obr. 6. Stupnice hladin operativní teploty pro kabinu dopravního letadla

■ Aplikace na návrh mikroklimatické části vládního nařízení č. 178/2001 Sb.

Návrh nové mikroklimatické části vládního nařízení č. 178/2001 Sb. v platném znění je uveden v tab. 3 a tab. 4. Decithermy jsou v něm uvedeny ve dvou variantách:

- subjekt sníží nebo zvýší tepelný odpor optimálního oděvu při pobytu buď s minimálními hodnotami operativní teploty (tj. z 0,75 clo na 0,5 clo), nebo s maximálními hodnotami operativní teploty (tj. z 0,75 clo na 1,0 clo);
- nezmění-li subjekt optimální oděv (o tepelném odporu 0,75 clo) při přechodu do prostředí jednak s minimálními, jednak maximálními operativními teplotami.

Ad a) Dojde-li ke změně tepelného odporu, tj. odložením částí oděvu při vstupu do teplejšího prostředí, nebo naopak obléknutím další části oděvu při vstupu do chladnějšího prostředí, v oblasti optima zůstává subjekt dle hodnot dTh u hodnot příjemných a přijatelných s výjimkou maxima třídy III. kategorie C ($20 \text{ } ^\circ\text{C}$), kde se již dostává do oblasti hodnot dlouhodobě snesitelných (47,5 dTh). Teplota $20 \text{ } ^\circ\text{C}$ by tudíž měla být snížena na $19,5 \text{ } ^\circ\text{C}$, aby nebyla překročena hodnota 45 dTh . V oblasti maxima je od třídy IIB v hodnotách dlouhodobě únosných, tj. již provázených výrazným pocením.

Ad b) Nedojde-li ke změně tepelného odporu, pak je zřejmé, že v oblasti:

– maxima v kategorii C, tj. u budov bez klimatizace, pouze s přirozeným větráním, se subjekt ve všech případech dostane do oblasti hodnot dlouhodobě únosných, tj. musí počítat s odpovídajícím pocením, jež mu bude vyrovnávat tepelnou bilanci;

– minima, opět v kategorii C, se také dostane do oblasti hodnot dlouhodobě únosných (IIaC, IIBc, IIIaC). To ovšem není přípustné, neboť v oblasti chladu dlouhodobě únosné hodnoty neexistují, organizmus přechází přímo do oblasti krátkodobě únosné, do hypotermií, a to vždy při poklesu operativní teploty pod $15,6\text{--}10,6 \text{ } ^\circ\text{C}$. Je zřejmé, že podle [1] předepsaná minimální operativní teplota $15 \text{ } ^\circ\text{C}$ předpokládá vstup do oblasti nadměrného pocení a s tím spojeného rizika podchlazení při přerušení práce, nikoli neúnosný energetický výdej, jako je tomu u teploty $10 \text{ } ^\circ\text{C}$ dle našeho předpisu.

Tab. 3. Přípustné hodnoty tepelně vlhkostních mikroklimatických podmínek pro celý rok (návrh, jehož operativní teploty byly akceptovány v novém vládním nařízení č. 36N2007 Sb.)

Třída práce	M [W.m ⁻²]	Operativní teplota t ₀ [°C]												v _a [m.s ⁻¹]	rh [%]	SR t _{0,max} *** [g/h.m ²] [g/sm ²]	
		t _{0,min} [dTh]		t _{0,opt,min} [dTh]			t _{0,opt}			t _{0,opt,max} [dTh]			t _{0,max} [dTh]				
		1,0 clo		0,75 clo			1,0 clo			0,75 clo			0,5 clo				
I	≤ 70	19,5	-19,5	A 21,0 B 20,5 C 19,5	-9,5 -14,5 -25,0	-5,0 -9,5 -19,5	A -1,0 B -1,5 C -2,5	22,0	+3,5 +4,5 +6,0	A 25,5 B 26,5 C 28,0	30,5 38,5 50,0	9,0 19,0 33,0	28,0	33,0	0,1-0,2	30-70	44 354
II a	71-105	15,5	-29,0	A 17,5 B 16,5 C 15,5	-24,0 -35,0 -46,0	-9,0 -19,0 -29,0	A -2,5 B -3,5 C -4,5	20,0	+3,0 +4,0 +6,0	A 23,5 B 25,0 C 26,0	29,0 40,5 47,5	8,5 22,0 30,5	27,0	30,5	0,1-0,2	30-70	83 664
II b	106-130	13,0	-34,5	A 15,5 B 14,5 C 13,0	-23,5 -34,0 -51,5	-9,0 -18,5 -34,5	A -2,5 B -5,0 C -5,0	18,0	+3,0 +4,5 +8,0	A 21,0 B 22,5 C 24,5	24,5 35,5 49,0	13,0 25,0 40,0	26,0	50,5	0,2-0,3	30-70	110 880
III a	131-160*	10,0	-30,0	A 12,0 B 11,0 C 10,0	-29,0 -40,5 -50,0	-9,0 -19,0 -30,0	A -3,0 B -4,0 C -5,0	15,0	+3,5 +5,0 +7,0	A 18,5 B 20,0 C 22,0	27,5 37,5 50,0	16,5 28,0 41,5	26,0	65,5	0,2-0,3	30-70	158 1274
III b	161-200**	10,0	0,0	A 10,0 B 10,0 C 10,0	-24,5 -24,5 -24,5	-0,0 -0,0 -0,0	A -2,5 B -2,5 C -2,5	13	+3,5 +5,0 +7,5	A 16,0 B 17,5 C 20,0	27,5 37,5 52,0	21,0 31,5 47,5	26,0	61,0	0,2-0,3	30-70	240 1614

Poznámky:

t₀ – stanovena pro 60% relativní vlhkost vzduchu; t_{0,min} – platná pro tepelný odpor oděvu 1 clo; t_{0,opt}, t_{0,opt,min}, t_{0,opt,max} – platná pro tepelný odpor oděvu 0,75 clo; t_{0,max} – platná pro tepelný odpor oděvu 0,5 clo; v_a – rychlost proudění vzduchu [m.s⁻¹]; rh – relativní vlhkost vzduchu [%]

* z hlediska energetického výdeje práce není celosměnově únosná pro ženy; ** z hlediska energetického výdeje práce není celosměnově únosná pro muže a ženy; *** SR t_{0,max} ztráta vody potem a dýcháním, průměrný povrch těla ženy 1,8 m², muže 2 m²; A – platí pro klimatizované prostory (odpovídá 15 % nespokojených osob); B – platí pro prostory s hybridním ventilačním systémem (odpovídá 20 % nespokojených osob); C – platí pro přirozeně větrané prostory (odpovídá 30 % nespokojených osob)

Nová možnost – hodnocení vlivu operativních teplot na celkovou úroveň prostředí

Nespornou výhodou decithermových jednotek je možnost nového hodnocení mikroprostředí (vnitřního prostředí budov). Nejprve se vyhodnotí zvlášť každá konstituent, a pak její vliv na celek, na celkovou úroveň prostředí. Decithermy také mohou být základem pro výzkum vzájemného působení jednotlivých složek prostředí. K tomuto účelu lze použít práci [18]. Vliv jednotlivých konstituent na výslednou úroveň prostředí se liší, např. naše zdraví je více ohroženo chladem než pozitivními aeroionty.

Předběžné výsledky dle [18] jsou souhrnně uvedeny v tab. 5. Vliv operativní teploty je jeden z nejdůležitějších, pohybuje se kolem 16 %, korespondující tepelně vlhkostní konstituent, kterou lze použít při konstantním optimálním proudění vzduchu a konstantní relativní vlhkosti vzduchu, má vliv vůbec největší (30 %). Je následován konstituentem světelnou (24 %), akustickou (22 %), toxickou (10 %), oděrovou (8 %) a aerosolovou (6 %). Vliv hygrotermální, akustické a oděrové konstituenty na celkovou úroveň prostředí lze stanovit následovně:

$$L_{acoustic} = AC 20 \log \left(\frac{P}{20} \right) = \frac{22}{100} 20 \log \frac{P}{20}, \quad (16)$$

Tab. 4. Třídy práce podle celkového (brutto) průměrného minutového energetického výdeje M

Třída práce	Příklady	M [W.m ⁻²]
I	Práce vsedě s minimální pohybovou aktivitou (kancelářské administrativní práce, kontrolní činnost v dozornách a velínech), práce vsedě spojená s lehkou manuální prací rukou a paží (psaní na stroji, práce s PC, jednoduché šití, laboratorní práce, sestavování nebo třídění drobných lehkých předmětů).	≤ 70
IIa	Výstupní kontrola, řízení osobního vozidla za běžných provozních podmínek. Práce vstoje občasné spojená s pomalou chůzí po rovné podlaze s přenášením lehkých břemen nebo překonáváním malých odporů (vaření, strojní opracování a montáž malých lehkých dílců, kusová práce nástrojářů a mechaniků, prodavači).	71 až 105
IIb	Práce vsedě s trvalým zapojením obou rukou, paží a nohou (dělnice v potravinářské výrobě, mechanici, strojní opracování a montáž středně těžkých dílců, práce na ručním lisu, řidiči nákladních vozidel, traktorů, autobusů, trolejbusů a ostatních drážních vozidel). Práce vstoje s trvalým zapojením obou rukou, paží a nohou spojená s přenášením břemen do 10 kg (prodavači při silné frekvenci zákazníků, lakýrníci, svařování, soustružení, strojní vrtání, dělník v ocelárně, valcář hutních materiálů, tažení nebo tlačení lehkých vozíků).	106 až 130
IIIa	Práce vstoje s trvalým zapojením obou horních končetin, občas v předklonu nebo kleče, chůze (údržba strojů, mechanici, obsluha koksové baterie, práce ve stavebnictví – ukládání panelů na stavbách pomocí mechanizace, skladníci s občasným přenášením břemen do 15 kg, řezníci na jatkách, zpracování masa, pekaři, malíři pokojů, operátoři poloautomatických strojů, vystrojování vnitřku karoserií v automobilovém průmyslu, obsluha válcovacích tratí v kovoprůmyslu, hutní údržba, průmyslové žehlení prádla, čištění oken, ruční úklid velkých ploch, strojní výroba v dřevozpracujícím průmyslu).	131 až 160
IIIb	Práce vstoje s trvalým zapojením obou horních končetin, trupu, chůze, (práce ve stavebnictví – kladení cihel při tradiční výstavbě, skládání cihel, čištění menších odlitků sbíječkou a broušením, příprava forem na 15 až 50 kg odlitky, foukání skla – výroba velkých kusů, obsluha gumárenských lisů, práce na lisu v kovárnách, chůze po zvlněném terénu bez zátěže, zahradnické práce a práce v zemědělství).	161 až 200

$$L_{\text{odor}} = OD \left(50 \log \left(\frac{\rho_{\text{TVOC}}}{50} \right) + 90 \log \left(\frac{\rho_{\text{CO}_2}}{480} \right) \right) =$$

$$= \frac{8}{100} \left(50 \log \left(\frac{\rho_{\text{TVOC}}}{50} \right) + 90 \log \left(\frac{\rho_{\text{CO}_2}}{480} \right) \right). \quad (17)$$

$$L_{\text{th}} = HT \left(480.7 \log \left(\frac{T}{22} \right) \right) = \frac{30}{100} \left(480.7 \log \left(\frac{T}{22} \right) \right). \quad (18)$$

Tab. 5. Vliv některých konstituent a jejich částí na vnímanou úroveň prostředí [18]

Konstituenta (její část)	Vliv [%]	Faktor konstituenty
tepelně vlhkostní	30,1	HT = 0,30
globální teplota	15,8	
proudění vzduchu	7,2	
vlhkost vzduchu	7,1	
oděrová	7,5	OD = 0,08
toxická (pouze tabákový kouř)	9,9	TX = 0,10
aerosolová	6,6	AE = 0,06
akustická	21,9	AC = 0,22
hlasitost	8,7	
rušivost	8,6	
výška zvuku	4,6	
světelná	24	LI = 0,24
jas světla	11	
oslnění	7,9	
stíny	5,1	

Měření decithermů

Decithermy lze měřit přístrojem "umělá kůže". Postup vychází z rovnice

$$L_{\text{th}} = [135 / \log(42/T_{\text{opt}})] \log(T/T_{\text{opt}}), \quad (19)$$

kde T_{opt} je měřeno přístrojem a L_{th} je automaticky vypočítáno.

Při měření teploměrem lze každý teploměr kalibrovat jak ve °C, tak v dTh, ale nejprve T_{opt} předepsané pro uvažovaný interior, nutno dosadit do rovnice (19), čímž lze stupnici dTh vypočítat. V hodnotě T_{opt} je již zahrnut vliv oděvu a činnosti člověka.

Závěr

K nesporným výhodám použití decithermové stupnice patří, že decithermy:

- podstatně lépe vystihují vnímanou tepelnou úroveň prostředí než samotné operativní teploty;
- odpovídají číselně decibelům pro hluk a oděry, tj. lze je porovnávat i jim odpovídající úroveň konstituent prostředí;
- umožňují stanovení vlivu operativních teplot na celkovou úroveň prostředí;
- umožňují posuzovat vzájemnou interakci jednotlivých složek prostředí;

- lze je stanovit každým přístrojem – teploměrem – ke stanovení operativní teploty stačí stupnici ve °C doplnit o stupnici v decithermech;
- umožňují posoudit stupeň vhodnosti tepelného stavu prostředí, tj. do jaké míry je příjemný;
- umožňují nově definovat rozmezí optimálního, dlouhodobě a krátkodobě únosného tepelného stavu prostředí;
- umožňují novou definici syndromu nemocných budov SBS, jehož příčinou je tepelný stav prostředí – odpovídá dlouhodobě únosným hodnotám;
- umožňují stanovit ohrožení organismu přehřátím (hypertermií) nebo podchlazením (hypotermií), a to překročením dlouhodobě únosných hodnot;
- umožňují posoudit účinnost vytápěcích a chladicích zařízení novým způsobem – do jaké míry mohou zabezpečit optimální úroveň pro uživatele.

Literatura

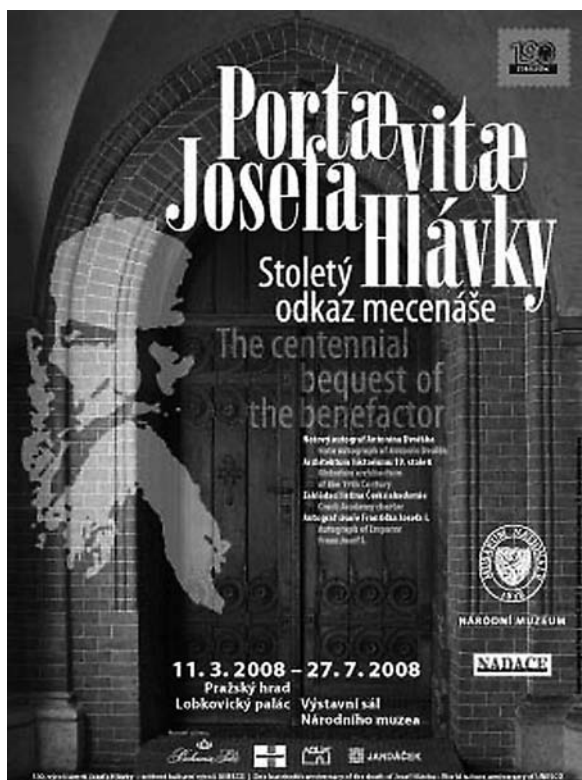
- [1] ANSI/ASHRAE Standard 55-1992/2004 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. ASHRAE, Atlanta 1992/2004.
- [2] Auliciems, A. – Skinner, J. L.: Cardiovascular Death and Temperature in Subtropical Brisbane. Int. J. Biometeorol 33, 1989, 3: 215-221.
- [3] de Dear, R. J.: Outdoor Climatic Influences on Indoor Thermal Comfort Requirements. In: Thermal Comfort: Past, Present and Future. Conference Proceedings, Building Research Establishment, Garston 1993, pp. 106-132.
- [4] EN ISO 7730 Moderate Thermal Environment.
- [5] European Technical Report CR 1752-1998 Ventilation for Buildings: Design Criteria for Indoor Environment.
- [6] Fanger, P. O.: Thermal Comfort. Copenhagen, Danish Technical Press 1970.
- [7] Fishman, D. S. – Pimbert, S. L.: Survey of the Objective Responses to the Thermal Environment in Offices. In: Indoor Climate. Copenhagen, Danish Building Research Institute, 1979, pp. 677-698.
- [8] Jokl, M. V.: Hodnocení kvality vzduchu v interiéru jednotkami decibel. Bezpečná práce, 26, 1995, 6: 249-254.
- [9] Jokl, M. V.: Evaluation of Indoor Air Quality Using the Decibel Concept. Part I. Proposal of New Units. Centr. eur. J. publ. Hlth 5, 1997, 1: 3-8.
- [10] Jokl, M. V.: Evaluation of Indoor Air Quality Using the Decibel Concept. Part II. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Centr. Eur. J. publ. Hlth 5, 1997, 1: 9-12.
- [11] Jokl, M. V.: New Units for Indoor Air Quality: Decicarbdióx and Decitvoc. Int. J. Biometeorol. 42, 1998, 2: 93-111.
- [12] Jokl, M. V.: Evaluation of Indoor Air Quality Using the Decibel Concept Based on Carbon Dioxide and TVOC. Building and Environment 35, 2000, 8: 677-697.
- [13] Jokl, M. V. – Kabele, K.: The Optimal (Comfortable) Operative Temperature Estimation Based on the Physiological response of Human Organism. REHVA Journal (in print).
- [14] Kline, S. J.: Similitude and Approximation Theory. New York, McGraw-Hill 1965.
- [15] Kožešník, J.: Theory of Similitude and Simulation. Prague, Academia 1983.
- [16] Mayer, E. – Ifrim, C.: Messung der feuchten Wärmeabgabe mit einer trockenen kunstlicher Haut. Luft-und Kältetechnik 33, 1997, 2: 67-70.
- [17] Petráš, D. – Feketová, M. – Šabíková, J.: Indoor Climate of Buildings 2004. SSTP, SUT, 5th Int. Conf. Štrbské Pleso 2004.
- [18] Rohles, F. H. – Woods, J. E. – Morey, P. R.: Indoor Environment Acceptability: The Development of Rating Scale. ASHRAE Transactions 95, 1989, 1: 3197.

Jokl, M.: Assessment of the Thermal Condition of the Environment Based on Real Human Feelings

The new assessment of the thermal condition of the environment, based on the operative temperature level in decitherms, facilitates to perform evaluation by the sensations perceived by humans, make comparison with the noise level in decibels, with the odour constituents level in deciodors and determine the overall level of the environment by summing up the levels of individual constituents multiplied by the corresponding weight constants. Also the efficiency of heating and cooling devices, as well as the hazard to the human organism by over-heating or hypothermia can be assessed.

Jokl, M.: Bewertung des Wärmeszustands des Milieus aufgrund der tatsächlichen Gefühle des Menschen

Eine neue Art der Bewertung des Wärmeszustands des Milieus, die auf dem Pegel der operativen Temperatur in Dezithermen basiert, ermöglicht eine Bewertung nach den vom Menschen empfundenen Gefühlen, einen Vergleich mit dem Lärmniveau in Dezibel, mit dem Niveau der konstituente Odeur in Deziodeur und die Bestimmung des Gesamtniveaus des Milieus durch die Addition der Niveaus der einzelnen mit den korrespondierenden Gewichtskonstanten multiplizierten Konstituenten. Es lässt sich auch die Wirksamkeit von Heizungs- und Kühlanlagen sowie die Gefährdung des menschlichen Organismus durch Überhitzung oder Unterkühlung beurteilen.



• dizertace



Analýza geodetických metod při budování mikrosítě pro výstavbu mostu přes hluboké údolí

Ing. Martin Cuřín

Hlavním přínosem práce je vývoj a aplikace měření výškových úhlů s vyloučením atmosférické refrakce. Metoda podstatně zvyšuje přesnost měření trigonometrických výšek, jejichž stanovení pomocí GPS je problematické.

Metodika pasportizace historických objektů

Ing. Josef Dušák

Práce obsahující metodiku pasportizace historických objektů bude na doporučení komise pro obhajobu nabídnuta jako metodický podklad pro odborné komise ministerstva kultury.

Operativní řízení staveb, informační toky, internet

Ing. Jiří Jakubše

Práce je přínosem v aplikaci neuronových sítí v úsekové ekonomice. Práci lze podle komise pro obhajobu považovat za přínosnou, nelze ji však považovat za finální produkt.

Využití materiálových kompozit v konstrukcích vodohospodářských staveb

Ing. Tomáš Ležal

Práce se zabývá vyztužováním betonových konstrukcí vystavených působení vody a v tomto smyslu má i praktické využití.

Návrh podmínek spolehlivosti monolitických konstrukcí vodohospodářských staveb

Ing. Aleš Pařízek

Dizertace je zaměřena na spolehlivost betonové konstrukce navržené podle nových evropských norem

Ocelobetonové nosníky s vlnitou stojinou spráženými pomocí přistřelených tenkostěnných prvků

Ing. Jan Moták

Dizertace se zabývá integrovaným chováním dvou moderních konstrukčních prvků – spráhovacího prvku Stripcon a nosníku s tvarovanou stojinou WT. Numerický model chování nosníků byl ověřen třemi zkouškami ve skutečném měřítku. V závěru se uvádí pomůcka pro navrhování tohoto typu konstrukce.

Výstavba cyklostezek

Ing. Dana ČÁPOVÁ
Ing. Martin HAUVEISEN
ČVUT – Fakulta stavební
Praha

Rozvoj a vlastní výstavba cyklostezek v České republice je finančně podporována. Pro kvalitní zpracování projektů byly z realizovaných staveb vytvořeny cenové ukazatele pro stavby cyklostezek.

Do roku 2001 byly hlavními zdroji financování cyklistických tras a stezek obecní rozpočty, Program obnovy venkova MMR a předstupní program EU, hlavně PHARE CBC. Od roku 2001 přibýly prostředky SFDI a krajských rozpočtů. Od roku 2004 se otevřela možnost financování ze SROP a iniciativ EU, především INTEREG III či LEADER+. Jedním z hlavních úkolů je proto kvalitní příprava projektů, aby bylo možné čerpat finanční prostředky ze strukturálních fondů EU pro období 2007–2013. Studie připravenosti mezinárodních a dálkových cyklotras ČR ze září 2005 ukázala, že se připravují rozsáhlé projekty cyklistických stezek a cyklotras, jejichž náklady přesahují 100 mil. Kč, přičemž třicet největších předpokládá výstavbu cyklostezek v celkové délce 2 505 km a předpokládaných nákladech na výstavbu 3,98 mld. Kč. U všech těchto projektů je předpokládáno vícezdrojové financování. Usnesením vlády ČR č. 678 ze dne 7. července 2004 byla schválena Národní strategie rozvoje cyklistické dopravy České republiky, ve které se stát zavázal k podpoře cyklistické dopravy a k budování cyklostezek. Státní program podpory cestovního ruchu zahrnuje podprogram č. 2, který je zaměřen na „Podporu budování doprovodné infrastruktury cestovního ruchu pro sportovní rekreaci“. V rámci tohoto dotačního titulu jsou vyloučeny aktivity „Vybudování, oprava a rekonstrukce cyklostezek“ a „Rekonstrukce a vybudování parkoviště a odpočívárny pro cykloturistiku“. Podprogram č. 3 tohoto programu je zaměřen na „Podporu prezentace České republiky jako destinace cestovního ruchu“, mj. také na oblast cykloturistiky. Společný regionální operační program SROP podporuje cykloturistiku v rámci priority 4 Rozvoj cestovního ruchu. Projekty, které mohou být předkládány v rámci této priority, se týkají rozvoje služeb nebo infrastruktury a tou je i oblast cykloturistiky. V rámci podopatření 4.2.1 Podpora nadregionální infrastruktury ČR mohou být podpořeny projekty, které se zaměřují na budování dálkových cyklostezek a cyklotras včetně doplňkové infrastruktury nebo na tvorbu ucelených projektů rozvoje ekoturismu v rámci CHKO a NP, zejména pokud jde o podporu doprovodné infrastruktury (cyklostezky, cyklotrasy, odpočívadla atd.). Některé aktivity mohou být realizovány v rámci podopatření 4.2.2 Podpora regionální a místní infrastruktury ČR.

V březnu 2006 byl vypracován Návrh priorit podpory EU v sektoru dopravy pro programovací období 2007–2013. Dokument byl zpracován na Ministerstvu dopravy ČR. Účelem tohoto materiálu je vytvoření podkladu pro interní pří-

pravu MD, a zároveň jako základní materiál pro meziresortní jednání při přípravě na programovací období Evropské unie 2007–2013 v sektoru doprava. Materiál obsahuje výčet priorit a opatření, kterými má být podpořeno dosažení cílů dopravní politiky ČR a EU a harmonického rozvoje regionů. Součástí tohoto dokumentu je PRIORITY 3 – Výstavba a rozvoj dopravních sítí regionálního významu a Cíl 3.5 – Rozvoj cyklistických stezek. Základem tohoto opatření je Národní strategie rozvoje cyklistické dopravy České republiky.

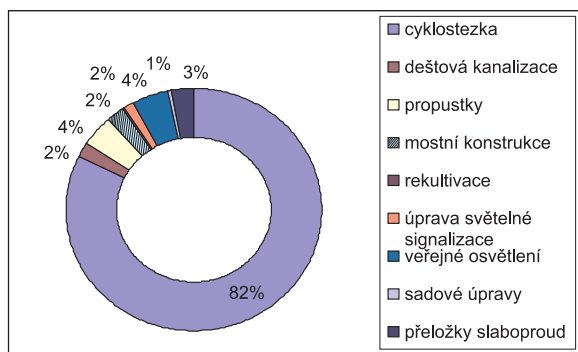
Projekty do výše celkových nákladů 50 mil. € budou schvalovány v rámci ČR řídicím orgánem operačního programu. Projekty nad 50 mil. € bude vždy schvalovat evropská komise (takto rozsáhlé projekty se však nepředpokládají). Pro předpokládané objemy prostředků EU bude nutné zajistit dostatečné národní veřejné spolufinancování (SFDI, státní rozpočet). V rámci tohoto byl vytvořen informační portál (www.cyklostrategie.cz), na kterém se nalézají důležité informace k průběžnému naplňování daného strategického materiálu. Stát v této fázi nabízí finanční pomoc, metodickou a odbornou spolupráci při budování cyklistické infrastruktury a vytvoření legislativního zázemí pro podporu cyklistické dopravy. Strategie nabízí koordinaci činnosti ministerstev, krajů, obcí a dalších subjektů tak, aby se co nejrychleji rozvíjela kvalitní bezpečná síť cyklistické infrastruktury, a zároveň i povědomí veřejnosti o cyklistice jako alternativní formě dopravy.

Součástí kvalitně zpracovaných projektů je i propočet pořizovacích – investičních nákladů stavby. Propočet, který je zpracováván ve fázi předprojektové přípravy stavby (investiční záměr a územní řízení), slouží investorům k ekonomickému rozhodování, plánování a řízení rozsahu budoucí stavby s ohledem na možnosti a efektivnost jejího financování. Podkladem pro vytvoření propočtu staveb jsou ukazatele stavby (např. obestavěný prostor, délka trasy, zastavěná plocha apod.). Technickohospodářské ukazatele, které v ČR zpracovává Ústav pro racionalizaci ve stavebnictví na základě realizovaných staveb, neobsahují samostatně stavby cyklostezek. Sborník uvádí jako nejbližších 80 objektů z oboru 822 – Pozemní komunikace a letiště, 39 objektů z oboru 823 – Plochy a úpravy území. Rozlišuje pouze konstrukčně materiálové charakteristiky bez ohledu na návrhové parametry pozemních komunikací, jako jsou kategorie komunikace, třída dopravního zatížení, tloušťka konstrukce, kvalita a řada dalších parametrů, které mají vliv na výsledné investiční náklady při realizaci stavby.

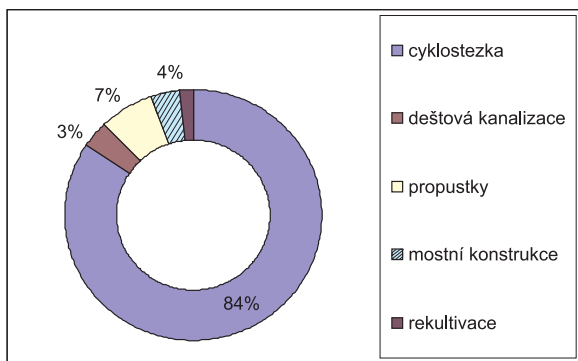
Vzhledem k tomu, že problematika cyklistické dopravy v oblasti plánování investičních nákladů investora není řešena, analyzovali jsme realizované stavby. Podkladem bylo více než 50 položkových rozpočtů staveb cyklostezek. Z těchto dat byly vytvořeny technickohospodářské ukazatele, které by ve fázi předprojektové přípravy pomohly investorům a projektantům stanovit předpokládané investiční náklady, a usnadnit tak rozhodování při výběru technických a ekonomických variant projektu a rozhodnout o vlastní realizaci.

Stavby byly rozčleněny do skupin podle umístění trasy na stavby cyklostezek v intravilánu (*obr. 1*) a v extravilánu

(obr. 2). Analýzou bylo zjištěno, že stavební objekty cyklostezek vyvolávají další související (vyvolané) investice, jako jsou mostní konstrukce, propustky a v intravilánu především přeložky stávajících sítí, případně jiné investice.



Obr. 1. Příklad skladby nákladů jedné z analyzovaných staveb cyklostezky v intravilánu



Obr. 2. Příklad skladby nákladů konkrétní stavby cyklostezky v extravilánu

Ze všech sledovaných staveb tvořily průměrně skladbu nákladů cyklostezek v intravilánu 80 % cyklostezka samotná a dalších 20 % nákladů bylo nutno vynaložit na související stavební objekty. V extravilánu byl tento poměr průměrně 85 % nákladů na cyklostezku a 15 % na související stavební objekty.

Návrh technickohospodářských ukazatelů

Zatřídění cyklostezky dle „Klasifikace stavební děl“:
CZ-CC 211219 Cyklostezky

Zatřídění cyklostezek dle „JKSO“ 822.29 Cyklostezky

Konstrukčně materiálová charakteristika krytu:

- z betonové dlažby,
- z kamenné dlažby,
- z asfaltového betonu,
- kombinace betonové dlažby a asfaltového betonu,
- kombinace kamenné dlažby a asfaltového betonu,
- ze štěrkodrti nebo štěrkopísku,
- montovaný betonový,
- monolitický betonový,
- bez krytu,
- z jiných materiálů.

Cenové ukazatele

Nově vytvořený ukazatel orientační ceny realizace plochy cyklostezky z analyzovaných staveb v cenové úrovni 2007 (neobsahuje VRN – NUS a DPH) je uveden v tab. 1.

Tab. 1. Ukazatel orientační ceny realizace plochy cyklostezky [Kč/m²]

JKSO	Průměr	Konstrukčně materiálová charakteristika					
		1	2	3	4	5	6
822.29 Cyklostezky	1 320	1 500	–	1 450	1 340	–	850

Výsledkem rozsáhlé analýzy (tab. 2, tab. 3) jsou tedy reálné technickohospodářské ukazatele vytvořené z realizovaných staveb se širokou možností využití v praxi. Získané orientační ceny na měrnou účelovou jednotku mohou využívat pro interní potřeby nejen investoři, projektanti, úřady veřejné správy a zhotovitelé, je možné je využívat i pro účely veřejné. Hlavními investory v oblasti výstavby cyklostezek jsou instituce veřejného sektoru, především města a obce. Pro investory staveb, kterými jsou často organizace hospodařící s veřejnými prostředky (z rozpočtu obcí a dotací), podléhá zadávání staveb platnému zákonu o zadávání veřejných zakázek (č. 137/2006 Sb.). Podle tohoto zákona má zadavatel veřejné zakázky povinnost uveřejňovat informace v informačním systému o zadávání veřejných zakázek a v některých případech také v úředním věstníku Evropské unie. Ke každé zakázce, na kterou byla uzavřena smlouva o dílo s vybraným uchazečem, má zadavatel povinnost vypracovat písemnou zprávu. Úřady veřejné správy by pak pomocí takové databáze snadno kontrolovaly, zda finanční prostředky poskytnuté na výstavbu cyklostezek byly oprávněné. Toto se týká především fondu SFDI, ze kterého jsou v současnosti poskytovány dotace na výstavbu cyklostezek.

Tab. 2. Struktura stavebních oddílů podle konstrukčně materiálové charakteristiky

Díl	Stavební díly	Průměr	Konstrukčně materiálová charakteristika [%]					
			1	2	3	4	5	6
1	zemní práce, bourání	28,4	22,8	–	31,5	19,7	–	39,6
2	zakládání	0,6	1,8	–	0,00	0,9	–	0,00
4	vodorovné konstrukce	0,2	0,3	–	0,5	0,0	–	0,00
5	komunikace	41,3	37,9	–	45,4	44,6	–	37,6
8	trubní vedení	4,1	0,7	–	0,00	1,2	–	14,5
9	ostatní konstrukce přesun hmot	25,4	36,5	–	22,6	33,6	–	4,6
celkem		100	100	–	100	100	–	100

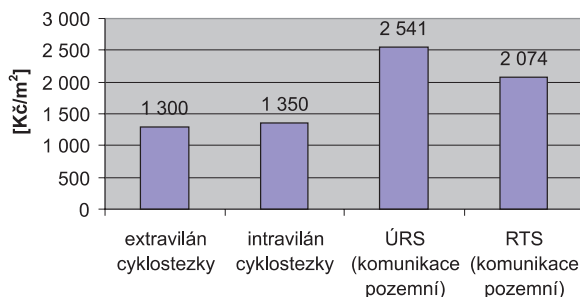
Výsledky analýz pořizovacích nákladů realizovaných staveb cyklostezek členěných do skupin v extravilánu a intravilánu jsou porovnány s ukazateli orientačních cen vydávaných společnostmi ÚRS a RTS (tab. 3, obr. 3). Je zřejmé, že

Tab. 3. Porovnání skladby nosných oddílů stavebních objektů cyklostezek se sborníkem ÚRS a RTS oboru 822

Objekty	ÚRS	RTS	Cyklostezky
1 zemní práce, bourání	42,1	20,9	28,4
5 komunikace	40,0	57,2	41,3
9 ostatní konstrukce a práce	6,6	10,7	25,4

Tab. 3. Porovnání pořizovacích nákladů s orientačními cenami ÚRS a RTS

Ukazatel	[Kč/m ²]
extravilán cyklostezky	1 300
intravilán cyklostezky	1 350
ÚRS (komunikace pozemní)	2 541
RTS (komunikace pozemní)	2 074



Obr. 3. Porovnání cenových ukazatelů

ukazatele ÚRS a RTS nejsou ke stanovení orientačních nákladů cyklostezek vhodné, a proto je třeba oddíl JKSO 822 – Komunikace o stavby cyklostezek rozšířit. Ukazatel neobsahuje náklady nesouvisející investice, projektové práce, NUS a DPH.

Čápová, D. – Hauveisen, M.: Construction of Cycling Paths in the Czech Republic

The development and construction of cycling paths receives financial support in the Czech Republic. For good-quality design preparation, price indexes for their erection were compiled from the completed constructions.

Čápová, D. – Hauveisen, M.: Der Bau von Radwegen in Tschechien

Die Entwicklung und der Bau von Radwegen werden in Tschechien finanziell gefördert. Für eine gute Ausarbeitung der Projekte wurden von realisierten Bauvorhaben Kennziffern für ihren Bau gebildet.

● zprávy

Bývalá tiskárna se promění v moderní hotel

V třípůlhvězdičkový hotel Park Inn Praha se promění bývalý areál společnosti Polygrafia v Praze 2. Tiskařské stroje zde vystřídá 209 hotelových pokojů, konferenční centrum a restaurace, které bude provozovat mezinárodní hotelový řetězec The Rezidor Hotel Group pod značkou Park Inn.

Secesní průmyslová budova společnosti Polygrafie, dříve tiskárna Unie, pochází z roku 1907 a její rekonstrukce a dostavba byly detailně konzultovány s památkáři. Nad garáží a kongresovým centrem vzniknou střešní zahrady osazené rostlinami výrazných barev a menšími stromy. Na střeše objektu na tuto zahradu naváže zeleň umístěná v nádobách. Nové stromy hodlá investor vysadit také v okolí objektu.



Vnější fasáda zůstane prakticky nedotčena, pouze bude kompletně renovována. Uvnitř areálu naopak dojde k velkým změnám. Nová křídla budovy budou postavena v nejmodernějším architektonickém stylu, důkladnou proměnou projdou i stávající části objektu. Rekonstrukci v hodnotě 511 mil. Kč provádí společnost Skanska CZ od prosince 2007 do ledna 2009. Investorem projektu je developerská společnost Red Group.

Autorem návrhu je IBA Ian Bryan Architects, realizační dokumentaci zpracovala HELIKA.

Tisková informace



STAVBA ROKU
2008

www.stavbaroku.cz

Prostorový skenovací systém s virtuálními binárními značkami

Ing. Rudolf URBAN
Ing. Martin ŠTRONER, Ph.D.
ČVUT – Fakulta stavební
Praha

Článek popisuje trojrozměrný skenovací systém s virtuálními binárními značkami a experiment pro zjištění jeho přesnosti. Systém byl vyvinut jako dostupný pro skenování malých objektů s přesností větší než 1 mm.

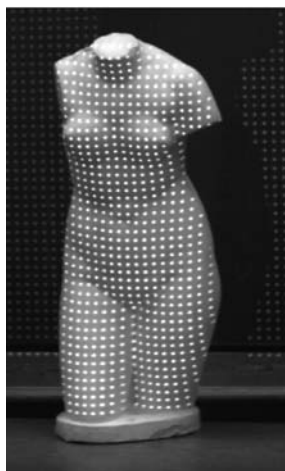
Úvod

Nejnovějším způsobem získání velkého množství podrobných bodů je technologie skenerů, která získává bezdotykově prostorové informace (3D) o povrchu těles automaticky a v krátkém čase. Získaná data umožňují vytvoření trojrozměrného modelu objektu a s využitím příslušného programového vybavení i virtuální prohlížení a manipulaci.

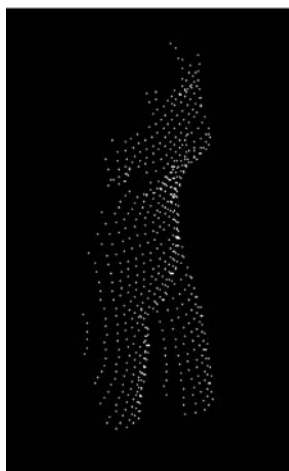
V rámci grantového projektu GA ČR „Zpracování a analýza produktů hromadného sběru 3D dat terestrickými skenovacími systémy“ je vyvíjen fotogrametrický skenovací systém pro dokumentaci menších předmětů, zejména v památkové péči. Systém využívá promítání virtuálních značek s binárním kódem na skenovaný předmět, který je snímán digitální kamerou.

Princip měření

Systém je založen na použití dataprojektoru, kterým se promítají virtuální značky na skenovaný objekt (obr. 1), a digitálního fotoaparátu jako sběrné jednotky dat. Virtuální značky na objektu jsou propojeny s výchozí souřadnicovou soustavou vřícovacími body [1].



Obr. 1. Snímek z měření sochy ženy



Obr. 2. Ukázka vyhodnocení sochy ženy

Z hlediska měření je možné skenovací proces rozdělit na dvě části. První je zaměření vřícovacích bodů klasickými

geodetickými metodami. Druhá vychází z principu fotogrametrie, kde jde o zjištění snímkových souřadnic virtuálních značek a vřícovacích bodů. Měření snímkových souřadnic je převedeno pouze na zjištění polohy příslušného pixelu v určitém rastru, jímž je digitální fotografie. Určení snímkových souřadnic a následné operace jsou již záležitostí osobního počítače a výsledkem celého systému jsou prostorové souřadnice bodů povrchu skenovaného objektu (obr. 2).

Vřícovací body

Pro správnou funkci systému je mimo stability a jednoznačnosti vřícovacích bodů důležité zejména jejich rozložení. Musí se volit tak, aby co nejlépe prostorově ohraničovaly skenovaný objekt a nenacházely se v rovině. Pokud by tomu tak nebylo, výpočet prostorových souřadnic by mohl selhat, v lepším případě by vypočtené souřadnice nebyly správné. Na každém snímku musí být vidět minimálně sedm vřícovacích bodů vhodných k vyhodnocení. Jisté omezení plyne z různých světelných dispozic okolí skenovaného objektu, pokud například bude jedna strana objektu osvětlena silným zdrojem světla (slunce) a zbytek bude ve stínu, nastane problém s vyhodnocením virtuálních značek a vřícovacích bodů. Je dokonce možné, že na přesvětlené straně objektu nebudou značky patrné. Ve stínu nebudou naopak dobře vidět vřícovací body.

Princip generování a dekódování virtuálních značek

Základní částí skeneru je generování, a posléze identifikace kódů obsažených ve značkách. Vzhledem k tomu, že snímání objektu má obecně nepravidelný tvar, je pro každý bod vytvořen unikátní číselný kód, který převedený do dvojkové soustavy vytváří sekvenci jedniček a nul. Pokud je jednička přiřazena určitá barva a nule jiná, lze ve vysílaném vzoru z dataprojektoru vytvořit posloupnost obrazů jednoznačně identifikující vybrané body.

Dekódování pak probíhá tak, že ke každému pixelu v posloupnosti snímků jsou podle provedené kalibrace přiřazeny hodnoty nula a jedna a ty dále převedeny na číslo v desítkové soustavě. Stejná sekvence snímků se sejme z různých stanovisek a při stejné provedeném vyhodnocení mají identické body zaměřené z různých stanovisek stejný kód. Za podmínky znalosti prvků vnitřní a vnější orientace lze potom určit prostorové souřadnice signalizovaných bodů.

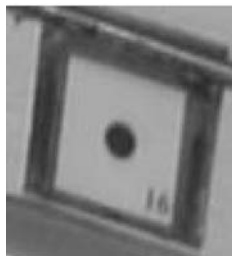
Snímkové souřadnice – vřícovací body

Určování snímkových souřadnic vřícovacích bodů probíhá poloautomaticky pomocí programu Odečítač při zvolení vhodné signalizace terčů. Určování středu spojitých oblastí předchází definice barevné konfigurace bodů, které vyhodnocujeme. Z poloh pixelů všech bodů spojitě oblasti je poté vypočtena průměrná hodnota, jež vstupuje do dalších výpočtů.

Pro virtuální značku (obr. 3) je vyhodnocovaná oblast světlá, zatímco pro vřícovací bod (obr. 4) je zvolena oblast tmavá. Odečtení se musí provést pro každé stanovisko fotoaparátu.



Obr. 3. Virtuální značka



Obr. 4. Vlíčovací bod

Direktní lineární transformace a radiální distorze objektivu

Aby mohly být vypočítány koeficienty direktní lineární transformace (11 parametrů) a koeficienty radiální distorze objektivu (3 parametry), musí být známy souřadnice nejméně šesti vličovacích bodů v geodetické soustavě (XYZ) a v soustavě snímkových souřadnic (x', y') pro výpočet příbližných hodnot a nejméně sedmi bodů pro výpočet bez vyrovnání. Výpočet se opět provádí pro každé stanovisko fotoaparátu.

Snímkové souřadnice – virtuální značky

Nyní je nutné zajistit převodní vztah mezi souřadnicemi snímkovými a souřadnicemi místními. Aby bylo možné spočítat souřadnice virtuálních značek v místním systému, je nutné znát jejich souřadnice na snímku. Opět je možné použít Odečítač snímkových souřadnic, ovšem tentokrát to musí být automatický program, který dekóduje čísla virtuálních značek, a zároveň odečte souřadnice, neboť objem dat již vylučuje ruční zadávání bodů.

Místní souřadnicový systém – virtuální značky

Vše je připravené k výpočtu prostorových souřadnic povrchu skenovaného objektu. Pro výpočet prostorových souřadnic jedné virtuální značky (X, Y, Z) musí být známy nejméně tři souřadnice identické značky na snímcích. To znamená, že vždy musí existovat minimálně dvě stanoviska, ze kterých je pořízen soubor digitálních fotografií.

Matematický základ direktní lineární transformace

Matematickým základem jsou rovnice, které určují zobrazení z geodetických prostorových souřadnic do snímkových souřadnic,

$$x' = \frac{L_1 \cdot X + L_2 \cdot Y + L_3 \cdot Z + L_4}{L_9 \cdot X + L_{10} \cdot Y + L_{11} \cdot Z + 1}, \quad (1)$$

$$y' = \frac{L_5 \cdot X + L_6 \cdot Y + L_7 \cdot Z + L_8}{L_9 \cdot X + L_{10} \cdot Y + L_{11} \cdot Z + 1}. \quad (2)$$

Tyto transformační rovnice vycházejí z rovnic projektivní transformace, ze kterých vzniknou nikoli triviální úpravou. Parametry transformace jsou $L_1, L_2, \dots, L_{11}, x', y'$ snímkové souřadnice, X, Y, Z geodetické souřadnice vličovacích bodů. V parametrech transformace jsou ukryty prvky vnitřní (konstanta komory f , souřadnice hlavního snímkového bodu x'_0, y'_0) a vnější orientace (souřadnice vstupní pupily X_0, Y_0, Z_0 , rotační matice $\mathbf{R}_{(3,3)}$).

Pro výpočet opravy pro snížení vlivu radiální distorze se používají polynomy uvedené ve vzorci

$$\begin{aligned} x' - x'_0 &\xrightarrow{\text{subst.}} (1 + k_0 r^2 + k_1 r^4 + k_2 r^6) (x' - x'_0) = \mathbf{R} \cdot (x' - x'_0) \\ y' - y'_0 &\xrightarrow{\text{subst.}} (1 + k_0 r^2 + k_1 r^4 + k_2 r^6) (y' - y'_0) = \mathbf{R} \cdot (y' - y'_0), \end{aligned} \quad (3)$$

kde r je vzdálenost bodu (x', y') od hlavního snímkového bodu (x'_0, y'_0). Ve většině publikací (např. [2]) se uvádí, že postačí i polynom druhého řádu.

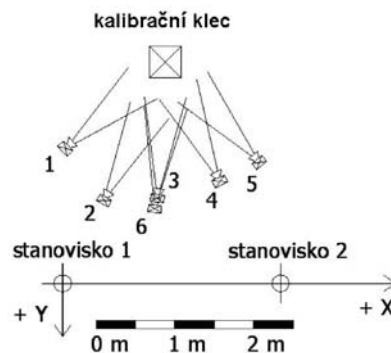
Přístroje

Od počátku návrhu systému byla jedním z hlavních požadavků nízká pořizovací cena. K dispozici je digitální kamera Lumenera LU125C s rozlišením 1,3 megapixelů, která se připojuje k počítači prostřednictvím USB 2.0 portu. Dále se využívá výkonný dataprojektor Umax Lumens LM136 se svítivostí 3600 ANSI lumenů a kontrastním poměrem 400 : 1. Sestava je propojena s notebookem.

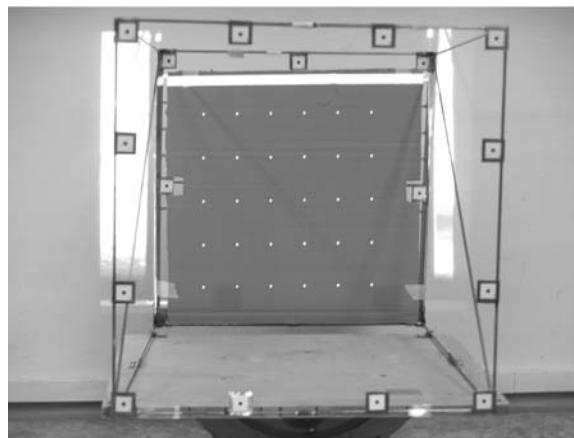
Měřický experiment

Ověřování přesnosti měření prototypu

Hlavní částí experimentu byl výzkum přesnosti systému. Celkem 30 virtuálních binárních značek bylo promítnuto na zadní stěnu kalibrační klece (obr. 6) a zaměřeno přístrojem Topcon GPT-2006 [5]. Snímání probíhalo ze šesti různých stanovisek. Situace experimentu s měřítkem je znázorněna na obr. 5.



Obr. 5. Situace experimentu



Obr. 6. Kalibrační klec s virtuálními značkami

Pro zaměření vřícovacích bodů a 30 virtuálních značek byla zvolena metoda protínání vpřed z úhlů. Virtuální značky promítnuté dataprojektorem vytvářely na stěně kalibrační klece čtvercový obraz (4 × 4 pixely), jehož rozměry byly ve skutečnosti přibližně 5 × 5 mm. Vřícovací body byly zřetelné a cílení bylo bez problémů.

Výpočet souřadnic v místním systému byl proveden vyrovnáním v programu GNU Gama 1.9 [3], aby byl znám chybový rozbor měření. V tabulce 1 je dX, dY, dZ rozdíl souřadnic ze skeneru a měřených přístrojem Topcon, vypočítaný podle vzorců

$$dX = X_T - X_S, \quad dY = Y_T - Y_S, \quad dZ = Z_T - Z_S, \quad (4)$$

kde index T značí souřadnici určenou přístrojem Topcon, S určenou skenerem. Prostorová odchylka se pak vypočítá podle vzorce

$$dp = \sqrt{(dX^2 + dY^2 + dZ^2)}. \quad (5)$$

Indexem R jsou označeny veličiny vypočtené po zavedení redukci.

Tab. 1. Rozdíl souřadnic virtuálních binárních značek

Bod	dX	dY	dZ	dp	dx _R	dy _R	dz _R	dp _R
	[mm]							
101	-0,02	0,34	-0,72	0,80	0,18	0,17	-0,2	0,32
102	-0,15	0,21	-0,73	0,77	0,04	0,04	-0,21	0,22
103	0,03	0,24	-0,73	0,77	0,23	0,07	-0,21	0,32
104	-0,06	-0,04	-0,76	0,76	0,13	-0,21	-0,24	0,34
105	-0,21	0,12	-0,58	0,63	-0,02	-0,05	-0,06	0,08
106	-0,15	-0,06	-0,38	0,41	0,04	-0,23	0,14	0,27
107	-0,05	0,37	-0,63	0,73	0,15	0,20	-0,11	0,27
108	-0,10	0,06	-0,63	0,64	0,09	-0,11	-0,11	0,18
109	-0,22	0,33	-0,67	0,78	-0,02	0,16	-0,15	0,22
110	-0,41	-0,02	-0,52	0,66	-0,21	-0,19	0,00	0,29
111	-0,37	0,14	-0,54	0,67	-0,18	-0,03	-0,02	0,18
112	-0,29	0,17	-0,65	0,73	-0,10	0,00	-0,13	0,16
113	-0,13	0,39	-0,57	0,70	0,07	0,22	-0,05	0,24
114	-0,31	0,32	-0,51	0,68	-0,12	0,15	0,01	0,19
115	-0,24	0,05	-0,53	0,58	-0,04	-0,12	-0,01	0,13
116	-0,26	0,11	-0,43	0,51	-0,06	-0,06	0,09	0,13
117	-0,17	0,05	-0,54	0,57	0,02	-0,12	-0,02	0,12
118	-0,27	0,10	-0,59	0,66	-0,07	-0,07	-0,07	0,12
119	0,01	0,43	-0,32	0,54	0,21	0,26	0,20	0,39
120	-0,22	0,08	-0,30	0,38	-0,03	-0,09	0,22	0,24
121	-0,22	0,2	-0,42	0,51	-0,02	0,03	0,1	0,11
122	-0,57	0,08	-0,47	0,74	-0,37	-0,09	0,05	0,39
123	-0,18	0,22	-0,42	0,51	0,01	0,05	0,10	0,11
124	-0,16	0,12	-0,36	0,41	0,03	-0,05	0,16	0,17
125	-0,09	0,09	-0,41	0,43	0,11	-0,08	0,11	0,17
126	-0,26	0,59	-0,39	0,75	-0,06	0,42	0,13	0,45
127	-0,22	0,29	-0,45	0,58	-0,02	0,12	0,07	0,14
128	-0,24	-0,10	-0,48	0,55	-0,04	-0,27	0,04	0,28
129	-0,15	0,17	-0,37	0,43	0,05	0,00	0,15	0,16
130	-0,17	0,01	-0,53	0,56	0,03	-0,16	-0,01	0,16
redukce	-0,19	0,17	-0,52	-	-	-	-	-

Výběrová směrodatná odchylka polohová před redukcí je rovna 0,64 mm podle vzorce

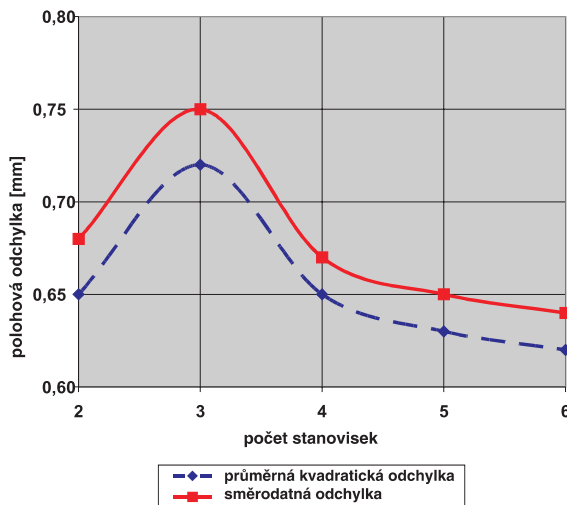
$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{\sum dp^2}{n-1}}, \quad \text{kde } (n-1) = 29. \quad (6)$$

Pro hodnocení relativní přesnosti objektu skenování je možné odchylky v souřadnicových osách redukovat jejich průměrnými hodnotami. Teoreticky se tak potlačuje působení systematických chyb, které, jak je patrné z tab. 1, nejvíce ovlivnily svislou osu Z. Minimální polohová odchylka po redukcí je 0,08 mm, maximální 0,45 mm, průměrná polohová odchylka po redukcí podle (7) je rovna 0,22 mm.

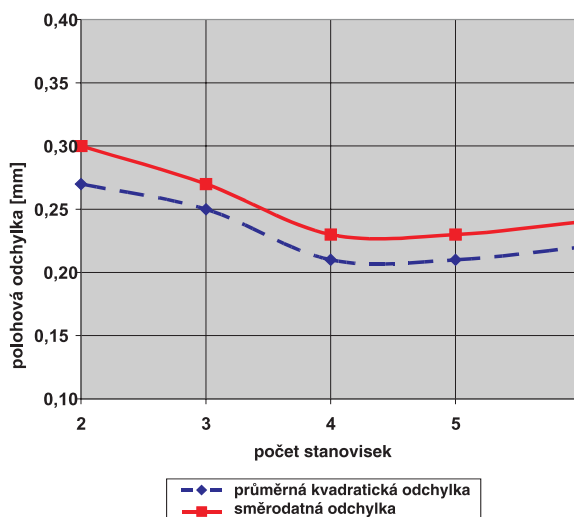
$$\sigma_{PR} = \frac{\sum dp_R}{n}, \quad \text{kde } n = 30. \quad (7)$$

Výběrová směrodatná odchylka polohová po redukcí je rovna 0,24 mm podle vzorce

$$\sigma_{0R} = \sqrt{\frac{\sum dp_R^2}{n-1}}, \quad \text{kde } (n-1) = 29. \quad (8)$$



Obr. 7. Efektivita počtu snímků



Obr. 8. Efektivita počtu snímků po redukcí

Z hodnot směrodatných odchylek je zřejmé, že relativní přesnost celého systému, s přihlédnutím k použitým pomůckám, je pro další výzkum a uvedení do praxe příznivá.

Pro určení efektivnosti počtu snímků skenovacího systému byly souřadnice virtuálních bodů vypočteny z nevhodnějších kombinací snímků. Dále byly porovnány se zaměřením geodetickým, a následně hodnota dosažených odchylek vynesena do grafů na obr. 7 a obr. 8. Je zřejmé, že zvětšování počtu snímků je pro přesnost celého systému téměř zbytečné. Lze tedy usuzovat, že se systém pohybuje na hranici dosažitelné přesnosti, kterou použitý soubor přístrojů a pomůcek může nabídnout.

Směrodatná odchylka skeneru se vypočítá podle vzorce

$$\sigma_S = \sqrt{\sigma_A^2 - \sigma_T^2}, \quad \sigma_T = 0,19 \text{ mm}, \quad (9)$$

kde σ_T je výběrová směrodatná odchylka polohová rozdílů Topconu a skeneru (6), σ_S je výběrová směrodatná odchylka polohová Topconu z protokolu GNU Gama 1.9, vypočtená z polohových odchylek podle vzorce (6). Směrodatná odchylka skeneru $\sigma_S = 0,61$ mm (použito všech šest snímků). Směrodatná odchylka skeneru po redukci $\sigma_{SR} = 0,15$ mm (použito všech šest snímků).

Tab. 2. Rozdíl souřadnic virtuálních značek

Bod	dx	dy	dy	mp	dx_R	dy_R	dz_R	dp_R
	[mm]							
101	-0,02	0,24	-0,02	0,24	-0,01	0,37	0,08	0,38
102	-0,15	0,01	-0,13	0,20	-0,14	0,14	-0,03	0,20
103	0,03	-0,06	-0,13	0,15	0,04	0,07	-0,03	0,09
104	-0,06	-0,04	-0,26	0,27	-0,05	0,09	-0,16	0,19
105	-0,21	-0,08	-0,08	0,24	-0,20	0,05	0,02	0,21
106	-0,15	-0,16	-0,18	0,28	-0,14	-0,03	-0,08	0,16
107	0,15	0,17	-0,03	0,23	0,16	0,30	0,07	0,35
108	0,00	0,06	-0,13	0,14	0,01	0,19	-0,03	0,19
109	0,08	0,13	-0,07	0,17	0,09	0,26	0,03	0,28
110	-0,31	-0,12	-0,12	0,35	-0,30	0,01	-0,02	0,3
111	-0,07	-0,16	-0,24	0,30	-0,06	-0,03	-0,14	0,15
112	-0,29	-0,33	-0,15	0,46	-0,28	-0,20	-0,05	0,35
113	0,07	0,19	0,03	0,20	0,08	0,32	0,13	0,36
114	-0,01	0,12	-0,01	0,12	0,00	0,25	0,09	0,27
115	0,06	-0,05	-0,03	0,08	0,07	0,08	0,07	0,13
116	-0,06	-0,29	-0,13	0,32	-0,05	-0,16	-0,03	0,17
117	0,03	-0,45	-0,14	0,47	0,04	-0,32	-0,04	0,32
118	-0,07	-0,30	-0,19	0,36	-0,06	-0,17	-0,09	0,2
119	0,11	0,33	0,28	0,45	0,12	0,46	0,38	0,61
120	0,08	-0,12	0,1	0,18	0,09	0,01	0,20	0,22
121	0,08	-0,3	-0,02	0,31	0,09	-0,17	0,08	0,21
122	-0,07	-0,52	-0,07	0,53	-0,06	-0,39	0,03	0,39
123	0,12	-0,48	-0,12	0,51	0,13	-0,35	-0,02	0,37
124	0,14	-0,28	-0,16	0,35	0,15	-0,15	-0,06	0,22
125	0,11	0,09	0,09	0,17	0,12	0,22	0,19	0,32
126	-0,06	-0,31	-0,29	0,43	-0,05	-0,18	-0,19	0,27
127	0,08	-0,11	-0,15	0,20	0,09	0,02	-0,05	0,10
128	0,06	-0,6	-0,18	0,63	0,07	-0,47	-0,08	0,48
129	0,05	-0,23	-0,17	0,29	0,06	-0,10	-0,07	0,13
130	0,03	-0,29	-0,33	0,44	0,04	-0,16	-0,23	0,28
redukce	-0,01	-0,13	-0,1	-	-	-	-	-

Ověřování přesnosti systému kamerou s vyšším rozlišením

Druhou částí experimentu bylo předběžné ověření přesnosti skenovacího systému s využitím fotoaparátu s větším rozlišením. Pro tento experiment byl zapůjčen fotoaparát Olympus E 300 s rozlišením 8 Mpix. Programové vybavení nebylo fotoaparátu uzpůsobeno, a proto nebylo možné provést skenování a dekodování značek automaticky. Snímkové souřadnice byly proto určeny poloautomaticky v programu Odečítač, což bylo pro ověření přesnosti dostačující. Experiment byl proveden ve stejné konfiguraci klece, vřícovacích bodů a virtuálních značek jako předešlý. Bylo pořizeno pět snímků kalibrační klece včetně virtuálních bodů. Vyhodnocené výsledky jsou uvedeny v tab. 2. Charakteristiky přesnosti byly vypočteny stejně jako u hlavního experimentu.

Výběrová směrodatná odchylka polohová před redukcí je rovna 0,34 mm, po redukci 0,29 mm. Je vhodné zdůraznit, že přesnost kontrolní metody je srovnatelná s přesností měření, a proto výsledná přesnost skeneru 0,28 mm (bez redukce) je orientační hodnota.

Závěr

Prototyp fotogrametrického skenovacího systému pro dokumentaci menších předmětů, zejména v památkové péči, který využívá promítání virtuálních značek s binárním kódem na skenovaný předmět, dosáhl v experimentu směrodatné odchylky v poloze bodu 0,61 mm. Digitálním fotoaparátem s rozlišením 8 Mpix bylo dosaženo výběrové směrodatné odchylky v poloze bodu 0,28 mm. Závislost přesnosti systému na rozlišení kamery se potvrdilo porovnáním dvou současně provedených experimentů, 50% zvýšení přesnosti (výběrová směrodatná odchylka v poloze před redukcí) bylo způsobeno změnou rozlišení z 1,3 na 8 Mpix. Dále je zřejmé omezení systematických vlivů způsobených zřejmě nedostatečnou přesností určení prvků vnitřní a vnější orientace.

Vývoj systému bude pokračovat, prvním krokem bude zařazení digitálního fotoaparátu s kvalitním objektivem (digitální zrcadlovky) s rozlišením 10 Mpix do systému pro zvýšení přesnosti a dále vývoj algoritmů pro zjednodušení procesu skenování a určení souřadnic vřícovacích bodů.

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] Štroner, M. – Pospíšil, J.: Návrh skenovacího systému s virtuálními binárními značkami. Stavební obzor, 14, 2005, č. 10, s. 300-302. ISSN 1210-4027.
- [2] Hanzl, V.: Přímá lineární transformace snímkových souřadnic s eliminací radiálního zkreslení objektivu. Geodetický a kartografický obzor, 32/74, 1986, č. 5, s. 113-116.
- [3] Čepek, A.: GNU Gama 1.9 - Adjustment in Geodetic Networks. Edition 0.19, 2005.
- [4] Štroner, M.: Manuál k programu DLT3k (verze 2.1). 2002.
- [5] Firemní literatura k přístroji Topcon GPT-2006.

Urban, R. – Štroner, M.: Spatial Scanning System with Virtual Binary Targets

The text describes a 3D scanning system with virtual binary targets. It includes description of the system and an experimental test of the system's precision. The main objective was to develop a low-price and easily available scanning system, designed for small objects with the precision of point in 3D lower than 1 mm.

Urban, R. – Štroner, M.: Räumliches Scansystem mit virtuellen binären Zeichen

Der Artikel präsentiert ein 3D-Scansystem mit virtuellen Binärzeichen und einen Versuch zur Feststellung seiner Genauigkeit. Das System wurde als billiges und verfügbares System für Zwecke des Scannens kleiner Objekte mit einer Genauigkeit von über 1 mm entwickelt.



Kraus, I.

Fyzika v kulturních dějinách Evropy
Století elektřiny

Česká technika, 2008, 256 s., 295 Kč

Devatenácté století bývá nazýváno věkem páry a elektřiny, jindy zase léty, na jejichž konci byla bohatá úroda zá-

kladných zákonů termodynamiky a teorie elektromagnetického pole. Jak se technika s fyzikou tehdy navzájem ovlivňovaly a jak podobné byly osudy jejich hrdinů, o tom je 22 kapitol třetího svazku Fyziky v kulturních dějinách Evropy, nazvaného Století elektřiny. Kniha má dvě části – Příběh o žabích stehýnkách a jeho patnáct pokračování a Ve službách revoluce. Pro přátele exaktních věd to jsou místa setkání s učenici, jejichž jména se stala součástí slovní zásoby jazyků celého světa, např. Ampér, Coulomb, Oersted, Gauss, Ohm, Faraday, Maxwell, Hertz, Tesla, Watt, Young, Joule, i s desítkami dalších génů, kteří připravovali a uskutečnili průmyslovou revoluci. Chronologicky uspořádaná vyprávění o životě, vítězstvích i prohrách proslulých evropských inženýrů a přírodovědců autor uvádí do širších kulturně historických souvislostí.

•projekty

IGLAVIA PARK

Rekonstrukci stávajícího sídla PSJ holding, zastavění volných ploch v jeho blízkosti moderní architekturou, nabídku kvalitních administrativních prostor a vytvoření klidové zóny parkového typu, to vše slibuje připravovaný developerní projekt na jihlavské Jiráskově ulici.

Zvukomalebný a jednoduchý název IGLAVIA PARK je odvozen z původního latinského názvu Jihlavy, a zároveň souvisí s řešením projektu jako otevřeného administrativního souboru skládajícího se z několika budov s jednotným vnitřním uspořádáním. Ty jsou navíc umístěny do kultivovaného parkového území. Pětice věžových objektů v místě hlavního příjezdu do města, v místě, kde vlastně počíná jeho kompaktní urbanistická textura, vytvoří symbolický motiv hradebních věží, motiv příjezdu do města, motiv artikulující místo přechodu „předměstské“ krajiny v pevnou strukturu města.

Projekt předpokládá etapovou výstavbu ze západu k východu. Postupně dojde k vybudování souvisejících dopravních napojení a úpravě zelených parkových ploch. Úvodní fází bude představovat rekonstrukce stávající výškové administrativní budovy, přičemž návrh počítá s demolicí nízké dvoupodlažní části k ní připojené. Poté by ve spojení s původní budovou vyrostly další dva desetipodlažní objekty propojené příčným krčkem vyrůstajícím ze společné podnože. Závěrečná etapa předpokládá výstavbu dalších dvou budov stejného řešení ve spodní východní části pozemku v prostoru pod současným objektem České spořitelny. Toho se projekt nedotkne.



Propojením spodních podlaží jednotlivých věží se získá společné zázemí v podobě podzemních garáží, strojoven, vstupních hal, recepcí, konferenčních center, kantýn či kaváren. V patrech bude každé podlaží skýtat takřka 1 700 m² pronajimatelné kancelářské plochy s maximální flexibilitou. Hrubá podlažní plocha celého projektu by měla dosáhnout 39 000 m². Celkové náklady se odhadují na 1,5 až 2 mld. Kč.

Tisková informace

Zhuštění naskenovaných mračen bodů daty z digitálního snímku

Ing. Martin ŠTRONER, Ph.D.
prof. Ing. Jiří POSPÍŠIL, CSc.

ČVUT – Fakulta stavební
Praha

V článku je prezentován postup zhuštění mračna bodů získaných skenováním daty z digitálního snímku na kosturu tvořenou trojúhelníkovou sítí promítnutím pixelů snímku na jednotlivé rovinné plošky reprezentující povrch objektu.

Úvod

Skenovací systémy umožňují přímé bezkontaktní určování prostorových souřadnic, trojrozměrné modelování a vizualizaci složitých staveb a konstrukcí, interiérů, podzemních prostor, libovolných terénů atp. mimořádnou rychlostí, přesností, komplexností a bezpečností. Základním požadavkem na analýzu a zpracování dat je spojování mračen bodů, prokládání geometricky přesně definovaných prostorových útvarů metodou nejmenších čtverců, vytváření nepravidelných trojúhelníkových sítí a na takto vytvořených plochách různé pokročilejší výpočty. Povrch předmětů má také málokdy konstantní barvu. Různobarevnost plochy lze vyjádřit nanesením textury.

Jiným způsobem vyjádření barvy povrchu, umožňujícím další měřické a početní zpracování, je zahuštění naskenovaných mračen bodů daty z digitálního snímku. V případě, že je k dispozici mračno bodů ze skenování s již vytvořeným modelem s použitím trojúhelníkové sítě s tím, že povrch má převážně rovinný charakter (nebo alespoň jeho části), lze na základě vhodně pořízené digitální fotografie zhuštit mračno bodů promítnutím pixelů snímku na jednotlivé rovinné plošky reprezentující povrch objektu. Je vhodné upozornit na to, že tato technika není rovnocenná měření bodů v prostoru skenováním, jde o doplnění bodů s významnou barevnou informací do mračna, a tedy možnost vyhodnocení např. drobných reliéfů nebo maleb. Je tak možné významně zkrátit dobu měření, protože skener měří tisíce bodů za sekundu, běžně dostupná digitální zrcadlovka dvanáct milionů. Je možné tak zaměřit libovolné detaily a zobrazit je do prostoru pomocí „kostry“ určené měřením skenerem.

Zobrazovací rovnice

Pro popis zobrazení bodů z prostoru do snímku se využívají obvykle dva typy rovnic – rovnice projektivní transformace a rovnice direktní lineární transformace.

Projektivní transformace

Protínání svazku paprsků odpovídá geometrické představě průmětu bodu do roviny snímku. K tomu se váže několik pojmů, které je vhodné doplnit. Zobrazení skutečnosti do obrazových dat je dáno prvky vnitřní a vnější orientace. Každá fotokomora je definována parametry, tzv. prvky vnitř-

ní orientace, tj. konstantou komory f , souřadnicemi hlavního snímkového bodu x'_0, y'_0 a průběhem distorze objektivu.

– Konstanta komory f je definována jako vzdálenost hlavního snímkového bodu od středu výstupní pupily objektivu.

– Hlavní snímkový bod H' o snímkových souřadnicích x'_0, y'_0 je průsečíkem roviny snímku s paprskem, který odpovídá paprsku kolmému na rovinu snímku procházejícímu v předmětovém prostoru středem promítání.

– Distorze je optická vada objektivu, která má vliv na geometrické zobrazení objektu do snímku. Má dvě základní složky – radiální a tangenciální. V případě neměřických komor (běžné fotografické i digitální přístroje) se zavádějí jako neznámé parametry a lze je určit při vyrovnání.

Prvky vnější orientace jsou souřadnice středu vstupní pupily X_0, Y_0, Z_0 a úhly ω, φ, κ trojice stočení osy záběru (po řadě pro osy X, Y, Z) a pro každý snímek musí být určeny.

Matematická formulace zobrazení vychází z podmínky kolinearity, tj. střed promítání O , bod obrazu P_0 a bod objektu P leží v okamžiku pořízení snímku na jedné přímce. Podmínku kolinearity je pak možno vyjádřit vztahy podle [1]

$$\frac{x' - x'_0}{-f} = \frac{X - X_0}{Z - Z_0}, \quad (1)$$

$$\frac{y' - y'_0}{-f} = \frac{Y - Y_0}{Z - Z_0}. \quad (2)$$

Přímý vztah mezi snímkovými a prostorovými souřadnicemi obsahuje prvky vnitřní i vnější orientace a je dán vzorcem

$$x' = x'_0 - f \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}, \quad (3)$$

$$y' = y'_0 - f \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}, \quad (4)$$

kde koeficienty $r_{i,j}$ jsou prvky matice rotace \mathbf{R} podle vzorce

$$\mathbf{R} = \mathbf{R}_{X(\omega)} \cdot \mathbf{R}_{Y(\varphi)} \cdot \mathbf{R}_{Z(\kappa)} \quad (5)$$

$$\mathbf{R}_{X(\omega)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega & -\sin \omega \\ 0 & \sin \omega & \cos \omega \end{pmatrix},$$

$$\mathbf{R}_{Y(\varphi)} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & 0 & \sin \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \varphi & 0 & \cos \varphi \end{pmatrix}, \quad (6)$$

$$\mathbf{R}_{Z(\kappa)} = \begin{pmatrix} \cos \kappa & -\sin \kappa & 0 \\ \sin \kappa & \cos \kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Pro snížení vlivu distorze objektivu se využívají různé funkce na fyzikálním (členy pro opravu radiální distorze, případně tangenciální) nebo matematickém základu (různé typy polynomů), zde označené fd_x a fd_y , které jsou obvykle funkcí snímkových souřadnic a dalších hodnot. Snímkové souřadnice x' , y' je pro zavedení opravy z distorze třeba nahradit podle vzorců

$$x' \rightarrow x' + fd_x(x', y', x'_0, \dots), \quad (7)$$

$$y' \rightarrow y' + fd_y(x', y', y'_0, \dots). \quad (8)$$

Po zavedení opravy z distorze do vzorců (3) a (4) lze získat rovnice popisující vztah prostorových a snímkových souřadnic s potlačením vlivu distorze

$$x' = x'_0 - f \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} + fd_x(x', y', x'_0, \dots), \quad (9)$$

$$y' = y'_0 - f \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} + fd_y(x', y', y'_0, \dots). \quad (10)$$

U snímku pořízeného digitálním fotoaparátem nejsou známy prvky ani vnitřní, ani vnější orientace, ani koeficienty radiální distorze. U měřických komor jsou obvykle z kalibrace známy prvky vnitřní orientace a koeficienty radiální distorze, ale u neměřických, a zvláště digitálních přístrojů vzhledem k jejich konstrukci a automatickému zaostřování je nelze považovat za stabilní, a je proto nutno prvky vnitřní i vnější orientace určovat pro každý snímek pomocí vličovacích bodů, nelépe ve společném vyrovnání [2].

Direktní lineární transformace

Direktní lineární transformace je zobrazení, které proti protínání svazku paprsků obsahuje dvě neznámé navíc, a tedy lépe aproximuje případy, kde zobrazení není např. vlivem nedokonalosti zobrazovací soustavy dokonalé. Vzhledem k jednoduššímu tvaru rovnic je výpočet a jeho odvození snazší. Matematickým základem jsou následující dvě rovnice ([1]), které určují zobrazení z geodetických prostorových souřadnic do snímkových souřadnic,

$$x' = \frac{L_1 X + L_2 Y + L_3 Z + L_4}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1}, \quad (11)$$

$$y' = \frac{L_5 X + L_6 Y + L_7 Z + L_8}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1}. \quad (12)$$

Tyto transformační rovnice vycházejí z rovnic projektivní transformace, ze kterých vzniknou nikoli triviální úpravou. Parametry transformace jsou L_1, L_2, \dots, L_{11} ; x' , y' snímkové souřadnice; X, Y, Z geodetické souřadnice vličovacích bodů. V parametrech transformace jsou ukryty prvky vnitřní (konstanta komory f , souřadnice hlavního snímkového bodu x'_0, y'_0) a vnější orientace (souřadnice vstupní pupily X_0, Y_0, Z_0 , rotační matice \mathbf{R} , resp. tři úhly otočení kolem souřadnicových os), a další dva parametry zobrazení p a λ . Pokud se označí

$$\mathbf{a} = \begin{pmatrix} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \end{pmatrix}, \mathbf{b} = \begin{pmatrix} L_5 \\ L_6 \\ L_7 \end{pmatrix}, \mathbf{c} = \begin{pmatrix} L_9 \\ L_{10} \\ L_{11} \end{pmatrix}, \quad (13)$$

pak pro výpočet prvků orientace platí podle [1]

$$x'_0 = \frac{\mathbf{a}^T \mathbf{c}}{\mathbf{c}^T \mathbf{c}}, y'_0 = \frac{\mathbf{b}^T \mathbf{c}}{\mathbf{c}^T \mathbf{c}}, f^2 = \frac{\mathbf{a}^T \mathbf{a}}{\mathbf{c}^T \mathbf{c}} - \left(\frac{\mathbf{a}^T \mathbf{c}}{\mathbf{c}^T \mathbf{c}} \right)^2, p = \sqrt{\mathbf{a}^T \mathbf{c}}, m = \frac{\det[\mathbf{abc}]}{p^3 f^2}$$

$$\lambda = \frac{(\mathbf{a}^T \mathbf{c})(\mathbf{c}^T \mathbf{c}) - (\mathbf{a}^T \mathbf{b})(\mathbf{b}^T \mathbf{c})}{(\mathbf{a}^T \mathbf{a})(\mathbf{c}^T \mathbf{c}) - (\mathbf{a}^T \mathbf{c})^2}, \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix} = (\mathbf{abc})^{-1} \begin{pmatrix} -L_4 \\ -L_5 \\ -1 \end{pmatrix}, \quad (14)$$

$$\mathbf{R} = \frac{1}{pmf} \begin{pmatrix} m & 0 & -mx'_0 \\ -\lambda & 1 & \lambda x' - my'_0 \\ 0 & 0 & -mf \end{pmatrix} (\mathbf{abc})^T. \quad (15)$$

Pro výpočet opravy pro snížení vlivu radiální distorze se používají stejné postupy jako u projektivní transformace.

Rovnice direktní lineární transformace lze jednoduše upravit převést na lineární tvar, pomocí kterého lze jednoduše vypočítat její parametry při nutném počtu bodů potřebných pro výpočet. Pokud je k dispozici nadbytečný počet bodů, tak nelze tento tvar podle zásad vyrovnávacího počtu použít, ale je nutné linearizovat původní vzorce (11), (12), což vede na iterační výpočet. Lze jej však použít pro výpočet přibližných hodnot [3].

Postup zhuštění bodů povrchu

Po skenování a získání fotografií je nutné vygenerovat trojúhelníkovou síť. Dále je nutné určit prvky vnitřní a vnější orientace. U direktní lineární transformace je nutné určovat vždy prvky vnější i vnitřní orientace, u projektivní transformace je možné z kalibrace znát prvky vnitřní orientace a dopočítat pouze prvky vnější orientace. Pomocí zobrazovacích rovnic se promítne ze snímku příslušný pixel do roviny trojúhelníku, resp. se určí souřadnice průmětu pixelu do této roviny. Dále se ověří, zda je bod v trojúhelníku, pokud ano, spolu s barvou pixelu se přiřadí do mračna.

Určení souřadnic bodu direktní lineární transformací

Nejprve odvození při využití direktní lineární transformace. Zobrazení je dáno vztahy (11), (12). Distorzi objektivu se při odvození není třeba zabývat, snímkové souřadnice lze opravit samostatně. Obě rovnice lze upravit do tvaru obecné rovnice roviny

$$(L_1 - L_9 x')X + (L_2 - L_{10} x')Y + (L_3 - L_{11} x')Z + (L_4 - x') = 0, \quad (16)$$

$$(L_5 - L_9 y')X + (L_6 - L_{10} y')Y + (L_7 - L_{11} y')Z + (L_8 - y') = 0. \quad (17)$$

Určují pro každý pixel obrazu přímku, jejíž průsečík s rovinou definovanou třemi body trojúhelníku A, B, C , a navíc v oblasti body vymezené je hledaným bodem. Obecná rovnice roviny trojúhelníku se určí pomocí normály \mathbf{n}

$$\mathbf{v}_1 = A - C, \mathbf{v}_2 = B - C, \mathbf{n} = \mathbf{v}_1 \times \mathbf{v}_2, \quad (18)$$

$$n_1 X + n_2 Y + n_3 Z + k = 0. \quad (19)$$

Absolutní člen k se určí např. dosazením bodu A do rovnice roviny

$$k = -(n_1 A_1 + n_2 A_2 + n_3 A_3).$$

Souřadnice průsečíku se potom vypočítají řešením soustavy tří rovnic o třech neznámých ve tvaru

$$\begin{pmatrix} L_1 - L_9 x' & L_2 - L_{10} x' & L_3 - L_{11} x' \\ L_5 - L_9 y' & L_6 - L_{10} y' & L_7 - L_{11} y' \\ n_1 & n_2 & n_3 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} L_4 - x' \\ L_8 - y' \\ k \end{pmatrix} = 0. \quad (20)$$

Určení souřadnic bodu projektivní transformací

Pro projektivní transformaci je výpočet obdobný, pouze z výchozích rovnic (3), (4) se úpravou získají rovněž dvě obecné rovnice roviny

$$(q_x r_{13} - r_{11})X + (q_x r_{23} - r_{21})Y + (q_x r_{33} - r_{31})Z - (X_0(q_x r_{13} - r_{11}) + Y_0(q_x r_{23} - r_{21}) + Z_0(q_x r_{33} - r_{31})) = 0, \quad (21)$$

$$(q_y r_{13} - r_{12})X + (q_y r_{23} - r_{22})Y + (q_y r_{33} - r_{32})Z - (X_0(q_y r_{13} - r_{12}) + Y_0(q_y r_{23} - r_{22}) + Z_0(q_y r_{33} - r_{32})) = 0, \quad (22)$$

kde

$$q_x = \frac{x' - x'_0}{-f}, \quad q_y = \frac{y' - y'_0}{-f}, \quad (23)$$

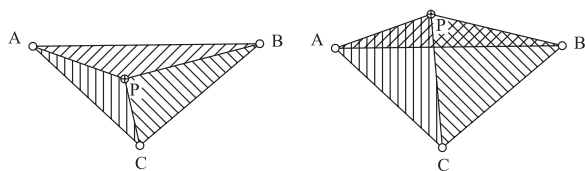
Další výpočet je analogický výpočtu s direktní lineární transformací.

Určení, zda bod leží v trojúhelníku

Určení, zda je bod uvnitř trojúhelníku, lze provést mnoha způsoby. Vzhledem k tomu, že souřadnice bodu byly určovány jako průsečík roviny trojúhelníku a přímky, není třeba ověřovat, zda bod leží v rovině trojúhelníku. Dva často využívané způsoby (zejména v oblasti výpočtu kolizí v oblasti počítačové grafiky) jsou výpočtem plochy a výpočtem úhlů. Dva postupy byly v rámci řešení odvozeny a ověřeny z hlediska rychlosti (implementace v Borland Delphi) a ukázalo se, že řešení výpočtem je přibližně o 10 % rychlejší. Záleží však na konkrétní implementaci a optimalizaci výpočtu.

■ Řešení výpočtem ploch

Principem určení, zda je bod v trojúhelníku, je porovnání plochy trojúhelníku ABC a součtu ploch trojúhelníků ABP , BCP , CAP . Pokud je bod uvnitř, plocha je (až na numerickou nepřesnost) stejná. Pokud je mimo trojúhelník, liší se o dvojnásobek plochy jednoho z trojúhelníků, jak je zřejmé z obr. 1 vpravo.



Obr. 1. Výpočet pomocí ploch

Plochu $P(IJK)$ trojúhelníku daného body I, J, K lze určit jako polovinu velikosti vektorového součinu vektorů \mathbf{v}_1 a \mathbf{v}_2 .

$$I = \begin{pmatrix} X_I \\ Y_I \\ Z_I \end{pmatrix}, \quad J = \begin{pmatrix} X_J \\ Y_J \\ Z_J \end{pmatrix}, \quad K = \begin{pmatrix} X_K \\ Y_K \\ Z_K \end{pmatrix}, \quad (24)$$

$$\mathbf{v}_1 = I - J, \quad \mathbf{v}_2 = K - J, \quad (25)$$

$$P(IJK) = \frac{1}{2} (\mathbf{v}_1 \times \mathbf{v}_2). \quad (26)$$

Pokud je splněna následující nerovnost, bod je uvnitř trojúhelníku, ε je zvolená tolerance vzhledem k numerické nepřesnosti výpočtu.

$$|P(IJK) - (P(ABP) + P(BCP) + P(CAP))| < \varepsilon. \quad (27)$$

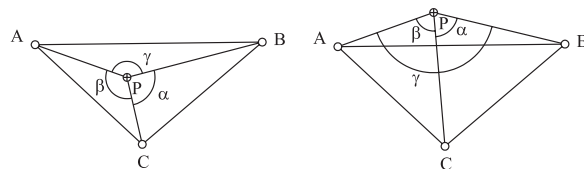
■ Řešení výpočtem úhlů

Toto řešení vychází z následujícího vzorce pro určení úhlu θ vektorů \mathbf{v}_1 a \mathbf{v}_2 .

$$\theta = \arccos \left(\frac{\mathbf{v}_1^T \mathbf{v}_2}{|\mathbf{v}_1| \cdot |\mathbf{v}_2|} \right), \quad (28)$$

$$\text{kde} \quad |\mathbf{v}_i| = \sqrt{\mathbf{v}_i^T \cdot \mathbf{v}_i}. \quad (29)$$

Úhel se vždy vypočte v rozsahu $0 - \pi$ rad. Podle obr. 2 je zřejmé, že pokud je bod P uvnitř trojúhelníku, součet vypočítaných úhlů α, β, γ je 2π rad. Pokud je bod mimo trojúhelník, součet úhlů je menší než 2π rad.



Obr. 2. Výpočet pomocí úhlů

Pokud je splněna nerovnost (30), bod je uvnitř trojúhelníku, ε je zvolená tolerance vzhledem k numerické nepřesnosti výpočtu

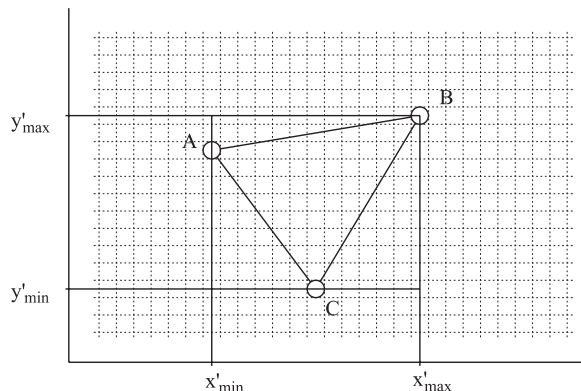
$$|\alpha + \beta + \gamma - 2\pi| \leq \varepsilon. \quad (30)$$

Algoritmus řešení úlohy

Jednotlivé pixely je třeba promítnout zobrazovacími rovnicemi na jednotlivé trojúhelníky sítě tak, že se nejprve určí souřadnice průmětu (pokud existují) na rovinu danou třemi body vymezení trojúhelníku, a následně se ověří, zda je takto získaný bod uvnitř trojúhelníku. Pokud ano, je bodu přiřazena barva a je přidán do mračka. Tento výpočet je třeba provést pro každý trojúhelník v kombinaci s vhodnými pixely obrazu. „Hrubou silou“ lze provést výpočet pro všechny pixely, množství zpracovávaných bodů lze velmi významně omezit výpočtem snímkových souřadnic vrcholů trojúhelníku pomocí použitých zobrazovacích rovnic a zpracování např. pouze pixelů v rozsahu maximálních a minimálních snímkových souřadnic, tedy v rozsahu obdélníku ohraničujícího trojúhelník (obr. 3).

Obecně lze problém řešit nejen pro trojúhelníkovou síť, ale pro libovolnou matematicky definovanou plochu (např. válcové sloupy), řešení je analogií uváděného postupu. Z rovnic pro vztah snímkových souřadnic x, y a prostorových souřadnic X, Y, Z lze určit parametrickou rovnici přímky (součin normálových vektorů rovin je směrový vektor přímky, bod průsečnice se určí volbou jedné souřadnice a dopočtem dalších dvou, je vhodné volit takovou souřadnici,

jejíž složka je ve směrovém vektoru největší). Bod by se následně v prostoru umístil na souřadnice průsečíku přímký a plochy.



Obr. 3. Omezení rozsahu výpočtu

Závěr

Je uveden algoritmus řešení problematiky zhuštění mračna bodů získaných skenováním daty z digitálního snímku na kostru tvořenou trojúhelníkovou sítí. Postup umožňuje přesné zanesení barevné informace do mračna a další měřic-ké a početní zpracování, např. měření vzdáleností nebo vektorovou kresbu ploché malby. Příkladem může být dokumentace historické fresky, kde se skenováním získá tvar plochy a pomocí digitální fotografie se podrobně doplní barevná informace umožňující další vektorové zpracování.

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] Kraus, K. – Jansa, P. – Kager, H.: Photogrammetry. Bonn, Ferdinand Dummlers Verlag 1997. ISBN 3-427-78694-3.
- [2] Filipová, J.: Výpočet prvků vnitřní a vnější orientace protínáním svazku paprsků. [Diplomová práce], Praha, ČVUT, 2006.
- [3] Hanzl, V.: Přímá lineární transformace snímkových souřadnic s eliminací radiálního zkreslení objektivu. Geodetický a kartografický obzor, 32/74, 1986, č. 5, s. 113-116.

Štroner, M. – Pospíšil, J.: Compression of Scanned Point Clouds by Means of Data from a Digital Picture

The present paper shows the procedure of compressing point clouds gained by scanning data from a digital picture onto a triangular mesh and by projecting the pixels of the picture on individual flat planes representing the object's surface.

Štroner, M. – Pospíšil, J.: Verdichtung gescannter Punktwolken durch Daten aus einer Digitalaufnahme

Im Artikel wird ein Verfahren zur Verdichtung einer durch Scannen gewonnenen Punktwolke durch Daten von einer Digitalaufnahme auf ein durch ein Dreiecksnetz gebildetes Skelett durch Projektion der Pixel der Aufnahme auf die einzelnen ebenen Flächen, welche die Oberfläche des Objektes darstellen, vorgestellt.

•rekonstrukce

Oprava historického mostu

Počátkem dubna zahájili stavbaři unikátní rekonstrukci barokního klenbového mostu na silnici I/37 spojující městské části Zámek a Vysočany ve Žďáru nad Sázavou. Ukončení oprav je plánováno na konec října. Aby nedošlo k přerušování dopravy, povede objízdná trasa po provizorním přemostění.

Barokní most byl založen z iniciativy kláštera pod Zelenou Horou a postaven za opata Bernarda Henneta v roce 1761 na místě dřevěného mostu. Na klenbě nese sochy osmi světců neznámého autora. Stavba široká pouhých 6 m, se třemi segmentovými oblouky dlouhými 9 m a o vzezření 2 m se klene přes Stržský potok u Konventského rybníka.



Prvním krokem při rekonstrukci je zachování stávajících historických částí mostu. Při poslední opravě v roce 1949 byl most zesílen železobetonovou spojitou deskou, čímž mělo dojít k úplnému odlehčení kleneb stavby. Současná měření ovšem potvrdila, že se tento záměr nepodařil. O to naléhavěji se přistupuje k současným opravám. Z konkrétních zákroků uvedme ty nejzásadnější. Dojde ke zpevnění založení všech podpor mikropilotami. Kameny kleneb a pilířů je třeba opravit, vyspárovat a injektáží zpevnit. Instalována bude nová železobetonová deska včetně odvodnění a kvalitní izolace. Vše doplní nové římsy a vozovka. Pro Ředitelství silnic a dálnic ČR, správu Jihlava, zpracoval projekt Ing. Jaromír Rušar – Mosty, zhotovitelem díla je SMP CZ.

Tisková informace

Všechna čísla časopisu

STAVEBNÍ OBZOR

si mohou čtenáři zakoupit
v redakci časopisu
a v Prodejně technické literatury ČVUT
Bílá 90, Praha 6.

•rekonstrukce

Hotel Jalta

Budova Hotelu Jalta, který již téměř půl století utváří charakter Václavského náměstí, patří k významným architektonickým památkám poválečného období. V projekční kanceláři architekta Antonína Tenzera tehdy vzniklo dílo stavební včetně návrhů interiérů až po nejmenší detaily. Na vzhledu interiérů hotelu se podílela řada významných výtvarných umělců.



Náročná oprava a restaurace fasády si vyžádaly náklady přes 10 mil. Kč. Rekonstrukce probíhala celé loňské léto, fasáda byla pod lešením tři a půl měsíce. Opravy spočívaly nejen v těžké kamenické práci, ale i v leštění kovových zdobných prvků. Restaurátorské práce znamenaly práci se štětky a soustředění se nad každým jednotlivým kouskem travertinu. Zvláštní péči si vyžádaly sochy v prvním patře od akademického sochaře Jiříkovského.



ČVUT v Praze
Fakulta stavební



**Katedra betonových
a zděných konstrukcí**

Vás zve
na konferenci



BETON'08

23. – 24. září 2008
Masarykova kolej, Praha

<http://concrete.fsv.cvut.cz/beton08>

**DIPLOMOVÁ
PRÁCE ROKU**

2008

ABRA[®]
informační systémy

www.diplomovaprave.cz

Diplomová práce roku je projektem zaměřeným na podporu vysokého školství a zvýšení prestiže oboru informačních technologií v ČR a SR, který si klade za cíl umožnit nadaným studentům vyniknout, a získat tak lepší uplatnění v praxi. Projektu se mohou zúčastnit studenti ekonomicko-informačních oborů, kteří diplomovou práci na témata z oboru informatiky obhájí do 10. července 2008. Odměnou tří nejlepších v každé kategorii je peněžitá odměna a nabídka pracovního místa.

Kategorie:

- databázové stroje a aplikace, portálová řešení, SW rozhraní
- matematické a kybernetické úlohy, vyhledávací a porovnávací algoritmy, gramatiky, metriky, překladače, Computer Science
- simulátory reálných úloh, procesní analýzy a jiné
- komunikační a měřicí systémy, datové přenosy
- integrace aplikací v ICT, poskytování služeb a implementace procesů
- podnikové informační systémy, ostatní IT práce

Vyhlašovatelem letošního ročníku soutěže je společnost ABRA Software, spoluvyhlašovatelem Český svaz stavebních inženýrů. Odbornými garanty jsou SPIS a CACIO, partnery soutěžních kategorií ORACLE Czech, SUN Microsystems Czech, NESS Czech, CISCO SYSTEMS ČR, HEWLETT-PACKARD. Hlavním mediálním partnerem soutěže je podnikatelský týdeník Profit.

STAVEBNÍ OBZOR

ROČNÍK 17 ČÍSLO 06/2008

Navigace v dokumentu

OBSAH

Ježek, A. – Vraný, T. Výpočty tenkostěnných ocelových konstrukcí přímou pevnostní metodou	161
Pazderka, J. – Burgetová, E. Betony s krystalizační příměsí a jejich odolnost proti tlakové vodě	168
Kolář, K. – Konvalinka, P. – Jandeková, D. – Klečka, T. – Kolísko, J. – Pecina, K. Vliv přídavku metakaolinu na trvanlivost betonu	172
Maděra, J. – Tesárek, P. – Černý, R. Počítačová simulace vlhkostních a teplotních polí v obvodovém plášti na bázi lité sádry	175
Peřínková, M. Dlouhodobá účinnost sanačních omítek na historických objektech z pohledu průběhu salinity zdiva	179
Bukovský, J. Ekonomická úloha přístavních průmyslových zón	183
Štroner, M. – Suchá, J. Ověřování souboru totálních stanic TOPCON GPT-2006 v praxi	189

6 • 2008

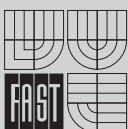
ročník 17

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



Fakulta stavební
VUT v Brně



Fakulta stavební
VŠB TU-Ostrava



Česká komora autorizovaných
inženýrů a techniků

OBSAH

- Ježek, A. – Vraný, T.
Výpočty tenkostěnných ocelových konstrukcí přímou pevnostní metodou 161
- Pazderka, J. – Burgetová, E.
Betony s krystalizační příměsí a jejich odolnost proti tlakové vodě 168
- Kolář, K. – Konvalinka, P.
– Jandeková, D. – Klečka, T.
– Kolísko, J. – Pecina, K.
Vliv přísady metakaolinu na trvanlivost betonu 172
- Maděra, J. – Tesárek, P. – Černý, R.
Počítačová simulace vlhkostních a teplotních polí v obvodovém plášti na bázi lité sádry 175
- Peřínková, M.
Dlouhodobá účinnost sanačních omítek na historických objektech z pohledu průběhu salinity zdiva 179
- Bukovský, J.
Ekonomická úloha přístavních průmyslových zón 183
- Štroner, M. – Suchá, J.
Ověřování souboru totálních stanic TOPCON GPT-2006 v praxi 189

CONTENT

- Ježek, A. – Vraný, T.
Calculation of Thin-Walled Steel Structures Using Direct Strength Method 161
- Pazderka, J. – Burgetová, E.
Concretes with Crystalline Admixture and their Resistance to Pressure Water 168
- Kolář, K. – Konvalinka, P.
– Jandeková, D. – Klečka, T.
– Kolísko, J. – Pecina, K.
Effect of Metakaoline Admixture on Concrete Durability 172
- Maděra, J. – Tesárek, P. – Černý, R.
Computational Simulation of Moisture and Temperature Fields in a Building Envelope on the Basis of Cast Gypsum 175
- Peřínková, M.
Long-Term Efficiency of Rehabilitation Plasters on Historical Buildings Given Salinity Course in Masonry 179
- Bukovský, J.
Economic Role of Industrial Port Zones 183
- Štroner, M. – Suchá, J.
Verification of a Set of TOPCON GPT-2006 Total Stations in Practice 189

INHALT

- Ježek, A. – Vraný, T.
Berechnungen dünnwandiger Stahlkonstruktionen mit der Direktfestigkeitsmethode . . 161
- Pazderka, J. – Burgetová, E.
Betone mit Kristallisationszusätzen und ihre Beständigkeit gegen Druckwasser 168
- Kolář, K. – Konvalinka, P.
– Jandeková, D. – Klečka, T.
– Kolísko, J. – Pecina, K.
Der Einfluss der Zugabe von Metakaolin auf die Dauerhaftigkeit von Beton 172
- Maděra, J. – Tesárek, P. – Černý, R.
Computersimulation der Feuchtigkeits- und Temperaturfelder in Außenwänden auf Basis von Gussgips 175
- Peřínková, M.
Langzeitwirksamkeit von Sanierungsputzen an historischen Objekten aus der Sicht des Verlaufs des Salzgehalts des Mauerwerks 179
- Bukovský, J.
Die wirtschaftliche Aufgabe von Industriefahenzonen . . . 183
- Štroner, M. – Suchá, J.
Überprüfung einer Gruppe von Totalstationen TOPCON GPT-2006 in der Praxis . . 189

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 VĚBR, CSc.
doc. Ing. Josef VITÁSEK, CSc.
prof. Ing. Jiří WITZANY, DrSc.
Ing. Renata ZDAŘILOVÁ

STAVEBNÍ OBZOR, odborný lektorovaný 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 15. 5. 2008 Nevýžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

Výpočty tenkostěnných ocelových konstrukcí přímou pevnostní metodou

Ing. Aleš JEŽEK
doc. Ing. Tomáš VRANÝ, CSc.
ČVUT – Fakulta stavební
Praha

Přímá pevnostní metoda je novou výpočetní metodou vyvinutou v zahraničí pro analýzu tenkostěnných za studena tvarovaných ocelových profilů. Únosnost tlačенého nebo ohýbaného tenkostěnného prutu otevřeného průřezu se určuje na základě znalostí kritického napětí pro lokální boulení, distorzní vybočení a celkovou ztrátu stability. V článku jsou uvedeny výchozí principy metody a její výhody a nevýhody v porovnání s obvyklejší metodou spolupůsobících šířek. Dále jsou uvedeny vztahy pro výpočet a řešené příklady tlačенého prutu průřezu C a ohýbaného plošného profilu.

Úvod

Přímá pevnostní metoda (Direct Strength Method, dále jen DSM) byla vyvinuta koncem devadesátých let minulého století v USA na Cornell University. Počátky vycházejí z výzkumu Hancocka [1], který se zabýval vlivem distorzního boulení na únosnost tlačенých prutů různých průřezů. Základní ideu popsali Schafer a Peköz [2]. Schafer [3], [4] dále shromáždil a shrnul výsledky mnoha výzkumníků, kteří prováděli experimenty na tlačенých nebo ohýbaných tenkostěnných za studena tvarovaných prutech, a použil je pro kalibraci této nově vyvíjené výpočetní metody. Současně vytvořil volně dostupný výpočetní program CUFSM [5], pomocí něhož lze určit kritická napětí pro jednotlivé způsoby ztráty stability tenkostěnných prizmatických prutů. Vývoj programu sponzorovaly společnosti American Iron and Steel Institute a National Science Foundation. Na rozvoji metody se společně se Schaferem, Peközem a Hancockem podíleli např. Yu [6], Rasmussen [7], Ádány [8], [9] a další.

Metoda je od roku 2004 součástí americké návrhové normy [10] a australské normy [11] pro tenkostěnné ocelové konstrukce. Autoři tohoto článku ji považují za nejvýznamnější počín v teorii navrhování tenkostěnných konstrukcí za poslední desetiletí a domnívají se, že je vhodné seznámit s ní i českou odbornou veřejnost.

Popis metody

Princip výpočtu

Výpočet spočívá ve stanovení únosnosti prutů pro jednotlivé způsoby ztráty stability (lokální boulení, distorzní vzpěr a celkovou ztrátu stability), kde každá dílčí únosnost vychá-

zí z kritické síly pro příslušnou ztrátu stability a z prosté únosnosti průřezu. Výsledná únosnost prutu je dána nejmenší z těchto dílčích únosností. Ve vztazích jsou zahrnuty i interakce mezi jednotlivými způsoby ztráty stability.

Tenkostěnné za studena tvarované konstrukce jsou náchylné na různé způsoby ztráty stability. Tři základní stabilitní problémy:

lokální boulení – podélné hrany, ve kterých se spojují jednotlivé stěny, se nedeformují, dochází pouze k vyboulení stěn z jejich roviny. Boulicí polovina (délka opakujícího se tvaru vyboulení podél délky prutu) je obvykle kratší nebo rovna šířce nejširší tlačенé stěny průřezu;

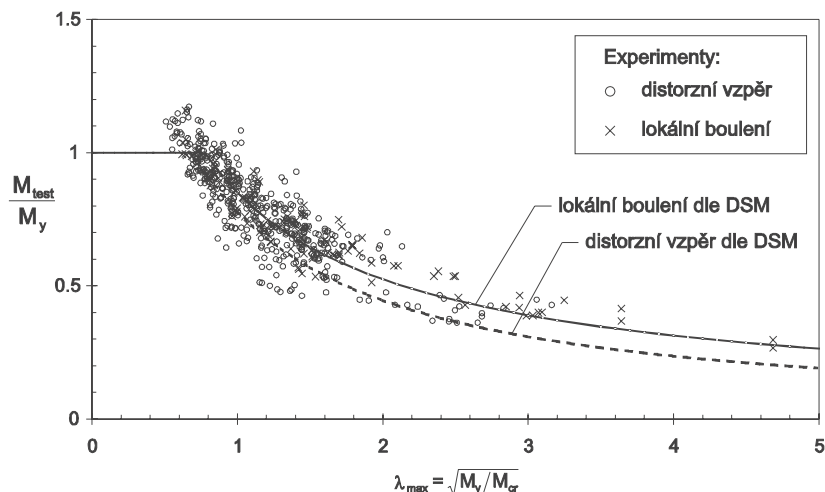
ztráta stability – celý prut buď vybočí do strany (rovinný vzpěr), zkroutí se (vzpěr zkroucením), nebo vybočí a zkroutí se najednou (prostorový vzpěr). Deformace příčného řezu nenastane;

distorzní vzpěr – ztráta stability, při které dochází k posunu uzlů příčného řezu v jeho rovině. Zahrnuje tedy deformace příčného řezu prutu vyjma lokálního boulení. Délka boulicí polovny je možná délkou pro lokální boulení a celkovou ztrátou stability.

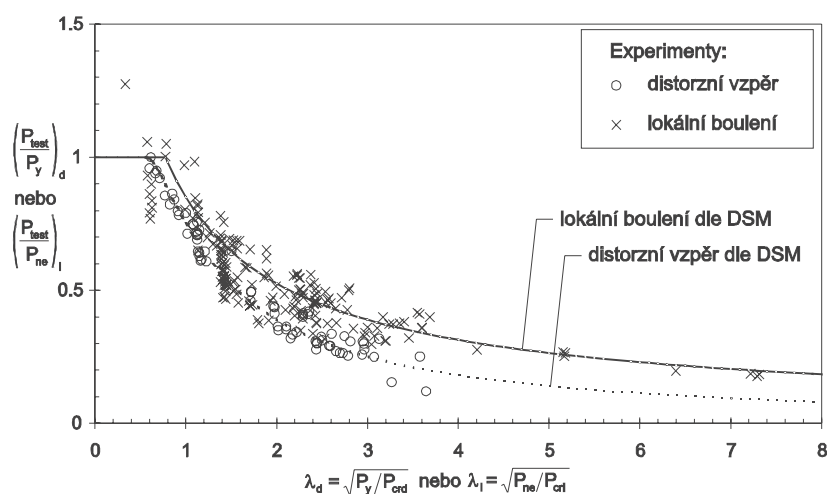
Filozofie návrhu je založena na úvaze, že únosnost prutu je ovlivněna kromě prosté únosnosti průřezu také všemi uvedenými způsoby ztráty stability. Dále se využívá skutečnost, že určení kritického zatížení konstrukce není při současných možnostech výpočetní techniky náročným úkolem. Použití metody je zatím omezeno na tlačенé nebo ohýbané pruty, pro které byla kalibrována.

Výhody

- využívají se současné možnosti výpočetní techniky, neboť kritická napětí potřebná při výpočtu lze získat pomocí volně dostupných programů;
- výpočetní postup je kalibrován pomocí řady experimentů různých autorů (*obr. 1, obr. 2*);
- nepracuje se s uměle určeným účinným (efektivním) průřezem, používá se plný průřez;
- průřez se nerozkládá na jednotlivé stěny;
- odpadají pracné iterační postupy pro stanovení účinné plochy stěn nosníků namáhaných ohybem a účinných parametrů výztuh;
- celý výpočet je nesrovnatelně méně pracný než výpočet podle jiných postupů, např. podle eurokódu, navíc je srozumitelnější;
- pro lokální i distorzní boulení je ve výpočtu exaktně zahrnuta interakce přilehlých prvků (tj. například interakce stojiny a pásnice);



Obr. 1. Kalibrace metody DSM pomocí experimentů pro ohýbané nosníky



Obr. 2. Kalibrace metody DSM pomocí experimentů pro tlačené pruty

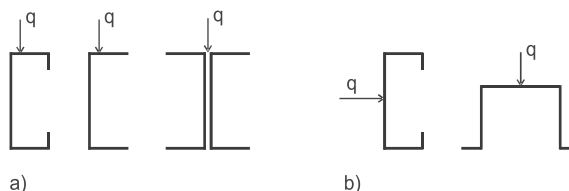
- pomocí metody je snadné optimalizovat průřezy;
- metoda je otevřená; lze očekávat, že její platnost se bude postupně rozšiřovat.

Nevýhody

- použití v normách [10], [11] je zatím omezeno na tlačené nebo ohýbané pruty;
- nelze zohlednit vliv borcení stěn;
- dosud nejsou odvozeny a ověřeny postupy pro kombinace namáhání (moment a smyk, osová síla a moment);
- metoda není použitelná pro libovolné tvary průřezů, je kalibrována pouze pro omezenou skupinu průřezů. Například podle [10] není vhodná pro výpočet profilů U a úhelníků namáhaných tlakovou silou.

Chybějící výpočetní postupy pro určité způsoby namáhání lze pochopitelně nahradit vhodnou výpočetní metodou. Teoreticky by tedy například bylo možné určit ohybovou únosnost nosníku pomocí DSM a smykovou únosnost nebo únosnost na lokální příčné síly (borcení stojin) určit pomocí eurokódu. Současně by bylo třeba posoudit interakci smyku nebo borcení s ohybem. Pro smykové namáhání však již byl navržen výpočetní postup, který sleduje princip DSM [12].

Zvláštním případem jsou pruty namáhané současně tlakem a ohybem, neboť jejich chování je významně ovlivněno deformacemi. Navíc v důsledku posunu těžiště průřezu v pokritickém stadiu dochází k excentrickému působení tlakové síly, a tudíž k přidavnému ohybu. To DSM dosud přímo nezohledňuje. Problémem se zabývali Schafer [13] a Hancock [14]. Výsledkem je návrh výpočetního postupu, ve kterém se případná excentricita tlakové síly vzhledem k těžišti uvažuje. V případech, kdy při působení tlakové síly nevzniká excentricita v rovině ohybu (obr. 3), lze podle názoru autorů tohoto článku postupovat i tak, že se odděleně určí pomocí DSM tlaková i ohybová únosnost a ty se dosadí do běžných stabilitních interakčních vztahů pro tlak a ohyb.



Obr. 3. Ohyb od posunu těžiště průřezu
a – případy bez excentricity v rovině ohybu, b – případy s excentricitou v rovině ohybu

Výpočet kritického napětí

Pro výpočet kritického zatížení příslušného jednotlivým způsobům ztráty stability lze použít libovolný postup. Kromě ručního výpočtu, který je obvykle pracný a nepostihuje kombinaci jednotlivých stabilizačních jevů, lze, zvláště pro kritické napětí odpovídající lokálnímu a distorznímu boulení, použít numerické řešení (např. program CUFSM).

Program CUFSM (Cornell University Finite Strip Method) je založený na metodě konečných pásů, což je modifikace metody konečných prvků, a je volně stažitelný z internetu. Program pro zadanou geometrii průřezu a působící namáhání určí křivky jednotlivých stabilizačních jevů (kritické napětí v závislosti na délce bouleci polovlny). Lze definovat i příčné nebo rotační poddajné, popř. tuhé podepření libovolného uzlu příčného řezu. Minimální hodnoty kritických napětí pro jednotlivé způsoby ztráty stability pak vstupují do vztahů přímé metody napětí, pomocí nichž se určí celková únosnost posuzovaného prvku.

Únosnost ohýbaných prutů

Celková únosnost ohýbaného prutu je dána nejmenší hodnotou dílčí únosnosti:

- pro ztrátu stability klopením M_{ne} ,
- pro lokální boulení M_{nl} ,
- pro distorzní vzpěr M_{nd} .

Kalibrace metody je provedena na řadě tenkostěnných za studena tvarovaných prutů od různých experimentátorů (obr. 1), a to pro ohýbané pruty průřezu C a Z (Cohen 1987; Ellifritt 1997; LaBoube a Yu 1978; Moreyara 1993; Phung a Yu 1978; Rogers 1995; Schardt a Schrade 1982; Schuster 1992; Shan 1994; Willis a Wallace 1990) a pro více stojinové průřezy a trapézové plechy (Acharya 1997; Bernard 1993; Desmond 1977; Höglund 1980; König 1978; Papazian 1994). Celkem se vycházelo z výsledků 569 ohybových zkoušek. Omezující podmínky, tj. geometrii prutu a materiálové charakteristiky, udává tab. 1.

Ztráta stability klopením

Moment únosnosti M_{ne} :

- pro $M_{cre} \leq 0,56 M_y$, $M_{ne} = M_{cre}$, (1)

- pro $2,78 M_y \geq M_{cre} \geq 0,56 M_y$,

$$M_{ne} = \frac{10}{9} M_y \left(1 - \frac{10 M_y}{36 M_{cre}} \right)$$
, (2)

- pro $M_{cre} > 2,78 M_y$, $M_{ne} = M_y$, (3)

kde $M_y = W_f \cdot F_y$, (4)

přičemž M_{cre} je kritický moment, W_f pružný průřezový modul plného průřezu ke krajním vláknům, f_y mez kluzu oceli.

Lokální boulení

Moment únosnosti M_{nl} :

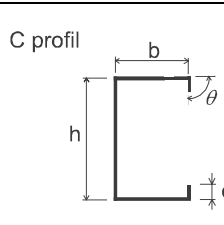
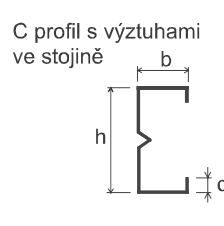
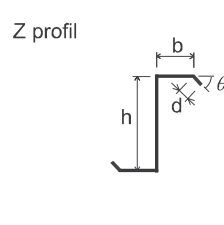
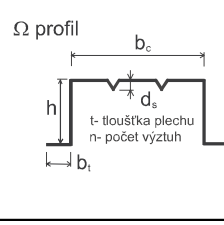
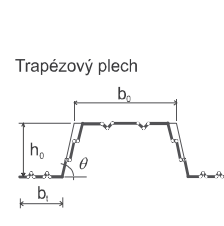
- pro $\lambda_l \leq 0,776$, $M_{nl} = M_{ne}$, (5)

- pro $\lambda_l > 0,776$,

$$M_{nl} = \left[1 - 0,15 \left(\frac{M_{crl}}{M_{ne}} \right)^{0,4} \right] \left(\frac{M_{crl}}{M_{ne}} \right)^{0,4} M_{ne}$$
, (6)

kde $\lambda_l = \sqrt{\frac{M_{ne}}{M_{crl}}}$, (7)

Tab. 1. Omezující podmínky pro použití DSM pro ohýbané pruty

 <p>C profil</p>	<p>43 < h/t < 321 12 < b/t < 75 0 < d/t < 34 1,5 < h/b < 17,0 0,0 < d/b < 0,7 44° < theta < 90° 421 < E/f_y < 983 207 MPa < f_y < 483 MPa</p>
 <p>C profil s výztuhami ve stojině</p>	<p>200 < h/t < 358 29 < b/t < 58 14 < d/t < 17 5,5 < h/b < 11,7 0,27 < d/b < 0,56 578 < E/f_y < 670 303 MPa < f_y < 352 MPa theta ~ 90°</p>
 <p>Z profil</p>	<p>114 < h/t < 183 45 < b/t < 71 10 < d/t < 16 2,5 < h/b < 4,1 0,15 < d/b < 0,34 36° < theta < 90° 440 < E/f_y < 921 220 MPa < f_y < 352 MPa</p>
 <p>Omega profil</p>	<p>37 < h/t < 97 92 < b_c/t < 467 0 < d_s/t < 26 0,14 < h/b_c < 0,87 0,44 < b_c/2b_t < 2,7 0 < n < 4 492 < E/f_y < 656 310 MPa < f_y < 414 MPa</p>
 <p>Trapézový plech</p>	<p>51 < h_0/t < 203 61 < b_0/t < 231 0,42 < (h_0/sin theta)/b_0 < 1,91 1,10 < b_0/b_t < 3,38 0 < n_c < 2 (počet výztuh v tlačené pásnici) 0 < n_w < 2 (počet výztuh ve stojině) 0 < n_t < 2 (počet výztuh v tažené pásnici) 52° < theta < 84° (úhel mezi stojinou a vodorovnou rovinou) E/f_y > 310 [f_y < 655 MPa]</p>

r/t < 10, kde r je poloměr zaoblení rohů (osový)

$M_{crl} = W_f \cdot \sigma_{crl}$, (8)

přičemž M_{crl} je kritický moment lokálního boulení, σ_{crl} kritické napětí při lokálním boulení.

Distorzní vzpěr

Moment únosnost M_{nd} :

- pro $\lambda_d \leq 0,673$, $M_{nd} = M_y$, (9)

- pro $\lambda_d > 0,673$,

$$M_{nd} = \left[1 - 0,22 \left(\frac{M_{crl}}{M_y} \right)^{0,5} \right] \left(\frac{M_{crl}}{M_y} \right)^{0,5} M_y$$
, (10)

kde $\lambda_d = \sqrt{\frac{M_y}{M_{crl}}}$, (11)

$$M_{crd} = W_f \cdot \sigma_{crd}, \quad (12)$$

přičemž M_{crd} je kritický moment distorzního vzpěru a σ_{crd} kritické napětí při distorzním boulení.

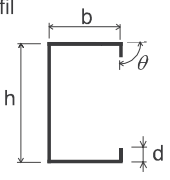
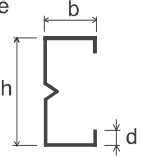
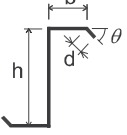
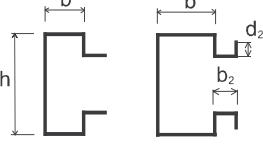
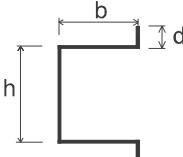
Únosnost tlačенých prutů

Celková únosnost tlačенého prutu je dána nejmenší hodnotou dílčích únosností:

- pro celkový vzpěr P_{ne} ,
- pro lokální boulení P_{nl} ,
- pro distorzní vzpěr P_{nd} .

Metoda DSM je pro tlačené pruty kalibrována na řadě tenkostěnných za studena tvarovaných průřezů (obr. 2) od různých experimentátorů (Kwon a Hancock 1992; Lau a Hancock 1987; Loughlan 1979; Miller a Peköz 1994; Mulligan 1983; Polyzois 1993; Thomasson 1978). Celkem se vycházelo z výsledků 267 zkoušek. Omezující podmínky udává tab. 2.

Tab. 2. Omezující podmínky pro použití DSM pro tlačené pruty

 <p>C profil</p>	$34 < h/t < 472$ $18 < b/t < 159$ $4 < d/t < 33$ $0,7 < h/b < 5,0$ $0,05 < d/b < 0,41$ $\theta \sim 90^\circ$ $340 < E/f_y < 1020$ $200 \text{ MPa} < f_y < 593 \text{ MPa}$
 <p>C profil s výztuhami ve stojině</p>	$105 < h/t < 489$ $68 < b/t < 160$ $6 < d/t < 33$ $1,3 < h/b < 2,7$ $d/b \sim 0,20$ $0,4 < d_i/d < 2,8$ (1 nebo 2 vnitřní výztuhy) $340 < E/f_y < 820$ $248 \text{ MPa} < f_y < 593 \text{ MPa}$
 <p>Z profil</p>	$76 < h/t < 137$ $30 < b/t < 56$ $0 < d/t < 36$ $1,5 < h/b < 2,7$ $0,00 < d/b < 0,73$ $\theta \sim 50^\circ$ $E/f_y \sim 590$ $f_y \sim 345 \text{ MPa}$
	$34 < h/t < 51$ $12 < b/t < 22$ $5 < d/t < 8$ $2,1 < h/b < 2,9$ $1,6 < b_2/d < 2,0$ $d_2/d \sim 0,3$ $E/f_y \sim 343$ $f_y \sim 593 \text{ MPa}$
 <p>Ω profil</p>	$33 < h/t < 50$ $12 < b/t < 20$ $4 < d/t < 6$ $1,0 < h/b < 1,2$ $d/b \sim 0,13$ $428 < E/f_y < 952$ $214 \text{ MPa} < f_y < 476 \text{ MPa}$

$r/t < 10$, kde r je poloměr zaoblení rohů (osový)

Celkový vzpěr

Únosnost P_n :

$$\text{– pro } \lambda_c \leq 1,5 \quad P_{ne} = \left(0,658^{\lambda_c^2}\right) P_y, \quad (13)$$

$$\text{– pro } \lambda_c > 1,5 \quad P_{ne} = \left(\frac{0,877}{\lambda_c^2}\right) P_y, \quad (14)$$

$$\text{kde} \quad \lambda_c = \sqrt{\frac{P_y}{P_{cre}}}, \quad (15)$$

$$P_y = A_g \cdot f_y, \quad (16)$$

přičemž P_{cre} je kritická síla pro celkový vzpěr, A_g plocha plného průřezu prutu, f_y mez kluzu oceli.

Lokální boulení

Únosnost P_{nl} :

$$\text{– pro } \lambda_l \leq 0,776, \quad P_{nl} = P_{ne}, \quad (17)$$

$$\text{– pro } \lambda_l > 0,776, \quad P_{nl} = \left[1 - 0,15 \left(\frac{P_{crd}}{P_{ne}}\right)^{0,4}\right] \left(\frac{P_{crd}}{P_{ne}}\right)^{0,4} P_{ne}, \quad (18)$$

$$\text{kde} \quad \lambda_l = \sqrt{\frac{P_{ne}}{P_{crd}}}, \quad (19)$$

přičemž P_{crd} je kritická síla pro lokální boulení.

Distorzní vzpěr

Únosnost P_{nd} :

$$\text{– pro } \lambda_d \leq 0,561, \quad P_{nd} = P_y, \quad (20)$$

$$\text{– pro } \lambda_d > 0,561, \quad P_{nd} = \left[1 - 0,25 \left(\frac{P_{crd}}{P_y}\right)^{0,6}\right] \left(\frac{P_{crd}}{P_y}\right)^{0,6} P_y, \quad (21)$$

$$\text{kde} \quad \lambda_d = \sqrt{\frac{P_y}{P_{crd}}}, \quad (22)$$

P_{crd} je kritická síla pro distorzní vzpěr.

Příklady

Ohýbaný nosník – trapézový plech TR 153/280/0,75

Trapézový plech TR 153/280 jmenovité tloušťky 0,75 mm byl pro ukázkou výpočtu vybrán proto, že v Kloknerově ústavu ČVUT byly ve spolupráci s autory tohoto článku v roce 2007 provedeny tři zkoušky prostého nosníku rozpětí 6 m [15]. Průřezové charakteristiky jedné vlny trapézového plechu TR 153/280 jsou uvedeny u obr. 4.

Kritická napětí pro jednotlivé způsoby ztráty stability jsou stanovena programem CUFISM. Výstup z programu je na obr. 5.

Prostá momentová únosnost plného profilu

$$M_y = W_g \cdot f_y = 4,26 \text{ kNm.}$$

Kritický moment v lokálním boulení

$$M_{crd} = 1,04 \cdot M_y = 4,42 \text{ kNm.}$$

Kritický moment v distorzním vzpěru

$$M_{crd} = 1,12 \cdot M_y = 4,77 \text{ kNm.}$$

Momentová únosnost pro lokální boulení M_{nl} :

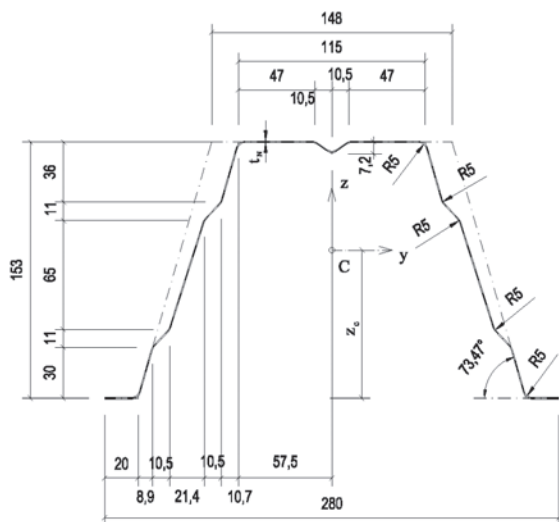
$$\lambda_l = \sqrt{\frac{M_{ne}}{M_{cr1}}} = \sqrt{\frac{M_y}{1,04M_y}} = 0,98,$$

pro $\lambda_l > 0,776$,

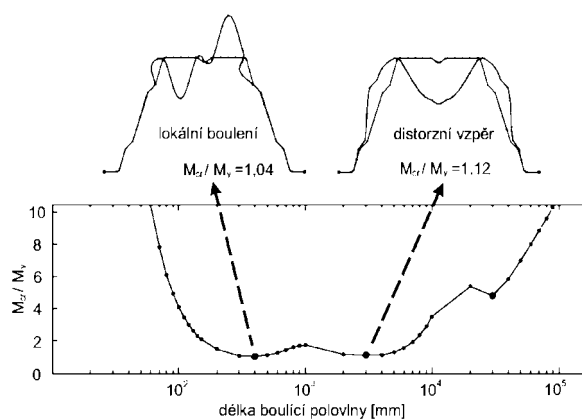
$$M_{nl} = \left[1 - 0,15 \left(\frac{M_{cr1}}{M_{ne}} \right)^{0,4} \right] \left(\frac{M_{cr1}}{M_{ne}} \right)^{0,4} M_{ne} =$$

$$= \left[1 - 0,15 (1,04)^{0,4} \right] (1,04)^{0,4} M_y = 3,67 \text{ kNm.}$$

Ve vztazích byla místo únosnosti pro ztrátu stability klopením M_{ne} použita prostá momentová únosnost průřezu M_y , protože u trapézových plechů ke klopení nedojde.



Obr. 4. Geometrie trapézového plechu TR 153/280/0,75
 $f_y = 361 \text{ MPa}$, $t_N = 0,75 \text{ mm}$ ($t_{cor} = 0,71 \text{ mm}$), $A_g = 347,9 \text{ mm}^2$,
 $I_y = 1,042 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$, $z_c = 88,3 \text{ mm}$



Obr. 5. Výstup z programu CUFSM pro ohýbaný trapézový plech TR 153/280/0,75

Momentová únosnost pro distorzní vzpěr M_{nd} :

$$\lambda_d = \sqrt{\frac{M_y}{M_{crd}}} = \sqrt{\frac{M_y}{1,12M_y}} = 0,94,$$

pro $\lambda_d > 0,673$,

$$M_{nd} = \left[1 - 0,22 \left(\frac{M_{crd}}{M_y} \right)^{0,5} \right] \left(\frac{M_{crd}}{M_y} \right)^{0,5} M_y =$$

$$= \left[1 - 0,22 (1,12)^{0,5} \right] (1,12)^{0,5} M_y = 3,46 \text{ kNm.}$$

Je vidět, že rozhodující pro stanovení výsledné momentové únosnosti prutu je ztráta stability distorzním vzpěrem. Moment únosnosti činí 3,46 kNm. Porovnání výsledků výpočtu s výpočtem podle eurokódu a s výsledky zkoušek ukazuje tab. 3. Údaje v tabulce jsou vztaženy na jednu vlnu plechu o šířce 280 mm. Z porovnání vyplývá, že výpočet podle eurokódu dává v tomto případě mírně větší hodnoty momentové únosnosti, neboli že výpočet podle DSM je konzervativní.

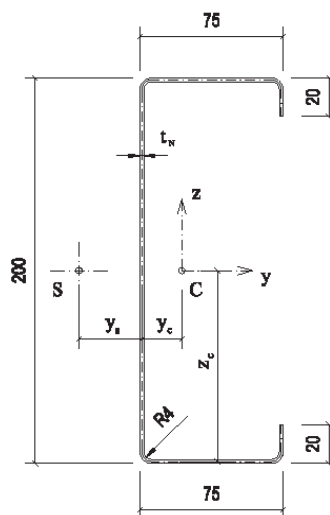
Tab. 3. Shrnutí výsledků výpočtu únosnosti ohýbaného trapézového plechu

Způsob boulení	DSM - CUFSM M_n [kNm]	EN 1993-1-3 M_R [kNm]	Experiment [kNm]		
			Ex 1	Ex 2	Ex 3
lokální boulení	3,67	3,78	3,75	3,83	3,25
distorzní vzpěr	3,46				
celková únosnost	3,46	3,78	průměr: 3,61		

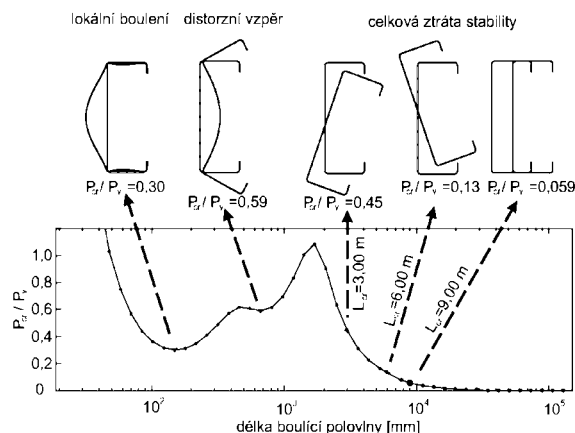
Zvolený trapézový plech však nespĺňuje geometrickou podmínku platnosti DSM $1,1 < b_o/b_t < 3,38$ (tab. 1). Z porovnání výpočtu a experimentu se podle tohoto konkrétního případu zdá, že rozšíření geometrické podmínky na $1,1 < b_o/b_t < 3,61$ by bylo možné a bezpečné.

Tlačený tenkostěnný prut profilu C

Geometrie profilu C 200x75x20x2 je na obr. 6. Kritická napětí pro jednotlivé způsoby ztráty stability se určí programem CUFSM. Výstup z programu je na obr. 7.



Obr. 6. Geometrie profilu C 200x75x20x2
 $f_y = 350 \text{ MPa}$, $t_N = 2,0 \text{ mm}$ ($t_{cor} = 1,96 \text{ mm}$), $A_g = 731,9 \text{ mm}^2$,
 $I_y = 4,4997 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$, $I_z = 0,54 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$, $y_c = 20,9 \text{ mm}$, $z_c = 99,0 \text{ mm}$,
 $y_s = 33,0 \text{ mm}$, $I_t = 936,7 \text{ mm}^4$, $I_w = 4,27 \cdot 10^9 \text{ mm}^6$,
 $L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_{cr,t} = 6000 \text{ mm}$



Obr. 7. Výstup z programu CUFSM pro tlačný prut profilu C 200x75x20x2

Prostá únosnost plného průřezu

$$P_y = A_g \cdot f_y = 256,0 \text{ kNm.}$$

Kritická síla v lokálním boulení

$$P_{cr1} = 0,30 \cdot P_y = 76,8 \text{ kN (viz obr. 7).}$$

Kritická síla v distorzni vzpěru

$$P_{crd} = 0,59 \cdot P_y = 151,1 \text{ kN (viz obr. 7).}$$

Kritická síla pro celkový vzpěr

$$P_{cre} = 0,13 \cdot P_y = 33,98 \text{ kN.}$$

Únosnost pro celkový vzpěr P_{ne} :

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{P_y}{P_{cre}}} = \sqrt{\frac{P_y}{0,13 P_y}} = 2,745,$$

$$\text{pro } \lambda_c > 1,5 \quad P_{ne} = \left(\frac{0,877}{\lambda_c^2} \right) P_y = 29,80 \text{ kN.}$$

Únosnost pro lokální boulení P_{nl} :

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{P_{ne}}{P_{cre}}} = \sqrt{\frac{P_{ne}}{0,30 P_y}} = 0,62,$$

$$\text{pro } \lambda_c \leq 0,776 \quad P_{nl} = P_{ne} = 29,80 \text{ kN.}$$

Únosnost pro distorzni vzpěr P_{nd} :

$$\lambda_d = \sqrt{\frac{P_y}{P_{crd}}} = \sqrt{\frac{P_y}{0,59 P_y}} = 1,302,$$

pro $\lambda_d > 0,561$,

$$P_{nd} = \left[1 - 0,25 \left(\frac{P_{crd}}{P_y} \right)^{0,6} \right] \left(\frac{P_{crd}}{P_y} \right)^{0,6} \cdot P_y = 152,6 \text{ kN.}$$

Je vidět, že pro stanovení výsledné únosnosti prutu je rozhodující celkový vzpěr. Únosnost stanovená DSM činí 29,80 kN. Únosnost stejného prutu podle eurokódu je menší, a to 26,73 kN. Rozdíl je 10 %.

Kritické síly pro rovinný a prostorový vzpěr, určené pomocí CUFSM, vycházejí větší než teoretické hodnoty, které lze považovat za správné (tab. 4). Je to zřejmě proto, že numerický výpočet metodou konečných prvků neoddeluje jednotlivé způsoby ztráty stability a pro uvažovanou délku prutu je kritická síla ovlivněna i dalšími způsoby. Ukazuje se tedy, že použití programu CUFSM pro určení kritických sil pro jiné účely než pro výpočet pomocí DSM vede k nebezpečným výsledkům.

Tab. 4. Porovnání kritických sil pro celkový vzpěr programem CUFSM a ručním výpočtem pro tlačný prut profilu C

Vzpěrná délka L_{cr} [mm]	DSM - CUFSM P_{cr} [kN]	Teorie N_{cr} [kN]	Porovnání CUFSM/teorie
9 000	15,19	13,82	1,10
6 000	33,98	31,09	1,09
3 000	114,17	108,13	1,06

Závěr

Přímá pevnostní metoda (DSM) je novou výpočetní metodou určenou pro analýzu tenkostěnných konstrukcí. V článku je ilustrováno, že je jednoduchá, srozumitelná a vede k méně pracným výpočtům než dosud užívaná metoda účinných šířek.

Přestože je již DSM zavedena do americké a australské normy, prochází v současnosti dalším vývojem. Celosvětový výzkum se zaměřuje na chování prutů současně tlačných a ohýbaných, na nosníky s výrazným vlivem kroucení, na případy, kdy v důsledku boulení dochází k výraznějšímu posunu neutrální osy průřezu, na zpřesnění výpočtu pro některé průřezy a na rozšíření platnosti pro další průřezy a na určení smykové únosnosti.

Příspěvek byl vypracován s podporou výzkumného záměru MSM 6840770003.

Literatura

- [1] Hancock, G. J. – Kwon, Y. B. – Bernard, E. S.: Strength Design Curves for Thin-Walled Sections Undergoing Distortional Buckling. Journal of Constructional Steel Research, 31 (2-3), 1994, pp. 169-186.
- [2] Schafer, B. W.: Direct Strength Method Design Guide. American Iron and Steel Institute, Washington, D. C., 2006.
- [3] Schafer, B. W.: Design Manual for The Direct Strength Method of Cold-Formed Steel Design. Final Report to the American Iron and Steel Institute, Washington D. C., 2002
- [4] Schafer, B. W.: Progress on the Direct Strength Method, Sixteen Specialty Conference.
- [5] <http://www.ce.jhu.edu/bschafer/cufsm/index.htm>
- [6] Yu, C. – Schafer, B. W.: Local Buckling Tests on Cold-Formed Steel Beams. Journal of Structural Engineering, 129 (12), 2003, pp. 1596-1606.
- [7] Rasmussen, K. J. R.: Design of Slender Angle Section Beam-Columns by the Direct Strength Method. Journal of Structural Engineering, 132 (2), 2006, pp. 204-211.
- [8] Ádány, S. – Schafer, B. W.: Buckling Mode Decomposition of Single-Branched Open Cross-Section Members via Finite Strip Method: Derivation. Thin-Walled Structures, Vol. 44, 2006, pp. 563-584.
- [9] Ádány, S. – Schafer, B. W.: Buckling Mode Decomposition of Single-Branched Open Cross-Section Members via Finite Strip Method: Application and Examples. Thin-Walled Structures, Vol. 44, 2006, pp. 585-600.
- [10] North American Specification, Appendix 1: Design of Cold-Formed Steel Structural Members Using Direct Strength Method, 2004 Supplement to the North American Specification

for the Design of Cold-Formed Steel Structures. American Iron and Steel Institute, Washington, D. C., 2004.

- [11] AS/NZS 4600: Cold-Formed Steel Structures. Standarts Australia and Australian Institute of Steel Construction, Sydney, 1996.
- [12] Schafer, B. W.: Direct Strength Method Design Guide. American Iron and Steel Institute, Washington D. C., 2006.
- [13] Schafer, B. W.: Advances in Direct Strength Design of Thin-Walled Members. Proceedings of the International Conference on Advances in Structures: Steel, Concrete, Composite and Aluminum - ASSCCA'03, Sydney, 2003, pp. 333-340.
- [14] Duong, H. M. – Hancock, G. J.: Recent Developments in the Direct Strength Design of Thin-Walled Members, Thin-Walled Structures, Recent Advances and Future Trends in Thin-Walled Structures Technology. Loughlan, Canopus Publishing 2004, pp. 43-62.
- [15] Kolář, J. – Kolísko, J.: Zatěžovací mechanické zkoušky trapézových profilovaných plechů CB PROFIL 150/280 0,75. ČVUT – Kloknerův ústav, Praha, 2007.

Ježek, A. – Vraný, T.: Calculation of Thin-Walled Steel Structures Using Direct Strength Method

The Direct Strength Method is a new calculation method for the analysis of thin-walled cold-formed steel profiles. The resistance of a thin-walled column or beam of open cross-section is determined based on the knowledge of critical stresses corresponding to local, distortional and global buckling. Basic principles of the method and its advantages and disadvantages in comparison with the effective width method are described. Further, the calculation procedure is given and solved examples of a C-shaped column and corrugated sheeting under bending are presented.

Ježek, A. – Vraný, T.: Berechnungen dünnwandiger Stahlkonstruktionen mit der Direktfestigkeitsmethode

Die Direktfestigkeitsmethode (Direct Strength Method) ist ein neues im Ausland für die Analyse kaltgeformter dünnwandiger Stahlprofile entwickeltes Berechnungsverfahren. Die Tragfähigkeit eines gedrückten oder gebogenen dünnwandigen Stabes eines offenen Querschnitts wird aufgrund der Kenntnis der kritischen Spannung für lokale Beulung, Distorsionsknickung und den Gesamtverlust der Stabilität bestimmt. Im Artikel werden die Ausgangsprinzipien des Verfahrens und seine Vor- und Nachteile im Vergleich mit dem üblicheren Verfahren der mitwirkenden Breiten aufgeführt. Des Weiteren werden die Beziehungen für die Berechnung und gelöste Beispiele eines gedrückten Stabes vom Querschnitt C und eines gebogenen Flachprofils angeführt.



BAU 2009

12. – 17. ledna 2009

Nové výstaviště Mnichov

www.bau-muenchen.com

• dizertace



Investment Strategies in Real Estate. Grand Behaviour Based on Options and Games

Jurg Bernet

Práce se týká investiční strategie v oblasti nemovitostí. Přínosem je použití teorie her a matematické modelování. Tři vymezené strategie mohou pomoci investorům při jejich rozhodování.

Zhodnocení geodynamických tendencí v prostoru střední a východní Evropy na podkladu regionální sítě GPS

Ing. Radim Kratochvíl

V dizertaci jsou epochová zpracování geodynamické sítě CEGRN provedená softwarem Bernesa a dalšími autorem vyvinutými prostředky. Je obsažena analýza přesnosti výsledných souřadnic na podkladu denních rozptylů a odhale- ní odlehlých měření.

Zesilování historických zděných kleneb

Ing. Václav Maršík

Aktuální problematika zesilování starých kleneb je zkoumána numerickou analýzou porušení klenby různého tvaru. Experimenty zesílenými tkaninami CFRP jsou porovnány s počítačovou simulací. Výsledky jsou aplikovatelné v praxi.

Systéme der Festen Fahrbahn deren Errichtung Prufung und Instandhaltung

Dipl.-Ing. Karl-Heinz Winter

Dizertace se zaměřuje na použití pevné jízdní dráhy v konstrukci železniční (běžné i vysokorychlostní) tratě. Práce je založena na rozsáhlých experimentech a výsledkem jsou původní vědecké poznatky.

Research on the Thermophysical Behaviour of Engineered Barrier Material under Extreme Condition

Ing. Radek Vašíček

Práce pojednává o termofyzikálních vlastnostech inženýrských bariér vybudovaných na bázi bentonitu. Je zpracován soubor měření na lisovaných vzorcích. Měření probíhala za extrémních podmínek při vysokém bobtnacím tlaku, teplotě 100 °C na plně saturovaných vzorcích. Závěry směřují k nutnosti vzniku nové metodiky zkoušek.

Betony s krystalizační příměsí a jejich odolnost proti tlakové vodě

Ing. Jiří PAZDERKA

doc. Ing. Eva BURGETOVÁ, CSc.

ČVUT – Fakulta stavební
Praha

Silikátové hydroizolační materiály s krystalizačními účinky jsou progresivní stavební materiály, jejichž potenciál v oblasti pozemních staveb není dosud doceněn. Pro hydroizolaci betonových konstrukcí spodní stavby lze místo tradičních materiálů použít vodotěsný beton s krystalizační příměsí, čímž se zjednoduší provádění spodní stavby.

Úvod

Ochrana pozemních staveb proti vodě a vlhkosti je jednou ze základních podmínek bezporuchové funkce stavebního objektu. Oblast spodní stavby je zatěžována mnoha zdroji vlhkosti a patří k nejvíce ohroženým místům stavebního díla. Relativně novou technologií k její ochraně jsou systémy založené na silikátových hydroizolačních materiálech s krystalizačními účinky (zkráceně krystalizační hydroizolace) určené pro hydroizolaci nových konstrukcí i pro sanaci starších konstrukcí, které jsou zatíženy prosakující vlhkostí.

Materiál a jeho vlastnosti

Krystalizační hydroizolace z hlediska možnosti použití pro pozemní stavby ověřovalo mnoho laboratoří ve světě i v České republice. Téměř ve všech případech byly prokázány hydroizolační vlastnosti betonových konstrukcí, na něž byly aplikovány. Materiálový systém na bázi cementu, určený k aplikaci na nové i starší betonové konstrukce, se dodává na stavbu ve formě prášku, jehož dominantní složku tvoří jemně mletý portlandský cement. Dále obsahuje menší množství jemného křemičitého písku (podíl se u jednotlivých typů výrobků mění), a zejména speciální přísady, jejichž složení se mění podle výrobce. Většinou jde o jednosložkové hydroizolační materiály.

Jejich funkce je založena na stejném principu. Základem je chemická reakce, díky níž proběhne v pórovém systému betonu dodatečný proces (katalytická reakce), jehož důsledkem je zaplnění kapilárně aktivních pórů betonu speciálními krystaly [6]. Tento proces probíhá vždy ve hmotě, a to i v případě aplikace formou nátěru nebo vsypu (krystaly prorůstají do hloubky betonové vrstvy). Nezbytnou podmínkou je přítomnost vody v kapilárních pórech po dostatečnou dobu, aby dodatečná krystalizace proběhla v nezbytném rozsahu. Proto je výhodné systém použít tam, kde dochází k neustálému pro pronikání vody do konstrukce.

U všech typů plošné aplikace krystalizačního materiálu (příměsí, nátěru nebo vsypu) je nezbytné pečlivé ošetřování ztvrdlého betonu nebo nátěru během zrání. Během hydratace betonu s běžným vodním součinitelem totiž cement spo-

třebuje většinu vody pro úvodní hydratační procesy. Ve chvíli, kdy začíná dodatečný krystalizační proces způsobený krystalizační příměsí, by již bez dodatečného vlhčení nebyl ve struktuře betonu dostatek vody a celý proces utěsňující krystalizace by nemohl zcela proběhnout. Následkem by byl nedostatečný počet pórů vyplněných utěsňujícími krystaly a z toho vyplývající neuspokojivé hydroizolační vlastnosti betonové konstrukce [5].

Způsob aplikace

Konkrétní způsob aplikace (a tomu odpovídající druh krystalizačního materiálu) se volí v závislosti na typu konstrukce. Pro sanaci starších betonových konstrukcí, popř. hydroizolaci nových, se doporučuje nátěr nebo nástřik. Materiál ve formě prášku se ve stanoveném poměru rozmíchá s vodou a vzniklá směs se v jedné či dvou vrstvách nanese na povrch konstrukce. U nových konstrukcí je možné hydroizolaci přimísit do čerstvého betonu, čímž dojde k hydroizolačnímu účinku v celé hmotě konstrukce. Pro vodorovné konstrukce (zejména betonové mazaniny) je výhodné nasypat prášek na nezatuhlý povrch betonu a zapracovat ho elektrickou hladíčkou. Jednosložkovým rychle tuhoucím tmelem z tohoto materiálu snadno a rychle zabráníme lokálním průsakům trhlinami v betonové konstrukci (vždy v kombinaci s krystalizačním nátěrem).

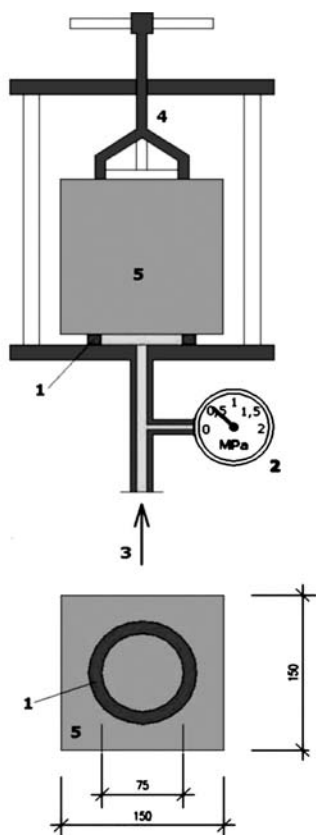
Aplikace krystalizačního materiálu formou příměsí přidávané do betonu během míchání je vhodná pouze pro nové konstrukce a je charakteristická tím, že dochází k vytvoření vodonepropustného betonu v celé hmotě konstrukce (na rozdíl od povrchových aplikací). Při torkretování vrstvy cementové malty s krystalizační příměsí na povrch konstrukce lze materiál použít i pro sanaci zděných konstrukcí. Nejprve se rozmíchá krystalizační příměs v záměsové vodě, a teprve poté se smíchá s cementem a kamenivem. Dodržení technologického postupu je velmi důležité, aby krystalizační příměs byla v betonu rovnoměrně rozptýlena. Po uložení směsi do bednění (nebo torkretování) nastává – stejně jako u ostatních způsobů aplikace krystalizačních materiálů – důležitá fáze ošetření ztvrdlého betonu.

Legislativa

V současné době na našem trhu působí firmy, které jsou buď licenčními výrobci zahraničních krystalizačních materiálů, nebo samy vyvíjejí silikátové systémy. Za povšimnutí stojí, že zatímco téměř všichni výrobci udávají u svých systémů maximální tlak vody, kterému je schopná jejich hydroizolace odolávat, téměř nikdo (s výjimkou některých výrobců systému Akvatron) neudává průsak při vodním tlaku 0,5 MPa v betonu s aplikovanou krystalizační hydroizolací tak, jak to požaduje norma [1]. Fakt, že deklarují pouze maximální tlak vody, při němž nedochází k průsaku konstrukcí, vychází ze zrušených norem [3], [4]. Je tedy zřejmé, že tyto údaje jsou z pohledu současné legislativy nevyhovující.



Obr. 1. Zkušební těleso ve vodotlačné stolici



Obr. 2. Schéma uspořádání zkoušky

1 – těsnicí kroužek, 2 – tlakoměr, 3 – tlak vody, 4 – upínací šroub, 5 – zkušební těleso

Další skutečností je, že v podstatě každý z výrobců udává jinou minimální dobu potřebnou k dodatečné krystalizaci v takové míře, aby bylo možné konstrukci považovat za vodotěsnou, např. hodnota udávaná u systému Akvatron (21 dní) je v ostrém kontrastu s hodnotou u systému Penetron (5 dní). Může to být dáno rozdílnými požadavky na maximální průsak při daném tlaku vody, kdy již firmy považují materiál za vodonepropustný. Rozdíl může být způsoben různými metodami ověřování. V každém případě však rozdíly mezi jednotlivými výrobky snižují věrohodnost uváděných hodnot a byly podnětem k níže popsanému experimentu.

Experiment

Cílem zkoušky bylo stanovení závislosti hloubky průsaku vody v betonu s krystalizační příměsí na čase. Sledován byl úsek od 3 do 28 dnů po vytvoření zkušebních těles. Ve zvolených intervalech byl měřen průsak na jednotlivých zkušebních tělesech. Experiment byl zakončen zkouškou propustnosti po uplynutí předepsané doby, tj. 28 dnů, od vytvoření těles [1].

Pro zkoušku bylo vyrobeno v Experimentálním centru Fakulty stavební ČVUT celkem dvanáct vzorků z betonu s krystalizační příměsí. Tělesa z betonu C 16/20 (tab. 1) měla „simulovat“ beton vodotěsné základové vany podsklepené stavby, na kterou působí tlaková spodní voda. Krystalizační příměsí byl materiál Xypex Admix C-1000 přidáný do betonu během míchání v hmotnosti odpovídající 2 % hmotnosti cementu. Směs byla za průběžného hutnění na vibračním stole postupně ukládána do forem s následným ošetřením povrchu vzorku [2]. Po třech dnech byla tělesa vyjmuta z forem a uložena do plastové nádoby k dalšímu zrání.

Tab. 1. Složení betonové směsi pro výrobu vzorků

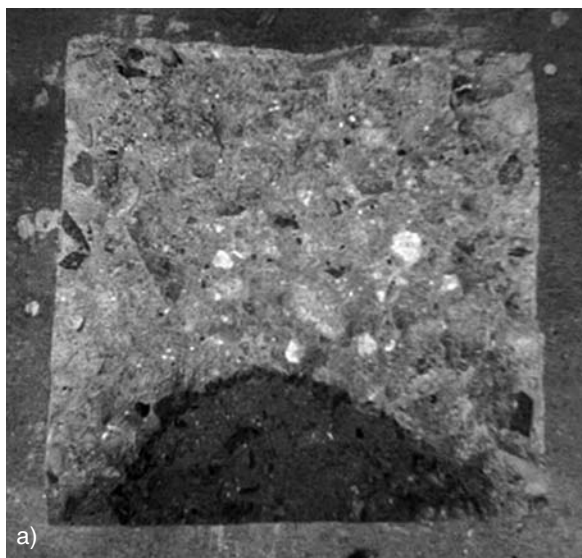
Složka	Popis	Množství na 1 m ³ [kg]
kamenivo	frakce 0-4	834
	frakce 4-8	400
	frakce 8-16	756
cement	CEM II/B - M 32,5 R	294
krystalizační příměs	Xypex Admix C-1000	5,9
voda	z vodovodu	173

Povrch tělesa vystavený vodnímu tlaku byl nejprve očištěn a zdrsňen ocelovým kartáčem. Následně bylo těleso osazeno do vodotlačné stolice (obr. 1) a po dobu 72 hodin zatěžováno tlakem 0,5 MPa v ploše \varnothing 75 mm.

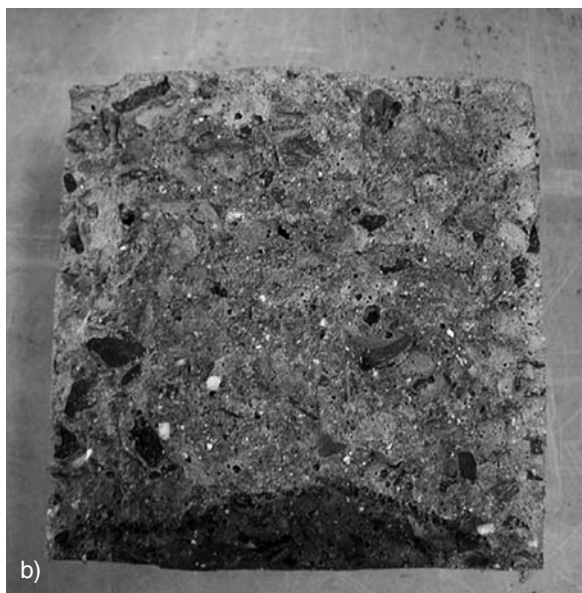
Poté byl vzorek vyjmut, rozlomen v polovině kolmo ve směru působení tlaku vody a na lomové ploše změřen průsak vody s přesností na 1 mm. Schéma uspořádání zkoušky je patrné z obr. 2.

Po uplynutí předepsané doby bylo těleso vyjmuta ze zařízení, změřena maximální hloubka průsaku a vypočítán průměr z hodnot průsaku na obou polovinách rozlomeného tělesa. Pro lepší porovnání byla čára průsaku všech zkušebních těles zvýrazněna. Během ověřování nedošlo k situaci, že by voda z tělesa vytékala, a proto je možné ve smyslu požadavku normy [1] považovat výsledky zkoušky za platné.

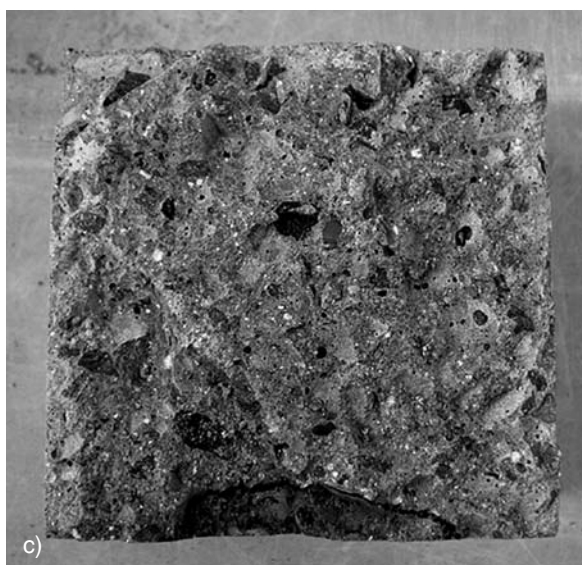
Hlavním cílem experimentu však byla analýza vlivu časového faktoru na propustnost betonu s krystalizační příměsí. Zkouška propustnosti na prvním vzorku byla provedena po



a)



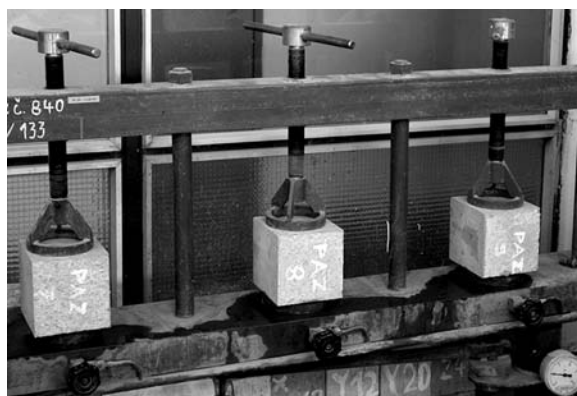
b)



c)

Obr. 3. Geometrie průsaku na rozlomené ploše zkušebních těles
a – po 3 (6) dnech, b – po 7 (10) dnech, c – po 10 (13) dnech

třech dnech od jeho vytvoření. Na dalších tělesech se zkoušky prováděly v intervalu 3 až 4 dny. Pro úplnost je třeba připomenout, že norma [1] předepisuje provedení zkoušky propustnosti po 28 dnech, což nebylo možné respektovat, protože cílem experimentu bylo zkoumat závislost průsaku na čase. Průsak na zkušebních tělesech, kdy se jeho hloubka dynamicky měnila, je patrný z obr. 3. Výsledky posledního měření po 28 dnech (sada 3 těles) lze považovat za závazné. Výsledná hodnota maximálního průsaku byla stanovena jako průměr hodnot naměřených na jednotlivých tělesech.



Obr. 4. Zkouška propustnosti [1] na sadě těles po 28 dnech

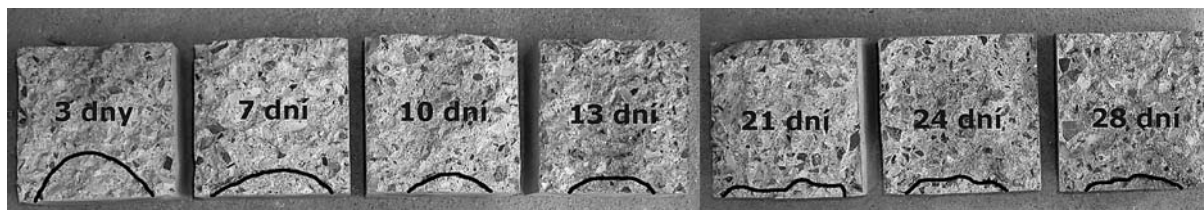
Hodnocení

Výrobce ověřované krystalizační příměsi ve svých podkladech uvádí minimální dobu utěšující krystalizace, tzn. dobu, po které je již možné zatížit beton s příměsí tlakovou vodou, 15 dní. Během experimentu bylo naměřeno 9 hodnot průsaku v 7 intervalech (poslední měření bylo provedeno na sérii 3 těles). Výsledky jsou uvedeny v tab. 2. Z grafu na obr. 5 je patrný poměrně rychlý nárůst vodonepropustnosti betonu s krystalizační příměsí. Již po sedmi dnech od vytvoření dosahuje průsak při zatížení tlakovou vodou v teoretické hloubce 50 m pod vodní hladinou (0,5 MPa) maximálních hodnot 21 mm, což je přijatelná hodnota pro konstrukce bílých základových van, jejichž tloušťka stěny obvykle bývá minimálně 200 mm.

Tab. 2. Průsak v závislosti na čase

čas začátku zatížení vodou [dny]	3	7	10	13	21	24	28		
max. hloubka průsaku [mm]	47	21	17	16	16	16	15	16	14

Je zřejmé, že tlaková voda působící na spodní stavbu bude v praxi dosahovat mnohem nižších hodnot. Pokud bychom uvažovali objekt se dvěma podzemními podlažími a teoretickou možností, že se hladina podzemní vody nalézá při dlouhotrvajících deštích přímo pod povrchem terénu, dále konstrukční výšku podzemního podlaží 3 m, zjišťujeme, že tlak na konstrukci stěny základové vany v nehlubším místě stavby bude dosahovat maximálně 0,06 MPa. Lze předpokládat, že tomuto tlaku bude odpovídat mnohem menší průsak než naměřený při zkoušce. Z uvedeného vyplývá, že u běžných staveb lze konstrukci základové vany s krystalizační příměsí vystavit působení tlakové vody již za poměr-



Obr. 5. Geometrie průsaku na tělesech

ně krátkou dobu, přibližně 7 až 8 dní od vytvoření. Na obrázku 6 jsou seřazena jednotlivá tělesa po skončení experimentu s vyznačením geometrie průsaku.



Obr. 6. Závislost hloubky průsaku na čase

Závěr

Výsledky ukázaly, že úplných hydroizolačních vlastností, tzn. ustáleného průsaku, dosahuje beton s krystalizační příměsí mezi 11. až 12. dnem od vytvoření. Po této době zůstává přibližně na úrovni 15 mm. Minimální doba stanovená výrobcem ověřované krystalizační příměsí (15 dní) je tedy značně na straně bezpečnosti. Je však nutno připomenout, že minimální doba, po které je možné beton s krystalizační hydroizolací zatížit tlakovou vodou, se u jednotlivých výrobců liší. V pozemních stavbách bývá konstrukce obvykle zatížena podstatně nižším tlakem vody, než je tlak vyvozený během zkoušky propustnosti. Lze předpokládat, že i hloubka

průsaku bude v těchto případech menší. Beton s krystalizační příměsí je tedy možné v těchto případech zatížit tlakovou vodou již dříve, přibližně po 7 až 8 dnech od vytvoření konstrukce, kdy je již maximální průsak přijatelný (přibližně 20 mm).

Na základě výsledků provedených experimentů je možné konstatovat, že krystalizační hydroizolace aplikované ve formě příměsí do betonu jsou kvalitní hydroizolační systémy zaručující spolehlivost a trvanlivost konstrukcí pozemních staveb.

Článek vznikl za podpory projektu CTU 0700111 „Analýza funkčního principu a spolehlivosti krystalizačních hydroizolací“.

Literatura

- [1] ČSN EN 12390-8 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 8: Hloubka průsaku tlakovou vodou. ČSNi, Praha 2001.
- [2] ČSN EN 206-1 Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. ČSNi, Praha 2001.
- [3] ČSN 731209 Vodostavebný beton. ČSNi, 1985 (zrušená).
- [4] ČSN 731321 Stanovení vodotěsnosti betonu. ČSNi, 1988 (zrušená).
- [5] Pazderka, J.: Analysis of the Functional Principles of Crystalline Waterproof Admixtures for Concrete. In: Scientific conference VSU'2007, Higher School of Civil Engineering (VSU) „Lyuben Karavelov“ Sofia, 2007.
- [6] Pazderka, J.: Strukturální změny v betonu vyvolané krystalizačními nátěrovými hydroizolacemi a jejich vliv na vodotěsnost sanované konstrukce. [Sborník], konference „Poruchy a rekonstrukce obvodových plášťov a střích“, TU Košice, Podbanské, 2007.

Pazderka, J. – Burgetová, E.: Concretes with Crystalline Admixture and their Resistance to Pressure Water

Waterproofing crystalline systems are contemporary structural materials whose potential has not been used fully in building construction yet. The integral waterproofing crystalline admixture in concrete (which is included in the concrete mix at the time of batching) is useful for waterproofing of underground concrete parts of new buildings (instead of traditional waterproofing systems). The major part of this paper describes an experiment whose objective was to test resistance of the waterproofing on concrete with crystalline admixture (to pressure water).

Pazderka, J. – Burgetová, E.: Betone mit Kristallisationszusätzen und ihre Beständigkeit gegen Druckwasser

Silikatische Bauwerksabdichtungen mit kristallartigen Tiefenwirkungen sind neuzeitliche Baustoffe, deren Fähigkeiten im Hochbau bisher nicht ausgeschöpft sind. Für die Abdichtung des unterirdischen Teils eines neuen Bauwerks ist es möglich, Beton mit einem kristallisierenden Zusatz zu benutzen. Diese Durchführung ist günstiger als der traditionelle Feuchtigkeitsschutz. Der Schwerpunkt dieses Artikels ist die Beschreibung eines Versuchs, dessen Ziel es war, die Zuverlässigkeit und Beständigkeit des Betons mit einem Kristallisierungszusatz gegen die Wirkungen von Druckwasser in Abhängigkeit vom Zeitfaktor zu überprüfen.

Vliv přídavku metakaolinu na trvanlivost betonu

doc. Ing. Karel KOLÁŘ, CSc.
doc. Ing. Petr KONVALINKA, CSc.
Ing. Dagmar JANDEKOVÁ
 ČVUT – Fakulta stavební, Praha

doc. Ing. Tomáš KLEČKA, CSc.
Ing. Jiří KOLÍSKO, Ph.D.
 ČVUT – Kloknerův ústav, Praha

Ing. Karel PECINA
 KERAMOST, a. s., Most

Trvanlivost betonu je jedním z parametrů charakterizujících schopnost materiálu odolávat cyklům zmrazování/rozmrazování při současném působení chemických rozmrazovacích prostředků. Přídavkem metakaolinu lze omezit objem pórů a zlepšit kompaktnost materiálu. Článek popisuje experimentální stanovení množství povrchového odpadu u různých betonů v závislosti na počtu cyklů zmrazování/rozmrazování v solném roztoku.

Úvod

Receptury nejčastěji používaných vysokohodnotných a samozhutnitelných betonů obsahují nové typy superplastifikátorů na bázi karboxylátů. Výsledkem je výrazné zlepšení základních fyzikálních a mechanických parametrů. V některých případech však nedochází ke zlepšení takových speciálních parametrů, jako je odolnost vůči působení chemických rozmrazovacích prostředků, což způsobuje problémy zejména při použití do krytu vozovky. Pak je nutné upravit recepturu takovou příměsí, která dokáže zčásti nahradit cement, a současně, díky speciálně upravené granulometrii, zaplnit mikropóry ve struktuře betonu. Jednou z možných příměsí je latentní hydraulická látka na bázi metakaolinu. Ve směsi s cementem reaguje s hydroxidem vápenatým a vytváří nové hydratační produkty.

Popis experimentů

Pro výzkum byl použit metakaolin firmy KERAMOST, dodávaný na spotřebitelský trh od roku 2006. Vyrábí se z místních surovinových zdrojů – kaolinu z oblasti Kadaňska – řízeným pálením při teplotách 600 až 800 °C. Mletím se granulometricky upravuje na materiál čistě bílé barvy zásadně se lišící jemností mletí – metakaolin KM 40 (do 40 μm) a metakaolin KM 60 (do 63 μm). Účinek příměsí metakaolinu KM 40 byl zkoumán jako částečná náhrada pojiva CEM I 42,5R Mokrý. Jeho typické vlastnosti, uvážené výrobcem, jsou v *tab. 1* až *tab. 3*.

Kromě sledování jeho vlivu na reologické vlastnosti čerstvého betonu a průběh základních mechanických parametrů (pevnost v tlaku, statický modul pružnosti) byla sledována zejména odolnost vůči působení chemických rozmrazovacích látek (CHRL) ve smyslu ČSN 73 1326 [4], a to ve variantě B1 – srovnávací beton bez přídavku metakaolinu a B2 – beton

s metakaolinem v množství 10 % hmotnosti cementu se zvýšenou dávkou superplastifikátoru v množství 2 % hmotnosti jemných složek směsi (*tab. 4*).

Tab. 1. Typické vlastnosti metakaolinu KM 40

Vlastnosti	[%]
obsah Al ₂ O ₃	40–42
obsah SiO ₂	51–53
obsah Fe ₂ O ₃	1,20–1,40
obsah TiO ₂	0,70–0,75
obsah K ₂ O + Na ₂ O	1,35–1,45
obsah CaO	0,25–0,30
obsah MgO	0,35–0,40
další nestanovené oxidy	cca 0,50
ztráta žíháním	cca 1,50

Tab. 2. Granulometrie metakaolinu KM 40

Fracce	
[μm]	[%]
40–20	» 2,5
20–10	» 9,6
10–5	» 27,4
5–2	» 15,5
2–1	» 18,1
< 1	» 26,9

Tab. 3. Zbytek na sítu

[μm]	Materiál	[%]
63	KM 60	cca 1
	KM 40	< 1
40	KM 60	cca 1
	KM 40	cca 1

Tab. 4. Složení betonových směsí

Složení	B1	B2
	[kg/m ³]	
CEM I 42,5 R lokalita Mokrá	440	400
metakaolin KERAMOST	–	40
plastifikátor Stachement 2090	4,4	8,8
voda	177	160
kamenivo frakce 0–4 mm	795	795
kamenivo frakce 4–8 mm	315	315
kamenivo frakce 8–16 mm	670	670

Směs B1 vykazovala konzistenci středně měkkou – sedimentu kužele S3, směs B2 konzistenci rozlitém podle ČSN EN 206-1 [5] po 15 minutách rozlité 540 mm, po 30 minutách rozlité 540 mm, po 60 minutách rozlité 490 mm, po 90 minutách rozlité 460 mm. Z uvedených hodnot je zřejmé, že jde o beton, jehož parametry jsou srovnatelné se samozhutnitelným betonem.

Z mechanických parametrů byla sledována pevnost v tlaku podle ČSN EN 12390-3 [6] na betonových zkušebních tělesech ve tvaru krychle 150 x 150 x 150 mm a statický modul pružnosti podle ČSN ISO 6784 [7] na betonových zkušebních tělesech ve tvaru trámku 100 x 100 x 400 mm ve stáří 28 dní, uložených pod vodou. Průměrné výsledky mechanických parametrů jsou uvedeny v tab. 5.

Tab. 5. Průměrné hodnoty mechanických parametrů betonových zkušebních těles

Receptura	Objemová hmotnost [kg/m ³]	Pevnost v tlaku	Modul pružnosti
		[MPa]	
B1	2 388	63,7	38 500
B2	2 428	90	43 970



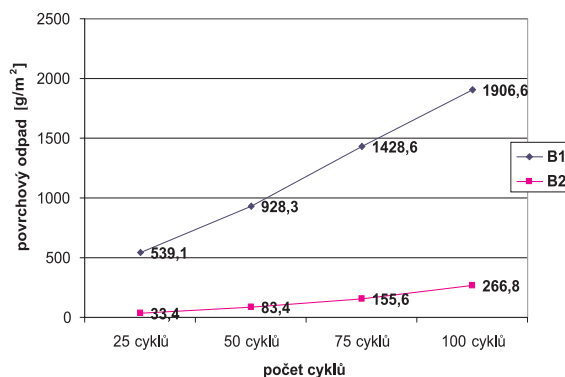
Obr. 1. Zkušební vzorky po zkoušce CHRL

Měření odolnosti vůči chemickým rozmrazovacím látkám bylo provedeno podle ČSN 73 1326 – metoda C [4] na betonových zkušebních tělesech ve tvaru válců Ø 150 mm a výšce 50 mm. Zatěžovací cyklus spočívá v zalití jejich povrchu solným roztokem v koncentraci 3 % NaCl při teplotě

cirkulujícího vzduchu –18 °C po dobu tří hodin, a následně +5 °C po dobu dalších tří hodin. Uvolněný materiál z povrchu betonového zkušebního tělesa se zachytává a mění se solný roztok. Po vysušení uvolněného materiálu se stanoví hmotnost odpadu [g/m²]. Povrch vzorků betonu obou receptur je fotograficky dokumentován na obr. 1. Nalevo je vzorek s příměsí metakaolinu, napravo ze srovnávacího betonu, oba po padesáti cyklech zmrazování/rozmrazování. Zároveň se měřila povrchová nasákovost v čase 15 minut [g/m²]. Výsledky, uvedené v tab. 6, jsou průměrné hodnoty vždy ze tří zkoušek. Graficky je závislost množství povrchového odpadu betonu na počtu cyklů znázorněna v obr. 2.

Tab. 6. Průměrná povrchová nasákovost a odolnost vůči CHRL

Receptura	B1	B2
objemová hmotnost [kg/m ³]	2 399	2 412
povrchová nasákovost po 15 minutách [g/m ²]	300,2	127,8
celkový odpad [g/m ²]		
po 25 cyklech	539,1	33,4
po 50 cyklech	928,3	83,4
po 75 cyklech	1428,6	155,6
po 100 cyklech	1906,6	266,8



Obr. 2. Závislost povrchového odpadu na počtu zatěžovacích cyklů

Závěry

Příměs mikroplniva na bázi metakaolinu se projevuje příznivě nejen na zlepšení mechanických parametrů betonu (nárůst pevnosti v tlaku z 63,7 na 90,0 MPa), ale zejména na výrazném zvýšení odolnosti proti působení chemických rozmrazovacích látek. Zatímco u srovnávacího betonu (B1) dochází k povrchovému odpadu okolo 1 000 g/m² již při 50 cyklech, u betonu s příměsí metakaolinu (B2) je i po 100 cyklech hodnota povrchového odpadu ve výši 266,8 g/m² téměř čtyřikrát nižší, než je normový limit.

Experimentální práce na projektu byly provedeny s podporou výzkumného záměru MŠMT č. MSM 6840770031 a za podpory firmy KERAMOST, a. s., Most.

Literatura

- [1] Konvalinka, P. – Kolář, J. – Kolář, K.: Metakaolin – aktivní mikroplnivo pro beton extrémních vlastností. [Workshop], ČVUT v Praze, 2007.

- [2] Konvalinka, P. – Kolář, K. – Klečka, T.: Vliv přídavku metakaolinu na mechanické vlastnosti betonu. [Sborník], konference „Technologie betonu“, Pardubice, 2007.
- [3] Kolář, K. – Klečka, T. – Kolísko, J. – Konvalinka, P.: Zvýšení odolnosti vysokohodnotných betonů proti působení chemických rozmrazovacích látek příměsí metakaolinu. [Sborník], konference „Speciální betony“, Karlova Studánka, 2007.
- [4] ČSN 73 1326 Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek. ÚNM, 1984.
- [5] ČSN EN 206-1 Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. ČSNI, 2003.
- [6] ČSN EN 12390 Zkoušení ztvrdlého betonu. ČSNI, 2001.
- [7] ČSN ISO 6784 Beton – Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku. ČSNI, 1993.
- [8] Materiálové listy KERAMOST, a. s., <http://www.keramost.cz>

Kolář, K. – Konvalinka, P. – Jandeková, D. – Klečka, T. – Kolísko, J. – Pecina, K.: Effect of Metakaoline Admixture on Concrete Durability

Durability of concrete is one of the parameters characterizing the capability of the material to resist freezing/thawing cycles while employing chemical defrosting agents. Adding metakaoline may improve the compactness of concrete and limit the volume of pores in the material. This paper shows experimental determination of the amount of surface waste of various concretes depending on the number of freezing/thawing cycles in a salt solution.

Kolář, K. – Konvalinka, P. – Jandeková, D. – Klečka, T. – Kolísko, J. – Pecina, K.: Der Einfluss der Zugabe von Metakaolin auf die Dauerhaftigkeit von Beton

Die Dauerhaftigkeit von Beton ist einer der Parameter, welche die Fähigkeit des Materials charakterisieren, Frost-Tau-Wechseln bei gleichzeitiger Einwirkung von Frostschutzmitteln zu widerstehen. Durch die Zugabe von Metakaolin kann die Kompaktheit verbessert und das Porenvolumen im Material begrenzt werden. Der Artikel befasst sich mit der experimentellen Bestimmung der Menge des Oberflächenabfalls bei verschiedenen Betonen in Abhängigkeit von der Anzahl der Frost-Tau-Wechsel in einer Salzlösung.

•projekty

Explora Business Centre

Budova Jupiter je první fází projektu Explora Business Centre v jedné z nejrychleji se rozvíjejících pražských oblastí. Objekt, sestávající z osmi nadzemních a třech podzemních podlaží, nabídne přibližně 21 100 m² pronajímatelné plochy, z níž 1 967 m² je určeno pro maloobchodní aktivity. Předpokládané datum dokončení první fáze je podzim 2008.



Projekt Explora Business Centre přední investiční a developerské společnosti v oblasti nemovitostí ve střední Evropě Quinlan Private Golub se bude nacházet v Praze 13 na rozloze 2,5 ha, v těsné blízkosti stanice metra Nové Butovice. Strategicky výhodná poloha nabízí výhodnou dostupnost jak z centra města, hlavních dopravních tepen i letiště Ruzyň. Očekává se, že po dokončení nabídne téměř dva tisíce stálých pracovních míst. Náklady na výstavbu se odhadují na 860 mil. Kč. Generální projektantem je Atelier A. B. D. Fáze II – Neptune a fáze III – Saturn jsou ve stadiu příprav. Při zahájení projektu byla pro připomínku příštím generacím do země uložena časová schránka s předměty reprezentujícími současnost. Podle potvrzení z britského muzea jde o první českou časovou schránku registrovanou u organizace International Time Capsule Society.

Tisková informace

•projekty

Palác Archa



Vlastníkem bývalé budovy ČSOB v pražské ulici Na Poříčí je společnost Orco. V rámci nového projektu zde hodlá vybudovat moderní víceúčelový projekt. Rekonstrukce probíhá ve dvou fázích, z nichž první o rozloze 7 500 m² byla úspěšně dokončena. Dokončení celého projektu se očekává v prvním čtvrtletí roku 2009. Pasáž, spojující ulice Na Poříčí a Na Florenci, nabídne návštěvníkům možnost kulturního využití v divadle Archa. V přízemních prostorách je plánována řada stylových obchodů a kaváren.

Projekt sestává z pěti budov a nádvorí včetně dvou historických objektů navržených Josefem Gočárem a Františkem Markem ve třicátých letech minulého století. Architektem je společnost Chapman Taylor International, hlavním dodavatelem stavby IMOS Brno, závod Ostrava.

Tisková informace

Počítačová simulace vlhkostních a teplotních polí v obvodovém plášti na bázi lité sádry

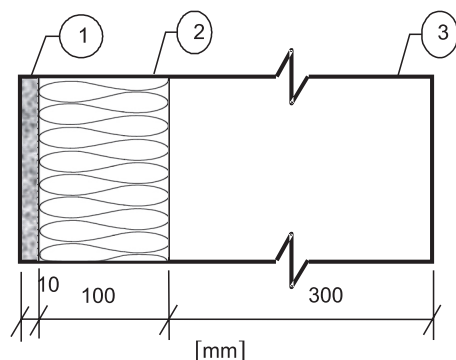
Ing. Jiří MADĚRA, Ph.D.
Ing. Pavel TESÁREK, Ph.D.
prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.
ČVUT – Fakulta stavební
Praha

V článku je popsána počítačová analýza teplotně vlhkostních poměrů v obvodových pláštích s vnější tepelnou izolací pro tři typy lité sádry a čtyři typy tepelně izolačních materiálů. Pro řešení transportu tepla a vlhkosti je použit program TRANSMAT 4.3. Teplota, relativní vlhkost a nadměrný hygroskopický obsah vlhkosti jsou počítány pro dobu pěti let.

Úvod

Průmyslová výroba sádry u nás není stále ještě rozvinuta tak jako např. v Polsku nebo Německu. Jedním z důvodů je to, že se u nás na rozdíl od jmenovaných zemí nachází pouze jedno ložisko přírodního sádrovce. Poněkud lepší situaci zaznamenáváme v oblasti použití druhotných zdrojů, zejména chemosádrovců (vedlejších produktů při chemické výrobě) [1] a energosádrovců (při odsiřování v tepelných elektrárnách) [2]. Energosádra se používá nejčastěji k výrobě sádrokartónových a sádrovláknitých desek [3]. V popisovaném výzkumu se předpokládá využití energosádry jako materiálu pro výrobu prvků nosné konstrukce obvodového pláště [4]. Pláště na bázi sádry byly v omezené míře u výše jmenovaných sousedů již ověřovány, např. [5], [6], ale jejich praktické použití na stavbách dosud nebylo příliš časté.

V článku chceme posoudit obvodový plášť, jehož základ tvoří bloky z lité sádry opatřené z vnější strany tepelnou izolací. Celkem bylo navrženo 12 skladeb obvodového pláště – 3 varianty nosné konstrukce na bázi sádry (1 neupravená a 2 upravené hydrofobizačními přísadami) a 4 varianty vnějšího zateplovacího systému na bázi různých tepelně izolačních materiálů.



Obr. 1. Schéma obvodového pláště použitého při počítačové simulaci

1 – externí omítka, 2 – tepelná izolace, 3 – nosná konstrukce

Návrh obvodového pláště

Obvodový plášť (obr. 1) byl navržen podle tepelně technických normových požadavků pro dodatečné izolace. Základem je nosný blok z lité sádry tl. 300 mm. Vnější tepelně izolační systém má tl. 100 mm. Tento standardní rozměr se v současné době používá často pro dodatečné zateplení, ale často i u novostaveb. Upevněn může být pomocí kotvicího systému a plošné stěrky na vápenosádrové bázi. Tato pomocná vrstva byla při výpočtech zanedbána, protože vlastnostmi je blízká sádrovému bloku. Na exteriérové straně je umístěna vápenocementová vnější omítka tl. 10 mm. Jejím hlavním úkolem je ochrana tepelně izolačního systému a zajištění plné funkčnosti konstrukce. Omítka by měla zabránit pronikání vody (hnaného deště) do konstrukce, ovšem při zachování odvodu vlhkosti (vodních par) do exteriéru.

Studovaná β -energosadra pochází z elektrárny Počerady, kde se vyrábí výpalem z energosádrovce. Ten vzniká jako vedlejší produkt při odsiřování spalnin energetických celků při spalování uhlí s obsahem síry. Nejčastěji se používá mokrá vápencová vypírka [7], při níž vzniká velmi kvalitní náhrada přírodního sádrovce s čistotou vyšší než 98 %. Její čistota závisí na čistotě použitého vápence. Pak odpadá těžba, drčení i mletí suroviny, protože sádrovec se dodává ve formě prášku nebo pelet (granulí).

Energosadra byla v souladu s ČSN 72 2301 [8] klasifikována jako G-13 B III [8]. Vodní součinitel byl stanoven na hodnotu 0,627 a odpovídá normální konzistenci. Referenční materiál byl označen S0. Další dva materiály byly upraveny dvěma hydrofobizačními přísadami. První materiál, který byl pracovně označen jako S3, obsahoval přípravek IMESTA IBS 47 (IMESTA, Dubá u České Lípy). Jde o bílý prášek určený přímo k hydrofobizaci sádrového pojiva, který se dávkuje přímo do sádry. Druhý materiál (S4) obsahoval hydrofobizační přípravek ZONYL 9027 (Du Pont, USA) ve formě roztoku, který se přidává do záměsové vody. Vodní součinitel byl u obou materiálů stejný jako pro referenční sadu. Složení jednotlivých sad, vodní součinitel, použitá přísada a její množství je uvedeno v tab. 1, základní vlastnosti materiálů v tab. 2.

Tab. 1. Složení materiálů [9]

Materiál	Vodní součinitel	Přísada	Množství přísady
S0	0,627	–	–
S3	0,627	IMESTA IBS 47	0,5 % hm.
S4	0,627	ZONYL 9027	5,0 % roztok

Jako vnější tepelná izolace byly použity čtyři charakteristické typy materiálů:

- I. hydrofilní materiál s nízkou hygroskopicitou na bázi minerální vlny,
- II. hydrofilní materiál s vysokou hygroskopicitou na bázi kalcium silikátu,
- III. hydrofobní materiál s nízkým faktorem difúzního odporu na bázi minerální vlny,
- IV. hydrofobní materiál s vysokým faktorem difúzního odporu na bázi polystyrenu.

Základní charakteristiky izolačních materiálů a vápenoocementové omítky byly zjištěny v laboratoři transportních procesů nebo převzaty z materiálové databáze [10]. Materiálové charakteristiky tepelných izolací použitých ve výpočtech jsou v tab. 3.

Simulační program TRANSMAT

Výpočty byly provedeny programem TRANSMAT 4.3, vyvinutým na Katedře mechaniky Fakulty stavební ČVUT v Praze [11]. Přenos vlhkosti a tepla popisuje soustava partiálních diferenciálních rovnic, která se řeší nejčastěji metodou konečných prvků. Tato metoda je základem programového balíku SIFEL, vyvíjeného na stejné katedře, který byl využit i pro řešení přenosu vlhkosti a tepla v tomto článku. Při formulaci bilančních rovnic vlhkosti a tepla byl využit Künzelův model [12]

$$\frac{d\rho_v}{d\varphi} \frac{\partial\varphi}{\partial t} = \text{div} [D_\varphi \text{grad}\varphi + \delta_p \text{grad}(\varphi p_s)], \quad (1)$$

$$\frac{dH}{dT} \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div}(\lambda \text{grad}T) + L_v \text{div}[\delta_p \text{grad}(\varphi p_s)], \quad (2)$$

kde ρ_v je partiální hustota vlhkosti, φ relativní vlhkost, δ_p permeabilita vodní páry, p_s tlak nasycené vodní páry,

Tab. 2. Vlastnosti materiálů

Materiál	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	κ [m ² /s]	μ [-]	θ_{sat}	θ_{hyg}	λ_{dry}	λ_{sat}
					[m ³ /m ³]		[W/mK]	
S0	1 019	840	2,63E-07	5,4	0,60	0,230	0,47	0,86
S3	942	840	1,47E-07	5,4	0,61	0,181	0,41	0,70
S4	941	840	7,32E-09	5,4	0,62	0,166	0,38	0,80

ρ – objemová hmotnost, c – měrná tepelná kapacita, κ – průměrná hodnota součinitele vlhkostní vodivosti, μ – faktor difúzního odporu vodní páry, θ_{sat} – saturovaný obsah vlhkosti, θ_{hyg} – hygroskopický obsah vlhkosti, λ_{dry} – součinitel tepelné vodivosti pro vzorek v suchém stavu, λ_{sat} – součinitel tepelné vodivosti pro vzorek v plně nasyceném stavu

Tab. 3. Porovnání vlastností tepelně izolačních materiálů

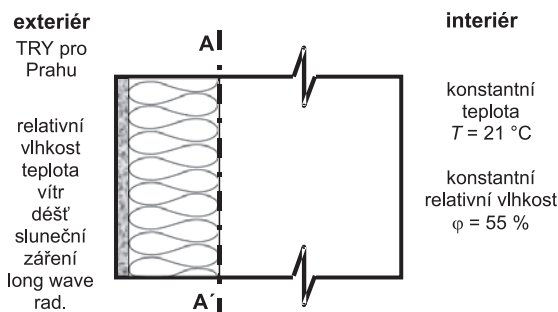
Materiál	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	κ [m ² /s]	μ [-]	θ_{sat}	θ_{hyg}	λ_{dry}
					[m ³ /m ³]		[W/mK]
I.	150	840	$1 \cdot 10^{-7} \cdot e^{0,0485 \cdot \varphi}$	2,00	0,95	0,0060	0,04, 1,10
II.	230	1 000	$2 \cdot 10^{-8} \cdot e^{0,0523 \cdot \varphi}$	2,50	0,88	0,2200	0,06, 0,40
III.	170	840	$5 \cdot 10^{-13} \cdot e^{0,1486 \cdot \varphi}$	3,00	0,31	0,0073	0,06, 1,20
IV.	30	1 300	$2 \cdot 10^{-11} \cdot e^{0,0475 \cdot \varphi}$	50,00	0,97	0,0010	0,04, 0,56

H hustota entalpie, L_v skupenské teplo výparné, λ součinitel tepelné vodivosti a T teplota,

$$D_\varphi = D_w \frac{d\rho_v}{d\varphi}, \quad (3)$$

je koeficient vodivosti kapalně vlhkosti, D_w je koeficient kapilárního transportu [12].

Počáteční a okrajové podmínky modelu by měly co nejvíce odpovídat skutečnosti, přičemž okrajové podmínky pro exteriérovou stranu by měly být co nejpřesnější. Toho bylo dosaženo použitím meteorologických dat pro Prahu. Z hlediska dlouhodobé spolehlivosti se nejčastěji používá referenční rok. V interiéru byly použity konstantní podmínky – relativní vlhkost 55 % a teplota 21 °C. Začátek simulace byl zvolen na 1. července, její délka pět let. Trvání simulace je voleno z důvodu možnosti odhalení vlivů, které se mohou objevit až po delší době, a tím přispět k přesnějšímu řešení problému.



Obr. 2. Schéma obvodového pláště a okolní podmínky

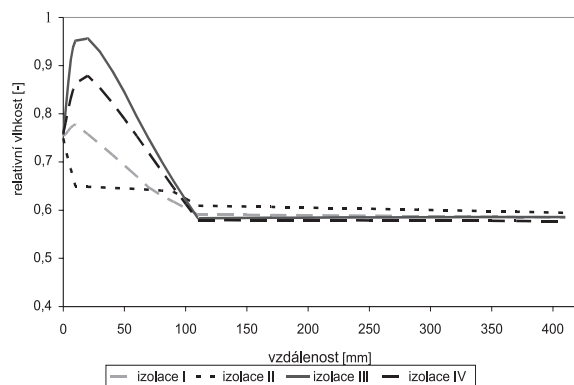
Výsledky a diskuze

Dlouhodobé chování systému z tepelně vlhkostního hlediska bylo charakterizováno teplotou, relativní vlhkostí vzdu-

chu a nadměrným hygroskopickým obsahem vlhkosti. Pro vyhodnocení byly vybrány dva profily v konstrukci. Profil A-A' byl na rozhraní mezi tepelnou izolací a nosnou konstrukcí (ve vzdálenosti 110 mm od vnějšího líce), profil B-B' byl veden napříč konstrukcí.

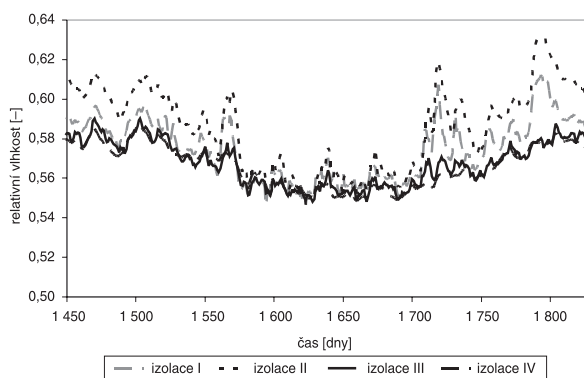
Nemodifikovaný materiál S0

Relativní vlhkost v profilu B-B' ve stěně vyrobené z nemodifikované sádry (S0) v posledním roce pro 15. prosinec je zřejmá z obr. 3. Tento profil je charakteristický pro zimní období. Nadměrná hygroskopická vlhkost se zjevně neobjevuje nikde ve stěně, ačkoli u hydrofobizovaných izolací je ke vzniku kondenzace velmi blízko, relativní vlhkost v tepelně izolační vrstvě je na úrovni 90 % a vyšší.



Obr. 3. Relativní vlhkost, nemodifikovaná sádra (S0), profil B-B'

Průběh relativní vlhkosti v profilu A-A', který je mezi tepelnou izolací a nosnou konstrukcí, v rozmezí 1. až 31. ledna pro čtvrtý rok simulace, ukazuje obr. 4. Výskyt nadměrné hygroskopické vlhkosti je zde zřejmě velmi nepravděpodobný. Hodnoty relativní vlhkosti mají u všech čtyř tepelných izolací dosti daleko ke vzniku kondenzace.



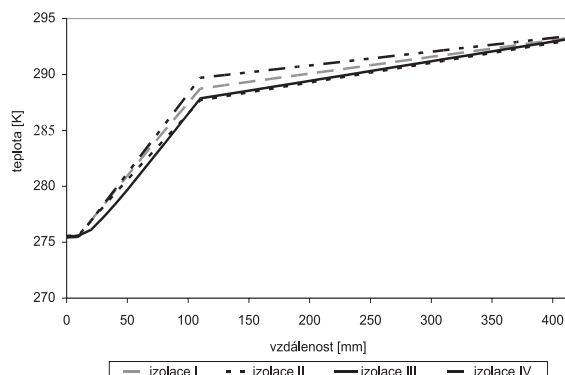
Obr. 4. Relativní vlhkost, nemodifikovaná sádra (S0), profil A-A'

Teplotní profily ve stěně na bázi nemodifikované sádry (S0) v posledním roce pro 15. prosinec, svědčící o dobré účinnosti všech čtyř tepelných izolačních materiálů z tepelného hlediska, prezentuje obr. 5.

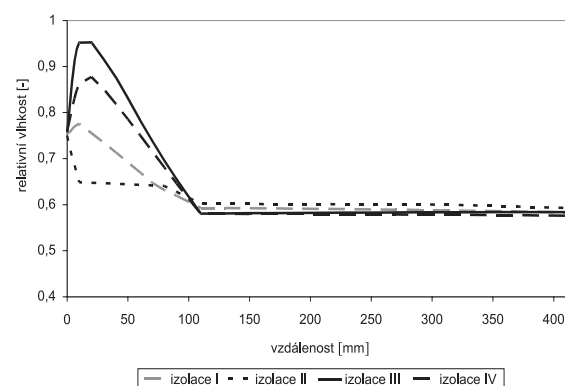
Modifikovaný materiál S3

Profil relativní vlhkosti v sádrovém bloku vyrobeném z modifikovaného sádrového materiálu (S3) pro 15. prosinec je znázorněn na obr. 6. Při porovnání použití bloku z nemodifikované a modifikované sádry je zřejmé, že průběh se téměř neliší. Důvodem je nepochybně fakt, že hydrofobizace u materiálu S3 nebyla příliš úspěšná (viz údaje pro

vlhkostní parametry v tab. 2). Ostatní výsledky pro tento materiál jsou také téměř identické jako pro nemodifikovanou sádro, a proto je neuvádíme.



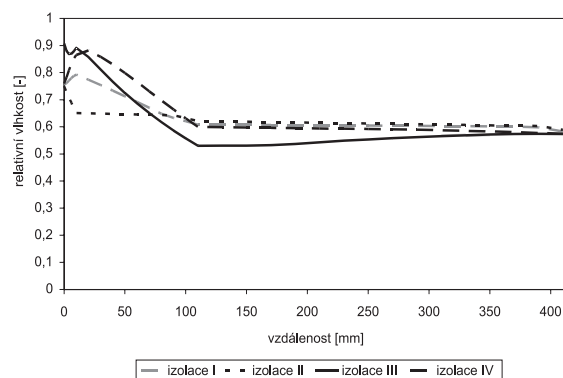
Obr. 5. Teplota, nemodifikovaná sádra (S0), profil B-B'



Obr. 6. Relativní vlhkost, modifikovaná sádra (S3), profil B-B'

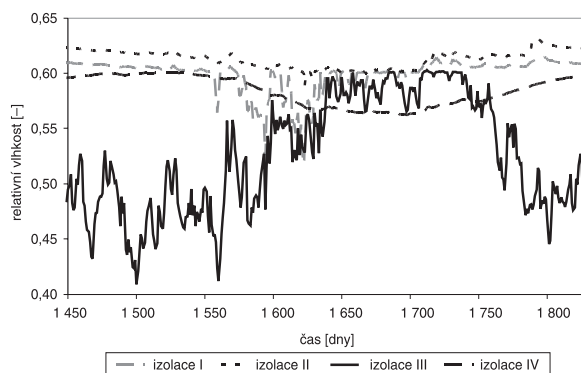
Modifikovaný materiál S4

Typické profily relativní vlhkosti v sádrovém bloku s modifikací S4 pro 15. prosinec v posledním roce simulace ukazuje obr. 7. Zde jsou již rozdíly při porovnání s blokem z nemodifikované sádry patrnější – hodnoty relativní vlhkosti jsou poněkud příznivější (maximální relativní vlhkost je i pro hydrofobní izolace 90 %, takže riziko kondenzace sice existuje, ale je nižší než u stěny z materiálu S0). Rozdíly v profilech se týkají zejména tepelně izolační vrstvy, ale zřetelné jsou i v sádrovém bloku (největší pro izolaci III). Tyto rozdíly však z hlediska teplotně vlhkostního chování sádrové stěny nemají větší význam.



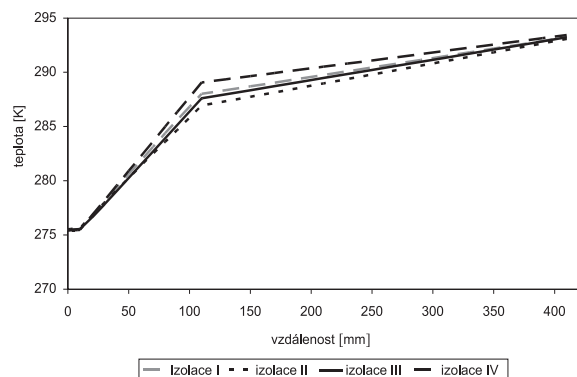
Obr. 7. Relativní vlhkost, modifikovaná sádra (S4), profil B-B'

Průběh relativní vlhkosti v profilu A-A' od 1. ledna do 31. prosince pro čtvrtý rok simulace ukazuje obr. 8. Rozdíly v porovnání s obr. 4 pro nemodifikovaný materiál nejsou pro izolace I, II a IV příliš velké, pro hydrofobní izolaci III jsou již podstatnější, ale z hlediska dlouhodobějšího vlhkovně teplotního namáhání nemají na chování zkoumané konstrukce výraznější vliv.



Obr. 8. Relativní vlhkost, modifikovaná sádra (S4), profil A-A'

Příklad teplotního profilu ve stěně vyrobené z modifikované sádry (S4) pro 15. prosinec posledního roku simulace ukazuje obr. 9. Z porovnání s průběhem na obr. 5 je patrné, že profily jsou téměř identické jako pro nemodifikovaný materiál (S0) a stěna funguje z tepelného hlediska uspokojivě.



Obr. 9. Teplota, modifikovaná sádra (S4), profil B-B'

Závěr

Výsledky počítačových simulací teplotních a vlhkovních polí v obvodovém plášti na bázi sádry ukazují, že navržené řešení by mohlo být základem pro využití energosádry v podobě litých konstrukčních bloků v praxi. Hlavní požadavek, aby se zatvrdlá sádra nedostávala do styku s nadměrnou hygroskopickou vlhkostí, která by v ní neměla vznikat ani v průběhu času, protože by docházelo k částečnému rozpouštění sádrovce, byl splněn pro všechny typy sádry a tepelné izolace. Z ověřovaných skladeb se jeví jako nejvhodnější kombinace bloku ze surové (nemodifikované) energosádry a tepelné izolace na bázi hydrofobní minerální vlny.

Navržený obvodový plášť je v souladu se současnými trendy ve výstavbě, zaměřenými na udržitelný rozvoj. Splňuje tepelné a vlhkovní požadavky, a zároveň přináší vhodné řešení z hlediska ekonomického a ekologického. Cena energosádry je velice nízká, výroba bloků technologicky i energeticky nenáročná, a rovněž tak následná recyklace materiálu při demolici a opětovném použití.

Článek byl vytvořen za podpory projektu FT-TA3/005 MPO ČR.

Literatura

- [1] Škvára, F.: Sádrové maltoviny, Technologie anorganických pojiv I, Část 2. Vzdušné maltoviny, ostatní anorganická pojiva, technologické výpočty. VŠCHT Praha, 1995.
- [2] Wirsching, F.: Calcium Sulfate. In: Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Weinheim, 1985, pp. 555–583.
- [3] Hanusch, H.: Übersicht über Eigenschaften und Anwendung von Gipskartonplatten. Zement-Kalk-Gips, No. 5, 1974, p. 245–251.
- [4] Tesárek, P. – Maděra, J. – Rovnaníková, P. – Černý, R.: FGD Gypsum: a Building Material with Perspectives, Research and Teaching of Physics in the Context of University Education [CD-ROM], Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 2005, p. 39–42.
- [5] Schellhase, W.: Rozvoj sádrového průmyslu v NDR. [Sborník], seminář? „Sádra ve stavebnictví“, Brno, 1967, s. 119–136.
- [6] Pluta, J. – Pluta, K.: Ustroje stropove, science i szkietowve systemu JZP-ECOL. Inżynieria i budownictwo, Nr. 7/2000, s. 371–373.
- [7] Řičánek, M.: Sádra a její vlastnosti. [Sborník], seminář „Sádra v památkové péči“, STOP, Praha, 2002, s. 4–13.
- [8] ČSN 72 2301 Gypsum Binding Materials, Czech Standard (in Czech). Praha, Vydavatelství Úřadu pro normalizaci s měření 1979.
- [9] Tesárek, P. – Kolísko, J. – Rovnaníková, P. – Černý R.: Properties of Hydrophobized FGD Gypsum. Cement Wapno Beton 10/72 (2005), p. 255–264.
- [10] Grunewald, J.: DELPHIN 4.1 – Documentation, Theoretical Fundamentals. TU Dresden, 2000.
- [11] Maděra, J. – Černý, R.: TRANSMAT – a Computer Simulation Tool for Modeling Coupled Heat and Moisture Transport in Building Materials. [Proceedings], Workshop 2005 – Part A, B, CTU Prague, 2005, pp. 470–471.
- [12] Kunzel, H. M.: Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components. [Ph.D. Thesis], Stuttgart, IRB Verlag 1995.

Maděra, J. – Tesárek, P. – Černý, R.: Computational Simulation of Moisture and Temperature Fields in a Building Envelope on the Basis of Cast Gypsum

Computational analysis of hygrothermal behaviour of building envelopes on the basis of cast gypsum with exterior thermal insulation is done for three different types of cast gypsum and four different thermal insulation materials. The TRANSMAT 4.3 computer code is used for the solution of the heat and moisture transport problem. Temperature, relative humidity and the overhygroscopic moisture content are calculated for the time period of 5 years.

Maděra, J. – Tesárek, P. – Černý, R.: Computer-simulation der Feuchtigkeits- und Temperaturfelder in Außenwänden auf Basis von Gussgips

Im Artikel wird eine Computeranalyse der Feuchtigkeits- und Wärmeverhältnisse in Außenwänden auf Basis von Gussgips mit einer äußeren Wärmedämmung für drei verschiedene Gipstypen und vier verschiedene Typen von Wärmedämmmaterialien durchgeführt. Zur Lösung des Problems des Wärme- und Feuchtigkeits-transportes wird das Programm TRANSMAT 4.3 angewandt. Die Temperatur, die relative Feuchtigkeit und der übermäßige Feuchtigkeitsgehalt werden über einen Zeitraum von fünf Jahren berechnet.

Dlouhodobá účinnost sanačních omítek na historických objektech z pohledu průběhu salinity zdiva

Ing. Martina PEŘINKOVÁ, Ph.D.

TU – Ostrava
Fakulta stavební

Použití sanačních omítek u historických objektů má svá specifika. Tento typ omítek nemá díky svému složení historickou tradici. To je důvod, proč jsou sanační omítky představiteli památkové péče vnímány negativně a jejich používání na historických objektech je přísně regulováno.

Úvod

Podle ustanovení ČSN P 73 0610 [6] je sanační omítka souvislá vrstva zatvrdlé malty na povrchu konstrukce s definovanou geometrií struktury, umožňující ukládání solí, s vysokou pórovitostí a propustností pro vodní páru a se značně sníženou kapilární vodivostí vlhkosti. Norma dále definuje průmyslově vyráběnou sanační maltovou směs (sanační SMS) jako směs obsahující kromě základních složek, tj. pojiva a kameniva, i potřebné modifikační přísady zaručující neměnnou kvalitu malty a standardní vlastnosti z nich provedených sanačních omítkových systémů. Suché směsi se na stavbě po přidání vody zpracovávají podle předpisu ručně nebo strojně.

Použití sanačních omítek u historických objektů má svá specifika. Tento typ omítek nemá díky svému složení tradici. Na historicky cenných stavbách je rovněž často obtížné realizovat účinná sanační opatření, jako je podřezávání, injektáže, elektroosmózy a jiné. Příčiny jsou především v ochraně památek, dále pak problémy technické a ekonomické. Velmi často tak není možné skutečně důsledně zamezit pronikání zemní vlhkosti a solí do nosných konstrukcí.

Smyslem výzkumné práce, jejíž část tento článek reprezentuje, bylo analyzovat schopnost sanačních omítek dlouhodobě účinně fungovat při omezených sanačních opatřeních.

Metodika výzkumu

Bylo vytipováno osmnáct historických objektů, na nichž byly v minulosti aplikovány sanační omítky. Základním kritériem pro výběr byly podklady z doby před sanací, tedy sanační zprávy zpracované odborným sanačním technikem. Záměrem bylo zkoumat objekty s co nejdálší dobou realizace. Nejstarší sanace byla z roku 1997. Protože často šlo o objekty velmi rozsáhlé, tedy kostely, kláštery a zámky, ukázalo se, že se sanace z různých důvodů prováděly po etapách. Vzhledem k tomu, že pro statistické vyhodnocení výsledků měření byla jedním z nejdůležitějších ukazatelů doba působení omítek, byla do závěrečného hodnocení zahrnuta každá etapa zvlášť. Tímto způsobem bylo hodnoceno sice osmnáct objektů, ale celkem 23 realizovaných sanací. Měření proběhla v roce 2007.

Dalším srovnávacím faktorem projektu je stupeň sanačních opatření. Protože jde o objekty historické, nebyly nikde použity injektáže ani podřezávání zdiva. Takové radikální zásahy se obvykle neslučují s představami ochránců památkové péče. Pro účely výzkumu byla tedy sestavena *tab. 1*, podle níž byl objektům přidělen stupeň sanačních opatření.

Sanační průzkumy před realizací stavby a v roce 2007 měly záměrně stejný charakter a byly pro ně použity stejné technické postupy. Byla zaznamenána historie objektu, vyhodnocena vlhkost omítek a analyzována salinita a vlhkost odebraných vzorků. Dále jsou popsány některé výsledky ze sledování salinity konstrukcí.

Tab. 1. Stupeň sanačních opatření

Stupeň	Aplikovaná opatření
1	aktivní odvětrávací systém podél zdiva, sanační omítky
2	nové zásypy podél základů včetně aplikace nopových fólií, sanační omítky
3	pouze sanační omítky

Nutným rozbohem pro další návrh sanace bylo zjištění ve vodě rozpustných a zdivo degradujících solí (sírany, chloridy a dusičnany). Podkladem pro laboratorní rozbor odebraných vzorků byla norma [6]. Pokyny pro odběr vzorků k průzkumným metodám a jejich vyhodnocení byly provedeny podle směrnice [7]. V *tabulce 2* jsou uvedeny všechny sledované objekty včetně členění na etapy podle roku sanace a ve sloupcích jsou postupně uvedeny následující veličiny: stupeň sanačních opatření (*tab. 1*), stupeň zasolení v roce nula, trvání sanace v rocích, stupeň zasolení v roce 2007, rozdíl stupně zasolení v roce nula a v roce 2007. Na základě těchto dat byla provedena analýza. Výsledky byly zapsány do tabulkového procesoru Excel, jež vytváří datovou matici, tj. dvojrozměrnou tabulku, ve které jsou veličiny umístěny ve sloupcích a pozorované objekty v řádcích. Díky tabulkovému procesoru je možné použít programové prostředky usnadňující statistické výpočty

Dílí výsledky výzkumu jsou rozsáhlé a jejich analýza musela být provedena statistickým programem, který by umožnil přehledné grafické zpracování. Nejběžnějšími programy pro tyto účely jsou zejména SPSS, SAS, S-Plus, Statistica, Stata, Minitab, Unistat a NCSS. Právě posledně jmenovaný byl pro výzkum použit. Program NCSS (Number Cruncher Statistical Systems) byl vyvinut v roce 1981 jako statistický software pro počítačový průmysl. Některé výsledky analýzy statistických dat jsou zde prezentovány formou krabicového (obdélníkového) grafu.

Tab. 2. Údaje pro statistickou analýzu dat

Objekt	Rok	Část	Stupeň	Chloridy	Dusičnany	Sířany	Roky_od	Chloridy_07	Dusičnany_07	Sířany_07	Dif_chloridy	Dif_dusičnany	Dif_sířany
1	1998	1	2	1,00	2,20	0,60	9	0,00	0,00	3,00	1,00	2,20	-2,40
	2001	2	2	1,86	2,57	0,57	6	0,00	1,00	3,50	1,86	1,57	-2,93
2	2000/ext.	3	2	1,38	2,00	1,75	7	0,50	0,25	2,00	0,88	1,75	-0,25
	2001/int.	4	3	2,33	2,00	1,33	6	0,00	0,25	3,75	2,33	1,75	-2,42
3	2000/int.	5	1	1,83	0,00	1,00	7	0,00	0,00	0,17	1,83	0,00	0,83
	2000/ext.	6	1	1,80	0,00	0,58	7	0,00	0,00	0,00	1,80	0,00	0,58
4	2002	7	2	1,80	3,40	1,00	5	0,00	0,00	3,00	1,80	3,40	-2,00
5	2004	8	3	0,25	0,75	0,50	3	-	-	-	-	-	-
	2005	9	3	0,25	1,75	1,88	2	-	-	-	-	-	-
	2006	10	3	0,00	2,00	2,25	1	-	-	-	-	-	-
6	1999	11	3	2,00	0,50	1,00	8	0,00	1,50	3,50	2,00	-1,00	-2,50
7	2003	12	1	0,50	2,25	0,50	4	0,00	0,25	0,75	0,50	2,00	-0,25
8	2001	13	3	0,58	2,50	1,83	6	0,00	0,17	0,50	0,58	2,33	1,33
9	1997	14	3	0,25	0,88	0,38	10	0,00	1,67	4,00	0,25	-0,79	-3,62
10	2006	15	3	0,00	2,83	2,17	1	0,00	0,25	0,00	0,00	2,58	2,17
11	2003	16	1	2,33	1,83	0,83	4	0,17	0,33	1,17	2,16	1,50	-0,34
12	2002	17	3	0,80	2,80	0,80	5	-	-	-	-	-	-
13	2000	18	2	2,00	0,00	1,00	7	-	-	-	-	-	-
14	1999	19	1	1,75	1,13	1,50	8	0,00	0,67	3,00	1,75	0,46	-1,50
15	2000	20	1	1,50	0,17	1,00	7	4,00	3,00	4,00	-2,50	-2,83	-3,00
16	1999	21	3	1,50	2,50	1,50	8	0,00	1,00	4,00	1,50	1,50	-2,50
17	2000	22	1	1,50	1,50	1,00	7	0,00	0,00	4,00	1,50	1,50	-3,00
18	2003	23	1	1,25	1,25	0,25	4	2,00	1,00	3,00	-0,75	0,25	-2,75

1 – zámek ve Valašském Meziříčí, 2 – kostel ve Valašském Meziříčí, 3 – kostel v Blazicích, 4 – kostel v Břidličné, 5 – klášter v Králíkách, 6 – kostel v Dubicku, 7 – gymnázium v Jevíčku, 8 – zámek v Jevíčku, 9 – kostel v Kopřivné, 10 – kostel v Koclířově, 11 – úřad v Uničově, 12 – kostel v Sudkově, 13 – objekt v Loučné, 14 – kostel v Jaroměřicích, 15 – dům v Šumperku, 16 – altán v Šumperku, 17 – Slovanský dům, 18 – dům na Jesenícké ulici

Tab. 3. Hodnocení salinity

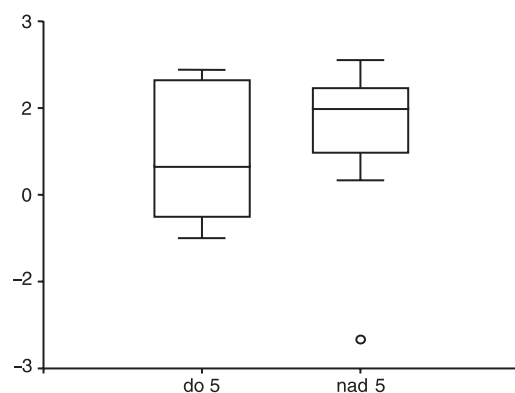
Stupeň	Hodnocení
– (0)	poškození se nepředpokládá
nízký (1)	nepatrná zátěž, při přísunu vody může vést pomalu ke vzniku škod
zvýšený (2)	střední zátěž, stálost (odolnost) omítek je zmenšena, časem vzniknou poruchy
vysoký (3)	zvýšená zátěž, odolnost omítek a nátěrů je značně zmenšena; jistý výskyt skvm
velmi vysoký (4)	v krátké době lze očekávat silné poškození až destrukci omítek a nátěrů

Analýza salinity

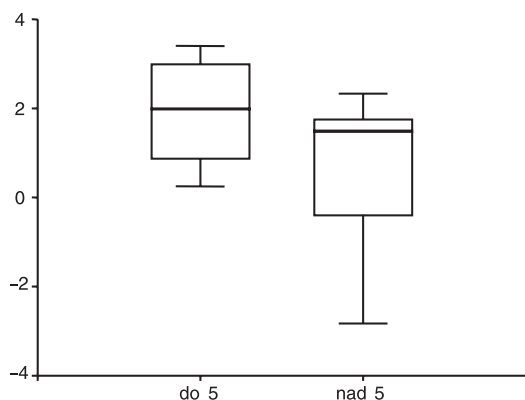
Působení do pěti let a déle

O salinitě omítek v prvních a druhých pěti letech působení vypovídají grafy na obr. 1 až obr. 3. Koncentrace chloridů má tendenci v první pětiletce ještě stoupat, ale ve druhé již klesá. Vidíme to na umístění mediánu, který je v prvním

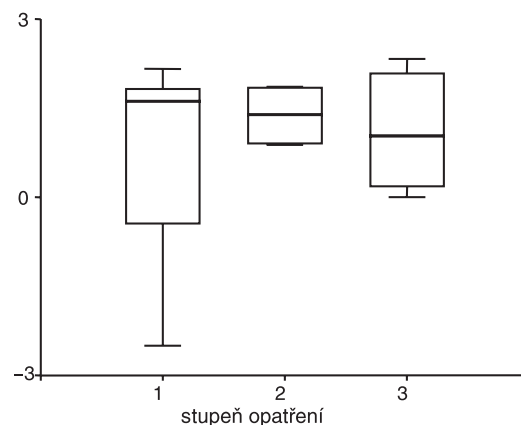
obdélníku na hodnotě 0,5, ve druhém obdélníku již na hodnotě 2. Horní kvartil je zhruba na stejné hodnotě 2,3 až 2,4 stupně. Dolní kvartil prvního obdélníku je dokonce v záporné hodnotě, ale ve druhém obdélníku již stoupl na 1. stupeň.



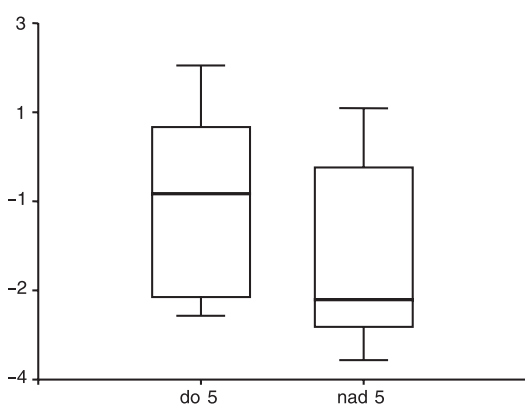
Obr. 1. Rozdíl stupně chloridů



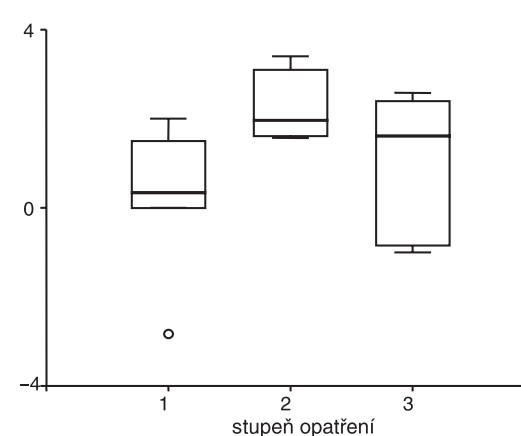
Obr. 2. Rozdíl stupně dusičnanů



Obr. 4. Rozdíl mezi stupni chloridů a sanačních opatření



Obr. 3. Rozdíl stupně síranů



Obr. 5. Rozdíl mezi stupni dusičnanů a sanačních opatření

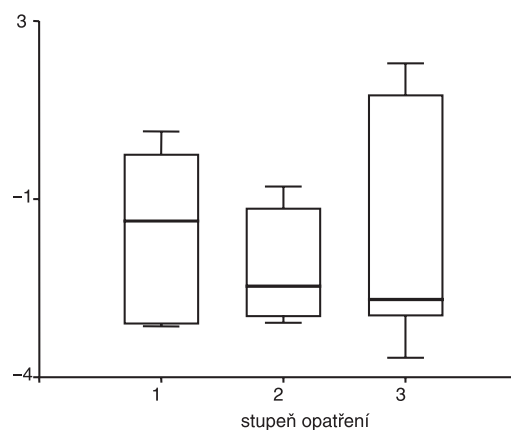
Krabicové grafy znázorňující průběh dusičnanů vypovídají o opačné tendenci, než tomu bylo u chloridů. Ačkoli je medián u obou obdélníků téměř na stejném stupni (1,7), horní a dolní kvartily jsou u druhého obdélníku na významně nižším stupni. Oba klesly o necelé dva stupně. Dusičnany jsou tedy ve druhé pětiletce na vyšším stupni.

Graf pro sírany jednoznačně hovoří o nárůstu síranů v omítkách, a to jak v prvních pěti letech, tak také v následujících. Úroveň mediánů se velmi liší (2 stupně), přičemž v prvním obdélníku je ještě v kladné hodnotě, ale ve druhém již na stupni $-2,5$. Horní i dolní kvartily klesly přibližně o stejnou hodnotu (0,5–1 stupeň).

Souvislost se stupněm sanačních opatření

Vztah salinity a stupňů sanačních opatření vyhodnocují grafy na obr. 4 až obr. 6. Pro chloridy je zřejmé, že při všech třech stupních se pohybuje v kladných hodnotách, což znamená, že naměřené hodnoty nepřesahují údaje před sanací. Pouze dolní kvartil prvního stupně koncentrace šel do záporné hodnoty $-0,5$. Horní kvartily jsou na hodnotách kolem 2. stupně, což je velmi příznivé. Lze tedy říci, že stupeň sanačních opatření neovlivňuje výskyt chloridů významným způsobem.

Opačně je tomu u dusičnanů, kde se obdélníky 1. a 2. stupně vyskytují nad nulou, přičemž horní část obdélníku má významně větší plochu, takže hodnoty nad meridiánem mají větší rozptyl směrem k hornímu kvartilu. Špatné hodnoty prvního stupně proti druhému vyplývají z toho, že dusičnany se vyskytovaly především u nefunkčních dešťových svodů, což ovlivnilo výsledky měření. Je však zřejmé, že



Obr. 6. Rozdíl mezi stupni síranů a sanačních opatření

3. stupeň opatření, tedy použití pouze sanačních omítek bez odkopání zahrňavající zeminy kolem objektů (zejména kostelů, podél nichž jsou umístěny hroby) je pro výskyt dusičnanů nedostatečný.

Značný nárůst síranů při všech stupních opatření potvrdil rovněž krabicový graf. Plocha obdélníků je poměrně vyrovnaná, horní kvartily se mírně liší, avšak dolní kvartily jsou téměř na stejné nízké úrovni (3. stupeň). Je tedy zřejmé, že obsah síranů stupeň sanačních opatření neovlivní.

Závěr

V průběhu působení sanačních omítek se mění nejen koncentrace jednotlivých druhů solí, ale také jejich skladba. Obsah chloridů má tendenci klesat, dusičnanů mírně roste a síranů se zvyšuje. Příčiny musíme hledat v jejich zdrojích. Chloridy, a především dusičnany, ovlivňuje způsob a důslednost technické údržby objektu. Výskyt dusičnanů jako jediný závisí také na stupni sanačních opatření. Objekty (zejména kostely), u kterých nebyla provedena výměna záspy kolem objektu spolu s osazením nopové fólie, vykazují stále vysoké zasolení dusičnany.

Předkládaný výzkum potvrzuje předpoklad, že sanační omítky je nutné chápat jako jednu ze složek sanačních systémů. Pro úspěšnost sanací je nezbytné zkoumat objekt jako celek, a to včetně nejbližšího okolí.

Literatura

- [1] Hošek, J. – Muk, J.: Omítky historických staveb. Praha, SPN 1990, 162 s. ISBN 80-04-23349-x.
- [2] Hošek, J. – Losos, L. : Historické omítky – Průzkumy, sanace, typologie. Praha, Grada 2007, 167 s. ISBN 978-80-247-1395-3
- [3] Balík, M.: Odvlhčování staveb. Praha, Grada 2005, 292 s. ISBN 80-247-0765-9.
- [4] Tvrđík, J.: Základy matematické statistiky. [Učební texty], TU – Ostrava, 2002.
- [5] Hintze, J.: NCSS and PASS. Number Cruncher Statistical Systems. Kaysville, Utah, 2004. .
- [6] ČSN P 73 0610 – Hydroizolace staveb – Sanace vlhkého zdiva. ČNI, 2000.
- [7] WTA 4-5-99/D Diagnostika zdiva. Praha, 2003.

Peřínková, M.: Long-Term Efficiency of Rehabilitation Plasters on Historical Buildings Given Salinity Course in Masonry

The employment of rehabilitation plasters in historical buildings has its own specifics. This type of plasters has, due to their composition, no tradition. Therefore, rehabilitation plasters are perceived negatively by conservationists and their use in historical constructions is strictly regulated.

Peřínková, M.: Langzeitwirksamkeit von Sanierungsputzen an historischen Objekten aus der Sicht des Verlaufs des Salzgehalts des Mauerwerks

Die Anwendung von Sanierungsputzen bei historischen Objekten hat seine Spezifika. Dieser Putztyp hat dank seiner Zusammensetzung keine Tradition. Aus diesem Grund werden Sanierungsputze von den Vertretern der Denkmalspflege negativ wahrgenommen und ihr Gebrauch an historischen Objekten ist streng reguliert.

• zprávy

Na Islandu byl prorazen první „český“ tunel

Česká stavební společnost Metrostav prorazila počátkem dubna první ze dvou silničních tunelů, které staví na severu Islandu od podzimu roku 2006. Celkem 3 640 m dlouhý tunel nyní umožní stavbařům zahájit práce na výstavbě mostu, který bude spojnicí mezi oběma podzemními úseky budované silniční trasy. Ta povede převážně tunely, po dokončení bude měřit 14 km a propojí rybářské osady Siglufjörður a Ólafsfjörður. Cestu z obou osad do krajského města Akureyri zkrátí z dnešních 200 km na pouhých osmdesát.



Foto archiv Metrostav, a. s.

Pro raziče a techniky Metrostavu byla velmi náročná především počáteční fáze výstavby, kdy si museli zvykat na drsné klimatické podmínky, geologická specifika i některé nové technologie. Při ražbě ve velkých hloubkách (až 800 m) se potýkají zejména se silnými přítoky podzemní vody, která tryská pod obrovským tlakem a je tak chladná, že pro její zastavení není možné použít klasickou injektáž s cementem, který v ledové vodě netuhne.

Českým stavbařům bylo od počátku jasné, že práce na ostrově nebude snadná, ale ani islandský investor nepředpokládal, že podmínky budou tak složité a náročné. Navzdory tomu se Čechům daří vyrazit v islandském podzemí v průměru až 200 m za měsíc a zasloužili se také o nový rekord, když na tunelu Ólafv v červenci 2007 vyrazili 330 m, což je nejlepší výkon, jakého se kdy na Islandu při stavbě tunelů podobných parametrů dosáhlo.

Díky prorážce tunelu Siglu se stavbaři dostali do jinak nepřístupné oblasti fjordu Hédinsfjörður a mohou zde začít připravovat výstavbu mostu. Až postoupí na protější stranu fjordu, zahájí protiražbu na tunelu Ólafv, který bude po dokončení dlouhý 7 124 m (zatím je vyraženo 2 700 m). Získají tak nazpět čas, který si vyžádal boj s podzemní vodou. Až do prorážky tunelu Ólafv bude tedy tunel Siglu jedinou přístupovou cestou, kterou bude možné využít pro všechny stavební práce na této části projektu.

Tisková informace

Ekonomická úloha přístavních průmyslových zón

Ing. Jan BUKOVSKÝ

Ředitelství vodních cest ČR
Praha

V článku jsou popsány výsledky výzkumu sociálně ekonomického modelu vnitrozemských přístavních průmyslových zón. Přístav je hlavním článkem přepravního řetězce využívajícího vodní dopravu. Definovaný obecný nákladový model se zaměřil na transportní řetězec. Pomocí modelu byly vyhodnoceny funkce přístavních průmyslových zón s přínosy ve formě krátkých logistických vazeb překládky zboží na průmysl a další podnikatelské provozy.

Úvod

Vnitrozemské přístavní zóny představují významnou součást logistických řetězců využívajících vnitrozemskou vodní dopravu, které přímo stimulují potenciál využití lodní dopravy pro přepravu nákladů. Funkce přístavů nespočívá pouze v překládání zboží, ale představuje také možnost lokalizace průmyslových podnikatelských provozů, logistických služeb apod. přímo napojených na vodní dopravu. Článek popisuje výsledky výzkumu orientovaného na ekonomické závislosti provozu přístavních zón a přínos pro veřejnou ekonomiku včetně formulace exaktního výpočetního modelu.

Definice zón a cíle výzkumu

Přístavní průmyslová zóna představuje ve vodní dopravě zvláštní územní jednotku, ve které jsou vzájemně přiblíženy funkce překládky zboží, další logistické operace, skladování i vlastní zpracování zboží přepravcem [4]. Cílem obchodních aktivit v přístavu je dosáhnout úspor logistických nákladů na návaznou pozemní dopravu a další manipulace se zbožím [7]. Úspor může být dosaženo nejen redukcí délky návazné dopravy, ale také operativností řízení, omezením rizik zpoždění v dopravě a koncentrací logistických činností pro různé uživatele [5]. Přístavní zóny jsou tak svým způsobem dopravně logistická centra.

V České republice se přístavní průmyslové zóny uplatňují jen výjimečně, což je dáno nejen omezeným rozsahem vnitrozemských vodních cest na Labi a Vltavě, problematickými plavebními podmínkami na Labi při státní hranici se SRN, ale také alokací průmyslu a dalších podnikatelských provozů v minulosti a podporou nových průmyslových zón bez vazby na vodní dopravu. Přístavy slouží čistě pro překládku zboží bez jeho dalšího zpracování, rozhodování o alokaci nových podnikatelských provozů je orientováno téměř výhradně na silniční dopravu. Přístavní průmyslové zóny v zahraničí se však uplatňují velmi dobře, jde dokonce o častější řešení návaznosti vodní dopravy na přepravce (zákazníky), než jsou přepravní řetězce s návaznou pozemní dopravou [7].

Cílem výzkumu bylo formulovat podmínky a předpoklady, jež vedou k úspěšnému uplatnění vnitrozemských při-

stavních průmyslových zón v logistice včetně maximalizace využití vodní dopravy. Důsledkem má být snížení logistických nákladů pro přepravce a příznivý ekonomický dopad na společnost v podobě vyšší konkurenceschopnosti a nižších cen zboží.

Hypotézy a metodika

Vyhodnocované hypotézy byly definovány na základě předpokladů uváděných v dostupné literatuře [1], [7] a na základě výsledků analýzy funkce přístavních zón na evropských vodních cestách. Pro úspěšné a efektivní využití podnikatelskými provozy s lodní dopravou zboží jsou nezbytné tyto předpoklady:

- optimální lokalizace zón vzhledem k tržnímu potenciálu území jako místa produkce, zpracování nebo spotřeby;
- optimální dispoziční řešení zóny a přístavu;
- efektivní technologické řešení pro překládku a další manipulaci se zbožím;
- úspora přepravních nákladů převyšující faktor pomalejší vodní dopravy u zboží menší hodnoty;
- rozvoj zón přispívá k vyšší konkurenceschopnosti podnikání.

Vzhledem k širší problematice, málo prozkoumané v české i v zahraniční literatuře, byl výzkum strukturován do pěti logických celků, vedoucích k ověření definovaných hypotéz včetně exaktního doložení s důrazem na zobecnění výsledků. Vstupem bylo teoretické vyhodnocení principů navrhování a funkce průmyslových zón obecně, uváděných např. v [1], [10]. Je rovněž nezbytné zohlednit podmínky těchto tradičních zón, neboť přístavní zóna je především průmyslovou zónou vyžadující dobrou dopravní infrastrukturu, dostupnost pracovní síly apod. [2].

Definice obecných lokalizačních a územních závislostí vycházela z analýzy evropských přístavů. Vytvořená metodika byla aplikována analýzou SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) na potenciální přístavní zóny na vodních cestách v ČR. Pro kvantitativní vyhodnocení funkčnosti překládky zboží byl vytvořen obecný model pro relaci přístav/přepravce, následně rozšířený na celý přepravní řetězec. Citlivostní analýza různých scénářů umožnila definovat obecné závěry a porovnat je s hypotézami. Závěrečná část byla orientována na aplikaci definovaných principů ve standardní analýze nákladů a přínosů CBA (Cost-Benefit Analysis) veřejných investic do přístavní infrastruktury. Metodika této analýzy využívá smyslu „Prováděcích pokynů pro hodnocení efektivnosti investic na vodních cestách“ [8], závazných s účinností od 1.6.2005 pro státní investice do infrastruktury vodních cest prostřednictvím Ministerstva dopravy ČR.

Analýza zón

Pro optimální transformaci teoretických závislostí [1], [2], [7], [10] a definici obecných předpokladů úspěšných přístavních zón bylo nezbytné provést podrobnou analýzu 54 charakteristických evropských přístavních lokalit v SRN, Nizozemí, Belgii a Francii. Výsledkem syntézy analyzovaných

dat je stanovení 22 obecných parametrů, které úspěšné zóny splňují. Nejdůležitější závěry jsou následující:

- přístavní zóny jsou jasně urbanisticky vymezené celky (obr. 1);
- zahrnují kvalitní překladiště dobře napojené na provozy podniků vybavené flexibilní manipulační technologií, často jednoduchou s důrazem na optimalizaci investičních a provozních nákladů;
- moderní překládací technologie tvoří téměř výhradně hydraulická rypadla pro průmyslové účely (obr. 2) a širokorozchodné portálové kontejnerové jeřáby (obr. 3);

- nezbytné je kvalitní silniční napojení, železnice se uplatňuje minimálně s výjimkou specifických případů vazby na podniky těžkého průmyslu;
- při napojení na kvalitní vodní cestu a infrastrukturu pro podnikání v průmyslu, obchodu a logistice je její využití značné a dosahuje řádově vyšších hodnot než v ČR.

Tyto závěry byly aplikovány na podrobnou analýzu 60 českých přístavních lokalit na Labi a Vltavě, v současnosti provozovaných i potenciálních rozvojových lokalit. S využitím analýzy SWOT, podrobného popisu na základě pozorování na místě a analýzy statistických dat i územně



Obr. 1. Letecký pohled na přístavní průmyslovou zónu Nijmegen (Nizozemí)



Obr. 2. Hydraulické rypadlo pro průmyslové aplikace v přístavu Berlin Westhafen (SRN)



Obr. 3. Širokorozchodný kontejnerový portálový jeřáb v přístavu Utrecht (Nizozemí)

plánovacích podkladů bylo identifikováno 13 potenciálních rozvojových lokalit, které různou měrou splňují zobecněné předpoklady úspěšnosti zón. Pomocí multikriteriální analýzy bylo definováno orientační pořadí vhodnosti. Výsledný seznam je indikativní a byl sestaven pro ověření korektnosti vymezených kritérií na konkrétních případech. Lze konstatovat, že výsledky potvrzují výběr nejvhodnějších lokalit pro rozvoj přístavů definovaný v literatuře, nicméně při urbanistickém řešení se dává větší důraz na flexibilitu, jednoduchost technologie a prostorového řešení, a naopak se potlačuje význam kolejové dopravy pro překládání na vodní dopravu.

Přepavní model přístav/převravec

Funkčnost vztahu mezi překládkou zboží z vodní dopravy nebo na ni v přístavu a jeho zpracováním či skladováním v podnikatelském provozu přepravce (zdroj nebo cíl přepravy) byla prověřena pomocí matematického modelu. Pro úspěšnost přístavní zóny je zásadní, neboť má přímý vliv na přepravní náklady a rozhodování o lokalizaci průmyslu a podnikání. Závěrem bylo možné formulovat optimální strukturální podmínky přístavní zóny na základě výstupů z teoretického modelu, který zároveň ověřil subjektivně nastavené hypotézy.

Popis ekonomické funkce relace je proveden na modelu přepravních nákladů ve formě funkce minimalizace nákladů optimalizací dílčích parametrů technologie přepravní relace. Výstupem jsou náklady přepravce jako vlastníka zboží, tvořené nejen přímými náklady na překládku, dopravu, skladování apod., ale také nepřímými náklady času zboží v logistickém řetězci.

$$TC = C_{\text{transship}} + C_{\text{store1}} + C_{\text{shoretransport}} + C_{\text{store2}} + C_t, \quad (1)$$

kde TC jsou celkové náklady na návaznou dopravu a překládku;

$C_{\text{transship}}$ – náklady na překládku mezi plavidlem a pozemní dopravou;

C_{store1} – náklady na skladování nevyrovnanosti mezi překládkou z plavidla a návaznou dopravou (resp. naopak);

$C_{\text{shoretransport}}$ – náklady na návaznou dopravu do (z) podniku jako cíle (zdroje) přepravy;

C_{store2} – náklady na skladování u přepravce;

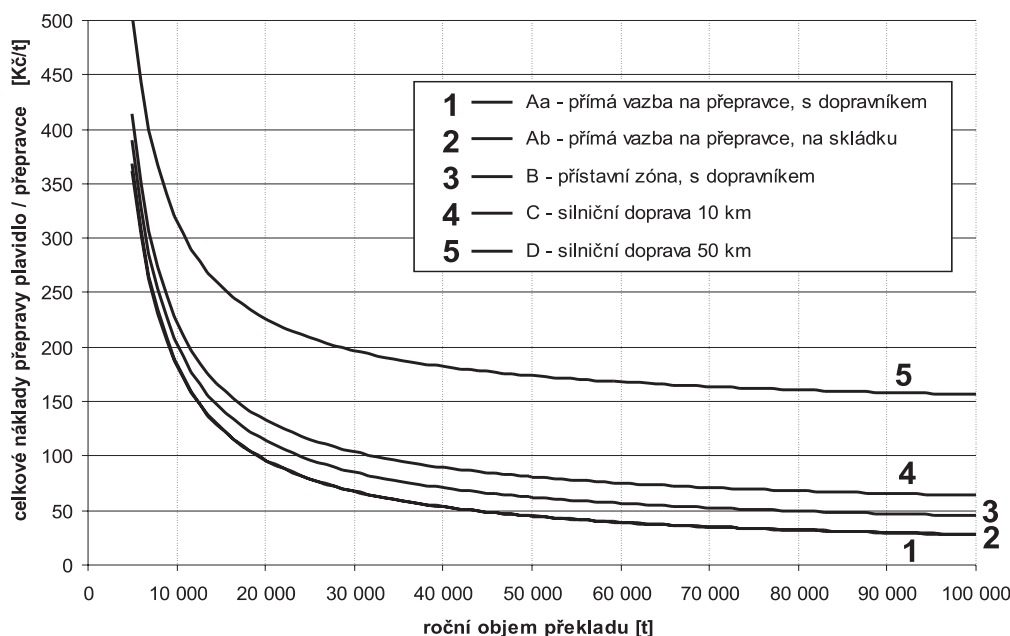
C_t – náklady času zboží.

Obecný model řešený v prostředí tabulkového procesoru využívá 95 vstupních parametrů. Takto široký rozsah nelze odpovědně vyhodnotit bez zadání vzorových hodnot parametrů vycházejících z praxe. Ve vazbě na analýzu přístavních lokalit, provedenou v první fázi výzkumu, bylo třeba vyhodnotit překládací technologie používané v evropských přístavech. V dalším kroku byly pro tyto technologie i jiné články logistického řetězce na základě dat z literatury [4], [5], [7], [9], [11], různých expertních studií, projektů přístavů a jiných zdrojů (publikovaná data i konkrétní informace výrobců) vymezeny hodnoty vstupních proměnných pro kalibraci modelu.

Vyhodnocení modelu bylo provedeno pro sérii vzorových scénářů různé dispozice logistického řetězce i řešení technologie manipulace v přístavní zóně včetně návazné dopravy. Citlivostní analýza umožnila popsat závislost nákladů na délce návazné pozemní přepravy a ročním přepravním objemu. Jednoznačným výsledkem jsou nízké přepravní náklady u jednoduchých mobilních flexibilních technologií, např. moderních hydraulických rypadel. Přiblížení zpracovatelského provozu přepravce (nebo distribučního skladu či jiného zdroje/cíle přepravy) k vodní dopravě je vždy ekonomicky přínosné (obr. 4). Důležitým faktorem je roční objem překládky, neboť podstatné jsou fixní náklady na pořízení logistické technologie. Zajímavým závěrem je naprostá nekonkurenescapnost železniční dopravy proti silniční pro přepravu z přístavu k přepravci (zákazníkovi) na vzdálenost do 120 km.

Komplexní přepravní model

Přepravní model přístav/převravec reprezentativně popsal funkci vlastního přístavu a ukázal možnosti optimalizace, nicméně podnikatelské rozhodování o volbě způsobu musí zohledňovat celý přepravní řetězec ze zdroje do cíle přepravy. Proto byl dílčí model přístavu rozšířen o úsek hlavní přepravy lodní dopravou a o porovnání s alternativní čistě po-



Obr. 4. Porovnání scénářů překládky hydraulickým rypadlem a pozemní silniční dopravou

zemní silniční nebo železniční dopravou. Celý výpočetní model je opět důsledně obecný a umožňuje tak popsat libovolnou přepravní relaci.

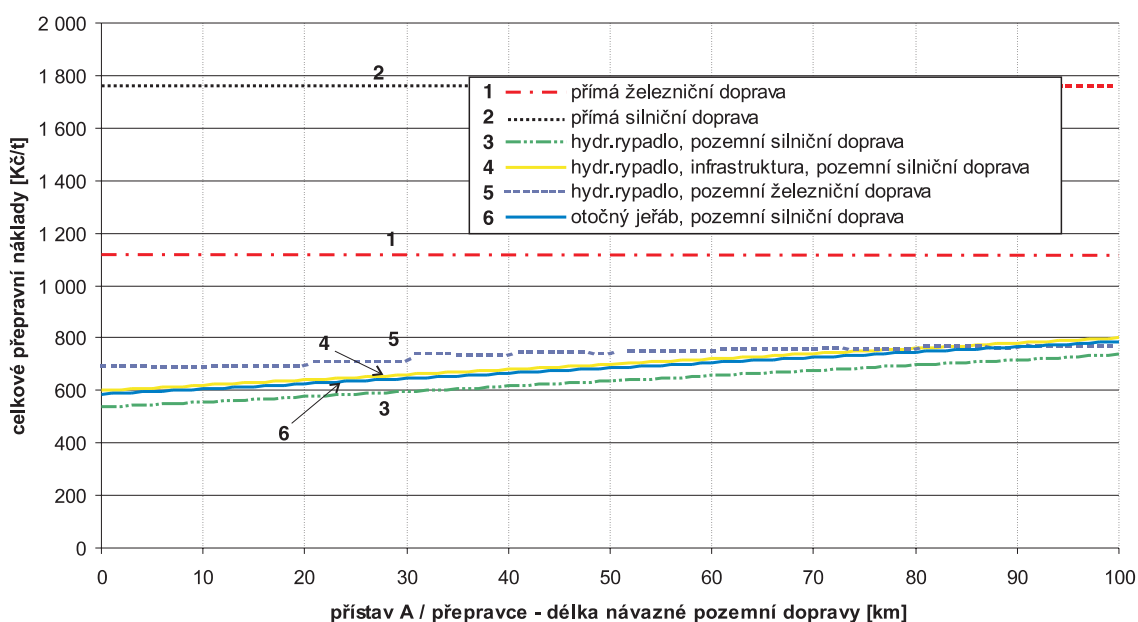
$$TC = C_{n1} + C_{transp} + C_{n2}, \quad (2)$$

kde TC jsou celkové náklady na přepravu;
 C_{n1} – náklady na návaznou dopravu ze zdroje přepravy do překladiště v přístavu včetně překládky v přístavu;
 C_{transp} – náklady na vodní dopravu zboží;
 C_{n2} – náklady na návaznou dopravu z překladiště v přístavu do cíle přepravy včetně překládky v přístavu.

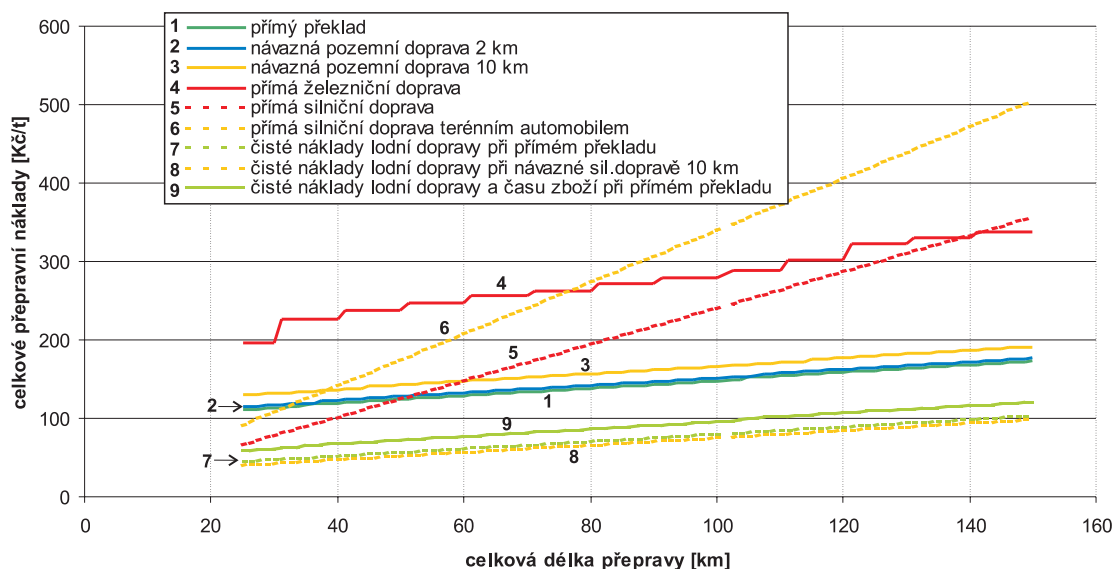
Po kalibraci modelu bylo opět provedeno vyhodnocení vzorových scénářů přepravních relací s cílem nalezení zobečujících závislostí. Závěrem je doložení, že při dlouhých

relacích, např. do námořních přístavů (nad 650 km), nabízí vodní doprava proti pozemní významné snížení přepravních nákladů (obr. 5). Konkurenceschopná je i kombinovaná přepravní relace s návaznou silniční dopravou z přístavu délky 50 km, nicméně každé přiblížení k přístavu náklady snižuje. Tento výsledek koresponduje s praxí na labské vodní cestě v obdobích s dobrými plavebními podmínkami. Pro dokreslení je nicméně nutné konstatovat, že současná nabídka služeb vodní dopravy v ČR je kriticky omezena nestabilními plavebními podmínkami, kdy ve většině případů potenciální nižší přepravní náklady nevyrovnají vysoké riziko včasného nezajištění přepravy. Po stabilizaci plavebních podmínek bude riziko téměř eliminováno a přepravní trh bude reálně vykazovat zákonitosti prokázané modelem.

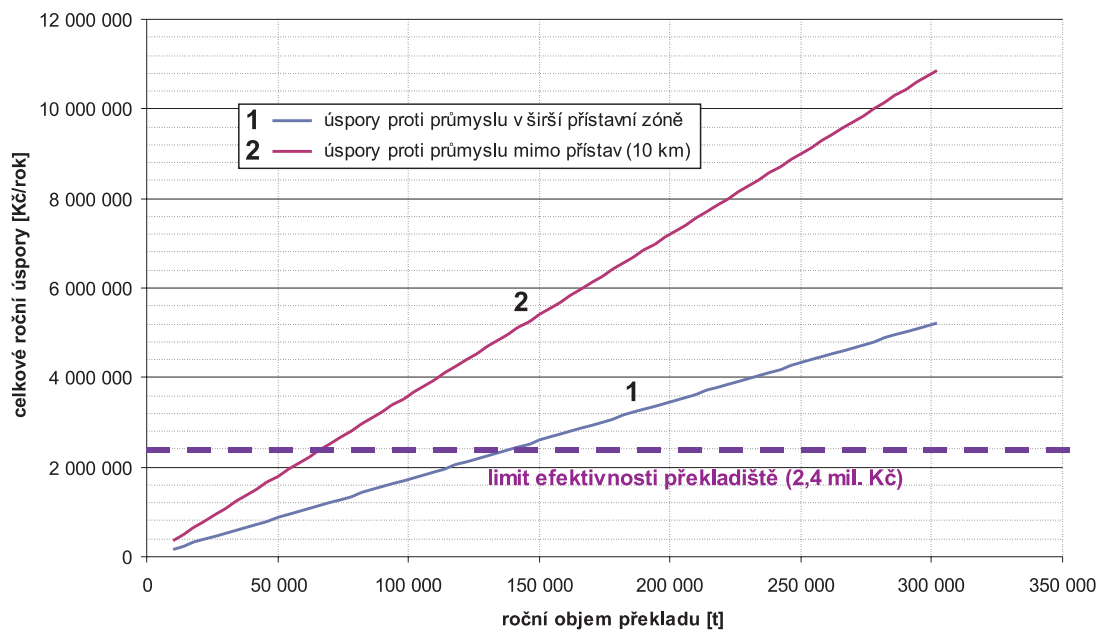
U kratších přepravních vzdáleností vyhodnocení modelu ukázalo prudký růst významu nákladů na překládku a návaznou dopravu (obr. 6). Dokonce na vzdálenosti 50 až 70 km vodní doprava včetně přeložení obtížně konkuruje silniční



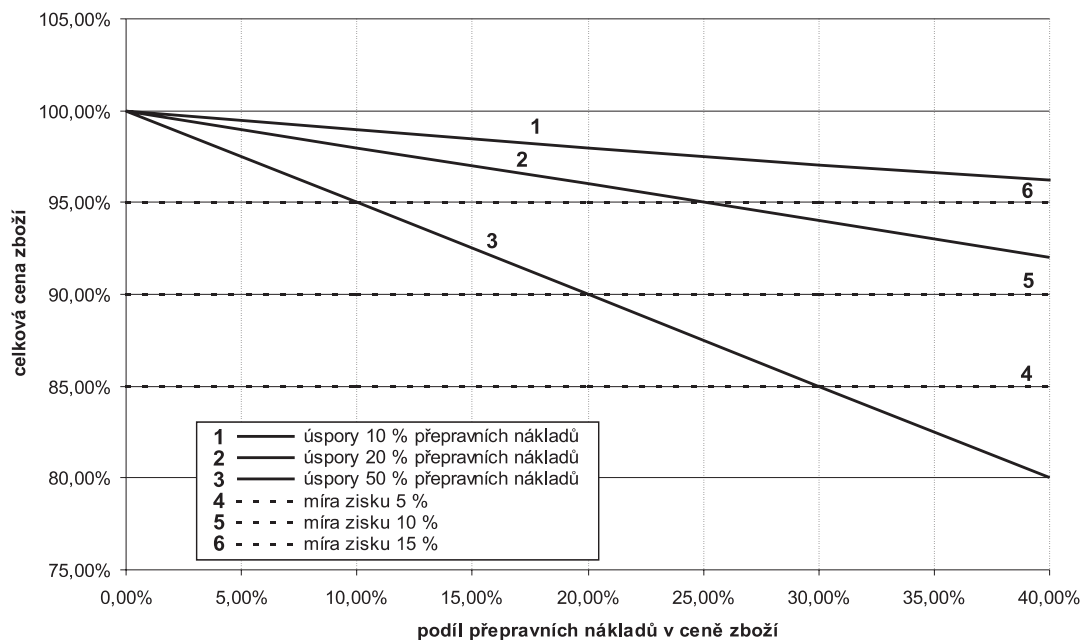
Obr. 5. Porovnání scénářů přepravního řetězce délky 750 km, 50 000 t/rok



Obr. 6. Porovnání scénářů krátkého přepravního řetězce, mobilní překladištní technologie, 100 000 t/rok



Obr. 7. Roční úspora nákladů z lokalizace provozů přepravce



Obr. 8. Přínos redukce přepravních nákladů v ceně zboží

dopravě. Možností pro uplatnění plavby i na tyto vzdálenosti je důsledná optimalizace nákladů na překládací manipulace včetně dosahování vyšších objemů překládky vedoucích k nižším fixním nákladům. Statistická data z EU (Eurostat) dokládají, že i do 50 km je vodní doprava využívána a dosahuje 25 % vnitrostátních přeprav. Umísťování podnikatelských provozů do přístavů je přitom nutnou podmínkou.

Zvláštním parametrem pro posouzení efektivnosti nákladů je nižší rychlost, resp. větší časová náročnost lodní dopravy proti jiným druhům dopravy. V modelu byla uvedena závislost vyšetřena s ohledem na různou peněžní hodnotu zboží. Podstatná je kilogramová cena zboží, přičemž pro konvenční přepravu je vodní doprava konkurenceschopná u zboží s cenou do 100 Kč/kg. Prodloužení přepravy vedoucí k delšímu vázání kapitálu ve zboží nepřekoná úspory z nižších přepravních nákladů lodní dopravy.

Přínos z rozvoje zón

Cílem výzkumu bylo prokázání hypotézy, že rozvoj přístavních průmyslových zón je efektivní pro společnost jako celek. Předchozí přepravní modely ukázaly, že na konkrétních relacích lze využitím vodní dopravy a zkrácením návazné pozemní dopravy dosáhnout významných úspor (obr. 7). Redukce přepravních nákladů má přímý vliv na snížení ceny zboží (obr. 8). Tyto úspory jsou obecně přínosem pro společnost, bez ohledu na charakter přímého uživatele infrastruktury [6]. Úplné zapracování přepravního modelu do analýzy nákladů a přínosů (CBA) v obecné podobě je pro komplexnost problematiky prakticky vyloučené, neboť přístavní zóna slouží pro větší počet uživatelů využívajících různé přepravní možnosti. CBA je využitelná pouze pro vyhodnocení konkrétních přístavních lokalit, kde jsou jednotliví uživatelé a jejich obchodní vazby známé [3].

Ve výzkumu byla uplatněna metodika CBA [8] pro vodní cesty, přičemž byly upřesněny detaily její aplikace v přístavech. Základní faktor efektivnosti investice do přístavní infrastruktury obecně vyplývá z přínosů přepravců přiblížením podniku přepravce k překladišti na vodní cestě. Prostřednictvím modelu bylo exaktně prokázáno, že při přepravě nad 100 tis. t ročně je spolehlivě efektivní využívání vlastních překladních zařízení v přístavní zóně, dokonce již při přepravě 50 tis. t zboží ročně jsou náklady na vlastní překladiště shodné s náklady návazné silniční dopravy do 10 km.

Dalším významným územním přínosem je vytvoření nových pracovních míst vázaných na podniky, pro něž je dostupná flexibilní a levná doprava na evropské a světové trhy [2], [11]. Tento efekt je založen na vyšší stabilitě podnikání prostřednictvím širších tržních příležitostí dostupnosti zdrojů surovin (vstupů do produkce) i uplatnění výsledků produkce spolu s nižší významností přepravních nákladů. Na světovém trhu jsou náklady na pozemní dopravu po Evropě řádově vyšší než náklady na mezikontinentální přepravu (informace Svazu dopravy ČR). Podnikání v námořních přístavech tudíž požívá významné konkurenční výhody proti podnikům ve vnitrozemí.

Závěr

Výzkumem byly popsány ekonomické a provozní vazby přístavních průmyslových zón s využitím aplikací na evropských vodních cestách, které demonstrují značně uplatnění lodní dopravy. Obecným sociálně ekonomickým modelem byla prokázána platnost definovaných hypotéz, že optimální struktura přístavní zóny vede k redukci přepravních nákladů.

Investice do přístavní infrastruktury přináší pozitivní efekt pro společnost prostřednictvím redukce přepravních nákladů a tvorby dodatečných příjmů.

Příspěvek vznikl za podpory výzkumného záměru MSM: 6840770006 MŠMT ČR „Management udržitelného rozvoje životního cyklu staveb, stavebních podniků a území“.

Literatura

- [1] Goederenvervoer en Bedrijventerreinen. Rotterdam, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Adviesdienst Verkeer en Vervoer, Maart 2002.
- [2] Binnenhäfen zwischen Wachstumsmotor und Bedeutungsverlust – Hafen- und Stadtentwicklung in einem stabilen Gleichgewicht, Argumentationspapier. Berlin, Bundesverband öffentlicher Binnenhäfen e. V., 2006.
- [3] Bukovský, J. – Frková, J.: Finanční a ekonomická analýza veřejně prospěšných projektů. Praha, ČVUT, 2004.
- [4] Gabriel, P.: Vodní cesty. Praha, ČVUT, 1997.
- [5] Lambert, D. M. – Stock, J. R. – Ellram, L. M.: Logistika. Praha, Computer Press 2000.
- [6] Oosterhaven, J. – Elhorst, J. P.: Indirect Economic Benefits of Transport Infrastructure Investments. In: Across the Border, Building upon a Quarter Century of Transport Research in the Benelux, GTM-BIVEC, Antwerp, 2003.
- [7] Pine, Prospects of Inland Navigation within the Enlarged Europe. [Report], March 2004.
- [8] Prováděcí pokyny pro hodnocení efektivnosti investic na vodních cestách. Praha, Ministerstvo dopravy ČR, 2005.
- [9] Manual on Danube Navigation. Vienna, Via Donau GmbH, 2007.
- [10] Wiegmans, B.: Performance Conditions for Container Terminals. Vrije Universiteit Amsterdam, 2003.
- [11] Workport. [Report], Aristotle University of Thessaloniki, 2000.

Bukovský, J.: Economic Role of Industrial Port Zones

The article describes results of the research of a socio-economic model of inland industrial port zones. The port is a key point in the transport chain making use of waterway transport. A general cost model of the transport chain was defined. With the model, functions of port industrial zones with benefits ensuing from short logistic links of transshipment to industry or other enterprises were evaluated.

Bukovský, J.: Die wirtschaftliche Aufgabe von Industriehafenzonen

Im Artikel werden die Ergebnisse der Untersuchung eines sozialökonomischen Modells inländischer Industriehafenzonen beschrieben. Ein Hafen ist ein Schlüsselpunkt der den Wassertransport nutzenden Transportkette. Das definierte allgemeine Kostenmodell war auf die Transportkette ausgerichtet. Mit Hilfe dieses Modells wurden die Funktionen von Industriehafenzonen mit den Vorteilen in Form kurzer logistischer Bindungen des Warenumschlages an die Industrie und weitere Unternehmensbetriebe ausgewertet.

• literatura

Jiří Pokorný

Odkaz Josefa Hlávky

Academia, Edice Paměť, 2. vydání, 304 s., 260 Kč, ISBN 978-80-200-1590-7



Kniha se zabývá spletitou historií institucí, které jsou spjaty se jménem největšího mecenáše v českých dějinách, architekta Josefa Hlávky (1831 až 1908), od jehož úmrtí letos uplynulo sto let.

Česká akademie věd a umění (předchůdkyně pozdější Československé

akademie věd a dnešní Akademie věd České republiky), Hlávková nadace, studentské koleje i Národohospodářský ústav se během své existence musely potýkat s překážkami, o nichž se jejich zakladateli ani nensnilo, a v jejich osudech i v osudech jejich představitelů se odrážely proměny jednotlivých období 20. století: zánik habsburské monarchie, první republika, německá okupace, komunistický režim i naše současnost.

Ověřování souboru totálních stanic TOPCON GPT-2006 v praxi

Ing. Martin ŠTRONER, Ph.D.
Ing. Jitka SUCHÁ, Ph.D.
ČVUT – Fakulta stavební
Praha

Soubor dvanácti totálních stanic Topcon GPT-2006 byl ověřován měřením vodorovných směrů v podmínkách blízkých praxi. Přesnost měření byla porovnána nejen mezi jednotlivými přístroji Topcon, ale také se dvěma přístroji s výrazně vyšší přesností.

Úvod

Spolehlivost nových i již provozovaných staveb je podmíněna spolehlivostí jednotlivých procesů a technologických operací. Významně se na úspěšnosti stavebních procesů a v kontrolní oblasti podílejí geodetické činnosti, jako je kontrolní měření a měření posunů, které poskytují informace o geometrických a fyzikálních parametrech objektu, jeho podloží a okolí. Do problematiky řešené výzkumným záměrem 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 ověřování měřicích přístrojů a pomůcek tvořících důležitou součást metrologického zabezpečení při geodetickém měření 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 na Fakultě stavební ČVUT v Praze dvanáct totálních stanic Topcon GPT-2006. Díky tomu se naskytla možnost ověřit jejich způsobilost, stabilitu a přesnost na větším množství exemplářů téže výrobní série. Po obsáhlém a náročném ověřování v laboratorních podmínkách na Katedře speciální geodézie téže fakulty [5], [6], [7] probíhalo měření vodorovných směrů v prostředí bližším praktickému využití včetně porovnání s přesnějším etalonem (přístroje Leica TC1800 a Trimble 600M). Konfigurace ověřovacího pole, postup měření a zpracování měření odpovídá požadavkům ČSN ISO 17 123 [9].

Přístroj Topcon

Totální stanice Topcon GPT-2006 (obr. 1) je přístroj určený především pro geodetické práce ve stavebnictví. Směrodatné odchylky měření vodorovného směru a zenitového úhlu jsou 1,8 mgon, pro směrodatné odchylky délky měřené bezhranolově na vzdálenost větší než 25 m platí vztah $5 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}@d$, pro vzdálenost kratší pak má směrodatná odchylka velikost 10 mm. Pro měření délek na hranol platí vztah $3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}@d$. Přístroj je vybaven dvouosým kapalinovým kompenzátořem, dalekohledem s třicetinasobným zvětšením a vnitřní pamětí, která pojme maximálně šest tisíc bodů [2], [5].



Obr. 1. Topcon GPT-2006



Obr. 2. Leica TC1800

Přístroje Leica a Trimble

Jako etalon pro hodnocení výsledků měření byly použity výrazně přesnější přístroje Leica TC 1800 a Trimble 600M. Přístroj Leica TC 1800 (obr. 2) je geodetická totální stanice pro přesné práce. Směrodatné odchylky měření úhlů jsou 0,3 mgon a pro měření délek na hranol platí vztah 3 mm + + 2 ppm·d. Přístroj je vybaven dvouosým kapalinovým kompenzátorem, dalekohledem s třicetinasobným zvětšením a možností registrace měření na paměťovou kartu [3], [5].



Obr. 3. Trimble 600M

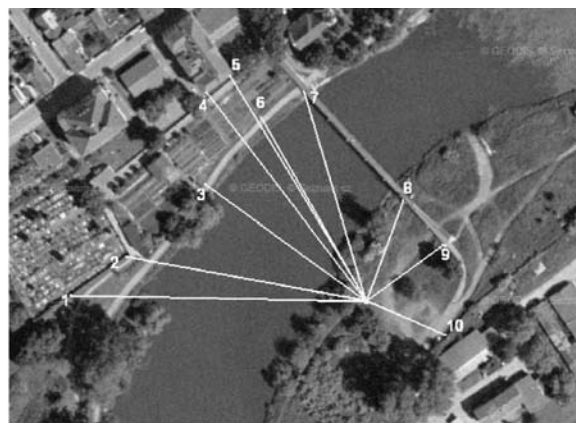
Přístroj Trimble (obr. 3) je rovněž geodetická totální stanice pro přesné práce. Směrodatné odchylky měření úhlů jsou 0,3 mgon, pro měření délek na hranol platí vztah 2 mm + + 2 ppm·d. Přístroj je vybaven dvouosým kompenzátorem s rozsahem ±100 mgon, dalekohledem s třicetinasobným zvětšením a možností registrace měření do interní paměti kontrolní jednotky („klávesnice“) [4].

Popis experimentu

Měření proběhlo v rámci práce [8] v průběhu měsíce března roku 2007 v Praze-Radotíně poblíž zavěšené lávky přes řeku Berounku. Toto místo bylo zvoleno vzhledem k umístění trvalého pilíře pro nucenou centraci (obr. 4), která byla nezbytná pro porovnání přesnosti přístrojů. Sledované body, vyznačené deseti reflexními terči firmy Leica, byly rozmístěny ve vzdálenosti 40 až 150 m od přístroje výškově přibližně ve stejném horizontu. (obr. 5). Pro všechny přístroje probíhalo měření ve třech skupinách (s uvažováním vlivu atmosférických podmínek), ověřování jednoho přístroje trvalo 90 až 120 minut (tab. 1).



Obr. 4. Pilíř pro nucenou centraci v Radotíně



Obr. 5. Rozmístění podrobných bodů [10]

Tab. 1. Měření na podrobné body

Bod	Šikmá délka [m]	Vodorovný směr	
		[gon]	
1	149,47	0,05	99,38
2	122,95	13,05	98,56
3	100,01	41,18	100,29
4	133,03	61,71	94,27
5	133,75	67,79	94,31
6	106,07	70,22	100,5
7	107,77	87,16	98,83
8	57,84	132,08	98,12
9	55,71	165,76	99,47
10	43,39	228,27	100,38

Zpracování údajů

Výsledky byly získány výpočtem „zápisníků“ měření v elektronické podobě, výpočtem průměru, oprav a směrodatných odchylek pro jednotlivé přístroje. Směrodatné odchylky byly počítány podle obecného vzorce

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n-1}}, \quad v_i = l_p - l_i, \quad l_p = \frac{\sum l_i}{n}, \quad (1)$$

kde l_i jsou naměřené hodnoty, n je počet měření, l_p je průměrná hodnota, v_i jsou opravy měření. Pro porovnání výsledků měření jednotlivých totálních stanic Topcon s etalonem byl použit následující vzorec a z něj určeny směrodatné odchylky

$$\sigma_{i\text{ eta}} = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon_i^2}{n}}, \quad \varepsilon_i = l_T - l_i, \quad (2)$$

kde l_i jsou získané hodnoty, n počet měření, l_T hodnota považovaná za správnou (zde zjištěná s výrazně vyšší přesností z etalonu), ε_i skutečné chyby. Vypočítané směrodatné odchylky jsou uvedeny v tab. 2, kde σ_φ je směrodatná odchylka vodorovného směru (v obou polohách dalekohledu v jedné skupině) popisující vnitřní přesnost přístroje, $\sigma_{\varphi T}$ směrodatná odchylka popisující přesnost ve vztahu k průměrné hodnotě ze všech totálních stanic Topcon a $\sigma_{\varphi\text{ eta}}$ směrodatná odchylka popisující přesnost ve vztahu k průměrné hodnotě

Tab. 2. Směrodatné odchylky měření vodorovných směrů v terénu

Přístroj	s_φ	$s_{\varphi T}$	$s_{\varphi\text{ eta}}$
	[mgon]		
1	0,54	0,53	0,65
2	0,8	0,72	0,85
3	0,36	0,38	0,46
4	0,55	0,74	0,91
5	0,77	0,85	1,00
6	0,53	0,49	0,64
7	1,08	1,15	1,28
8	0,71	0,82	0,78
9	0,89	0,86	0,79
10	0,69	0,72	0,75
11	0,47	0,68	0,62
12	0,53	0,49	0,54
Leica	0,39	–	–
Trimble	0,44	–	–

Tab. 3. Směrodatné odchylky měření vodorovných směrů z laboratorního měření

Přístroj	s_φ	$s_{\varphi T}$	$s_{\varphi L}$
	[mgon]		
1	0,20	0,83	2,01
2	0,32	0,94	2,36
3	0,34	1,25	2,65
4	0,20	0,74	1,81
5	0,23	0,72	1,99
6	0,38	0,43	1,96
7	0,32	0,92	1,11
8	0,20	0,61	1,45
9	0,31	0,67	1,36
10	0,19	0,97	0,98
11	0,17	0,55	1,51
12	0,28	0,65	1,71
Leica	0,25	–	–

z měření přístroji Leica a Trimble (tedy etalonu). Z tabulky je zřejmé, že přesnost uváděná výrobcem je u všech typů směrodatných odchylek dodržena s dostatečnou rezervou (s_φ výrobce 1,8 mgon). Celková směrodatná odchylka měření přístroji Topcon proti jejich společnému průměru je 0,69 mgon a celková směrodatná odchylka měření přístroji Topcon proti etalonu 0,80 mgon.

Porovnání výsledků měření v terénu s výsledky určenými v roce 2006 v laboratoři [2] je uvedeno v tab. 3. Shrnuje pouze výsledky předchozího experimentu, podrobnější informace jsou v [5], [6], [7]. V roce 2006 nebyl ještě k dispozici přístroj Trimble, za etalon byl považován pouze přístroj Leica TC 1800 (viz poslední sloupec tabulky).

Závěr

Z výsledků ověřování, provedeného na základě poměrně velkého počtu měření v podmínkách blízkých praxi, vyplynulo, že všech dvanáct přístrojů Topcon GPT-2006 splňuje přesnost udávanou výrobcem. Předchozí zkoušky v laboratoři tuto skutečnost rovněž potvrdily, výsledky měření v terénu jsou dokonce lepší v porovnání s etalonem. V laboratoři se pravděpodobně projeví systematické chyby, které se v praxi při měření na vzdálenosti delší, než dovoluje interiér, neprojeví (v laboratoři byly záměry maximálně do 7 m).

Článek byl zpracován v rámci výzkumného záměru VZ 1 - CEZ MSM 684 077 000 1.

Literatura

- [1] Böhm, J. – Radouch, V. – Hampacher, M.: Teorie chyb a vyrovnávací počet. Geodetický a kartografický podnik, Praha 1990.
- [2] Firemní literatura k přístroji Topcon GPT-2006.
- [3] Firemní literatura k přístroji Leica TC 1800.
- [4] Firemní literatura k přístroji Trimble 600M.
- [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. ISSN 1210-4027.
- [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. ISSN 1210-4027.
- [7] Štroner, M. – Suchá, J. – Pospíšil, J.: Ověřování vlastností totálních stanic TOPCON GPT-2006 – část 3. Stavební obzor, **16**, 2007, č. 5, s. 152-155. ISSN 1210-4027.
- [8] Trangoš, J.: Ověření parametrů a využitelnosti přístrojů TOPCON GPT-2006. [Bakalářská práce], ČVUT, Praha, 2007.
- [9] ČSN ISO 17 123 Optika a optické přístroje – Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřicích přístrojů. ČNI, 2005.
- [10] www.mapy.cz

Štroner, M. – Suchá, J.: Verification of a Set of TOPCON GPT-2006 Total Stations in Practice

A set of twelve TOPCON GPT-2006 total stations was verified by measuring horizontal directions in conditions close to their application in practice. The accuracy was compared not only for TOPCON, but also for two much more precise devices.

Štroner, M. – Suchá, J.: Überprüfung einer Gruppe von Totalstationen TOPCON GPT-2006 in der Praxis

Eine Gruppe von zwölf Totalstationen Topcon GPT-2006 wurde durch Messung der waagerechten Richtungen unter ihrer praktischen Anwendung nahe kommenden Bedingungen überprüft. Die Genauigkeit wurde nicht nur zwischen den Topcon-Instrumenten, sondern auch bei zwei erheblich genaueren Instrumenten verglichen.

● recenze

Staněk, V. – Hostinová, G. – Kopáček, A. Geodézia ve stavebníctve

Jaga Group, Bratislava, 2007, 118 s., 198 Kč



Zajímavá publikace shora uvedených autorů je primárně určena jako učební pomůcka pro posluchače Stavební fakulty Slovenské technické univerzity v Bratislavě a má sloužit k informování studentů o základních geodetických pracích v rámci současného stavu poznání a technického a přístrojového vybavení v oboru geodézie a kartografie. Kvalitně tištěný text je rozčleněn do dvanácti kapitol, vybaven předmluvou,

seznamem použitých značek a zkratk, literaturou, rejstříkem a doplněn barevnou přílohou na křídovém papíře.

V kapitole „Základné pojmy a vzťahy v geodézii“ jsou popsány základy geodézie, jako tvar a rozměr zemského tělesa, vliv zakřivení Země na měřené veličiny, souřadnice a souřadnicové systémy a koncepce budování geodetických základů.

V kapitole „Základy teórie chýb a vyrovnávacieho počtu“ jsou velmi zjednodušeně popsány chyby měření, charakteristiky přesnosti měření, vyrovnání přímých měření a zákon hromadění středních chyb. Zde, bohužel, nejsou uvedeny základní a velmi podstatné předpoklady nutné pro jeho platnost, dále chybí zmínka o normálním rozdělení. Je škoda téměř prázdné stránky na konci. Kapitola je vhodně doplněna třemi početními příklady.

Kapitola „Meranie uhlov“ shrnuje úhlové jednotky (poněkud nešikovně je popsáno setinné a šedesátinné dělení u jednotek stupňů a gradů), základní součásti geodetických přístrojů (dalekohledy, libely, čtecí pomůcky). Velmi nepřesný je technický popis principu a možností elektronické libely. Dále je popsán princip konstrukce teodolitů, jejich rozdělení a použití při měření úhlů. K popisu centrace a horizontace přístroje je vhodné poznamenat, že v současné době se pro dostředění využívá optický centrovač a součástí urovnání přístroje na stanovisku by měly být vždy kontroly rektifikace libel (a centrovače). Pro nastavení počátečního čtení při měření ve více skupinách je vhodné uvést, že záleží na počtu odečítacích pomůcek a nelze určit jejich počet automaticky jako dvě. Dále jsou popsány i základy elektronického čtení u elektronických teodolitů na kódových kruzích a inkrementální systém.

Kapitola „Meranie dĺžok“ popisuje přímé i nepřímé postupy měření délek, a to spolu s postupy oprav z nadmořské výšky a ze zobrazení. S úvodní větou konstatující, že v geodézii měření délek znamená určování vodorovných délek, nelze bez výhrad souhlasit. Poměrně extenzivně jsou popsány mnohé, dnes již nepřilíš důležité metody odvození délky (většinu úloh lze snadno řešit výpočtem ze souřadnic). Také je popsán princip ryskového a paralaktického měření délek. Na konci kapitoly jsou uvedeny základní principy elektronického měření délek, některé technické popisy však velmi nešťastně. Tyto principy jsou přinejmenším tři (pulsní, fázový, frekvenční), dále nelze kombinovat principy pulsního a fázového dálkoměru. Pulsní dálkoměry se běžně používají, a je tedy možné měřit čas s potřebnou přesností (bezhranolové měření délek, laserové skenovací systémy). U fázového dálkoměru je správně uvedeno, že fázový doměrek

se určí přímo v přístroji, není však již uvedeno, že se využívá modulovaných vlnových délek a dvojnásobek vzdálenosti musí být kratší než nejdelší z nich. Bylo by také vhodné čtenáři sdělit, že nasazovací či samostatné dálkoměry se již nepoužívají (jsou nedostupné) stejně jako samostatně popísaný vysoce přesný dálkoměr Kern Mekometr ME 5000. Jeho štafetu pomyslně převzala firma Leica laserovými trackery (typ, přesnost). Na konci kapitoly jsou opět uvedeny redukce elektronicky měřených délek do nulového horizontu a ze zobrazení, tentokrát vzorce pro přesnější měření (na větší vzdálenosti). Tuto část by bylo vhodné doplnit zmínkou o nutnosti zavádění fyzikálních redukcí. Je zde zmínka o zadávání teploty a tlaku do totální stanice, není však uveden důvod. Na závěr jsou v tabulce uvedeny i nejmodernější přístroje pro měření délek.

Kapitola „Polohové meranie“ popisuje stabilizaci bodů, dostupné polohové bodové pole a základní souřadnicové výpočty v rovině (polární metoda, protínání vpřed z délek a úhlů, polYGONOVÉ pořady a volné stanovisko), postupy podrobného měření polohopisu a sestrojení polohopisné mapy.

Kapitola „Výškové meranie“ uvádí výškové systémy a přehled metod určování převýšení. Právě u přehledu metod je uvedena přesnost, u níž by bylo vhodné uvést i vzdálenost, s kterou je možné jí dosáhnout. Je popsáno výškové bodové pole, metoda nivelace a přístroje a pomůcky včetně nejmodernějších digitálních přístrojů s automatickým odečítáním na kódových latích. Je popsáno také trigonometrické měření výšek i se zavedením opravy z refrakce koeficientem $k = 0,13$. Tento koeficient byl odvozen za specifických podmínek měření a obecně jej nelze použít. Zajímavě a vhodně je popsána hydrostatická nivelace a možnosti jejího využití.

Kapitola „Priestorové určovanie polohy bodov“ jednoduše a přehledně popisuje princip moderních totálních stanic, globálních pozičních systémů, inerciálních navigačních systémů a laserových skenerů. Lze jí vytknout snad jen nepřesné vyjádření, že výhodou vícefrekvenčních přijímačů globálních navigačních systémů (GNS) je příjem signálu z více družicových systémů a také že do podkapitoly věnované terestrickým laserovým skenerům určitě nepatří zmínka o laserových přístrojích k vytyčení přímky a roviny (rotační lasery).

Kapitola „Tachymetria“ popisuje možnosti znázornění terénu, měřické a zobrazovací práce, kapitola „Fotogrammetria“ pak základy této metody hlavně se zaměřením na stereo-vyhodnocení. Po bok letecké fotogrametrie je postaveno také letecké laserové skenování. Následující kapitoly „Nauka o mapách“, „Určovanie plošných obsahov a objemov“ a „Úlohy geodézie při realizácii a kontrole stavebných objektov“ odpovídají názvu a jsou vhodně zpracovány.

Publikace je doplněna rozsáhlou barevnou přílohou, která zobrazuje moderní komerčně dostupné geodetické přístroje od přijímačů globálních navigačních systémů přes totální stanice a digitální nivelacní přístroje až po rotační a potrubní lasery, vše s výstižným popisem.

Kniha poskytne nezasvěcenému čtenáři přehled o možnostech, nástrojích a metodách současné stavební geodezie. Je zřejmá geneze této publikace, skládá se z částí tradičních, ke kterým byly přidány moderní informace, a právě ty jsou zajímavé nejen pro studenty, ale i pro širší odbornou veřejnost.

Ing. Martin Štroner, Ph.D.

STAVEBNÍ OBZOR

ROČNÍK 17 ČÍSLO 07/2008

Navigace v dokumentu

OBSAH

Čudejko, M. – Macháček, J. Spřažené ocelobetonové příhradové nosníky	193
Witzany, J. – Čejka, T. – Zigler, R. Experimentální výzkum zesilování zděných kleneb	201
Jokl, M. Ohrožení mikroby v interiéru budov	211
Balatka, M. Optimální strategie čištění fukoidových pískovců	217

7 • 2008

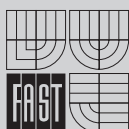
ročník 17

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



Fakulta stavební
VUT v Brně



Fakulta stavební
VŠB TU-Ostrava



Česká komora autorizovaných
inženýrů a techniků

OBSAH**CONTENT****INHALT**

Čudejko, M. – Macháček, J.
**Spřažené ocelobetonové
 příhradové nosníky** 193

Čudejko, M. – Macháček, J.
**Composite Steel and
 Concrete Trusses** 193

Čudejko, M. – Macháček, J.
**Fachwerkverbundträger aus
 Stahlbeton** 193

Witzany, J. – Čejka, T. – Zigler, R.
**Experimentální výzkum
 zesilování zděných
 kleneb** 201

Witzany, J. – Čejka, T. – Zigler, R.
**Experimental Investigation
 of Strengthening of Masonry
 Structures** 201

Witzany, J. – Čejka, T. – Zigler, R.
**Experimentelle Untersuchung
 der Verstärkung gemauerter
 Gewölbe** 201

Jokl, M.
**Ohrožení mikroby v interiéru
 budov** 211

Jokl, M.
**Microbial Hazard in Interiors
 of Buildings** 211

Jokl, M.
**Bedrohung durch Mikroben
 im Gebäudeinnern** 211

Balatka, M.
**Optimální strategie
 čištění fukoidových
 pískovců** 217

Balatka, M.
**Optimal Strategy
 of Cleaning of Fucooid
 Sandstones** 217

Balatka, M.
**Optimale Strategie
 zur Reinigung von
 Fukoid-Sandsteinen** 217



NICOM3

May 31 - June 2, 2009 | Prague, Czech Republic
 3rd International Symposium
 on Nanotechnology in Construction

Nanotechnologie ve stavebnictví

– understanding and modification
 of material nano-structure

31. května – 2. června 2009

ČVUT – Fakulta stavební, Praha

- modeling and simulation of nanostructures
- instrumentation, techniques and metrology at nano-scale
- intelligent nano-materials
- R&D frameworks

www.conference.cz/nicom3/

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 VĚBR, CSc.

doc. Ing. Josef VITÁSEK, CSc.

prof. Ing. Jiří WITZANY, DrSc.

Ing. Renata ZDAŘILOVÁ

STAVEBNÍ OBZOR, odborný lektorovaný 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 18. 6. 2008 Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

Spřažené ocelobetonové příhradové nosníky

Ing. Martin ČUDEJKO, Ph.D.
 prof. Ing. Josef MACHÁČEK, DrSc.
 ČVUT – Fakulta stavební
 Praha

Článek se zabývá průběhem smykového toku a namáháním prvků u spřažených příhradových nosníků. V oblasti pružného chování je tento průběh výrazně nelineární a rozhoduje o dimenzování spřažení u mostů, nosníků třídy 3 a 4, při namáhání na únavu a pokud jsou spřahovací prvky netažné. V plastické oblasti dochází k redistribuci smykového toku závisléjící na tuhosti a únosnosti spřažení. Popisuje se komplexní experimentální výzkum dvou příhradových spřažených nosníků, vytvoření nelineárního numerického modelu, parametrické studie hlavních parametrů a srovnání s přibližným normovým postupem podle mostního Eurokódu. Analyzuje se i význam zhuštění spřahovacích prvků nad styčníky příhradového nosníku. V závěru jsou uvedena doporučení pro projektování v praxi.

možnost plastické redistribuce smykového toku (podmínkou jsou tažné prvky spřažení v průřezech třídy 1 a 2) a nutností postupovat podle teorie pružnosti (mosty, netažné prvky spřažení, průřezy třídy 3 a 4). V Eurokódu není dáno k návrhu spřažení u spřažených příhradových nosníků žádné zvláštní doporučení. Pro výpočty podle teorie pružnosti však lze aplikovat přibližné ustanovení mostní části Eurokódu [2], týkající se vnesení lokálních sil do spřaženého průřezu.

Tento příspěvek je zaměřen na detailní prozkoumání pružného a plastického rozdělení podélné smykové síly v místě spřažení po celé délce spřaženého příhradového nosníku. Na základě experimentálního ověřování byl navržen numerický model a v parametrické studii analyzovány důležité vstupní parametry včetně zhuštění spřahovacích prvků nad styčníky ocelového příhradového nosníku. V závěru jsou uvedena doporučení pro projektování v praxi.

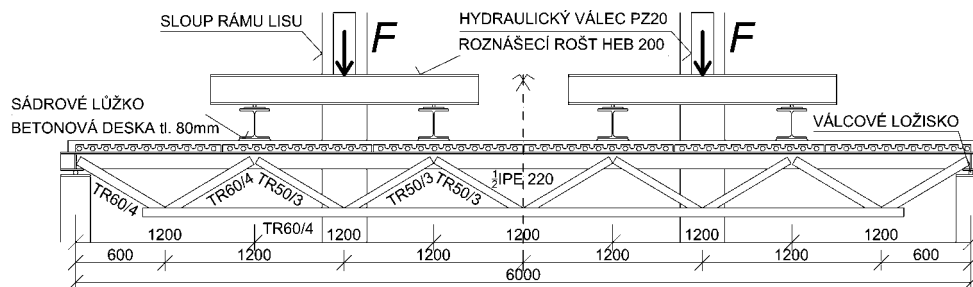
Úvod

Spřažené ocelobetonové příhradové nosníky se uplatňují v pozemním i mostním stavitelství. Z principu chování příhradových nosníků je zřejmé, že v místech horních styčníků dochází k lokálním špičkám podélného smykového toku mezi betonovou deskou a ocelovým nosníkem. Návrh spřažených konstrukcí se nyní provádí zpravidla podle Eurokódu ČSN EN 1994 [1]. Při návrhu spřažení je nutné rozlišit

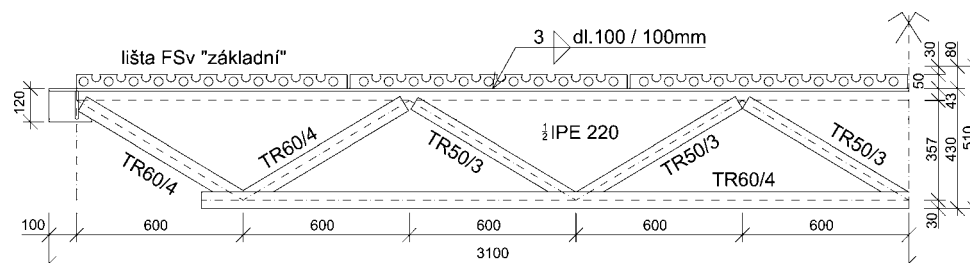
Experimentální vyšetřování

Pro kalibraci numerických řešení byly provedeny zkoušky dvou stejných spřažených příhradových nosníků s rozpětím 6 m a úplným spřažením pomocí děrované lišty. Zatížení bylo aplikováno v pětinách rozpětí nad styčníky příhradového nosníku. Uspořádání experimentů je uvedeno na obr. 1 [3].

Ocelová část (obr. 2) byla vyrobena z oceli S235JR (mez kluzu f_y podle zkoušek byla mezi 329-376 MPa). Horní pás nosníku je z 1/2 IPE 220, spodní pás a krajní diagonály z vál-



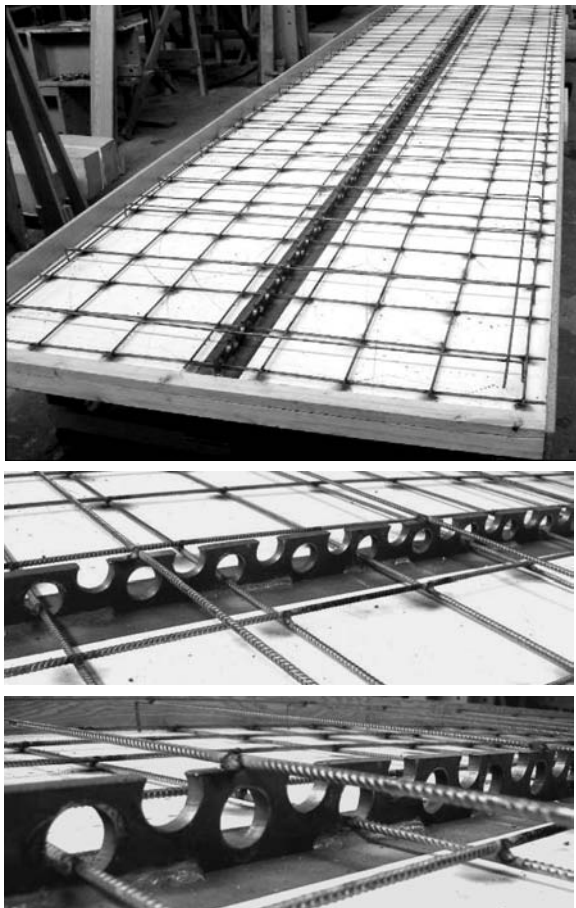
Obr. 1. Uspořádání experimentu



Obr. 2. Polovina ocelové části nosníku

covaných čtvercových trubek 60x60x4 [mm]. Zbývající diagonály ve střední části byly zhotoveny z trubek 50x50x3 [mm]. Pro sprážení byla použita „základní děrovaná lišta ČVUT“ s výškou 50 mm a tloušťkou 10 mm, s otvory a výřezy \varnothing 32 mm ve vzdálenosti 90 mm [4]. Lišta byla rozdělena na metrové části a přivařena přerušovanými koutovými svary s účinnou tloušťkou $a = 3$ mm, s délkou a přerušením 100 mm.

Železobetonová deska rozměrů 1500x80 [mm] byla vyrobena s požadavkem na třídu betonu C 25/30 (ze zkušebních válců byly posléze zjištěny průměrné hodnoty $f_{c,cyl,EX1} = 23,7$ MPa, $f_{c,cyl,EX2} = 24,2$ MPa). Spodní výztuž v desce byla \varnothing R6 a v příčném směru procházela uzavřenými otvory lišty ve vzdálenosti 180 mm, podélná výztuž stejného průměru byla uložena na příčné výztuži ve vzdálenostech 200 mm. Horní příčná výztuž \varnothing R6 byla umístěna ve vzdálenostech 360 mm (obr. 3). Výztuž byla svařena bodovými svary a její krytí bylo 10 mm.



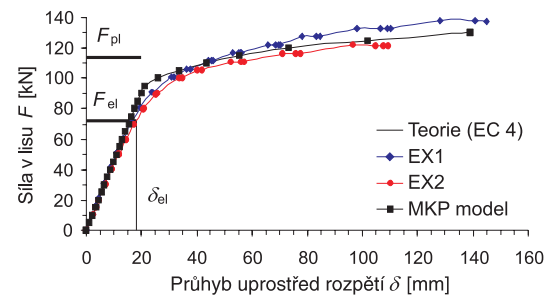
Obr. 3. Nosník před betonáží

Zkoušky byly provedeny na Fakultě stavební ČVUT v Praze a byly u obou experimentů řízeny silou. Zatěžování probíhalo ve dvou fázích až do kolapsu vzorků. V první fázi, pokrývající pružnou oblast chování, bylo součástí jednotlivých zatěžovacích stupňů i odtižení. Dalšímu zatěžovacímu kroku vždy předcházelo ustálení odezvy na předchozím stupni, s odečty po 60 s. Druhá fáze, v plastické oblasti, probíhala bez odlehčování. Kolaps nastal prolomením betonové desky uprostřed rozpětí a vytvořením příčné trhliny na jejím dolním povrchu při dosažení plastické únosnosti.

Při zkoušce byly měřeny prokluzy ve sprážení na koncích nosníku, poklesy podpor, průhyby ve čtvrtinách pod spod-

ními styčníky a v polovině rozpětí. Pro vyhodnocení napjatosti byly měřeny na betonu poměrné deformace horního povrchu v polovině rozpětí (3 tenzometry) a na oceli v horním pásu uprostřed tří středních polí příhradového nosníku (6 tenzometrů) a obdobně uprostřed dvou středních polí dolního pásu (4 tenzometry).

K porušení došlo při síle $F = 138,5$ kN, resp. u druhé zkoušky 122,3 kN (hodnota odpovídá síle v jednom hydraulickém lisu podle obr. 1). K porušení sprážení nedošlo, avšak před kolapsem se na nosníku vytvořila podélná trhlinka v důsledku příčného tahu. Prokluzy mezi deskou a horním pásem v místech podepření byly při kolapsu menší než 0,1 mm. Průhyb experimentálních nosníků EX1 a EX2 v závislosti na zatížení je spolu s technickým EC 4 a numerickým řešením uveden na obr. 4.



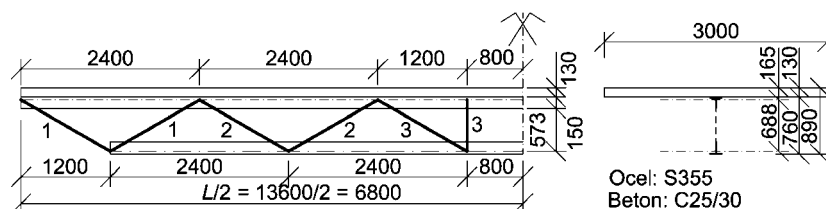
Obr. 4. Výsledky technické teorie, experimentů a numerického modelu MKP

Technické přibližné řešení podle Eurokódu 4 [2] umožňuje stanovit pouze pružnou a plastickou únosnost a průhyb při dosažení pružné únosnosti. Výsledky takového řešení, v němž jsou zavedeny změřené materiálové charakteristiky a předpokládá se úplné sprážení (podle výzkumu [4] bylo zjištěno, že odpovídá stupni sprážení $\eta = N/N_f = 136$ %, tj. > 100 %), jsou spolu s numerickým řešením modelu experimentálního nosníku MKP uvedeny rovněž na obr. 4. V teoretických výpočtech je uvažován kompletní ocelový průřez a při plastické neutrální ose v betonové desce je předpokládáno dosažení meze kluzu v tahu v horním pásu ocelového nosníku. Lze konstatovat, že shoda s experimenty je v mezní únosnosti velmi dobrá, přičemž navržený numerický model dává velmi dobrou shodu v celém rozsahu závislosti zatížení – průhyb.

Nelineární numerická analýza

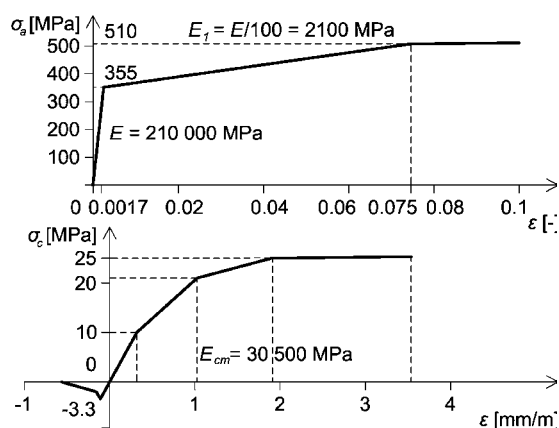
K numerické analýze bylo použito programu ANSYS. Dolní pás a výplňové pruty byly modelovány prutem daného průřezu (BEAM24), horní pás byl složen ze skořepinových prvků (SHELL43) a pro betonovou desku byl použit speciální trojrozměrný železobetonový prvek (SOLID65). Všechny prvky umožňují pružnoplastické řešení (dokonce s velkými průhyby) a betonový prvek respektuje tvoření trhlin. Sprážení bylo modelováno pomocí prujin COMBIN39. Tento prvek umožňuje zavést libovolný nelineární vztah mezi silou a protažením a je vhodný k modelování smykového toku ve směru osy nosníku.

Pro model experimentálního nosníku byly použity skutečné materiálové charakteristiky podle výsledků materiálových zkoušek a tuhost sprážení podle [4]. Pružiny byly umístěny rovnoměrně po 100 mm ve směru rozpětí mezi horní povrch lišty obdélníkového průřezu redukované výšky 32 mm (v místě těžiště otvorů „základní děrované lišty“) a betonovou deskou.



Obr. 5. Spřažený příhradový nosník pro parametrickou studii

Pro parametrickou studii byl vybrán nosník podle obr. 5, který byl analyzován již v [5] a je optimální pro běžné stropy patrových budov [6]. Horní pás ocelového nosníku tvoří 1/2 IPE 300, dolní pás 1/2 IPE 330, diagonála č. 2 je ze 2L 80×8 a č. 3 ze 2L 60×6 [mm].



Obr. 6. Použité pracovní diagramy oceli a betonu

Analýza byla provedena pro charakteristické hodnoty zvolených materiálů. Zjednodušené pracovní diagramy oceli (S355) a betonu (C25/30) jsou uvedeny na obr. 6. Spřažení bylo modelováno pracovními diagramy v souladu s výzkumem [4] a reprezentativní závislosti jsou uvedeny dále.

Parametrické studie

Nosník podle obr. 5 byl analyzován pro více než 30 různých typů spřažení lišících se pracovním diagramem spřahovacích prvků. Z výsledků studie jsou uvedeny pouze rozhodující případy, z jejichž porovnání vyplývá význam důleži-

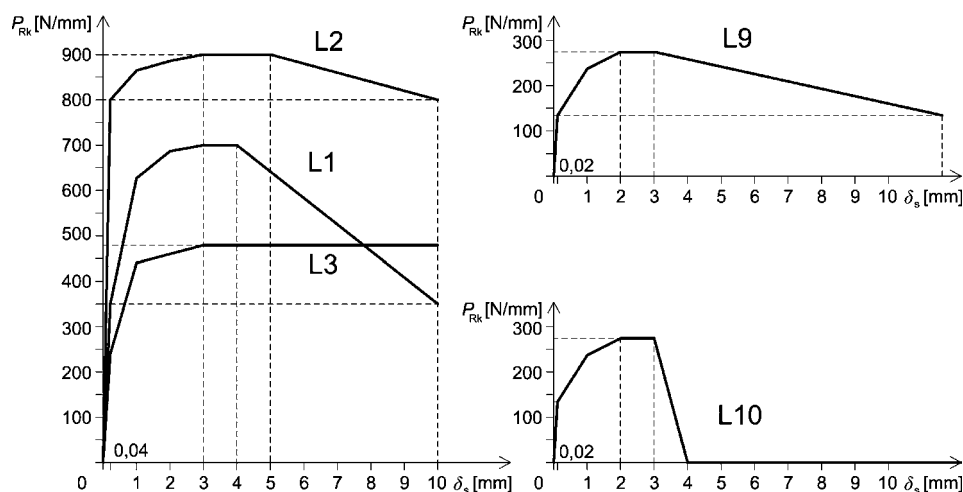
tých parametrů spřažení pro chování příhradového spřaženého nosníku [3].

Význam pracovního diagramu spřažení

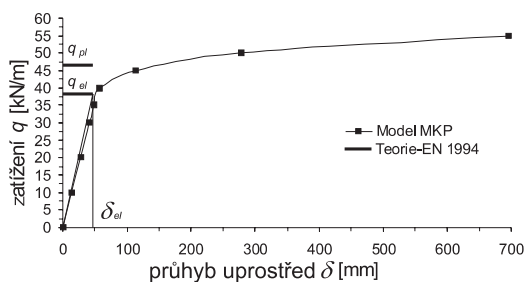
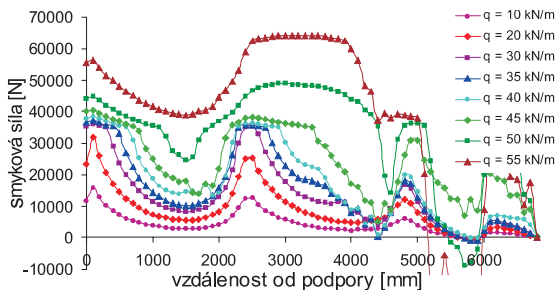
Pro porovnání významu tvaru pracovního diagramu spřažení je ukázáno pět případů lišících se únosností, tuhostí a tažností (obr. 7). Při uvažování plastického chování odpovídají případy L1, L2 a L3 úplnému spřažení, neboť plastická únosnost spřaženého příhradového nosníku je nižší ($v_{sf} = 304$ N/mm pro výpočet s mezí kluzu f_y , případně $v_{sf} = 436$ N/mm pro výpočet s mezí pevnosti f_u) a jejich pracovní diagramy se liší v hodnotě mezní únosnosti. Případy L9 a L10 odpovídají částečnému spřažení. Diagramy vycházejí vesměs z typického chování spřažené lišty, jejíž vzestupná část je nahrazena trilineárním vyjádřením. Výjimkou je lišta L3, u které byl umožněn nekonečný prokluz ve spřažení po dosažení maximální únosnosti, a lišta L10, kde byl sledován vliv tažnosti spřažení.

Smykové síly v prvcích spřažení jsou na dalších obrázcích uvedeny pouze pro polovinu příhradového nosníku. Na svislé ose je smyková síla v prvcích spřažení (umístěných po 100 mm), na vodorovné ose je vzdálenost od podpory (styčníky jsou ve vzdálenostech 2400, 4800 a 6000 mm). Stupně zatížení rostou až do kolapsové hodnoty, pro niž je vypsán prokluz ve spřažení nad podporou.

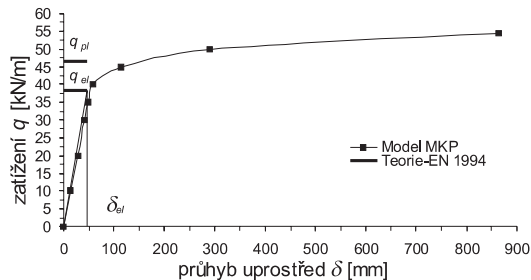
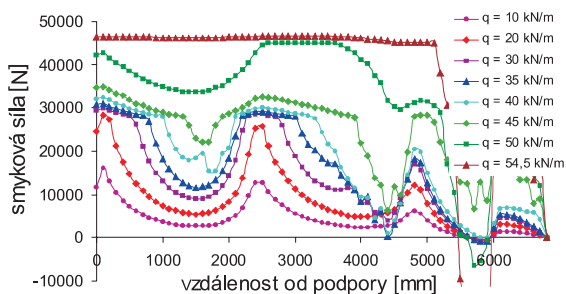
V případech úplného spřažení (obr. 8 až obr. 10) dochází k plastické redistribuci smykových sil při dosažení druhé, měkčí části trilineární vzestupné větve pracovního diagramu spřažení. Je to zřejmé zejména z porovnání případů L1 a L2, u nichž jsou smykové síly při kolapsu velké, ale redistribuce malá. U případu L3 je plastická redistribuce značná a deformace spřažení velká. Tažnost spřažení je ve všech případech velká, takže únosnost při kolapsu je téměř stejná.



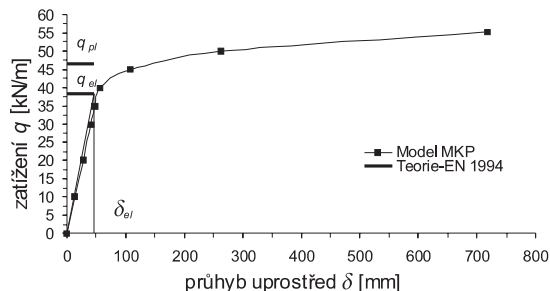
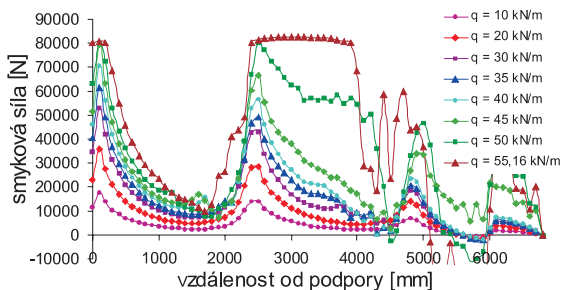
Obr. 7. Pracovní diagram spřažení L1, L2, L3, L9, L10



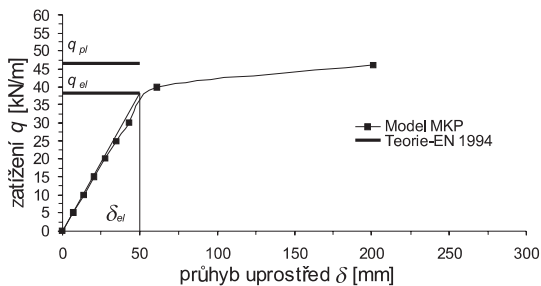
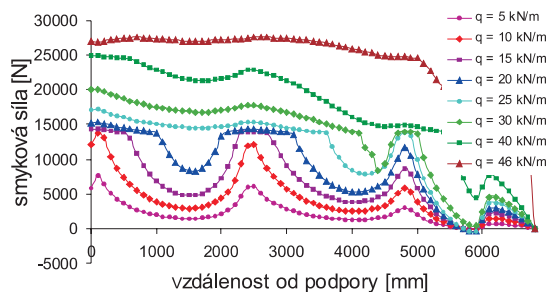
Obr. 8. Smykové síly a průhyby uprostřed rozpětí pro spřažení L1 (prokluz 0,4 mm)



Obr. 10. Smykové síly a průhyby uprostřed rozpětí pro spřažení L3 (prokluz 8,5 mm)



Obr. 9. Smykové síly a průhyby uprostřed rozpětí pro spřažení L2 (prokluz 0,1 mm)



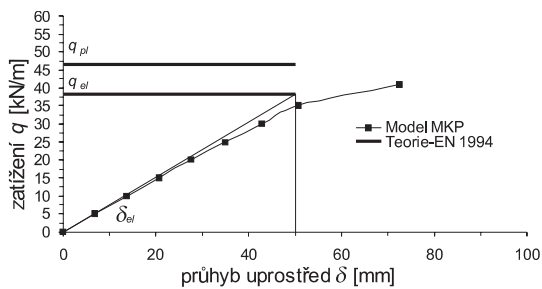
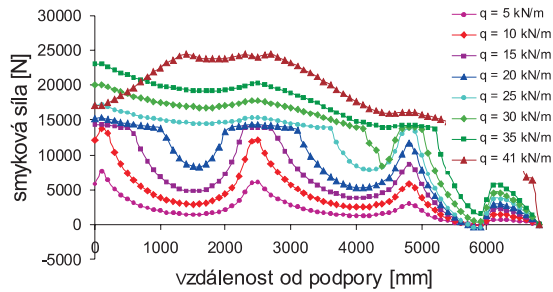
Obr. 11. Smykové síly a průhyby uprostřed rozpětí pro spřažení L9 (prokluz 3,2 mm)

Význam tažnosti prvků spřažení při neúplném spřažení je ukázán na případech L9 a L10 (obr. 11, obr. 12). O únosnosti nosniku rozhoduje únosnost spřažení (viz kolapsové hodnoty zatížení). Redistribuce smykových sil je podstatná a blíží se obdélníkovému obrazci. Pokles únosnosti proti úplnému spřažení činí u případu L9 asi 16 %. Křivky blízko zatížení při kolapsu ukazují, že spřahovací lišta je namáhána v sestupné větvi svého pracovního diagramu. Pokud je tažnost spřažení nedostatečná jako u případu L10 (omezena na 4 mm), není plastická kapacita spřažení dostačující a v místech největší plastické deformace (u podpor) se projeví prudké snížení namáhání prvků spřažení, popř. jejich kolaps.

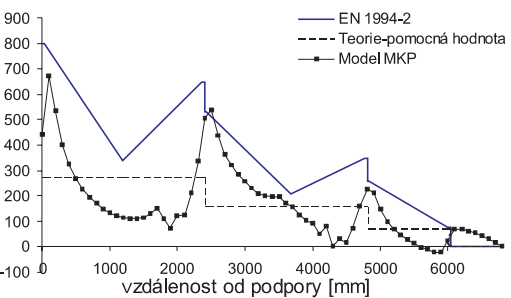
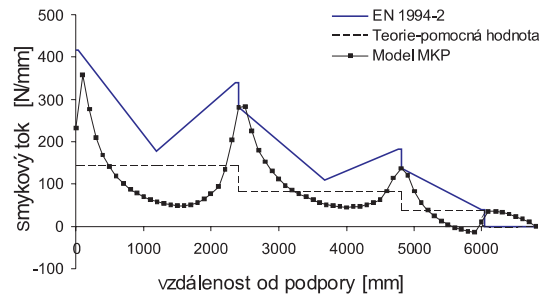
Omezení průhybů z hlediska mezního stavu použitelnosti nebylo v této studii sledováno.

Porovnání s výpočtem podle Eurokódu [1]

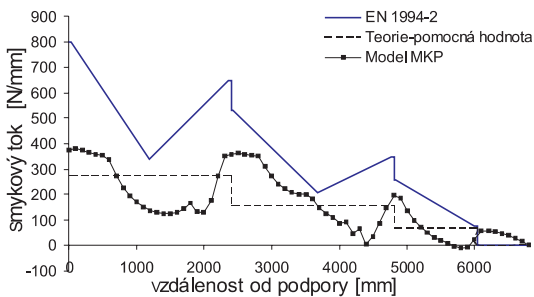
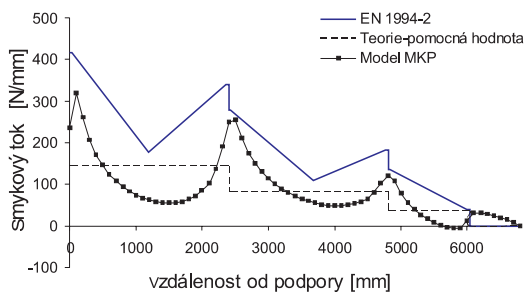
Plastická únosnost sledovaného spřaženého příhradového nosníku zjednodušeným normovým výpočtem podle [1] (při uvažování celého průřezu včetně horní ocelové pásnice) odpovídá hodnotě rovnoměrného zatížení $q = 46,5$ kN/m, pružná únosnost zatížení $q = 38,2$ kN/m (pro zjednodušení výpočtů byla uvažována montáž s podepřením). Zmíněná mostní norma [2] umožňuje přibližné řešení rozložení podélného smykového toku ve spřažení od účinků lokální osamělé podélné síly, v tomto případě ze styčnicku příhradového nosníku. Procedura vychází z numerické analýzy Johnsona a Ivanova [7] a má samozřejmě význam pouze v pružné oblasti chování. Zjednodušené vztahy normy nezohledňují tuhost spřažení, která ve skutečnosti významně ovlivňuje rozložení smykového toku. Na obrázku 13 je ukázáno rozlo-



Obr. 12. Smykové síly a průhyby uprostřed rozpětí pro sprážení L10 (prokluz 3,6 mm)



Obr. 14. Sprážení L2: nahoře zatížení $q = 20,0 \text{ kN/m}$, dole $q = 38,2 \text{ kN/m}$



Obr. 13. Sprážení L1: nahoře zatížení $q = 20,0 \text{ kN/m}$, dole $q = 38,2 \text{ kN/m}$

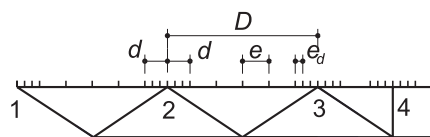
žení smykového toku pro sprážení typu L1 pro dvě úrovně zatížení (nízké a při dosažení pružné únosnosti podle normy) a jeho porovnání s výpočtem podle normy. Normový výpočet nezahrnuje účinek mezistýčnickového zatížení (v obrázcích je uvedena pomocná hodnota smykového toku odpovídající běžnému výpočtu pro stýčnickové zatížení). Po dosažení druhé části vzestupné větve pracovního diagramu sprážení lze pozorovat mírnou redistribuci špiček smykového toku nad stýčnický.

Pro sprážení typu L2 (obr. 14), u něhož se do dosažení pružné únosnosti nosníku druhá část vzestupné větve pracovního diagramu neuplatní, je shoda s normovým výpočtem uspokojivá. Je zřejmé, že normový výpočet dává vhodně konzervativní výsledky pro pružné chování sprážení, je však velmi konzervativní, pokud je pracovní diagram sprá-

žení nelineární, a dochází tak k určité plastizaci a redistribuci smykového toku.

Vliv zhuštění spráhovacích prvků nad stýčnický

Další studie se věnovala vlivu zhuštění spráhovacích prvků nad stýčnický příhradového ocelového nosníku v místě špiček smykového toku. Byl sledován vliv délky oblasti zhuštění d a vliv intenzity zhuštění e_d (obr. 15). Měřítkem pro porovnání bylo základní uspořádání s rovnoměrným rozmístěním spráhovacích prvků (modelovaných jako nelineární pružiny) ve vzdálenosti $e = 100 \text{ mm}$, s pracovním diagramem L2 podle obr. 7.

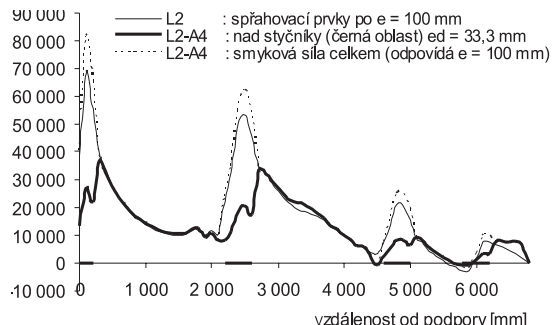


Obr. 15. Zhuštění prvků sprážení nad stýčnický příhradového nosníku

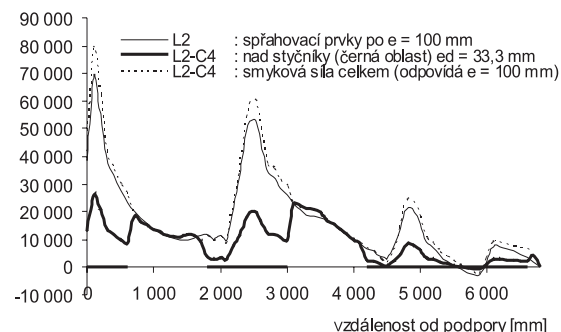
Vyšetřovány byly tři délky oblasti zhuštění, označené jako A (odpovídající délce $d = 200 \text{ mm}$ na každou stranu od teoretického stýčnický), B ($d = 400 \text{ mm}$) a C ($d = 600 \text{ mm}$). Intenzita sprážení v oblasti zhuštění byla vyšetřována pro čtyři případy, označené jako 1 (spráhovací prvky s pracovním diagramem L2 byly umístěny ve vzdálenosti $e_d = 83,3 \text{ mm}$), 2 ($e_d = 66,7 \text{ mm}$), 3 ($e_d = 50,0 \text{ mm}$) a 4 ($e_d = 33,3 \text{ mm}$). Celkově tak bylo vyšetřeno dvanáct možností. Porovnání se základním uspořádáním je ukázáno pouze pro charakteristické případy A4 (obr. 16) a C4 (obr. 17).

Je zřejmé, že větší tuhost, získaná zhuštěním spráhovacích prvků, zvýší v oblasti zhuštění velikost smykového toku (viz tečkovaný průběh celkové smykové síly). Pro vyšetřovaný nosník činí zvýšení zhruba 10 %. Tento smykový tok je však přenášen větším počtem spráhovacích prvků, v případě typů A4 a C4 trojnásobkem proti základnímu případu L2. V obou případech L2-A4 a L2-C4 jsou prvky sprážení v celé zhuštěné oblasti (v obrázcích vyznačeno tlustou čarou) namáhány méně než v nezhuštěné oblasti, přičemž na

hranici zhuštění se smykové namáhání téměř ztotožňuje s namáháním odpovídajícím základnímu případu L2. Optimální se zdá uspořádání L2-C4, kde špička smykového namáhání uvnitř zhuštěné oblasti dosahuje zhruba velikosti namáhání na kraji oblasti, takže spřažení je v celé oblasti namáháno vyrovnaně.

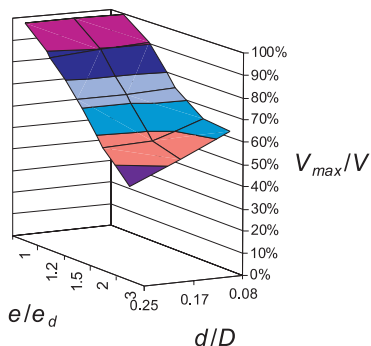


Obr. 16. Vliv zhuštění spřahovacích prvků nad styčnický (typ A4, délka zhuštění $d = 200$ mm) při dosažení pružné únosnosti ($q = 38,2$ kN/m)



Obr. 17. Vliv zhuštění spřahovacích prvků nad styčnický (typ C4, délka zhuštění $d = 600$ mm) při dosažení pružné únosnosti ($q = 38,2$ kN/m)

Získaná data byla použita k vytvoření prostorových grafů závislosti parametrů zhuštění pro jednotlivé styčnický, umožňující optimalizaci návrhu. Výsledky pro styčnický č. 2 (ve vzdálenosti 2400 mm od podpory) a zatížení při dosažení pružné únosnosti ($q = 38,2$ kN) jsou uvedeny na obr. 18. Snížení maximálního smykového namáhání V_{max} v jednom spřahovacím prvku v oblasti zhuštění je vztaženo k největší hodnotě namáhání V původního, rovnoměrně vzdáleného spřahovacího prvku ve stejné oblasti. Je zřejmé, že malá délka zhuštění ($d/D = 0,08$) je efektivní pouze pro malé zhuštění ($e/e_d \approx 1,5$). Ztrojnásobení hustoty prvků spřažení



Obr. 18. Pokles smykového namáhání ve spřahovacím prvku při dosažení pružné únosnosti ($q = 38,2$ kN/m)

je optimální pro délku zhuštění $d/D \approx 0,25$, tzn. na vzdálenost čtvrtiny vzdálenosti styčnicků.

Je vhodné poznamenat, že studie lokálního zvýšení tuhosti nezohledňuje všechny parametry, např. různou tuhost ocelové pásnice a další tvary $P-\delta$ diagramů různých typů spřahovacích prvků. Tyto parametry mají vliv jak na velikost špiček podélného smykového toku v absolutní hodnotě, tak na jejich strmost. Z hlediska praktického návrhu je také důležité tvarové řešení přípoje, jeho excentricita a délka, na které je ve skutečnosti smyková síla do horní ocelové pásnice a následně do spřažení vnesena. Dalším důležitým parametrem je poměr rozpětí nosníku a vzdálenosti styčnicků horního pásu.

Smykový tok u realizovaného mostu

Pro analýzu smykového toku u reálné konstrukce v ČR byl vybrán nový most mezi obcemi Andělská hora a Chrastava. Jde o spřažený ocelobetonový příhradový most tvořený čtyřmi příhradovými nosníky a železobetonovou deskou tloušťky 200÷270 mm. Teoretické rozpětí mostu je 20,6 m, šířka železobetonové desky 7,15 m, celková výška spřaženého nosníku je 1420 mm uprostřed rozpětí a 1190 mm nad podporou (obr. 19, obr. 20).



Obr. 19. Svařování ocelové části (most je zde v opačné poloze)

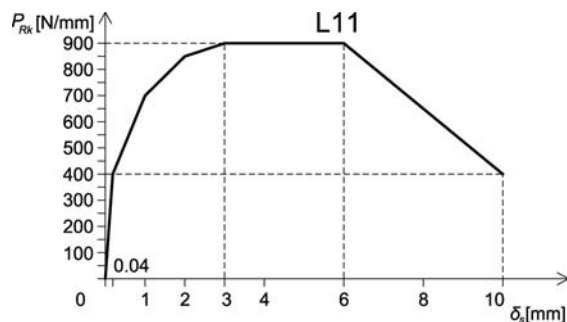


Obr. 20. Pohled na dokončený most

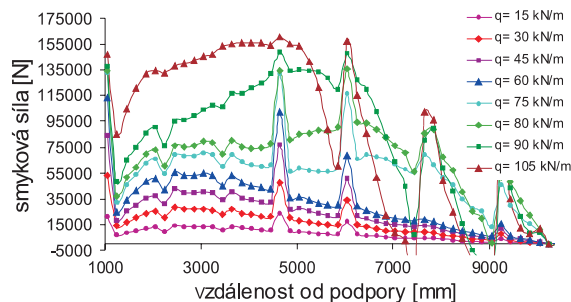
Pro nosné části konstrukce byla použita ocel S355J2G3, beton C30/37-XF3 a spřahovací trny $\varnothing 19$ mm s výškou 125 mm z oceli 11 343. Jde o zvláštní konstrukci železobetonové desky vyztužené příhradovinou, neboť ocelový příhradový nosník byl svařen pouze z pásové oceli (dolní pás 300×40 mm, horní pás 250×20 mm, diagonály 220×20 až 220×40 mm). Trny byly umístěny ve dvou řadách, s podélnou roztečí podle velikosti smykových sil, se zhuštěním nad podporou a styčnický horního pásu. Horní i dolní ocelová pásnice je kotvena v podporovém betonovém bloku s nábě-

hem, který je uložen na elastomerových ložiskách. Tímto blokem je zamezeno prokluzu mezi betonovou deskou a ocelovým příhradovým nosníkem, což vede k jinému průběhu smykového namáhání sprážením, než je obvyklé.

V teoretické studii, využívající parametry tohoto skutečného mostu, je použito sprážení "mostní lištou ČVUT" s označením L11, jejíž pracovní diagram plynoucí z experimentů [4] je uveden na obr. 21. Sprážení představovaly pružiny COMBIN39, umístěné rovnoměrně po 200 mm, čímž bylo dosaženo úplného sprážení ($v_{sf} = 635 \text{ N/mm}$ pro výpočet s_{f_y} a 913 N/mm pro výpočet s_{f_u}). Výsledný průběh smykového namáhání v místě pružin je uveden pro polovinu rozpětí nosníku na obr. 22.



Obr. 21. Použitý pracovní diagram sprážení

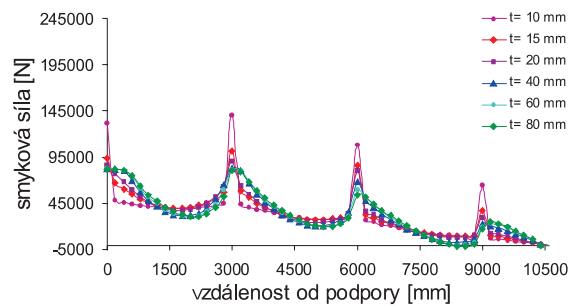


Obr. 22. Smykové síly ve sprážení po 200 mm

Studie prokázala příznivý vliv tuhého ukotvení pásů ocelového nosníku do podporového bloku na koncový prokluz, únosnost i velikost špiček namáhání. Prokluz a smykové namáhání sprážení jsou u této konstrukce malé, největší zhruba ve čtvrtině rozpětí. Špičky namáhání na obr. 22 vznikají v numerickém modelu v důsledku malé tuhosti horního pásu ocelového nosníku.

Studie vlivu tloušťky pásnice ocelového nosníku

Model mostu byl následně modifikován pro zkoumání vlivu tuhosti horní ocelové pásnice a atypického tvaru styčnicku na redistribuci smykového toku. Rozpětí bylo upraveno na $L = 21 \text{ m}$. Byl odstraněn podporový blok, zvolena konstantní výška betonové desky 230 mm, ocelového příhradového nosníku 1 230 mm a styčnický horní pásnice volený po 3 m. Smyková síla ve sprážení L11 u modifikovaného nosníku pro různé tloušťky horního pásu ($t = 10 \div 80 \text{ mm}$) pro různá rovnoměrná zatížení q je ukázána na obr. 23. U netuhé (slabé) pásnice je redistribuce smykové síly velmi malá a v podstatě je aktivován spráhovací prvek pouze přímo nad styčnickem. Z výsledků vyplývá, že zvětšení tloušťky plechu je však účinné jen do jisté ekonomické hranice. Zvětšování tloušťky nad $t = 40 \text{ mm}$ již redistribuci neovlivňuje.



Obr. 23. Smykové síly ve sprážení ($q = 45 \text{ kN/m}$)

Uvedená studie ovšem analyzuje styčnický bez styčnickových plechů. U skutečných styčnicků tuhost a délka styčnickových plechů významně ovlivní rozložení špiček smykového toku. Příznivě se z tohoto hlediska jeví děrovaná lišta jako spojité a tuhé prvek sprážení.

Závěr

Z parametrické studie a řešení reálného spráženého příhradového mostního nosníku lze vyvodit některé závěry k průběhu smykových sil v prvcích sprážení u příhradových nosníků.

V **pružné oblasti** chování spráhovacích prvků dochází i při rovnoměrném zatížení spráženého nosníku k výrazným špičkám namáhání sprážení v oblastech styčnicků. Zatímco numerické řešení vede k úplnému popisu chování sprážení podél celého rozpětí a průběhu smykových sil v prvcích sprážení při libovolné úrovni zatížení, přibližný výpočet podle Eurokódu [2] (založený na práci [7]) dává dobrý odhad zvýšeného namáhání sprážení v oblastech styčnicků pro nízké úrovně zatížení a značně konzervativní hodnoty po redistribuci smykového namáhání sprážení.

Špičky smykového toku jsou rozhodující pro dimenzování sprážení u mostů, u průřezů třídy 3 a 4, při dimenzování na únavu a vždy, jsou-li spráhovací prvky netažné. V takovém případě je vhodné v místě styčnicků příhradových nosníků, kde je namáhání zvýšené, spráhovací prvky zhušťovat. Výsledky parametrické studie ukázaly, že pro optimální namáhání sprážení je nutné provést zhuštění v určité délce.

V **plastické oblasti** chování spráhovacích prvků lze předpokládat plastickou redistribuci jejich namáhání, závislejší na pracovním diagramu sprážení. U **úplného sprážení** bude redistribuce závislá zejména na tuhosti sprážení dané sklonem vzestupné části pracovního diagramu. Čím je tuhost a únosnost sprážení v porovnání s plastickou únosností spráženého příhradového nosníku větší, tím budou špičky smykového toku výraznější. Naopak, pokud je únosnost sprážení blízká plastické únosnosti nosníku, lze očekávat plastickou redistribuci smykového toku a vymizení jeho lokálních špiček nad styčnický příhradového nosníku. Je však nutné upozornit, že plastická redistribuce při únavě není povolena.

U **neúplného sprážení** dochází vždy k výrazné redistribuci smykového toku, takže při plastickém kolapsu jsou prvky sprážení namáhány téměř stejnoměrně (průběh smykového toku je téměř obdélníkový). Aby takový případ reálně nastal, je velmi důležitá dostatečná tažnost prvků sprážení (např. podle požadavku Eurokódu $\delta_{uk} \geq 6 \text{ mm}$). Pokud je tažnost sprážení nízká, redistribuce je omezena a klesá únosnost celé konstrukce, i když únosnost prvků sprážení zůstává jinak stejná. Podrobnou analýzu výsledků výzkumu uvádí [3].

Výzkum byl podpořen záměrem MSM 6840770001.

Literatura

- [1] ČSN EN 1994-1-1 Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí, Část 1-1 Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. ČNI, 2006.
- [2] ČSN EN 1994-2 Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí, Část 2 Spřažené ocelobetonové mosty. ČNI, 2007.
- [3] Čudejko, M.: Spřažené ocelobetonové příhradové nosníky. [Dizertační práce], ČVUT, Praha, 2007, 136 s.
- [4] Macháček, J. – Studnička, J.: Perforated Shear Connectors. Steel & Composite Structures. Int. Journal, Techno-press, Vol. 2, No. 1, 2002, s. 51-66.
- [5] Macháček, J. – Svitáková, M. – Novák, R.: Příhradové nosníky spřažené s betonovou deskou. [Sborník], konference "Ocelové konstrukce a mosty", Štrbské pleso, 2000, s. 359-364.
- [6] Skidmore Owings Merrill: Design of Composite Trusses. SCI Publication 83, The Steel Construction Institute, 1992, 61 s.
- [7] Johnson, R. P. – Ivanov, R. I.: Local Effects of Concentrated Longitudinal Shear in Composite Bridge Beams. The Structural Engineer, Vol. 79, No. 5, 2001, pp. 19-23.

Čudejko, M. – Macháček, J.: Composite Steel and Concrete Trusses

The paper deals with distribution of shear flow and forces in shear connectors of composite trusses. Within elastic behaviour the distribution is highly non-linear and determines design of shear connection, in bridges, class 3 and 4 sections, when loaded by fatigue or the shear connectors are non-ductile. Within plastic behaviour the plastic redistribution takes place depending on the rigidity and strength of the shear connection. The complex testing of two composite trusses is described, as well as a non-linear numerical model, parametrical studies of principal parameters and comparisons with an approximate solution according to the bridge part of the Eurocode. In addition, significance of densification of shear connectors above truss nodes is analyzed. Finally, some recommendations for practical design are presented.

Čudejko, M. – Macháček, J.: Fachwerkverbundträger aus Stahlbeton

Der Artikel befasst sich mit dem Verlauf des Schubspannungsflusses und der Beanspruchung der Elemente bei Fachwerkverbundträgern. Im Bereich des elastischen Verhaltens ist dieser Verlauf deutlich nicht-linear und entscheidet über die Bemessung des Verbunds bei Brücken und Trägern der Klassen 3 und 4, bei Beanspruchung auf Ermüdung, sofern die Verbundelemente keine Zugelemente sind. Im plastischen Bereich kommt es zur Redistribution des Schubspannungsflusses, der von der Steifigkeit und Tragfähigkeit des Verbunds abhängt. Es werden eine komplexe experimentelle Untersuchung zweier Fachwerkverbundträger, die Schaffung eines nichtlinearen numerischen Modells, Parameterstudien der Hauptparameter und der Vergleich mit einem annähernden genormten Verfahren nach dem Eurocode beschrieben. Es wird auch die Bedeutung der Verdichtung der Verbundelemente über den Knoten des Fachwerkträgers analysiert. Zum Schluss werden Empfehlungen für die Planung in der Praxis gegeben.

• výročí

100. výročí úmrtí mecenáše Josefa Hlávky



Josef Hlávka se narodil 15. února 1831 v západočeských Přešticích v rodině úředníka. Ve škole se projevil jako velmi nadaný žák, a tak není divu, že ve studiích pokračoval nejprve na příprave pro studia technická v Praze, a posléze v oboru pozemního stavitelství na Akademii výtvarných umění ve Vídni. Praktickou

zručnost si osvojil u českého stavitele Františka Šebka, od něhož obdržel výuční list zednický. Byl přijat jako stálý zaměstnanec, nejprve jako architekt, později ho majitel pověřil vedením firmy, kterou mu po odchodu do penze zadarmo přenechal. Na základě zkušeností z tříletého studijního pobytu v zahraničí získal stavební koncesi a trvale se usadil ve Vídni. Osvědčil se při vedení stavby kostela Lazaristů a byl vyzván, aby se zúčastnil soutěže o výstavbu nové dvorní opery ve Vídni. Současně s touto stavbou provedl řadu monumentálních staveb i soukromých domů nejen ve Vídni. V roce 1863 vypracoval plány na Zemskou porodnici v Kateřinské ulici v Praze anebo areál řeckokatolické církve v Černovicích na nynější Ukrajině, v němž v současné době sídlí univerzita.

Neustálé přepracování a namáhavé cestování po stavbách byly zřejmě příčinou zhroucení a ochrnutí obou dolních končetin. Ještě čtyři roky vše řídí z invalidního vozíku, posléze odchází na odpočinek. Na zámku v Lužanech poblíž Přeštic se začíná věnovat dobročinnosti, podporuje umělce, vědce. Po jedenácti letech se uzdravuje, znovu podniká, zapojuje se do politiky, stává se zemským i říšským poslancem. Finančně podporuje Českou akademii císaře Františka Josefa pro vědy, slovesnost a umění v Praze. Když v roce 1890 povodeň poškodí Karlův most, prosadí a spolufinancuje jeho záchranu v historické podobě. Za své peníze staví a studentskému spolku předává Hlávkovu kolej v Jenštejnské ulici v Praze, aby v ní mohli bydlet nadaní, ale i nemajetní studenti.

Jako bezdětný vdovec sepisuje závěť, v níž veškerý majetek předává nadaci pojmenované po něm a jeho manželkách „Nadání Josefa, Marie a Zdeňky Hlávkových“. Vzdělání a umění považuje za hodnoty potřebné k tomu, aby národ přežil. Po jeho smrti v roce 1908 Nadání získává činžovní domy v Praze i ve Vídni, velkostatek v Lužanech, cenné papíry i peníze na účtech. V dnešních cenách by šlo o majetek v hodnotě více než dvě miliardy korun, vyčísluje správa jeho nadace nyní.

Hlávková nadace jako záznakem přežila konec císařství, nacistickou okupaci, a jako jediná obdobná instituce také období komunismu. V něm ovšem o značnou část majetku přišla a zpět dostat nemohla, protože to restituční zákon neumožnil. Medaile Josefa Hlávky se udělují nestorům české vědy a umění, Ceny Josefa Hlávky úspěšným studentům a mladým vědcům. Nadace vyplácí tvůrčí i sociální stipendia, platí cesty studentů na odborné konference, podporuje výzkum a financuje vydávání odborných knih. A také přispívá na ubytování nemajetným doktorským studentům a mladým vědcům.

www.hlavka-jubilejni-rok.cz

Experimentální výzkum zesilování zděných kleneb

prof. Ing. Jiří WITZANY, DrSc.
Ing. Tomáš ČEJKA, Ph.D.
Ing. Radek ZIGLER, Ph.D.
ČVUT – Fakulta stavební
Praha

Príspevek se zabývá mechanismem porušování a únosností valených zděných klenbových konstrukcí zesílených tkaninou z uhlíkových vláken a dodatečně vkládanou helikální výztuží z vysokopevnostní oceli. Uvádí dílčí výsledky experimentálního výzkumu segmentových valených kleneb, jehož předmětem bylo i získání poznatků o vlivu vzepětí, popř. počáteční geometrické a tvarové imperfekce na únosnost, přetváření a porušování valených kleneb zatížených dvojicí osamělých symetricky uspořádaných svislých sil.

Únosnost a porušování valených segmentových kleneb

Klenby používané v pozemních stavbách jsou staticky neurčité konstrukce, charakteristické vysokou citlivostí na deformace podpor (pokles, posun, popř. natočení) a způsob zatížení. Proces porušování valené klenby je charakterizován stádiem, v němž se vytvářejí v místech vzniku tahových trhlin nedokonalé klouby a klenba se stává **staticky určitou** konstrukcí, nejčastěji se dvěma až čtyřmi „klouby“. V tomto stádiu dochází postupně k lokálnímu porušování okolí průřezů, v nichž se vytvářejí nedokonalé liniové klouby. Porušování klenby zpravidla zahrnuje dva významné mechanismy – tvarové změny lokální a celého klenbového systému (proces ztráty stability) a porušování zdiva klenby působením tahových a tlakových normálových napětí překračujících v souhrnu postupně únosnost průřezů, v nichž se vytvořily klouby (proces ztráty únosnosti) (obr. 1).

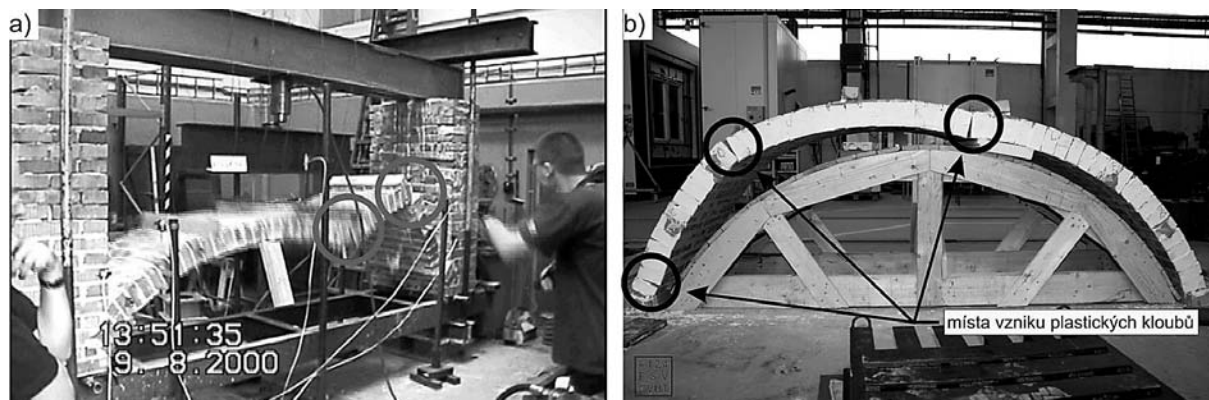
Úplné porušení – **kolaps klenby** – je zpravidla výsledkem těchto vzájemně souvisejících paralelních procesů. Oba jsou současné a nelze je oddělit. Stav napjatosti a průběh tlakové čáry při narůstajícím zatížení a při postupném porušování

klenby výstižně popisuje vznik a rozvoj tahových oblastí v jednotlivých stádiích působení klenbového systému (obr. 2). Kolaps – zřícení klenby – nastává v těchto případech překročením únosnosti částečně vzdorujících průřezů v oblasti vytvořených kloubů, popř. porušením stability klenby, aniž je dosaženo únosnosti jejího průřezu v tlaku.

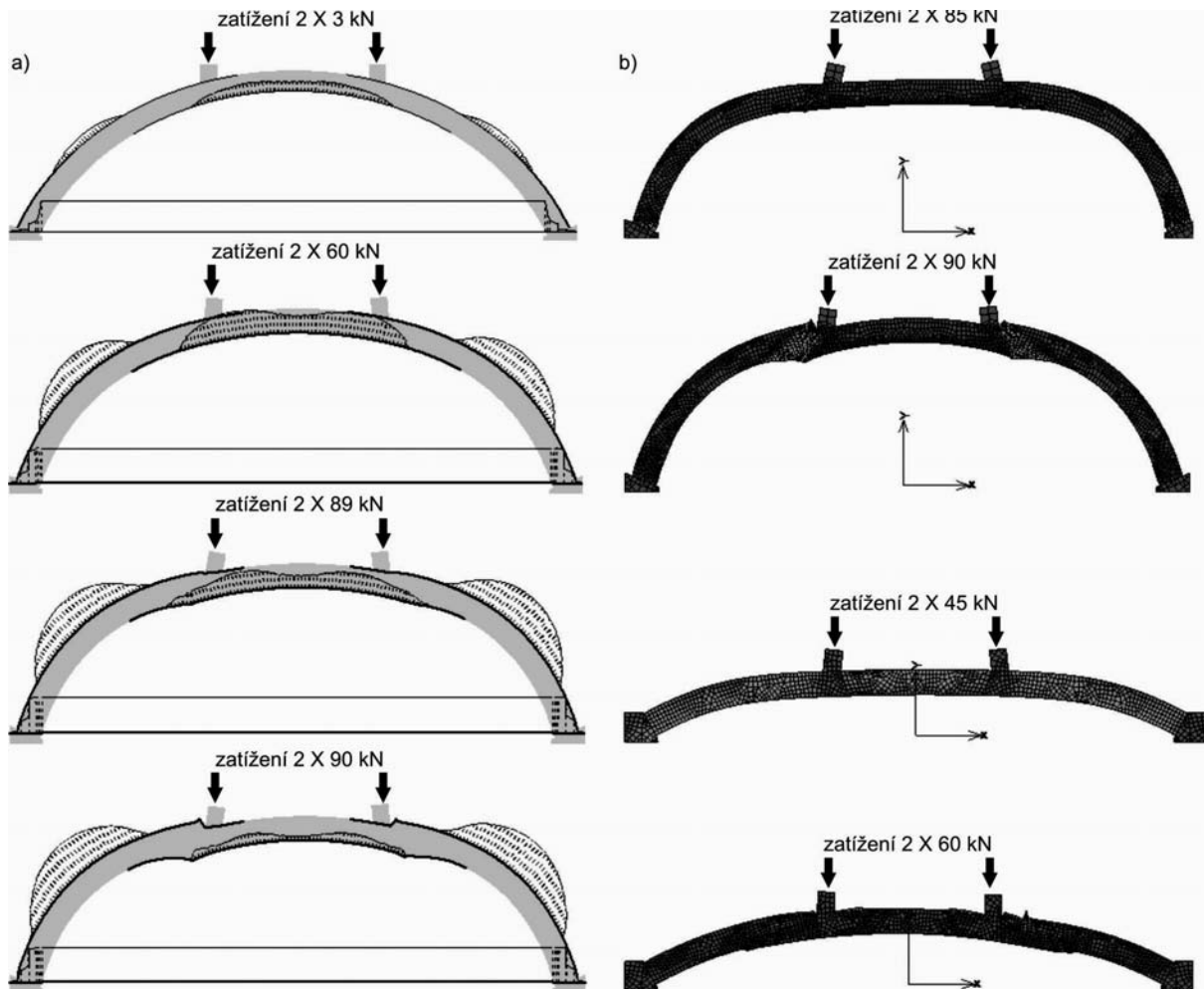
U kleneb s **nižším poměrným vzepětím** ($v/l < 0,125$) se významněji uplatňuje postupné porušování zdiva – působením tahových a tlakových normálových napětí – dosažením mezního zatížení. Poloha působíště tlakové síly e_N se mění v jednotlivých průřezech klenby v závislosti na zatížení a vytváření kloubů. V oblastech blízkých průřezům, kde $e_N \geq t/6$, dochází ke vzniku tahových trhlin a koncentraci tlakového namáhání, kterému vzdoruje pouze část průřezu – klenba působí s menší účinnou výškou průřezu (některé metody uvažující toto zmenšování jsou označovány jako „thinning methods“). V těchto průřezech klenby, kde $e_N > t/6$ (při zatížení je to obvykle ve dvou až čtyřech průřezech) dochází postupně k otevírání a prodlužování tahových trhlin a následnému zvyšování napětí v tlaku, provázenému lokálním drcením a porušováním. Ke kolapsu klenby dochází převážně vyčerpáním únosnosti porušených průřezů v tlaku (přemáhá namáhání za vyloučeného tahu), po němž následuje ztráta stability a únosnosti (vybočení a zhroutení klenby).

U kleneb s **vyšším poměrným vzepětím** ($v/l \geq 0,33$) se výrazněji uplatňuje mechanismus porušení zahrnující především tvarové změny – vybočení a deformace klenby – provázené současně vznikem a otevíráním tahových trhlin a lokálním porušováním (drcením) zdiva v tlačných částech průřezů porušených tahovými trhlinami. Charakteristický je vznik tahových trhlin v tzv. nebezpečných průřezech vymezených středovým úhlem 120° . V těchto průřezech dochází následně, při postupném zvyšování zatížení, k vybočování klenby.

Porušení před dosažením únosnosti v tlaku průřezu klenby je závažným způsobem ovlivněno počáteční tvarovou imperfekcí, heterogenními vlastnostmi zdiva, popř. nesymetrií zatížení, přičemž větší citlivost k uvedeným imperfekcím mají valené klenby s větším poměrným vzepětím (obr. 3).

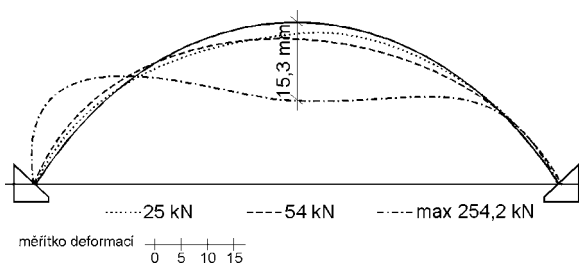


Obr. 1. Proces porušování a následného zřícení valené klenby
a) zřícení klenby ztrátou stability vybočením (KÚ ČVUT), b) vznik tahových trhlin a plastických kloubů (TAZUS)



Obr. 2. Změna napjatosti a vytváření liniových kloubů (klenba K08 zesílená uhlíkovou tkaninou)
 a) postupný rozvoj oblastí tahových napětí na rubové a lící straně klenby, b) charakteristické porušení klenby (K08 a K10) zesílené uhlíkovou tkaninou (nelineární analýza [3], klenba K10 zesílená uhlíkovou tkaninou na lící i rubové straně)

Porušení klenby v důsledku ztráty stability, způsobené tvarovými nebo geometrickými odchylkami, nedostatečnou stabilitou podpor, popř. nesymetrií zatížení, nastává při zatížení klenby, při němž není využita únosnost průřezu v tlaku. Nedostatečná tuhost podpor, vyvolávající vodorovný posun, způsobuje výrazné snížení únosnosti a porušení klenby. Velikost vodorovných složek sil, působících v patách klenby, narůstá se zmenšováním jejího vzepětí. Vodorovný posun podpor může v těchto případech výrazně ovlivnit celkové deformace a porušení klenby.

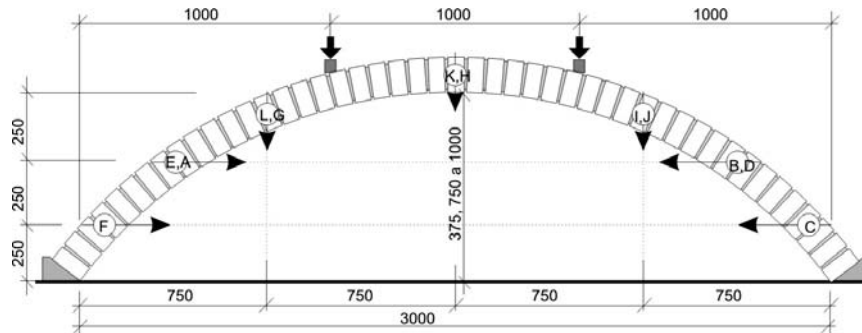


Obr. 3. Průběh svislých deformací klenby se vzepětím 0,75 m (K09 zesílená uhlíkovou tkaninou na lící i rubové straně) zesílené uhlíkovou tkaninou (výrazná nesymetrie deformační čáry symetrické klenby, symetricky zatížené)

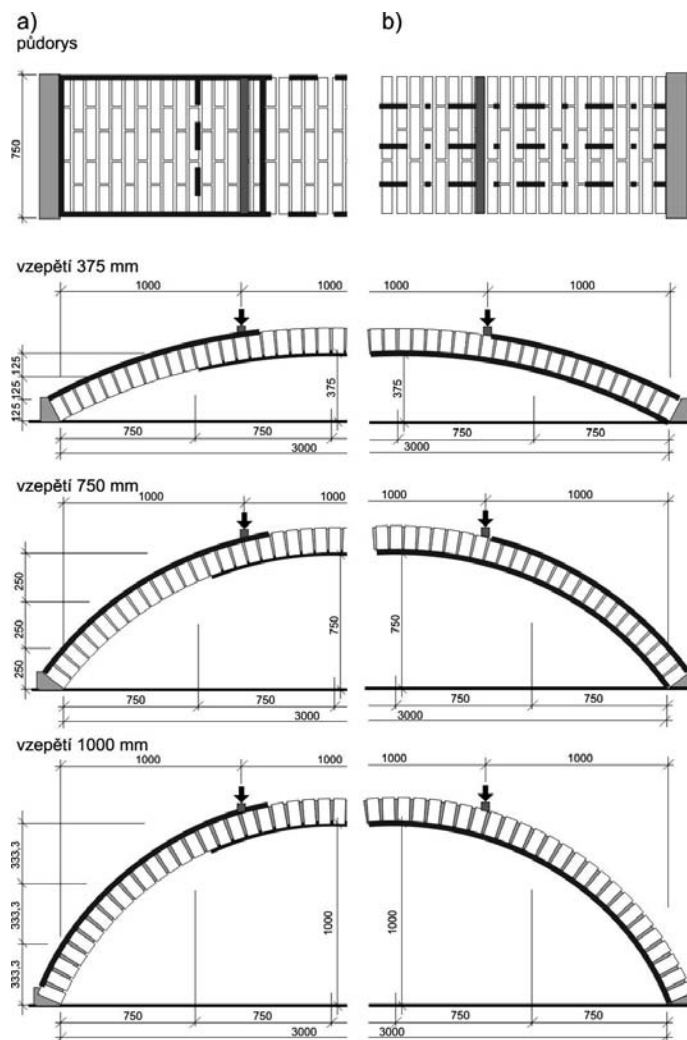
Při průřezu klenby vycházíme zpravidla ze známých poloh vytváření kloubů, tj. míst, kde se projevuje např. drcební nebo vrásnění povrchových vrstev a kde vznikají tahové trhliny. Porovnáním těchto „teoretických“ míst s místy poruch vzniklých na posuzované klenbě můžeme s určitou pravděpodobností určit příčinu, resp. příčiny, těchto poruch tak, abychom mohli navrhnout účinný způsob její sanace, popř. rekonstrukce. U zděných kleneb se zpravidla odchyluje střednice od výslednicové čáry – tvar klenby není zcela v souladu s výslednicovou čarou od působících zatížení. Proto jsou poměrně vzácné případy porušení kleneb dosažením mezní únosnosti plného průřezu zdiva klenby v tlaku.

Experimentální výzkum

Výzkum v měřítku 1 : 1 byl zaměřen na získání nových poznatků o mechanismu porušování a únosnosti zesílených kleneb v závislosti na jejich vzepětí a způsobu zesílení. Uskutečnil se na valených zděných segmentových klenbových konstrukcích s rozponem 3 000 mm, šířkou 750 mm, tloušťkou zdiva 150 mm a vzepětími 375 mm, 750 mm a 1 000 mm. Klenby, vyztužené z cihel P15 na vápennou maltu MV2, byly uloženy na ocelových patkách, na nichž byly



Obr. 4. Uspořádání zkušebního modelu
(schéma zatížení, umístění snímačů přetvoření zdiva kleneb a posunů průřezů)



Obr. 5. Schéma experimentálně vyšetřovaných zesilovaných kleneb
a) uhlíkovou tkaninou, b) helikální výztuží

vybetonovány ložné plochy se sklonem odpovídajícím vzeptí klenby a sklonu patních ložných spár. Proti vodorovnému posunu byly patky zajištěny šroubovými spoji s ocelovými profily zabudovanými v podlaze (tzv. jordánky) a dvojicí ocelových táhel $\varnothing 24$ mm ukotveny do patek. Zatížení bylo do kleneb vnášeno dvojicí osamělých sil vyvozovaných hydraulickými lisami s maximální silou 400 kN v každém z nich (obr. 4).

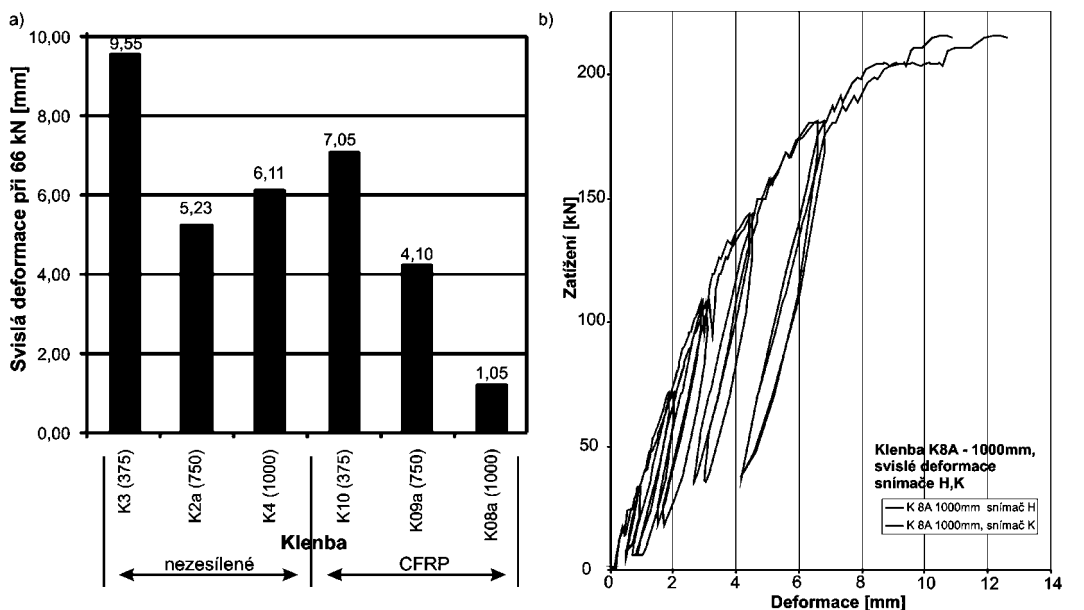
Klenby byly osazeny optoelektrickými inkrementálními snímači deformací LARM (6 snímačů svislých deformací a 6 snímačů vodorovných deformací). Vodorovnou deformaci (posun) podpor kontrolovala dvojice mechanických snímačů

deformace (obr. 4). V případě zesilování valených zděných kleneb uhlíkovou tkaninou bylo na uhlíkový kompozit osazeno 6 tenzometrických snímačů pro stanovení normálového napětí v zesilující uhlíkové tkanině. Parametry pro zatěžovací zkoušky segmentových valených kleneb a jejich značení uvádí tab. 1.

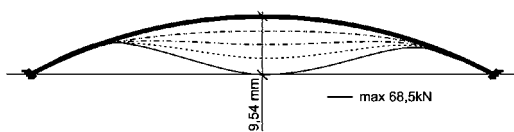
Zesílení uhlíkovou tkaninou (CFRP) bylo provedeno na rubové i lícni straně klenby, v místech předpokládaných tažených oblastí a vzniku tahových trhlin (stanoveno numerickým výpočtem metodou konečných prvků), v šířce 750 mm shodně se šířkou klenby a s kotevní délkou cca 150 mm

Tab. 1. Experimentální výzkum kleneb s rozpětím 3 000 mm

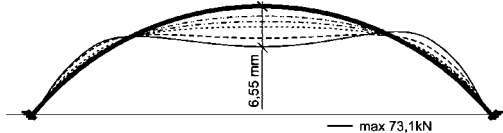
Klenba	Šířka/Tloušťka	Vzepětí	Zesílení
	[mm]		
K02a	900/150	750	bez zesílení
K03	900/150	375	bez zesílení
K04	900/150	1 000	bez zesílení
K08a	750/150	1 000	zesílení uhlíkovou tkaninou - CFRP – rub/líc
K09a	750/150	750	zesílení uhlíkovou tkaninou - CFRP – rub/líc
K10	750/150	375	zesílení uhlíkovou tkaninou - CFRP – rub/líc
K11	750/150	1 000	zesílení helikální výztuží Ø 8 HELI – líc
K12	750/150	750	zesílení helikální výztuží Ø 8 HELI – líc
K13	750/150	375	zesílení helikální výztuží Ø 8 HELI – líc
K14	750/150	750	zesílení helikální výztuží Ø 8 HELI – rub/líc
K15	750/150	375	zesílení helikální výztuží Ø 8 HELI – rub/líc



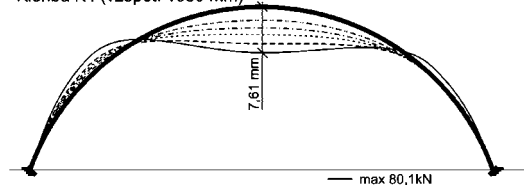
Klenba K3 (vzepětí 375 mm)



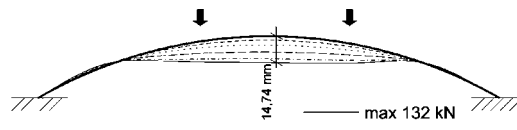
Klenba K2A (vzepětí 750 mm)



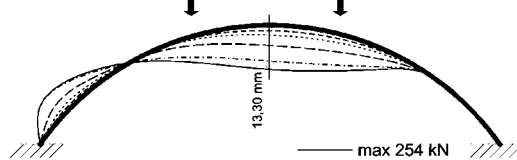
Klenba K4 (vzepětí 1000 mm)



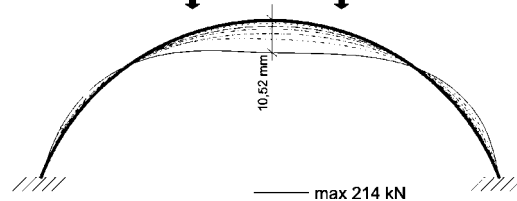
Klenba K10 (375 mm)



Klenba K09a (750 mm)



Klenba K08a (1000 mm)

Obr. 6. Svislé a vodorovné deformace (posuny) segmentových kleneb nezesílených a kleneb zesílených uhlíkovou tkaninou (a), pracovní diagramy $Z \times \delta y(x)$ (b)

v oblastech tlačných průřezů klenby (obr. 5a). K zesílení byla použita uhlíková tkanina Tyfo® SCH-41 lepená epoxidovou pryskyřicí Tyfo® S. Při aplikaci byl dodržen technologický postup.

Zesílení klenby **helikální výztuží (HELI)** z vysokopevnostní oceli, dodatečně vkládané do drážek, bylo provedeno pro případ umístění výztuže pouze na lící straně po celé délce oblouku klenby a pro případ umístění výztuže po celé délce lící strany a na rubu v rozsahu třetiny délky oblouku v oblasti pat klenby v místech nebezpečných průřezů (obr. 5b). K zesílení byla použita helikální výztuž Kompakt VAH Ø 8 mm vkládaná do tří drážek šířky min. 12 mm a hloubky min. 35 mm. Do drážek byla kotvena vysokopevnostní polymercementovou maltou Kompakt MPC 50. Při aplikaci byl přesně dodržen technologický postup.

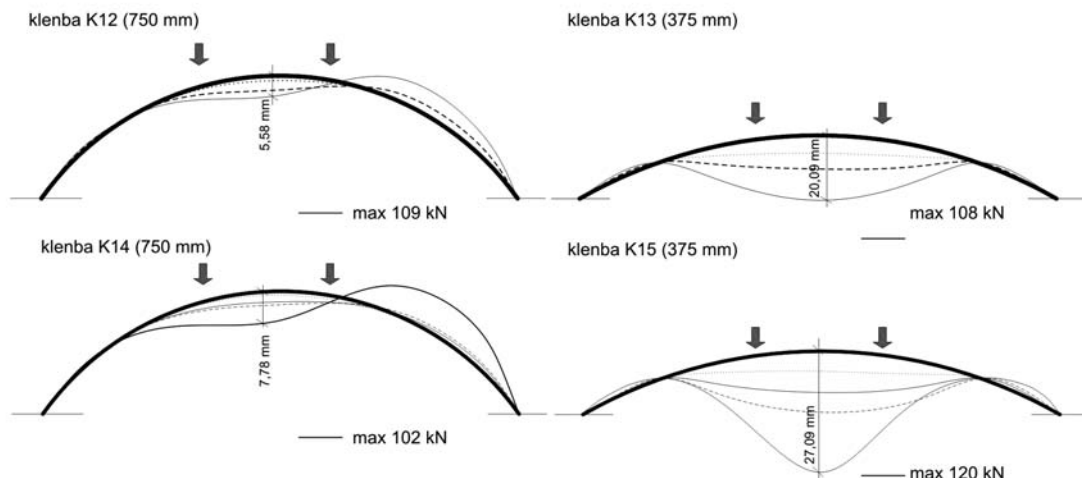
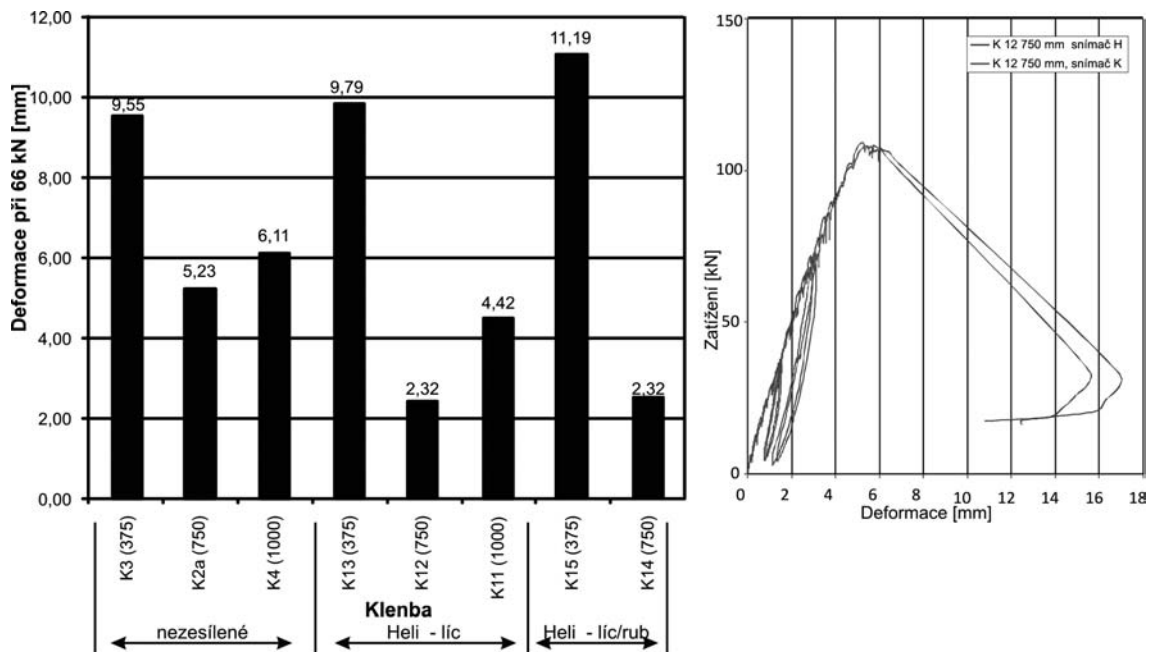
Shrnutí dílčích výsledků výzkumu

Na základě analýzy výsledků experimentálního výzkumu zesílených segmentových valených zděných kleneb lze poznatky o jejich chování, mechanismu porušování a účinnos-

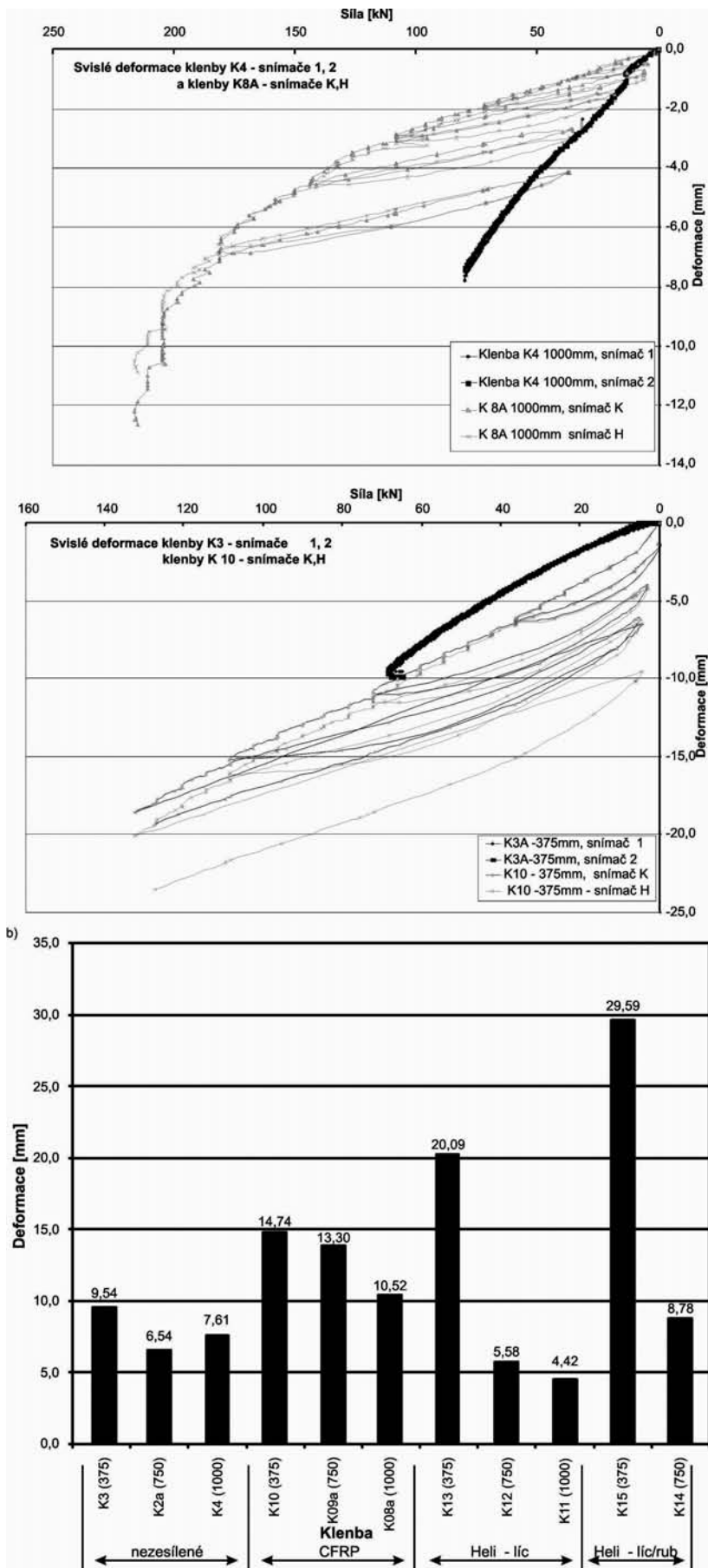
ti zesilování uhlíkovou tkaninou a helikální výztuží formulovat následovně:

- segmentově valené zděné klenby se vzepětím 750 mm a 1000 mm, zesílené uhlíkovou tkaninou, popř. helikální výztuží z vysokopevnostní oceli, vykazovaly v důsledku zesílení kleneb v oblasti kritických průřezů, a tím zabránění selhání klenby ztrátou stability při stejné úrovni zatížení, celkově menší svislé a vodorovné deformace (o 20-70 %) v porovnání s deformacemi nevyztužených kleneb (obr. 6). Uvedený účinek zesílení se neprojevil tak výrazně u segmentových valených kleneb se vzepětím 375 mm, tj. kleneb se středovým úhlem 60°, které neobsahují oblasti kritických průřezů;

- segmentově valené zděné klenby zesílené uhlíkovou tkaninou, popř. do drážek dodatečně vkládanou helikální výztuží z vysokopevnostní oceli, mají v porovnání s nezesílenými klenbami výrazně širší oblast pružně plastických až plastických deformací. Mezní deformace zesílených kleneb při dosažení mezního zatížení dosahovala u kleneb zesílených uhlíkovou tkaninou hodnot 1,5krát až 2,2krát vyšších proti hodnotám mezních deformací nevyztužených kleneb (obr. 8);

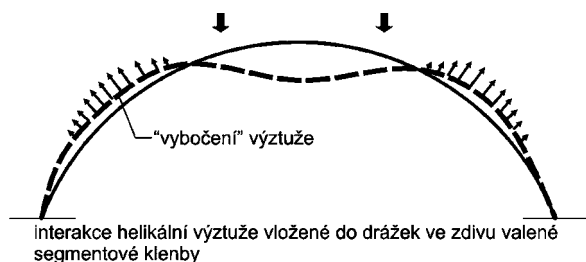


Obr. 7. Svislé deformace (posuny) segmentových kleneb nezesílených a kleneb zesílených dodatečně vkládanou helikální výztuží



Obr. 8. Pracovní diagramy (a) a mezní svislé deformace nezesílených a zesílených kleneb (b)

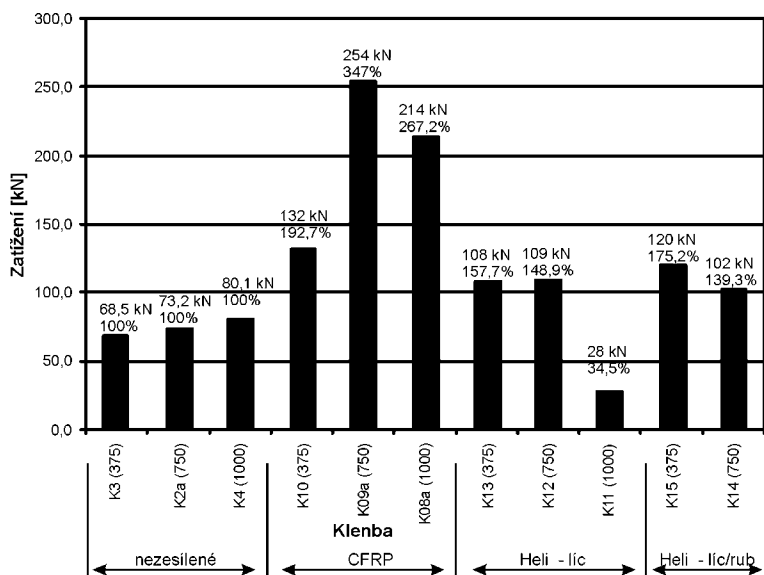
■ při zesilování kleneb helikální výztuží z vysokopevnostní oceli, dodatečně vkládanou do drážek pouze na spodním líci, došlo u segmentových kleneb se vzepětím 1 000 mm k charakteristickému porušení otevřením ložných spár v oblasti nebezpečných průřezů, po němž následovalo vybočení a kolaps (porušení provázené ztrátou stability) při zatížení cca 34 % mezního zatížení nezesílené klenby. Vybočení (ztrátě stability) v oblasti nebezpečných průřezů napomáhalo jednostranné umístění helikální výztuže na líci klenby. Tento způsob jednostranného vyztužení valených segmentových kleneb se vzepětím klenby $v > 0,3$ l nelze doporučit (obr. 9, obr. 10);



Obr. 9. Porušení klenby zesílené na spodním líci dodatečně vkládanou helikální výztuží

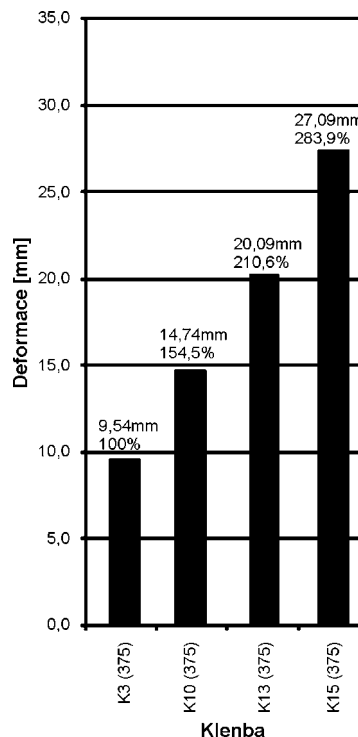
■ únosnost segmentových valených zděných kleneb zesílených uhlíkovou tkaninou, zatížených symetricky dvěma svislými břemeny ve třetinách rozpětí klenby (obr. 4), dosahovala 190-350 % mezní únosnosti nezesílených zděných kleneb (obr. 10);

■ únosnost segmentových valených zděných kleneb zesílených dodatečně vkládanou helikální výztuží, zatížených symetricky dvěma svislými břemeny ve třetinách rozpětí klenby (obr. 4), dosahovala 140-175 % mezní únosnosti nezesílených zděných kleneb (obr. 10) s výjimkou klenby se vzepětím 1000 mm, u které mezní zatížení při porušení dosáhlo pouze 34 % mezní únosnosti nezesílené klenby. Podle rozborů se na nižší mezní únosnosti projevil nepříznivý (rozpěrný) účinek helikální výztuže uložené v drážkách po celé délce lícní strany klenby v oblastech kritických průřezů (obr. 9);



Obr. 10. Experimentálně stanovená únosnost kleneb

■ mezní deformace kleneb zesílených uhlíkovou tkaninou se vzepětím 375 mm dosahovala 150-285 % mezních deformací nezesílených valených zděných kleneb, přičemž mezní únosnost zesílených kleneb se vzepětím 375 mm dosáhla 160-190 % mezní únosnosti nezesílených kleneb (obr. 11);

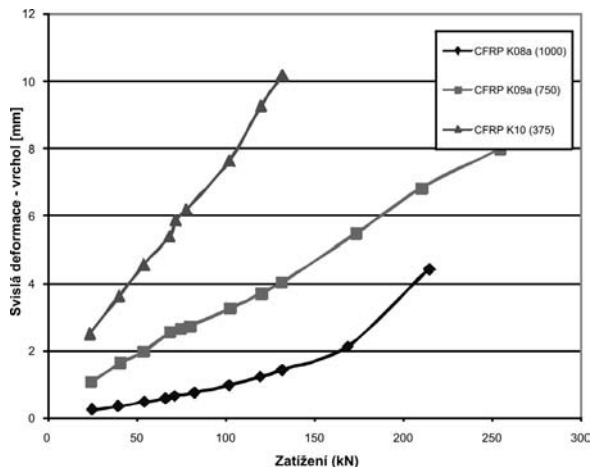


Obr. 11. Mezní deformace zesílených a nezesílených kleneb se vzepětím 375 mm

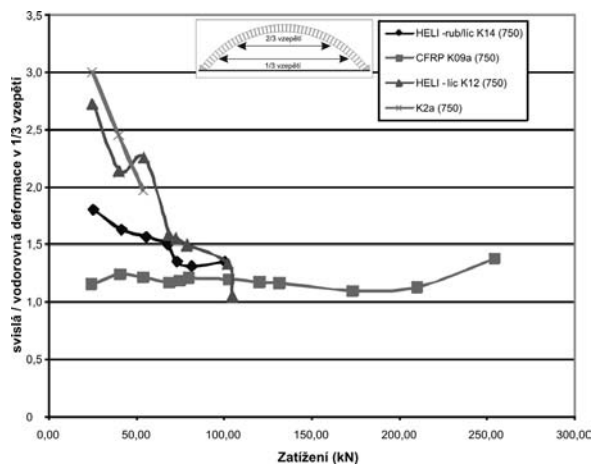
■ aplikace uhlíkové tkaniny v klenbách s vyšším vzepětím (750 a 1 000 mm) v oblastech, kde dochází ke vzniku tahových trhlin (spodní líc klenby ve vrcholu v rozsahu cca 1/3 délky oblouku klenby, na rubu v oblastech vymezených patou klenby a středovým úhlem cca 120° v rozsahu cca 1/3 délky kleneb v místech nebezpečných průřezů), omezila vznik a rozvoj těchto charakteristických tahových trhlin, a současně zvýšila stabilitu klenby (obr. 12);

■ aplikace uhlíkové tkaniny ovlivňuje charakter porušení klenby. Při zesílení v rozsahu cca 1/3 délky oblouku na líci klenby ve vrcholu a na rubu v oblasti nebezpečných průřezů došlo k porušení klenby se vzepětím 750 mm vznikem výrazné šikmé smykové trhliny provázené posunutím průřezů v místě, kde se překrývaly kotevní oblasti uhlíkových tkanin umístěných na rubu a líci klenby (obr. 13);

■ mechanismus porušení kleneb se vzepětím 750 mm a 1 000 mm je charakteristický progresivním nárůstem deformací v oblastech nebezpečných průřezů. Z obrázku 14 je patrný zejména nárůst vodorovné složky deformace v průřezech situovaných cca v 1/3 vzepětí při zvýšeném zatížení klenby;



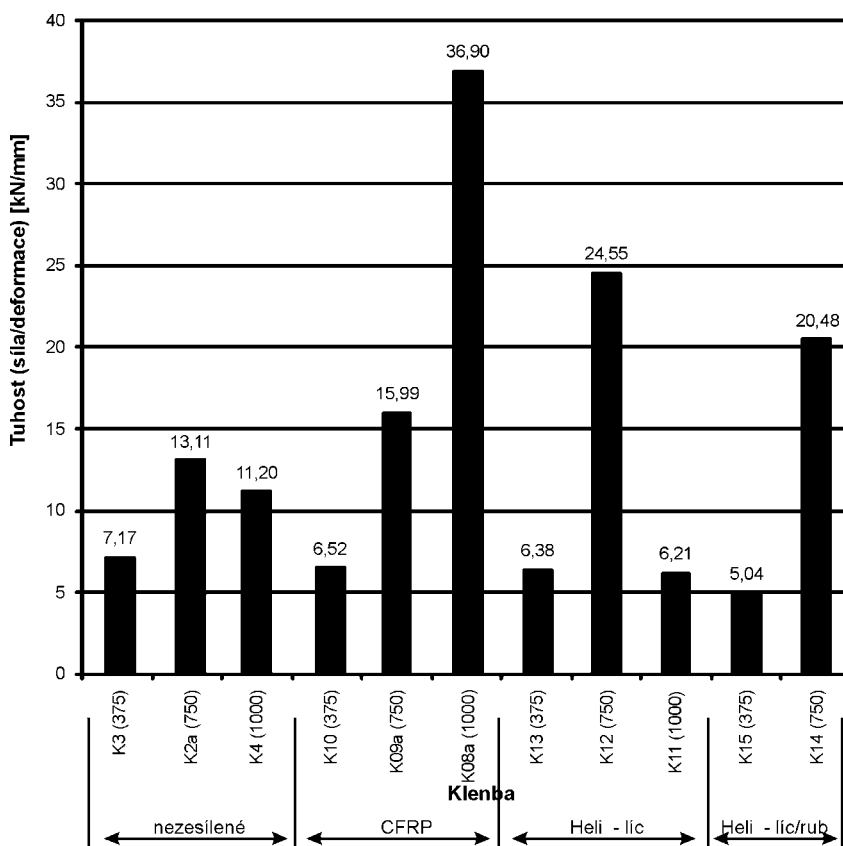
Obr. 12. Charakteristické pracovní diagramy kleneb zesílených uhlíkovou tkaninou – Z x δ_y



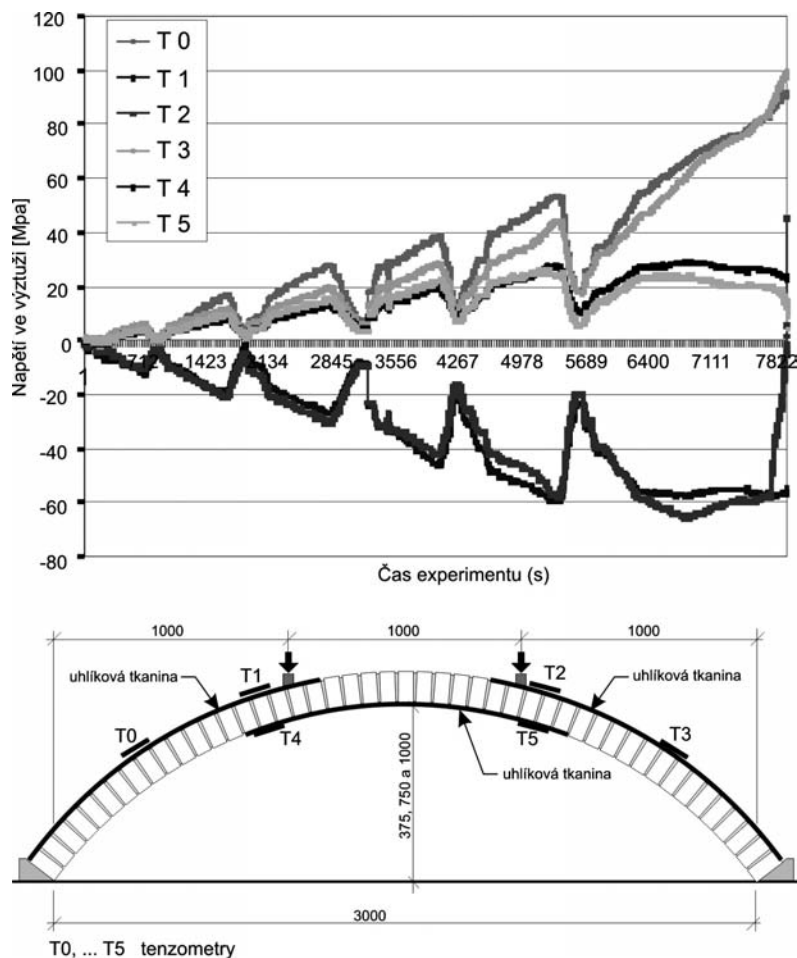
Obr. 14. Závislost poměru svislých a vodorovných deformací (posunů) na zatížení



Obr. 13. Porušení smykem oboustranně zesílené klenby uhlíkovou tkaninou
a), b) klenba K09, vzepětí 0,75 m; c) klenba K08, vzepětí 1 m



Obr. 15. Tuhost nezesílených a zesílených kleneb



Obr. 16. Normálové napětí v uhlíkové tkanině

■ při zesílení uhlíkovou tkaninou a helikální výztuží dochází ke zvýšení tuhosti klenby (snížení deformací), obr. 15;

■ účinnost zesílení kleneb v oblastech vzniku tahových napětí, která u nezesílených kleneb předcházejí tahovým trhlinám, dokládá průběh napětí v uhlíkové tkanině. Postupný nárůst napětí při zatěžování ve stádiu porušování zdiva klenby je patrný z obr. 16.

Závěr

Experimentální výzkum vlivu zesílení valených segmentových kleneb uhlíkovou tkaninou a helikální výztuží prokázal významný nárůst mezní únosnosti a tažnosti valených klenbových konstrukcí. Pozitivní skutečností uvedených sanačních opatření je malá hmotnost zesilující konstrukce (uhlíková tkanina, helikální výztuž) – nedochází k významnému zvětšení zatížení podpůrných konstrukcí a jejich základů. Je nutné posoudit nejen zvýšenou mezní únosnost zesíleného průřezu, ale i důsledky případného zvýšení zatížitelnosti zesílené klenby na nárůst vodorovných a svislých sil v podporách. Před aplikací uhlíkové tkaniny je nutné posoudit požární odolnost sanačního opatření a tepelně vlhkostní režim zdiva klenby s uhlíkovou tkaninou (lze řešit např. aplikací perforovaných uhlíkových tkanin). Malý rozsah experimentálních zkoušek neumožňuje dosud jednoznačně vyhodnotit a formulovat závěry a získané poznatky.

Experimentální výzkum spolu s dalšími alternativami zesílení valených zděných kleneb bude pokračovat i v le-

tošním roce. Při návrhu zesílení je nutné provést prostorové zaměření valené klenby jako podklad pro stanovení výpočtového geometrického modelu. Idealizace geometrického tvaru (modelu) klenby, bez předchozího zaměření, může být příčinou chybného stanovení její únosnosti. Segmenty valených zděných kleneb, symetricky zatížené, vykazovaly rozdílné svislé a vodorovné posuny v levé a pravé části. Příčinou nesymetrie byla nesterodnost a heterogenost deformačních vlastností a nepřesné provedení zdiva klenby (geometrie, rozptyl materiálůvých a rozměrových charakteristik). Uplatnění těchto vlivů lze předpokládat i u klenbových konstrukcí historických staveb. Tuto skutečnost je nutné uvážit při interpretaci výsledků náročných nelineárních numerických analýz klenbových konstrukcí a při stanovení zůstatkové únosnosti stávajících kleneb.

Prevenčí před nepředpokládaným narušením valené klenby je podrobné zjištění jejího stávajícího zatížení, rozměrů a geometrie, tuhosti podpor, stanovení celkového statického schématu klenby a navazujících konstrukcí. Základem numerické nelineární analýzy a materiálového modelu jsou experimentálně stanovené pracovní diagramy zdiva klenby. Statická bezpečnost zděných kleneb s vyšším poměrným vzepětím je často významně ovlivněna vznikem tahových trhlin v nebezpečných průřezích, který v mezních případech, zejména štíhlých kleneb, může být provázen drcením zdiva v tlačných částech průřezů. Zesílení nebezpečných průřezů uhlíkovou tkaninou má výrazný účinek na zvýšení únosnosti a stability klenby (zvýšení odolnosti proti vybočení v oblastech nebezpečných průřezů).

Příspěvek byl vypracován za podpory výzkumného zá-
měru MSM 6840770001 „Spolehlivost, optimalizace a tr-
vanlivost stavebních materiálů a konstrukcí“.

Literatura

- [1] Výzkum klenbových zděných konstrukcí. [Dílčí zpráva], VZ
MSM 6840770001 „Spolehlivost, optimalizace a trvanlivost
stavebních materiálů a konstrukcí“, 2008.
[2] Witzany, J. a kol.: Zděné valené klenbové konstrukce. In: Sta-
vební ročenka, Bratislava, Jaga 2006, s. 76-92, ISBN 80-8076-
024-1.
[3] Maršík, V.: Zesilování historických zděných kleneb. DDP, FSV
ČVUT Praha, 2007.

Witzany, J. – Čejka, T. – Zigler, R.: *Experimental Investigation of Strengthening of Masonry Structures*

This paper deals with the mechanism of damaging/fail-
ure and carrying capacity of cylindrical masonry vaulted
structures strengthened with textile from carbon fibres
and with additionally inserted helical reinforcement from
high-strength steel. It presents partial results of experi-
mental investigation of segmented cylindrical vaults. It
was also aimed to gain knowledge of the effect of deflec-
tion, or the initial geometrical and shape imperfections
on the load-bearing capacity, deformation and failure of
cylindrical vaults loaded by a pair of single, symmetrical-
ly arranged vertical forces.

Witzany, J. – Čejka, T. – Zigler, R.: *Experimentelle Untersuchung der Verstärkung gemauerter Gewölbe*

Der Beitrag befasst sich mit dem Mechanismus der
Störung und der Tragfähigkeit gemauerter Tonnenge-
wölbskonstruktionen, die durch Gewebe aus Kohlen-
stofffasern und eine nachträglich eingebrachte helikale
Bewehrung aus hochfestem Stahl verstärkt wurden. Es
werden Teilergebnisse der experimentellen Unter-
suchung von Segment-Tonnengewölben angeführt,
deren Gegenstand auch die Gewinnung von Erkennt-
nissen über den Einfluss der Bogen-Stichhöhe bzw. der
anfänglichen geometrischen und Formimperfektion auf
die Tragfähigkeit, Verformung und Störung von durch
ein Paar symmetrisch angeordneter vertikaler Einzel-
lasten belasteten Tonnengewölben war.

glasstec[®]

21. – 25. října 2008
Düsseldorf

www.glasstec.de

•dizertace



Studie eroze a transportu v povodí Labe

Ing. Martin Bečvář

Dizertace hodnotí problematiku eroze v povodí Labe s vy-
užitím prostředků GIS. Analyzuje se ohroženost dílčích
povodí a určuje se množství transportovaných půdních čás-
tic uzavěrovými profily jednotlivých povodí i profilem Labe
– Děčín. Závěry práce lze použít pro jakékoli povodí.

On Modelling the Earth's Gravity Field from GRACE and GOCE Satellite Observations

Ing. Robert Tenzer

Práce se zabývá aplikacemi geodetické mise GRACE při
určování měsíčních řešení modelů gravitačního pole Země a
jejich aplikací v hydrologii. V případě mise GOCE jde o hle-
dání efektivní metody určování hledaných parametrů.

Ohybová tuhost styčniců dřevěného skeletu

Ing. Rudolf Vyhnaněk

Dizertační práce se zabývá stykováním dřevěných konstruk-
cí pomocí vlepených závitových tyčí a chováním styčniců
s těmito tyčemi. Numerické řešení je ověřeno rozsáhlými
experimenty ve skutečném měřítku. Zjišťuje se závislost
mezi ohybovým momentem a natočením styčniců. Poddaj-
nost styčniců má vliv na chování rámové konstrukce.

Metoda Monte Carlo jako nástroj optima- lizace energetické náročnosti budov

Ing. Petr Kotek

V práci je energetická náročnost budov zkoumána postupy
využívajícími matematické popisy nejistot. Generují se
násobná zadání pro analýzu vlivu faktoru tvaru na energetic-
kou náročnost budovy. Pro kontrolu byla provedena měření
parametrů vnitřního prostředí a jejich analýza.

Use of a Sparse Direct Solver in Engineering Applications of the Finite Element Method

Ing. Richard Vondráček

Dizertace se zabývá metodami řešení velkých soustav
lineárních rovnic a klade při tom zvláštní důraz na přímé ře-
šiče pro soustavy s řídkou maticí. Příslušné algoritmy na-
jdou uplatnění zejména při výpočtech metodou konečných
prvků.

Strain Development under Cyclic Loading

Ing. Marek Foglar

Dizertace přináší nové poznatky o únavě betonu, přičemž se
vychází z rozsáhlé rešerše, experimentů a numerických ana-
lyz. Závěry práce umožňují praktické použití například
v předpovědi vývoje průhybu betonového mostu v čase.

Ohrožení mikroby v interiéru budov

*prof. Ing. Miloslav JOKL, DrSc.
ČVUT – Fakulta stavební
Praha*

Mikrobiální mikroklima je konstituentou vnitřního prostředí, jejíž důležitost v současné době narůstá. Počet mikroorganismů v interiéru se stále zvyšuje, přičemž kromě virů způsobujících onemocnění z nachlazení, které jsou příčinou i 80 až 90 % astmatických záchvatů dětí a dospělých, jsou to plísně, objevující se již při relativní vlhkosti vzduchu 80 %. Nejznámější jsou bakterie Legionelly uvolňované z vody a přenášené vzduchem. Největším zdrojem mikrobu je člověk sám, ale i vzduchotechnická zařízení, a konečně i stavební konstrukce, zvláště uchyť-li se na nich plísně.

Úvod

Mikroby neboli mikroorganismy, nověji též bioaerosoly (např. bakterie, viry, plísně a jejich spory, endotoxiny a mykotoxiny, antigeny průměru od 0,1–100 μm) v ovzduší (aeromikroby), podílející se na celkovém stavu člověka, vytvářejí složku prostředí obvykle nazývanou mikrobiální (bioaerosolové) mikroklima [3], [5]. Pojmem mikroorganismus se rozumí mikrobiologický buněčný nebo nebuněčný objekt schopný replikace nebo přenosu genetického materiálu. Součástí této konstituenty mohou být i buněčné kultury a endoparaziti vyvolávající infekční onemocnění a alergické nebo toxické projevy. Pojmem buněčné kultury se rozumějí buňky pocházející z mnohobuněčného organismu, které rostou in vitro (ve zkumavce).

Mikrobiální mikroklima je předmětem zvýšeného zájmu jednak v důsledku rozšíření alergických syndromů, jednak s přibývajícím počtem provozů s mimořádnými nároky na čistotu ovzduší (clean rooms). K dosavadním nemocničním (léčba popálenin, operační sály), farmaceutickým a potravinářským provozům přibýly výroby mikroelektroniky (chipy, mikroprocesory) a různých přístrojů pro kosmický výzkum.

Základní nedostatky v mikrobiálním mikroklimatu mohou vést i k velmi vážným situacím. V roce 1970 došlo v nemocnici St. Walburg v německém Meschede k tragickému případu, kdy z pokoje, v němž byl v izolaci umístěn pacient s pravými neštovicemi, se rozšířila nákaza klimatizačním zařízením do ostatních místností. Za dva až tři týdny onemocnělo dalších 13 pacientů, 3 sestry a 1 návštěvník nemocnice, z čehož 4 osoby zemřely. Kouřovými zkouškami bylo zjištěno, že viry neštovic pronikly i do vyšších neklimatizovaných podlaží schodišťovou šachtou, obdobně jako se šíří v budovách, zvláště výškových, oděry. Avšak i v jiných než nemocničních provozech může dojít ke kritickým situacím. Byl popsán případ plně klimatizovaného obchodního domu v USA, v němž se prostřednictvím klimatizačního zařízení rozšířily mikroorganismy plísni v takové míře, že alergické příznaky u čtyř zaměstnanců byly příčinou čtyřdenní hospitalizace.

Nevyhovující mikrobiální mikroklima je také jedním z typických znaků syndromu nemocných budov (SBS – Sick Building Syndrome). Po čtyři roky byl ve čtyřech základních

výcvikových táborech na jihovýchodě USA sledován zdravotní stav statisíců branců, jednak ve starých kasárnách, jednak v moderních budovách s klimatizací. Počet onemocnění chřipkou a akutními nemocemi dýchacích cest byl v nových budovách o 45 % vyšší než ve starých, během chřipkové epidemie dokonce více než dvakrát vyšší. Tým epidemiologů získal tutéž zkušenost i ve školách, úřadech, nemocnicích, ubytovnách, vězeních, přístřeších pro lidi bez domova, školkách, kde v nových stavbách bylo prokázáno zvýšené riziko nemocí šířených vzduchem (ryma, chřipka, spalničky, legionářská nemoc, tuberkulóza atd.).

Vliv zhoršeného mikrobiálního mikroklimatu je zvláště v budovách s lehkým obvodovým pláštěm umocněn nevhodným tepelně vlhkostním mikroklimatem, zvláště horkem v létě a průvanem od velkých okenních ploch v zimě. Vysoká vlhkost může způsobit kondenzaci vodní páry na chladných plochách (v místech s tepelnými mosty a v rozích místností s malou výměnou vzduchu).

Zdroje mikrobu v interiéru

Zdrojem patogenních mikroorganismů jsou především lidé, od nichž se infekční agens dostávají do vnitřního a venkovního ovzduší (a s ním opět do interiéru), do klimatizačních zařízení a aerosolů. Některé mikroby, choroboplodné pro člověka, se však primárně vyskytují i mimo něj (např. clostridia, původci anthroprozoonos), stejně tak různé alergogenní aerosoly (např. rostlinný pyl jako původce zánětů horních cest dýchacích).

Největší obavy jsou však před mikroby z vesmíru, jejichž únik do atmosféry Země by mohl vyvolat epidemii neznámých chorob, proti kterým bychom se neuměli bránit. Odborníci NASA soudí, že dosud neznámé mikroorganismy by mohly být nejen ve vzorcích půdy, které by měly být přivezeny z Marsu okolo roku 2008, ale i v materiálech z Jupiterových měsíců Evropa a Gyamed a z určitých typů asteroidů. Riziko nehrozí od vzorků z Měsíce, jak bylo mnohonásobně prokázáno, dále z nových komet a z Jupiterova měsíce Io, na němž vládou extrémní podmínky zamezující vzniku života. Ani kosmický prach, sterilizovaný neustále kosmickým zářením, nebude vyžadovat zvláštní zacházení. Schránky s nebezpečnými mimozemskými materiály, sterilizované silnými dávkami ionizujícího záření, bude možné otevírat jen v dokonale izolovaných prostorách. Specialisté tedy budou pátrat po zbytcích mrtvého života.

V obytných místnostech jsou často největším problémem plísně. Z botanického hlediska jsou plísně vláknité mikroorganismy, patřící mezi houby (mycophyta). Jejich základním morfologickým útvarem je vlákno (hyfa). Jednotlivá vlákna se větví a proplétají ve spleť, tzv. mycelium. Rozeznáváme mycelium substrátové (prorůstá substrátem, na němž se plíseň množí) a mycelium vzdušné, které je často velmi bohaté a vystupuje až několik centimetrů nad substrát. Plísně se rozmnožují mikroskopickými, víceméně kulovitými útvary – sporami, které se v době zralosti uvolňují do ovzduší a dávají vzniknout novému myceliu. Snášejí často i extrémní podmínky. Jsou schopny růst a množit se v rozmezí teplot -8 °C až +90 °C, snášejí pH 1,5–11,0. Každý druh má však optimální podmínky, při nichž roste a rozmnožuje se nej-

rychleji. Požadavky na vlhkost jsou však zpravidla menší než u bakterií a kvasinek. Jako živiny mohou využívat nejen potraviny, ale i papír, dřevo, textilie, plasty, některé druhy dokonce i naftu. Plísňe rostoucí na mrtvých organismech se nazývají saprofytické, plísňe využívající živá těla rostlin a živočichů, kterým způsobují těžko léčitelná onemocnění (mykózy), jsou parazitické. Některé plísňe obdobně jako bakterie produkují toxiny (tzv. mykotoxiny).

Podle odborníků je ve vzduchu v bytech, kde se nevyskytují, typická koncentrace spor 100-500 na 1 m³, jež stoupá na 500-2 000 v místnostech, kde se již plísňe objevily. V bytech s nízkým standardem (low standard of housecraft) se pak tato koncentrace pohybuje mezi 2 500-6 000 sporami na 1 m³ vzduchu, někde i více. V odebraných vzorcích bylo zjištěno až 75 různých druhů plísni. V interiéru budov se nacházejí nejčastěji druhy *Aspergillus species* (*fumigatus*, *niger*, *ornatus*, *flavus*, *sydowi*, *ustus*, *versicolor* – převážně černé plísňe), *Penicillium species* (*brevicompactum*, *chrysogenum*, *cyclopium*, *expansum*, *fellutanum*, *funiculosum*, *glabrum*, *griseofulvum*, *oxalicum*, *simplicissimum*, *thomii*, *variabile* – šedozeleň), dále *Cladosporium sp.* (*caldosporioides*, *herbarum*), *Fusarium sp.*, *Mucor sp.* (*plumbeus*), *Phoma sp.* (*glomerata*, *eupyrena*) [5]. Mikroorganismy lze rozdělit do skupin podle vstupu do interiéru:

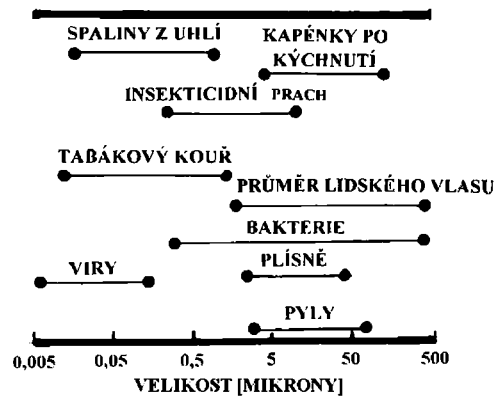
- z venkovního ovzduší,
- ze vzduchotechnického zařízení,
- produkované člověkem,
- ze stavebních konstrukcí.

Venkovní ovzduší

Do místností se mikroorganismy dostávají jednak přímo, jednak na aerosolu, jenž je jejich nositelem. Jejich koncentrace ve venkovním ovzduší (*tab. 1*) kolísá v širokém rozmezí – od 100 mikrobů v 1 m³ ve volné krajině až po 1500 v ovzduší velkoměsta. Velikost mikrobů v porovnání s průměrem lidského vlasu je znázorněna na *obr. 1*, příklady běžně se vyskytujících druhů jsou na *obr. 2* a *obr. 3*.

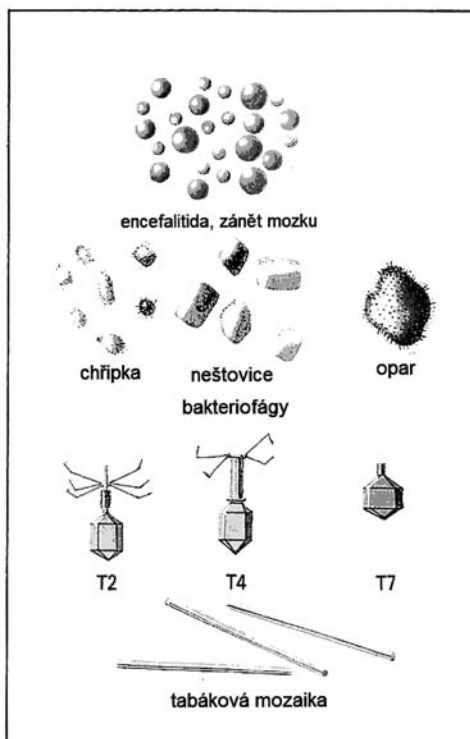
Tab. 1. Výskyt a koncentrace mikrobů v ovzduší

Místo	Počet mikrobů v 1 m ³
volná krajina	150-300
vesnice	250
malé město	400
velkoměsto	1000-1500
interiér budovy	200-900

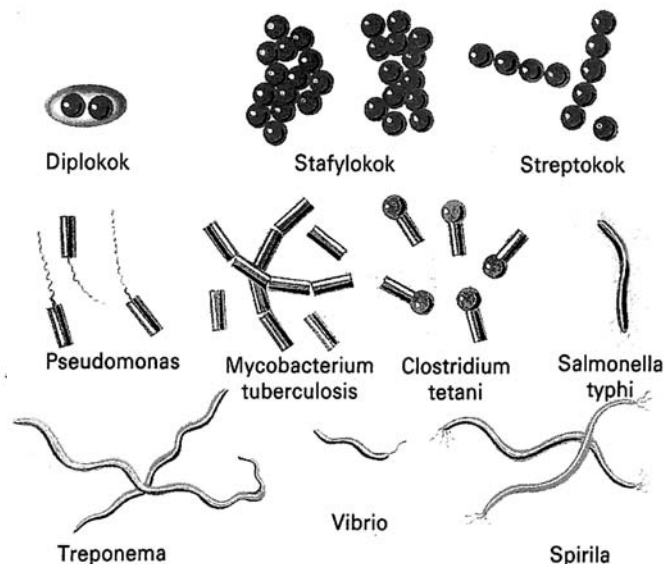


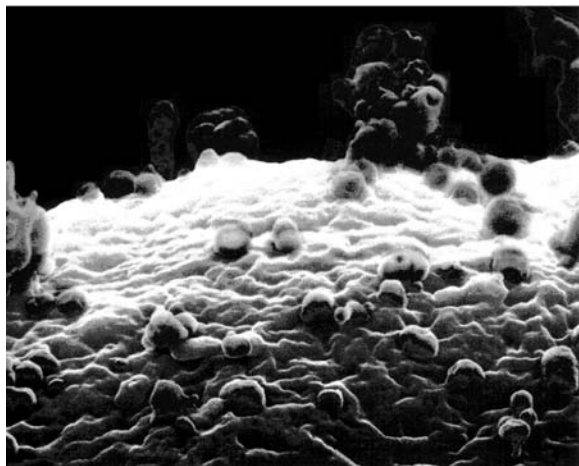
Obr. 1. Velikost a druhy mikroorganismů v ovzduší

Aerosol pevný a kapalný je nositelem mikroorganismů, jak je zřejmé z grafu na *obr. 4*, který udává počet mikrobů v závislosti na počtu aerosolových částic v čistém vzduchu v 0,0283 m³ (1 krychlová stopa – 1 cft). Na 10 000 aerosolových částic připadá až 1 mikroorganismus. Kapalný aerosol z chladicích věží elektráren i klimatizačních zařízení se stále častěji stává nositelem tyčinkových bakterií (\varnothing 0,2-0,7 μ m,



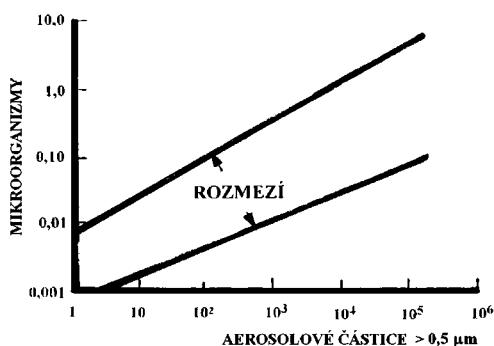
Obr. 2. Patogenní mikroorganismy





Obr. 3. Virus chřipky

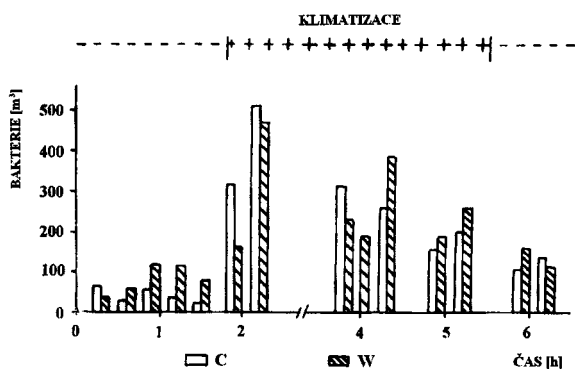
délka 1-4 μm , 24 druhů) Legionell, způsobujících těžké plicní onemocnění, tzv. legionářskou nemoc. Pevný aerosol – suchý ptačí trus – je jednak nositelem roztočů (Mites), jednak nebezpečných spor hub. Suché roztoče, vyvolávající u vnímavých jedinců astmatické záchvaty, roznášejí zvláště holubi a hrdličky, což vede například v Praze k jejich nucenému odstřelu. Spory hub (*Cryptococcus neoformans*), jež vyvolávají vážné onemocnění, roznáší asi 5 % evropských ptáků.



Obr. 4. Závislost mezi počtem mikroorganismů a aerosolových částic v 0,028 m³ čistého vzduchu

■ **Vzduchotechnické zařízení**

Intenzivním zdrojem mikroorganismů může být i teplo-vzdušné vytápění a kterýkoli ventilační a klimatizační systém (obr. 5). Zvláště chladný cirkulující vzduch může vyvo-



Obr. 5. Počet bakterií ve vzduchu operačního sálu s klimatizačním zařízením
 - - - klimatizace vypnuta, +++ klimatizace v chodu,
 C – uprostřed místnosti, W – u okna

lávat astma, dýchací problémy, nachlazení, angínové bolesti v krku, ucpaný nos, nebo naopak řídkou rýmu. Příčinou jsou bakterie, viry a spory plísní roznášené klimatizací. Nejvíce se na tom podílejí zařízení filtrační, zařízení pro zvlhčování a odvlhčování vzduchu, vzduchovody a dvojité stropy.

■ **Filtrační zařízení**

Ve filtrech se zachycují nejen nečistoty z upravovaného vzduchu, ale i všechny druhy mikroorganismů. Pokud se filtry pravidelně nečistí nebo nevyměňují, jsou mikroorganismy strhávány zpět do proudícího vzduchu, a to často ve značných nárazových dávkách. Mohou se však i intenzivně množit, zvláště plísně, je-li povrch filtrů vlhký, což se může stát i u nenasyčeného vzduchu (většinou při relativní vlhkosti vzduchu větší než 70 %).

■ **Zvlhčovací zařízení**

Při pokusech bylo zjištěno, že přivádí-li se do jedné místnosti vzduch klimatizovaný a do druhé sterilizovaný, koncentrace mikroorganismů v prvním případě značně vzrůstá. Stejně mikroorganismy jako ve vyšetřovaném ovzduší byly zjištěny i ve vodě sprchovací komory, ačkoli nádrže byly před pokusem pečlivě vyčištěny. Měření ukázalo, že mikroorganismy (hlavně bakterie a plísně), které se dostaly do vody z upravovaného vzduchu, mají příznivé podmínky k množení v teplé vodě komory a s vodou jsou do vzduchu ve značné míře rozprašovány. U lidí v kontaminované místnosti se v některých případech objevila horečka ze zvlhčovačů (humidifier fever). Vhodnější je vlhčení vzduchu rozprašováním horké páry.

■ **Odvlhčovací zařízení**

Nejjednodušší odvlhčovací zařízení je založeno na ochlazení upravovaného vzduchu pod rosný bod, tedy na kondenzaci odlučované vodní páry. Přítomnost vody opět přináší riziko množství mikrobů, a to i v případě, že jde o vodu poměrně chladnou – intenzivně se množí zvláště bakterie, pro většinu plísní není nízká teplota vody příznivá.

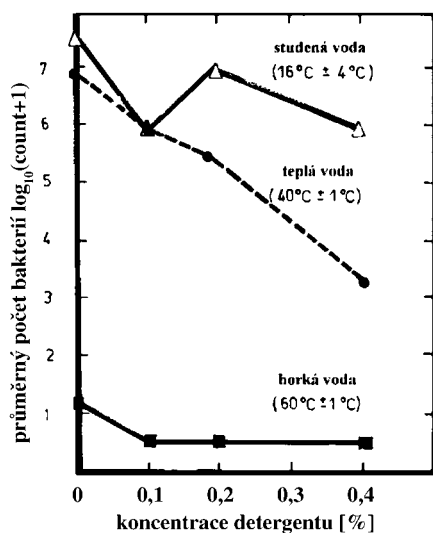
■ **Vzduchovody a dvojité stropy**

Ve vzduchovodech a dvojitých stropích bývá hlavním nositelem mikroorganismů pevný aerosol – prach. I zde však bývá nebezpečí kondenzace vodní páry z dopravovaného vzduchu v místech, kde potrubí prochází chladným prostředím a není dostatečně izolováno. Viry a plísně pak mají v takovém prostředí téměř neomezenou životnost. Ve vzduchovodech přežívají i plísně, jež produkují silně toxickou látku aflatoxin, která je schopná zkorodovat i jinak velmi rezistentní plastové potrubí. Nositelem mikrobů může být ve vzduchovodech i hmyz. Ve středisku jaderného výzkumu v Aldermastonu se v roce 1983 například ve vzduchovodech rozmnožily blechy tak, že bylo nutné přerušit provoz a provést dezinfekci potrubí.

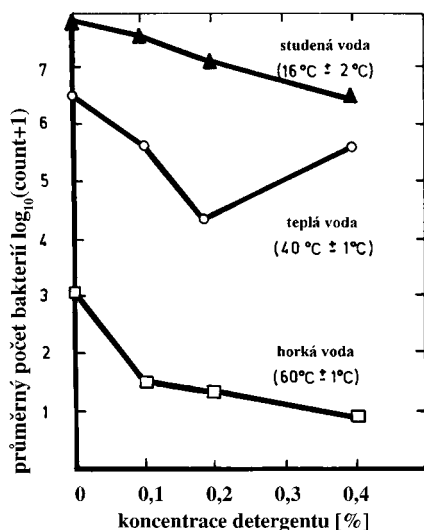
■ **Člověk**

Člověk v interiéru budovy je kontinuálně zdrojem četných zárodků, jež dodává do místností jednak přímo (např. respirační viry), jednak s různými pevnými a kapalnými aerosolovými částicemi. Nejčastěji jsou přenášeny na kůži a v oděvu, z něhož se uvolňují v závislosti na druhu látky, a zvláště s intenzitou pohybu. Při přecházení mnohonásobně stoupá uvolňování mikroorganismů, než když je člověk v klidu. V syntetických materiálech, které nelze prát při vyšších teplotách, zůstává mnoho mikroorganismů i po praní, což nemálo přispívá k jejich kumulaci v interiéru. Trpí i samotné oděvy, zvláště po několikerém vyprání. Bylo například zjištěno značné povrchové poškození bavlněných tkanin stafylokokem Aureus, zatímco nylonová tkanina zůstala nepo-

rušena. Nízkou teplotu při praní nelze nahradit zvýšenou koncentrací detergentů (obr. 6, obr. 7).



Obr. 6. Pokles počtu bakterií po vyprání tkaniny z nylonu a bavlny



Obr. 7. Pokles počtu bakterií po vyprání tkaniny z vlny, nylonu a bavlny

Mikroorganismy, které se dostávají do ovzduší při hovoru, kašli nebo kýchní, zůstávají ve vlhkém prostředí dlouho na jemných vodních kapkách, které nesedimentují (podléhají pouze Brownovu pohybu). Doba přetrvávání kapének ve vzduchu a význam tohoto přenosu závisí na jejich velikosti. Například u streptokokových infekcí bylo experimentálně prokázáno, že vzdálenost do 2-3 m je kritická, kdy větší kapénky s velkým množstvím bakterií zasahují vnímavé jedince. Pokud kapénky padají do prachu a vysychají, nejsou již jako zdroj infekce pro respirační trakt člověka velkým nebezpečím. Větší koncentrace mikrobů je u podlahy (20 až 95 kolonií na 64 cm² za dvě hodiny) než ve výši 1,5 m (20 až 40 kolonií).

Stavební konstrukce

Plísně se objevují v trámech, dřevu a zdívu, na spodní straně podlahových krytin, na vnitřní omítce, malbě, tapetách, rohožích v koupelnách i na plastových rámech oken. Pohy-

bem vzduchu (chůzí, stláním, úklidem atd.) se z nich uvolňují spory do ovzduší, kde setrvávají často déle než 90 minut, a odtud se dostávají do organismu člověka. Ke klíčení potřebují plísně vysokou vlhkost, méně náročné jsou na živiny během růstu. Jestliže tedy spory na určitém místě vyklíčí, je pravděpodobné, že se tam budou rozrůstat, i když třeba pomalu. Typickým příkladem je dřevomorka domácí – houba, která pro růst potřebuje vlhkost, ale je schopná si ji zajistit i ze vzdálenějších míst. Pro vyklíčení jí stačí lokální vlhkost a dále se šíří i suchým dřevem, a dokonce i maltou mezi cihlami. Likvidace pak vyžaduje náročnou a precizní práci.

Z podlahových krytin je nejčastěji napadáno PVC se spodní textilní izolační vrstvou nebo jutovou podložkou. Příčinou je pokládka na betonový podklad s vyšší vlhkostí (vlhké dřevotřískové desky by se neměly v podlahové konstrukci vyskytovat). Nášlapná vrstva zabraňuje odpařování vody, která se hromadí v textilní izolační vrstvě a umožňuje růst plísní. Vrstva lepidla není překážkou, neboť je natolik propustná, že umožní její transport do textilní podložky v dostatečném množství.

V omítce začínají růst plísně přibližně při obsahu hmotnostní vlhkosti 8-10 %, což v praxi znamená při relativní vlhkosti vzduchu 80 %, tj. nikoliv až při kondenzaci vodní páry na povrchu zdiva. U neznečištěných povrchů musí být působení dlouhodobé, u zašpiněných stáčí i poměrně krátké denní periody. Nezáleží na druhu omítky, nátěry a tapety však mohou výrazně vznik plísní podpořit (rozhodující je poslední povrchová vrstva) [2].

Biologický účinek

Pokud je exponovaným subjektem člověk, mohou být tímto účinkem různá onemocnění interní a kožní nebo alergické syndromy. Subjektem však mohou být též potraviny, léčiva apod., pak hovoříme o jejich kontaminaci. Dále jsou zmíněna některá onemocnění, především si zaslouží pozornost viry způsobující **onemocnění z nachlazení** (common cold viruses). Asi polovinu onemocnění způsobují rhinoviry, o druhou polovinu se dělí coronaviry, adenoviry, parainfluenza viry, chřipkové viry, respirační syncytial viry, enteroviry, mycoplasma, z čehož 10 % případů způsobují viry zatím neznámé [6]. Nejčastěji přežívají mnoho hodin na kapičkách vody (5 μm nebo menších) a mohou být příčinou astmatických záchvatů dětí a dospělých (80 až 90 % všech případů).

Legionářská nemoc vzniká vdechnutím vodního aerosolu s vysokou koncentrací bakterií Legionell. K přenosu mezi lidmi nebo zvířaty nedochází. Jde o plicní onemocnění dvojího druhu – legionářskou nemoc (Legionellose, Legionnaires' disease) a pontiackou horečku (pontiack fever). První hlášený případ byl zaznamenán v hotelu Bellevue-Staford v americké Philadelphii, kde během setkání veteránů (legionářů – odtud název) z války ve Vietnamu onemocnělo novým druhem zápalu plic 182 účastníků z 4 500, z čehož 29 zemřelo. Původcem onemocnění je bakterie Legionella pneumophila, resp. celý soubor Legionell (Legionella sp.), které se množí v teplé vodě sprchovacích systémů, chladicích věžích klimatizačních zařízení a elektráren, ve starších typech klimatizace i ve vodovodních sítích. Legionella sp. kromě zápalu plic může způsobit také pontiackou horečku s průběhem podobným chřipce. Více než 5 % veškerých zápalů plic je nyní v USA způsobováno Legionellami. Přenesly se i do Evropy, např. roku 1985 v nemocnici ve Staffordu onemocnělo 157 pacientů, z toho 37 zemřelo. Tyto bakterie se poměrně běžně vyskytují ve sladké vodě (v mořské nikoli) v nepatrné koncentraci (1 mikrob na 1 litr), která však prudce

vzrůstá při teplotě vody vyšší než 20 °C až na 10⁸ v 1 litru. Nad 50 °C schopnost množení rychle klesá a nad 60 °C bakterie zcela mizí, stejně tak mizí účinkem ultrafialového záření (30 000 μWs/cm²), chlorováním (2 mg/l volného chlóru) a ozonizací (0,8 mg/10³).

U zdravého člověka lze onemocnění většinou zvládnout antibiotiky. Ohroženější jsou lidé s oslabenou imunitou, ale také lidé nad 50 let, kuřáci, lidé s chronickým onemocněním, muži dvaapůlkrát častěji než ženy.

Spory černých plísní (zvláště *Aspergillus niger*) se usazují v záhybech plicních sklípků a drasticky snižují funkci plic, což se projevuje bolestmi hlavy, letargií, nervozitou, návaly krve do hlavy, ale i závratěmi, akutními dýchacími potížemi a silnými astmatickými záchvaty [4]. Kromě toho může docházet ke svědění očí a dermatitidám. Výrazný nárůst této nemoci, nazývané alergická alveolitis, je zaznamenáván od sedmdesátých let, kdy došlo k hromadnému rozšíření zvlhčovačů vzduchu v tiskárnách a dalších provozech (např. v průmyslu zpracovávajícím papír, kde je vysoká vlhkost nutná k potlačení statických nábojů). Je způsobována nejen nedostatečnou údržbou zvlhčovačů, ale může se vyskytnout všude, kde se v důsledku vlhkosti stavebních konstrukcí objevuje plíseň.

Mykotoxiny některých plísní mohou být i příčinou nádorových onemocnění. Za nejzávažnější jsou považovány aflatoxiny, produkované plísní *Aspergillus flavus*, nejčastěji se vyskytující na skladovaném obilí a burských oříškách, odkud se uvolňují do okolního vzduchu.

Cryptococcus neoformans, spory hub odolné proti vyschnutí, se dýcháním dostávají přímo do plic. U zdravých lidí jsou ihned zneškodněny, ale u imunitně oslabených osob (nemocných s lymfatickým uzlovým syndromem, po transplantacích, s chronickým onemocněním ledvin, nositelů AIDS) mohou proniknout plicními sklípkami do krevního řečiště, odtud do mozku, a to i se smrtelným následkem.

Horečka z vodních zvlhčovačů (humidifier fever) je alergie na vdechnutí mikrobiálních částic (prvků) ze sprchovací komory, projevující se malátností, nevolností, kašlem, dýchavičností a bolestmi hlavy.

Požadavky na mikrobiální mikroklima

Prvním kritériem je zjištění, zda nedochází ke kondenzaci vodní páry na povrchu stavebních konstrukcí, tj. zda není překročena teplota rosného bodu. Tuto podmínku stanoví jednak ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov [8], jednak ČSN 06 0210 Výpočet tepelných ztrát budov [9]. Podle této normy byly stanoveny rosné body povrchové teploty stavebních konstrukcí v interiéru (tab. 2). Dalším kritériem je únosná koncentrace mikrobů. Dříve se udávala pouze pro operační sály, např. v USA max. 35-70 v 1 m³, nyní se předepisuje i pro domácnosti a neprůmyslové prostředí. Podle předpisů Evropské unie se zavádějí kategorie znečištění velmi nízké až velmi vysoké, a to zvláště pro domácnosti a neprůmyslové prostředí (tab. 3, tab. 4). V Česku navrhuje Státní zdravotní ústav maximálně 5 000 bakterií na 1 m³ a maximálně 500 spor plísní na 1 m³ [1]. Nebezpečí infekce však závisí více na druhu mikrobů než na jejich koncentraci. Ta je kritériem, do jaké míry je vzduch aseptický.

Na první pohled by se zdálo, že cílem by mělo být úplné, nebo alespoň co nejdokonalější, odstranění mikrobů ze vzduchu. To je však žádoucí jen ve speciálních případech,

Tab. 2. Vnitřní teplota a relativní vlhkost vzduchu ve vytápěných místnostech trvale užívaných obytných budov [9]

Místnost	Výpočtová vnitřní teplota [°C]	Relativní vlhkost vzduchu [%]	Rosný bod [°C]
obývací pokoj, ložnice, jídelna, pracovna, dětský pokoj	20	60	12,10
kuchyň	20	60	12,10
koupelna	24	90	22,25
klozet	20	60	12,10
předsíň, chodby aj.	15	60	7,30
schodiště	10	60	2,25

Tab. 3. Znečištění vnitřního ovzduší bakteriemi podle Evropské unie

Kategorie	Domácnost	Neprůmyslové prostředí
	koncentrace (počet) bakterií na 1m ³	
velmi nízké	< 100	< 50
nízké	< 500	< 100
střední	< 2 500	< 500
vysoké	< 10 000	< 2 000
velmi vysoké	≥ 10 000	≥ 2 000

Tab. 4. Znečištění vnitřního ovzduší sporama plísní podle Evropské unie

Kategorie	Domácnost	Neprůmyslové prostředí
	koncentrace (počet) bakterií na 1m ³	
velmi nízké	< 50	< 25
nízké	< 200	< 100
střední	< 1 000	< 500
vysoké	< 10 000	< 2 000
velmi vysoké	≥ 10 000	≥ 2 000

jako jsou operační sály. V běžných případech dokonale sterilizovaný vzduch může znamenat vytvoření určitého skleníkového klimata, které z hlediska lidského organismu také není žádoucí – často neúměrně snižuje jeho obrannou schopnost. Vhodná je přiměřená sterilizace vzduchu snižující na přijatelnou míru počet mikroorganismů ve vzduchu úměrně požadavkům utilitární funkce uvažovaného životního prostředí (interiéru). Návrh optimálních a přípustných hodnot mikrobiálního mikroklimatu pro interiér budov podle zkušeností z USA uvádí tab. 5.

Tab. 5. Optimální a přípustná koncentrace mikrobů pro interiér

Kritérium	Parametry		Místo měření
	optimální	přípustné [7]	
koncentrace mikrobů (počet kolonií v 1 m ³)	≤ 200 cfu/m ³	≤ 300 cfu/m ³	střed místnosti (průsečík úhlopříček) 1,10 m nad podlahou

V České republice upravuje požadavky na mikrobiální mikroklima nařízení vlády č. 178/2001 Sb., částka 68, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci, a to jednak v § 22 Biologické činitele, kde je popsáno jejich zařazení do skupin podle rizika infekce (příloha č. 10 k tomuto nařízení), jednak v § 6 Větrání a klimatizovaná pracoviště, kde jsou stanoveny mimo jiné požadavky na minimální množství venkovního vzduchu a požadavek, že větrací zařízení nesmí nepříznivě ovlivňovat mikrobiální čistotu vzduchu (příloha č. 4). Biologické činitele se třídí do těchto skupin:

- biologický činitel skupiny 1, u něhož není pravděpodobné, že by mohl způsobit onemocnění člověka;
- biologický činitel skupiny 2, který může způsobit onemocnění člověka a může být nebezpečím pro zaměstnance. Je však nepravděpodobné, že by se rozšířil do prostředí mimo pracoviště. Obvykle je dostupná účinná profylaxe nebo léčba případného onemocnění;
- biologický činitel skupiny 3, který může způsobit závažné onemocnění člověka a představuje závažné ne-

bezpečí pro zaměstnance i nebezpečí z hlediska možnosti rozšíření do prostředí mimo pracoviště. Obvykle je dostupná účinná profylaxe nebo léčba případného onemocnění;

- biologický činitel skupiny 4, který způsobuje u člověka závažné onemocnění a představuje závažné nebezpečí pro zaměstnance i nebezpečí rozšíření do prostředí mimo pracoviště, přičemž obvykle účinná profylaxe nebo léčba onemocnění není dostupná.

Seznam biologických činitelů se zařazením do skupin je uveden v příloze č. 10 k tomuto nařízení.

Literatura

- [1] Bencko, V.: Health Risk of Indoor Air Pollutants: A Central European Perspective. *Indoor Environ.* 1994, 3: 213-223.
- [2] Gertis, K. – Erhorn, H. – Reiss, J.: Klimawirkungen und Schimmelpilzbildung bei sanierten Gebäuden. In: *Bauphysik Kongress Proceedings*, Berlin, 1997, pp. 241-253.
- [3] Jokl, M. V.: *Microenvironment: The Theory and Practice of Indoor Climate*. Thomas 1989, Illinois, USA, pp. 416.
- [4] Kuehn, K. A. – Garrison, R. – Robertson, L. – Koehn, R. D. – Johnson, A. L. – Rea, W. J.: Identification of Airborne Microfungal Populations from Home Environments within the Dallas Fort Worth (Texas) Region. *Indoor Environ.* 1, 1992, 1: 285-292.
- [5] Lavoie, J. – Comtois, P.: Microbial Decontamination of Ventilation Systems. *Indoor Environ.* 2, 1993, 2: 291-300.
- [6] Myint, S. H.: Common Colds, Asthma and Indoor Air Quality. *Indoor Environ.* 3, 1994, 3: 274-277.
- [7] Robertson, L. D.: Monitoring Viable Fungal and Bacterial Bioaerosol Concentrations to Identify Acceptable Levels for Common Indoor Environments. *Indoor Built Environ* 6, 1997, 6: 295-300.
- [8] ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov. ČNI, rok 2002.
- [9] ČSN 060210 Výpočet tepelných ztrát budov. ČNI, rok 1994.

Jokl, M.: Microbial Hazard in Interiors of Buildings

Microbial (bioaerosol) microclimate is a constituent of the indoor environment of a growing importance at present. The number of microorganisms within an interior continuously increases. Besides "common cold viruses" causing also 80 – 90 % asthmatic fits of children and adults, moulds are the most inconvenient, occurring already at 80 % of relative air humidity. Legionnaires' disease is the best known at present. These bacteria are released from water and transferred by air. But the greatest source of microbes is man followed by air handling systems and building constructions especially if contaminated by moulds.

Jokl, M.: Bedrohung durch Mikroben im Gebäudeinnern

Das mikrobielle Mikroklima (auch Bioaerosol-Mikroklima) ist eine Konstituente des inneren Milieus, deren Bedeutung gegenwärtig wächst. Die Anzahl von Mikroorganismen im Gebäudeinnern erhöht sich ständig, wobei dies außer Erkältungskrankheiten verursachenden Viren, die gleichzeitig auch die Ursache von 80 bis 90 % asthmatischer Anfälle bei Kindern und Erwachsenen sind, Pilze sind, die bereits bei einer Luftfeuchtigkeit von 80 % auftreten. Die bekanntesten Bakterien sind die aus dem Wasser freigesetzten und durch die Luft übertragenen Legionellen. Die größte Mikrobenquelle ist der Mensch selbst, aber es sind auch Lüftungstechnische Anlagen und schließlich auch Baukonstruktionen, besonders, wenn sich Pilze an ihnen festsetzen.

FLOIR[®] ARCH
 19. MEZINÁRODNÍ STAVEBNÍ VELETRH
 PRAŽSKÝ VELETRŽNÍ AREÁL LETŇANY
23. – 27. 9. 2008

Optimální strategie čištění fukoidových pískovců

Ing. Michal BALATKA

Technická univerzita v Liberci

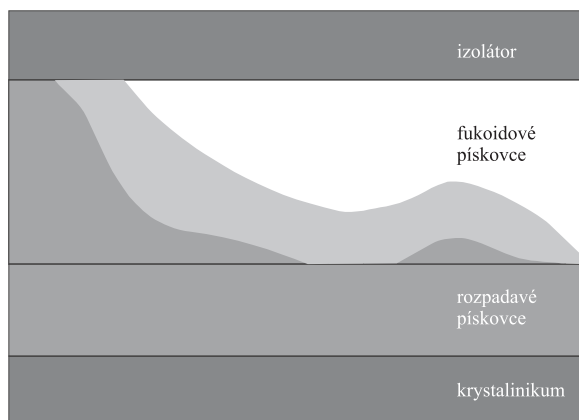
Dílčím problémem při odstraňování následků po chemické těžbě uranu v severních Čechách je vyčištění málo propustného souvrství fukoidových pískovců v nadloží velmi dobře propustných vrstev rozpadavých pískovců. Článek popisuje postup vyhledání efektivních sanačních postupů likvidace kontaminantu z přípustných technologických alternativ. Kritériem hodnocení jsou jednotkové náklady likvidace daného množství kontaminace.

Úvod

Ve strážském bloku severočeské křídly probíhá rozsáhlá sanace hominového prostředí po chemické těžbě uranu. V cenomanském kolektoru se nachází více než 4,5 mil. t rozpuštěných látek. Kolektor je tvořen dvěma souvrstvími. Spodní rozpadavé pískovce jsou mocné 15-25 m a dobře propustné. Nadložní fukoidové pískovce mají mocnost okolo 40 m. Není to zcela homogenní souvrství. Propustnost dílčích vrstev se pohybuje v řádu centimetrů až decimetrů za den a je tedy o jeden až dva řády nižší proti rozpadavým pískovcům.

Uranové zrudnění je vázáno na bazální partie cenomanu. Technologické vrty byly otevřeny výhradně v rozpadavých pískovcích. Znečištění fukoidových pískovců vzniklo v důsledku značných hydraulických gradientů, v nichž v oblastech intenzivního vtlačování převažovala vertikální složka. Svůj podíl měly i praskliny polyetylenových pažnic, protože pod spodnoturonským izolátorem měly vrty pouze jednoduché pažení.

Kontaminace fukoidových pískovců je značně proměnlivá. Místy zasahuje celou mocnost při koncentracích až 50 g/l rozpuštěných látek (převážně SO_4^{2-} , NH_3^+ , Al), většinou je však slabší, koncentrace směrem vzhůru klesají a někdy nedosahují ke stropu souvrství. Situace je schematicky naznačena na obr. 1. Ve fukoidových pískovcích se nachází 35 až 40 % veškeré kontaminace, tj. 1,5-1,8 mil. t. Objem roztoků s koncentrací nad 5 g/l činí 70-90 mil. m³. Vzhledem ke kapacitě technologických zařízení pro separaci škodlivin



Obr. 1. Schéma rozložení kontaminace v cenomanské zvodni
 slabá kontaminace silná kontaminace

z roztoků a jejich zneškodnění (bezpečné uložení, případně přepracování na využitelné produkty) lze odhadnout dobu jejich čištění minimálně na dvacet let.

V současné době je čištění soustředěno na více kontaminované a lépe propustné rozpadavé pískovce. Přitom se používají stejné čerpací vrty jako dříve pro těžbu uranu, otevřené při bázi cenomanu. Při takovém způsobu odčerpávání kontaminovaných roztoků by byla v době vyčištění rozpadavých pískovců na požadovanou úroveň snížena kontaminace fukoidových pískovců jen velmi málo. Cílem sanace je zneškodnění stanoveného množství kontaminantů tak, aby zbytková kontaminace po naředění při dlouhodobých transportních procesech neohrozila zdroje pitných vod v oblasti. Provedené modelovací práce ukázaly, že tohoto cíle nelze dosáhnout bez částečného vyčištění fukoidových pískovců.

Práce, kterou dokumentuje tento příspěvek, je zaměřena na vyhledání efektivních způsobů čištění špatně propustných kontaminovaných vrstev. Její výsledky jsou podkladem pro rozhodování, které partie fukoidových pískovců je třeba čistit a jakým způsobem.

Metodika řešení

Efektivní čištění vyžaduje přímý zásah do souvrství fukoidových pískovců. Může to být:

- odčerpávání roztoků pod stropem souvrství;
- vytěšňování kontaminace vtlačováním vody nebo mírně alkalických roztoků při čerpání z podložních rozpadavých pískovců;
- kombinace obou aktivit.

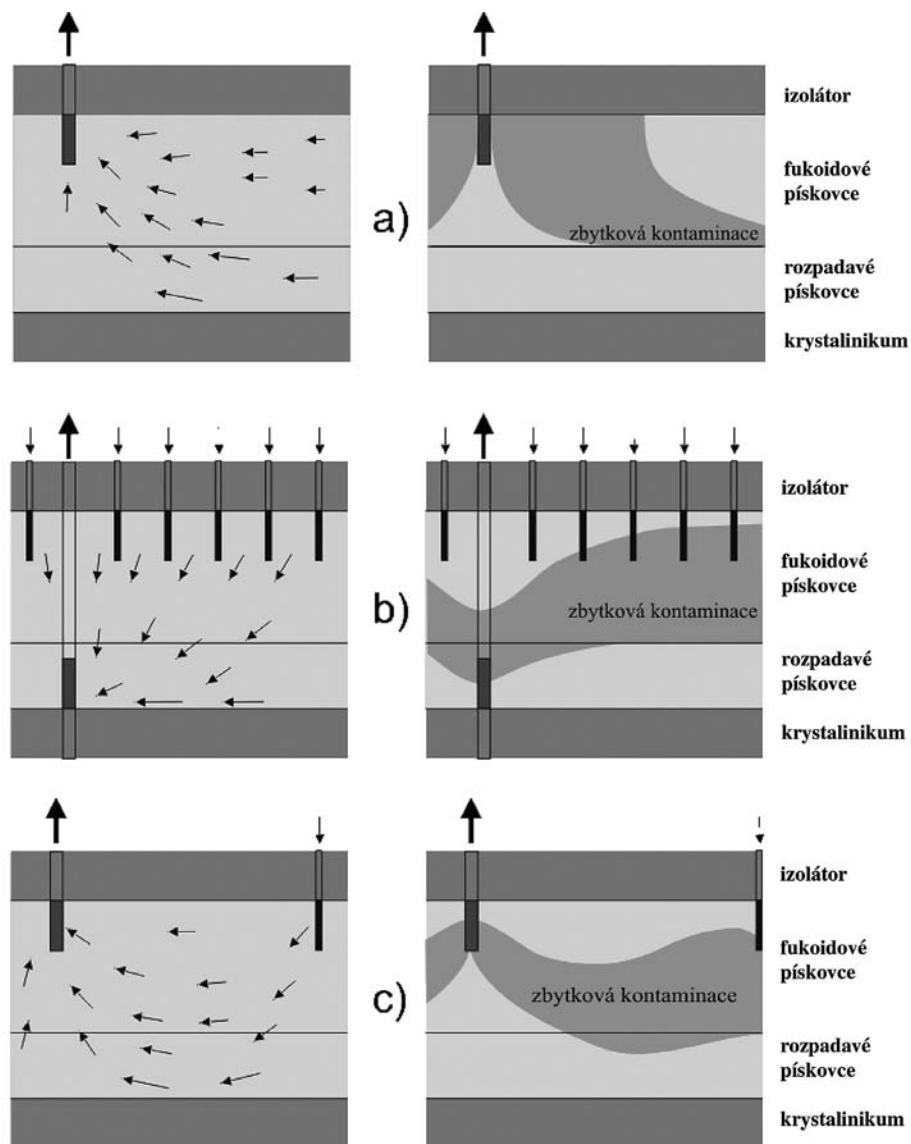
Schéma těchto postupů je znázorněno na obr. 2. V levé části jednotlivých obrázků je znázorněno proudění, v pravé rozložení zbytkové kontaminace po určité době, které charakterizuje postup čištění. Naznačeny jsou pouze látky, které se před zahájením procesu nacházely ve fukoidových pískovcích.

Pro vyhledávání efektivních způsobů čištění byly vyvinuty modelovací nástroje, které umožňují sledovat množství vyváděných látek a vývoj situace v podzemí. K porovnávání výhodnosti jednotlivých scénářů čištění slouží technologicko-ekonomická nadstavba modelu.

Samostatné čerpání charakterizuje obr. 2a. Vtláčeční vrty byly v případě čerpání z podložních rozpadavých pískovců (obr. 2b) rovnoměrně rozloženy v celé ploše s různou hustotou (4-5 vrtů/ha), v případě čerpání z fukoidových pískovců (obr. 2c) po obvodu oblasti. Variantně byla měněna velikost plochy připadající na 1 čerpací vrt (v rozmezí 3 až 30 ha). Počáteční rozložení kontaminace bylo voleno v několika variantách tak, aby odpovídalo nejčastěji se vyskytujícímu typu na ložisku.

Technologický efekt

Prvním krokem řešení je simulace průběhu podzemních procesů (proudění a transportu) v závislosti na uspořádání vrtné sítě. Technologický efekt je vyjádřen množstvím látek, které byly z fukoidových pískovců vyvedeny. Uspořádání vrtů vychází z konkrétní situace na ložisku. Kapacita čerpacího vrtu je standardně 300 l/min. Takovým vrtem lze čistit



Obr. 2. Alternativy postupu čištění

a – čerpání z fukoidových pískovců, *b* – vytěšňování jejich kontaminace a čerpání z rozpadavých pískovců, *c* – vtlačení i čerpání z fukoidových pískovců

různě velkou plochu. Při čerpání z podložních vrstev lze využít současné sanační vrty, pro přímé čerpání z fukoidových pískovců jsou nezbytné vrty nové. Na nejvíce kontaminovaných úsecích byly pro těžbu uranu použity čtvercové vrtné sítě s modulem 28 x 28 m. Tyto vrty lze upravit pro vtlačení do fukoidových pískovců, vzhledem k malému průměru je však nelze využít pro čerpání.

Pro simulaci sanačního procesu byl použit model na bázi smíšené – hybridní formulace metody konečných prvků, vyvinutý ve spolupráci Technické univerzity v Liberci a s. p. DIAMO, který realizuje sanační práce ve Stráži pod Ralskem. V první etapě byly provedeny variantní modelové výpočty simulující průběh vyvádění látek v závislosti na rozložení kontaminace (velikost dílčí kontaminované plochy, vertikální koncentrační profil) a technologickém postupu čištění. Při tom byla sledována koncentrace zbytkové kontaminace.

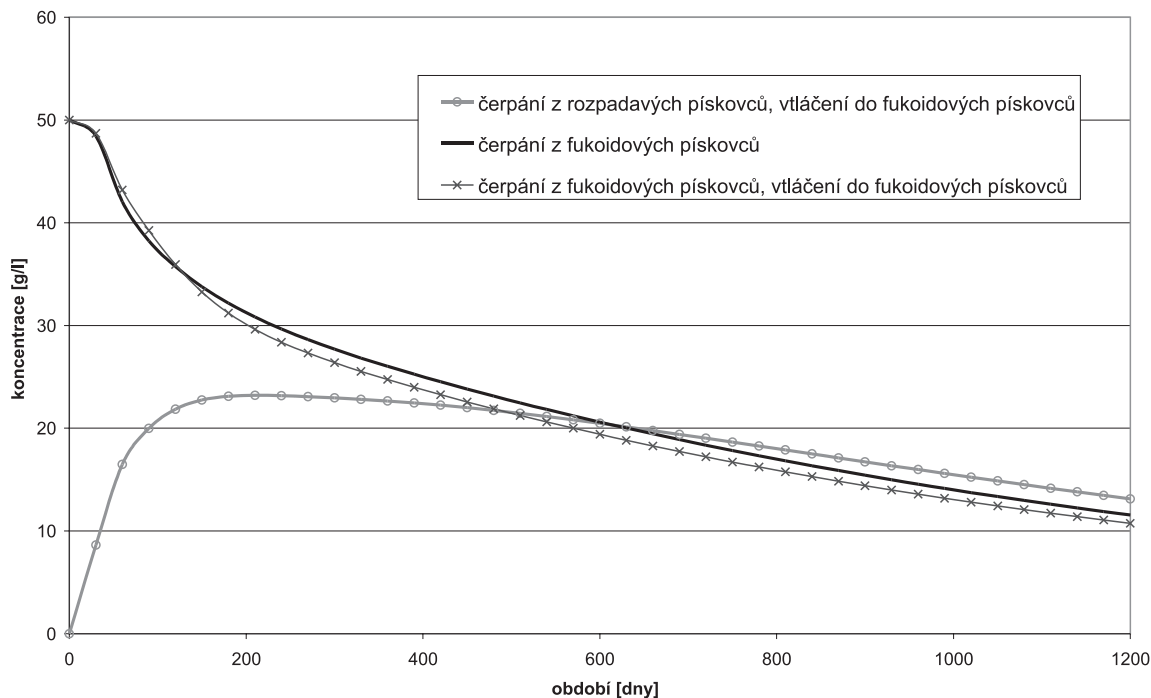
Ekonomická efektivnost

Ve druhé etapě byl zformulován ekonomický model zahrnující jednorázové náklady na pořízení vrtů (s respektová-

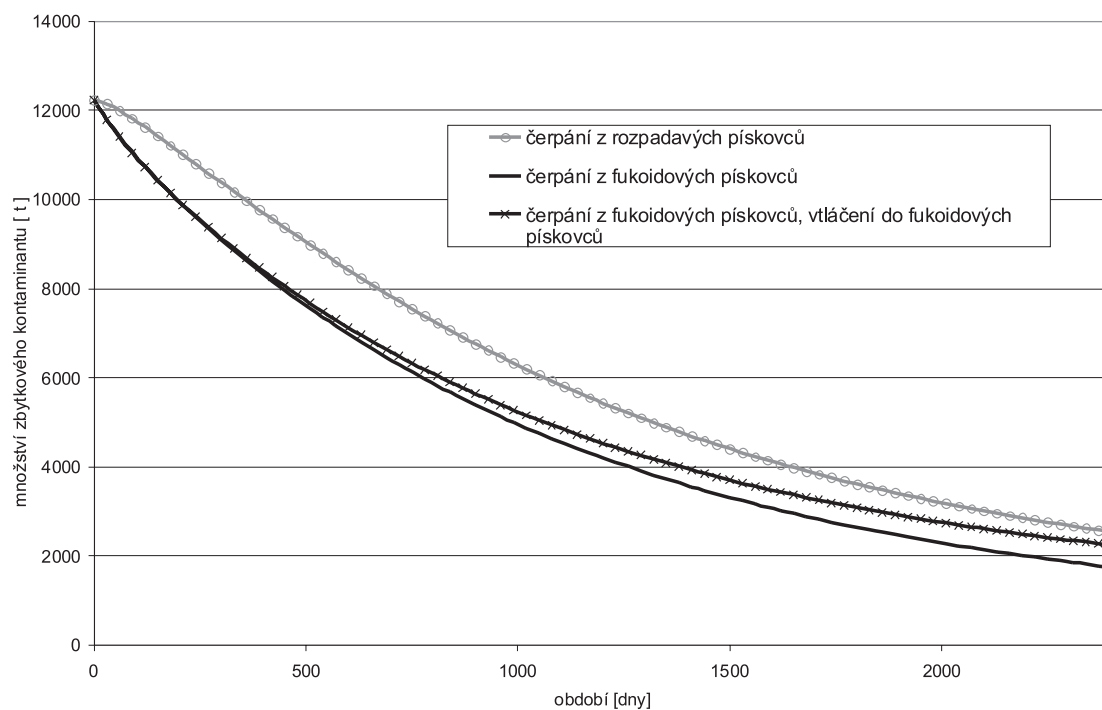
ním využitelnosti stávajících vrtů po těžbě uranu v jednotlivých variantách) a fixní a proměnné náklady sanačního provozu. Proměnné náklady byly vyjádřeny v závislosti na intenzitě procesu (čerpání a případně i vtlačení na jednotku plochy). Celkové náklady sanace v nákladovém modelu jsou vztaženy k jednotkové ploše 1 ha a tvoří je čtyři základní položky. Struktura použitého nákladového modelu je uvedena v tab. 1.

Tab. 1. Struktura nákladového modelu čištění

Nákladová skupina	Vstupní parametry
jednorázové náklady	pořízení, vystrojení a úprava čerpacího vrtu, úprava a připojení vtlačecího vrtu
vtlačení	jednotky objemu
čerpání	jednotky objemu
provoz jednotkové plochy	1 rok/1 ha



Obr. 3. Vývoj koncentrace v čerpaném roztoku při alternativních postupech čištění



Obr. 4. Množství zbytkové kontaminace v závislosti na stupni vyčištění

První skupinu tvoří jednorázové náklady. Představují náklady na přípravu vrtné sítě a jsou investovány ještě před zahájením sanačního procesu. Náklady na pořízení čerpacího vrtu představují prostředky na hloubení a následné zapažení vrtu. Tato položka se do modelu zahrne pouze v případě, že jde o čerpací vrt otevřený ve fukoidových pískovcích. Pokud je otevřen ve vrstvě rozpadavých pískovců, budou tyto náklady v modelu nulové, protože takto otevřené vrtu se využívají k sanaci vrstev rozpadavých pískovců.

Náklady na vstrojení vrtu zahrnují zejména částky na pořízení čerpadel, připojení vrtu k potrubním řadům a jeho napojení na energetický zdroj. Další položky představují náklady na úpravu vrtů ke vtlačení do vrstev fukoidových pískovců a na jejich připojení k potrubní síti.

Provozní náklady tvoří především částky na spotřebu elektrické energie při čerpání a transportu roztoků, materiálu na údržbu čerpadel a potrubí, další obslužné činnosti (např. autodoprava) a na mzdy personálu. Tyto náklady byly odvo-

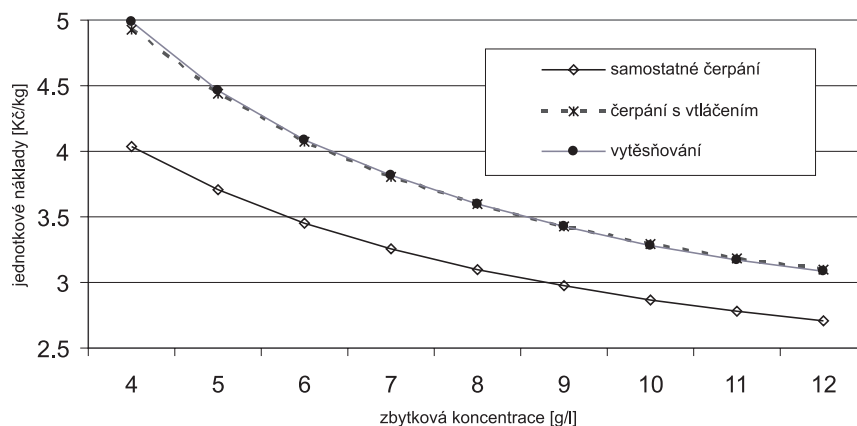
zeny z účetní evidence. Zde hlavní problém představovalo rozlišení položek těsně spjatých s intenzitou procesu (objem čerpaných a vtláčených roztoků) a položky závislé na trvání procesu (údržba povrchových zařízení, monitoring, osvětlení, podstatná část mezd a řada dalších), protože střediska zajišťující některé činnosti (např. strojní, elektro, doprava) vykazovala náklady v souhrnu.

Kritériem efektivnosti technologických alternativ čištění byly jednotkové náklady na kilogram odstraněné (vyvedené) kontaminace. Podíl jednorázových nákladů s vyvedeným množstvím klesá, ale proměnné náklady rostou, neboť na každý další kilogram kontaminantu je při klesající čerpané koncentraci (obr. 3) třeba vyčerpat větší objem roztoku. Výsledné jednotkové náklady jsou pak součtem obou položek. Náklady se vztahují na časový interval od zahájení procesu čištění k období dosažení určitého stupně vyčištění.

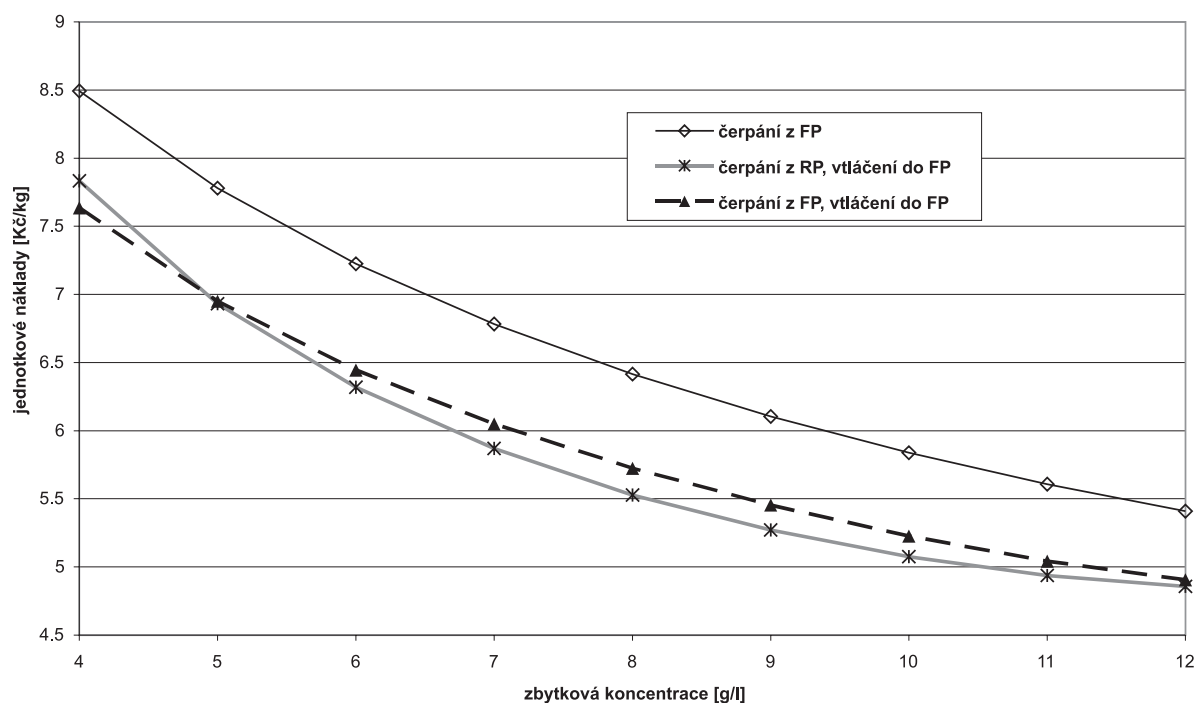
Efektivnost pro dílčí plochy

Šetření bylo provedeno odděleně pro jednotlivé typy znečištění. Byly rozlišeny mírně, středně a silně kontaminované plochy s ohledem na jejich velikost – od relativně malých čoček menších než 10 ha až po velké souvislé plochy nad 50 ha. Čočky o velikosti 5-15 ha byly posuzovány individuálně, pro větší plochy byla kromě uvedených technologických postupů navíc ověřována i různá hustota vrtných sítí. Grafy na obr. 5 až obr. 7 jsou ukázkou dílčích výsledků.

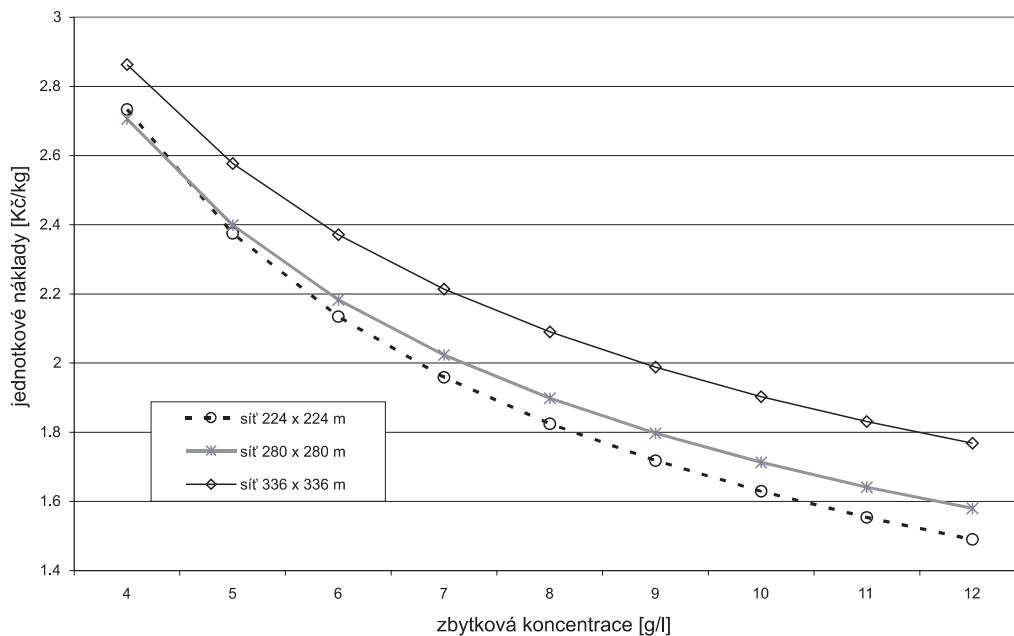
Z více než 250 dílčích hodnocení vyplynuly následující závěry. Menší kontaminované plochy do cca 30 ha lze nejlépe čistit jedním čerpacím vrtem. Při ploše do 12 ha je nevhodnější pouze samostatné čerpání z vrtné otvory otevřeného pod stropem fukoidových pískovců (obr. 2a). Jak je patrné z obr. 5, tato technologie je výhodnější než vytěsňování. Pro plochy o velikosti 12-30 ha je vhodnější čerpání z jednoho vrtného do-



Obr. 5. Efektivnost odstraňování čochy o velikosti 8 ha se střední kontaminací



Obr. 6. Efektivnost odstraňování čochy o velikosti 15 ha se střední kontaminací

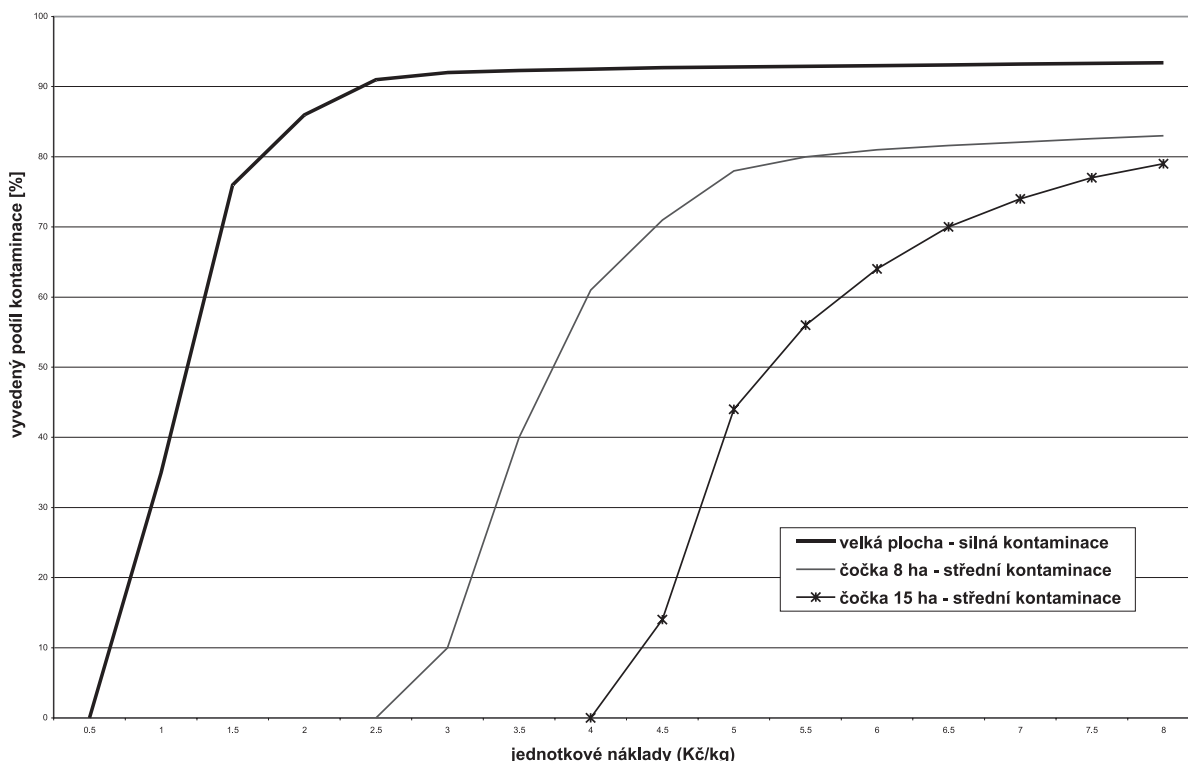


Obr. 7. Efektivnost čištění velké souvislé plochy se silnou kontaminací

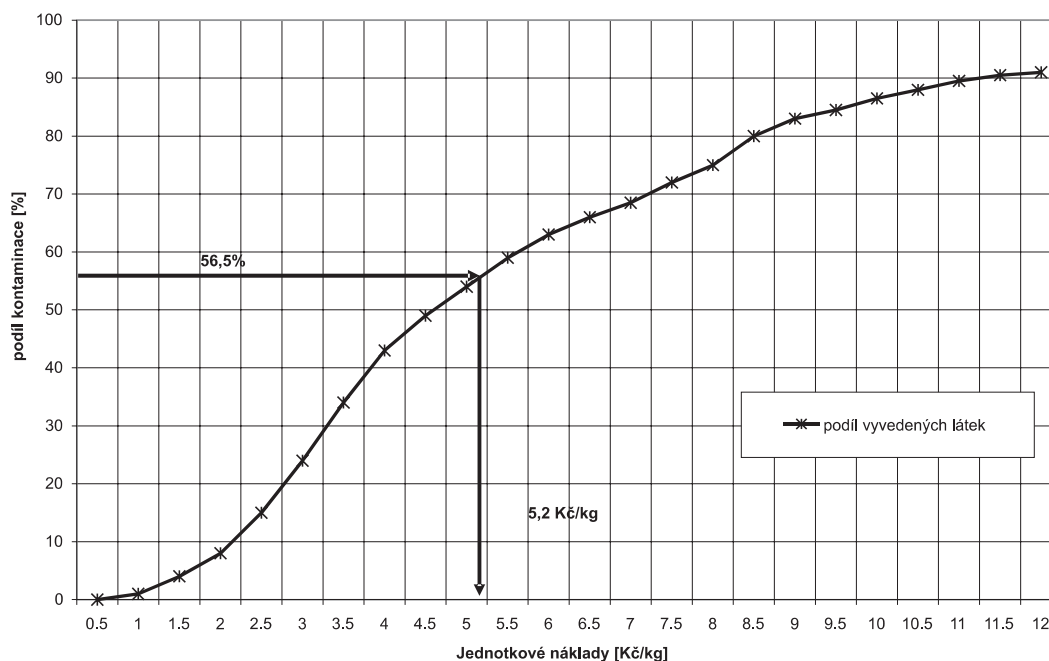
plnit vytěšňováním vodou. Při větších nárocích na čištění (z důvodu silnější počáteční kontaminace nebo přísnějších cílových parametrů) je vhodné uspořádat vtlačení po obvodu kontaminace a čerpání z fukoidových pískovců podle obr. 2c, při akceptovatelné vyšší zbytkové kontaminaci volit plošné vytěšňování a čerpání z podložních rozpadavých pískovců podle obr. 2b. Dokladem efektivnosti takového postupu je přehled výsledků na obr. 6.

Velké souvislé plochy by měly být čištěny výhradně ploš-

ným vytěšňováním (obr. 2b) s vytvořením sítě čerpacích vrtů v rozpadavých pískovcích. Rozměry ověřovaných sítí vycházely rovněž ze základního modulu 28 m. Hustota sítě čerpacích vrtů je důležitější než hustota sítě vtlačecích. Při silné kontaminaci (obr. 7) je nejvýhodnější hustá síť čerpacích vrtů. Při slabé kontaminaci je patrná větší závislost na konečné úrovni čištění – při menším nároku na čištění je optimální řídká síť, při přísnějších požadavcích středně hustá a hustá síť.



Obr. 8. Závislost vyvedeného podílu kontaminace na úrovni jednotkových nákladů



Obr. 9. Princip stanovení optimální úrovně jednotkových nákladů pro volbu efektivního postupu čištění

Optimální strategie čištění

Jak již bylo řečeno, z fukoidových pískovců je třeba vyvést určité (zatím nestanovené) množství kontaminujících látek. Získané výsledky dokumentují možnost dosáhnout tohoto cíle s minimálními náklady. Pro každý typ kontaminace (plocha, koncentrace) je možné stanovit závislost vyvedeného množství na jednotkových nákladech tak, že je vybrán vždy nejefektivnější postup čištění (takový, kterým je při dané úrovni jednotkových nákladů vyvedeno největší množství kontaminace). Závislost vyvedeného podílu kontaminace na jednotkových nákladech pro případy uvedené na obr. 5 až obr. 7 ukazuje obr. 8. Poměrové měřítko je zvoleno vzhledem ke značným rozdílům v absolutním vyvedeném množství mezi jednotlivými případy.

Pro rozhodování o úrovni a způsobu čištění je třeba kumulovat tyto závislosti (s vahou jejich hmotnostního zastoupení) pro všechny identifikované výskyty kontaminace fukoidových pískovců. Po stanovení cílového parametru sanace (termínem je rok 2010) bude možné určit potřebné vyvedené množství, stanovit přijatelnou úroveň jednotkových nákladů a podle ní vybrat úseky k čištění a specifikovat pro ně efektivní postupy. Princip ukazuje obr. 10. Bude-li např. nutné vyvést z fukoidových pískovců 56,5 % kontaminace, budou odpovídající limitní jednotkové náklady na vyvedení 1 kg kontaminantu činit 5,2 Kč. K čištění budou vybrány pouze ty úseky, kde lze takových nákladů dosáhnout. Postup sanace bude pak odpovídat stanovenému optimálnímu technologickému postupu.

Závěr

Závěrem lze konstatovat, že nelze jednoznačně určit jeden ze způsobů sanace jako nejefektivnější a že v praxi se musí přihlížet jak k velikosti kontaminační čočky a koncentraci

kontaminantu, tak k požadavkům na stupeň vyčištění oblasti. Zároveň se ukazuje, že při posuzování efektivnosti sanačního postupu se nemůžeme orientovat výhradně na technologický efekt sanace (množství zneškodněného kontaminantu), ale musíme uvážit také ekonomickou stránku procesu. V našem případě se jako vhodný nástroj hodnocení efektivnosti projevil ukazatel jednotkových nákladů, který slučuje technologický i ekonomický efekt procesu. Průběžné sledování závislosti jednotkových nákladů na stupni vyčištění umožňuje tuto závislost obrátit a vybrat takový postup čištění každé dílčí plochy, který zaručí vyvedení potřebného množství kontaminantů s minimálními náklady.

Článek vznikl za podpory projektu č. 1M06047MŠMT „Centrum pro jakost a spolehlivost výroby“.

Literatura

- [1] Balatka, M.: Nalezení efektivního způsobu čištění vrstev s nízkou propustností. [Diplomová práce], TU Liberec, 2005.
- [2] Čermáková, H.: Ekonomické nástroje řízení technologických procesů. [Sborník], workshop „Aplikace numerických metod v problematice podzemního skladování zemního plynu a v ložiskovém inženýrství“, Lázně Libverda, 2003.
- [3] Kazda, I.: Numerické modelování v aplikované podzemní hydraulice. Praha, REAT 1999.
- [4] Novák, J.: Optimalizace a řízení procesů. [Sborník], workshop „Aplikace numerických metod v problematice podzemního skladování zemního plynu a v ložiskovém inženýrství“, Lázně Libverda, 2003.
- [5] Novák, J. – Severýn, O. – Mužák, J.: Uranium Mining in North Bohemia and its Impact on the Environment. In: Proceedings of XIIIth European Conference of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Vol. 4, Prague, 2003, pp. 219–239.

Balatka, M.: Optimal Strategy of Cleaning of Fucoid Sandstones

Cleaning of insufficiently permeable formation of fucoid sandstones in the rock cover of highly permeable layers of decaying sandstones is a partial problem of removing consequences of chemical mining of uranium in North Bohemia. The paper describes the process of identifying effective rehabilitation procedures of contaminant removal from available technological alternatives. Unit costs of removal of the given quantity of contamination are an assessment criterion.

Balatka, M.: Optimale Strategie zur Reinigung von Fukoid-Sandsteinen

Ein Teilproblem bei der Beseitigung der Folgen der chemischen Urangewinnung in Nordböhmen ist die Reinigung des wenig durchlässigen Schichtengefüges von Fukoid-Sandsteinen im Untergrund sehr gut durchlässiger Schichten zerfallender Sandsteine. Der Artikel beschreibt das Vorgehen zur Auswahl effektiver Sanierungsverfahren zur Liquidierung des Kontaminants aus verfügbaren technologischen Alternativen. Das Bewertungskriterium sind die auf eine Einheit bezogenen Kosten der Liquidierung der gegebenen Kontaminationsmenge.



ČVUT v Praze
Fakulta stavební

**Katedra betonových
a zděných konstrukcí**

Vás zve
na konferenci



23. – 24. září 2008
Masarykova kolej, Praha

<http://concrete.fsv.cvut.cz/beton08>

• projekty

Západní město

Realizaci výstavby samostatné městské části shora uvedeného názvu oznámila počátkem dubna developerská společnost FINEP. Atraktivní rezidenční projekty, špičková administrativní centra, centrální náměstí, obchody, restaurace, školky, sportoviště, nové parky – to vše posouvá hranice city developmentu v České republice na úroveň výstavby nových městských částí světových metropolí, jako je La Défense v Paříži, Docklands v Londýně nebo hamburské Hafen City.



Západní město bude vznikat v několika fázích. V rámci jednotlivých etap developer předpokládá uvést na trh každý rok novou čtvrť.

Území na okraji pražských Stodůlek o rozloze 375 tis. m² bude disponovat nejen strategickým umístěním díky vlastní stanici metra, ale především kompletní občanskou vybaveností. Architektonicky odlišné a originální objekty v sobě v rámci celého projektu skryjí nové byty v nejrůznějších dispozicích, stylech a materiálech od velkých bytových domů až po menší vila domy.

V první etapě výstavby, která bude dokončena v roce 2010, vznikne na rozloze 14 ha rezidenční Britská čtvrť, která vytvoří uzavřený areál s parkem včetně jezírka a dětským hřištěm. Centrální náměstí bude přirozeně navazovat na park, který vytvoří klidovou zónu doplněnou o japonskou zahradu. Předpokládaným termínem dokončení této fáze za zhruba 6 mld. Kč je rok 2012. Hlavním architektem projektu je Jan Kerel z ateliéru AHK architekti.

V několika nových administrativních centrech vznikne více než 100 tis. m² pronajímatelných ploch. Dominantou se stane desetipodlažní objekt ve tvaru diamantu. Tuto část projektu zpříjemní zelené klidové zóny uvnitř vnitrobloků s vodními plochami a protékající říčkou.

Tisková informace

• literatura

Zdeněk Bauer

Stavební stroje firmy Lanna

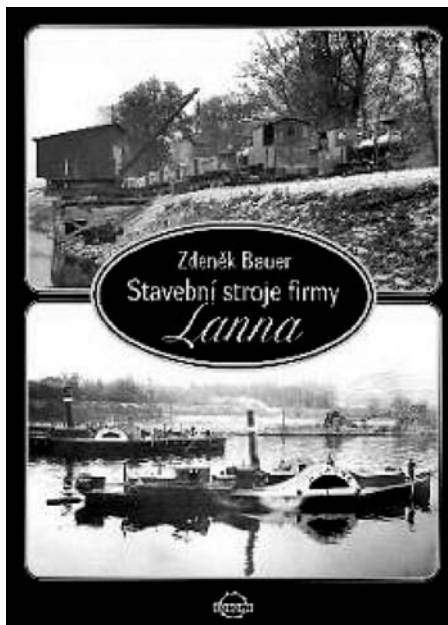
Corona, Praha, 2005, 332 s., 38 výkresů, 308 fotografií a reprodukcí, 6 map a plánek, 2 vkládané přílohy, cena 998 Kč

Dnes už si asi málokdo umí představit, jak vznikaly před více než stoletím nové splavné toky našich řek, jak na nich vyrůstaly jezy a plavební komory, jak se před osmdesáti lety stavěly železnice, jak se dobýval a dopravoval materiál při stavbě přehrad ve třicátých letech minulého století. Místo techniky plně hřmotných spalovacích motorů, jak ji známe z dnešní doby, vládlo zemním pracím až do druhé světové války a ještě chvíli po ní tlumené odfukování parních strojů. Na suchu i na vodě rýpaly zeminu korečkové a lopatové bagry, parníky odvážely naplněné čluny, které pak vykládaly mohutné elevátory a po břehu ji rozvázely po úzkých kolejích vlaky tažené parními lokomotivami. Také čerpadla roztáčely parní stroje, které na rozdíl od elektromotorů pracovaly i tehdy, když bouřka způsobila mnohahodinový výpadek proudu. Pára poháněla také drapáky, jeřáby, beranidla a silniční válce. Bez uhlí se na žádné stavbě nedalo pracovat jinak než ručně. Ostatně i stroje nechávaly dělníkům ještě hodně těžké a úmorné dřiny.

Největší stavební firmou v českých zemích, a později v Československu, bylo podnikatelství A. Lanna, později akciová společnost Lanna, sloučená od roku 1935 s podnikem inženýrů Nejedlého a Řeháka. Právě těmto firmám a jejich stavbám je věnována pozornost v této knize. Přesněji řečeno jejich strojům, které měly, stejně jako firmy a stavby, také své často pohnuté osudy. Vyprávění se v první části věnuje bohaté historii rodu Lannů a jejich firmy a využití strojů na jednotlivých stavbách od roku 1890 do znárodnění v roce 1948. Druhá část díla pojednává o vlastních strojích, kde jsou podrobněji popsány některé méně známé typy techniky a příběhy více než stovky jednotlivých strojů. V závěrečných tabulkách lze najít technické údaje o strojích a časový přehled jejich použití na jednotlivých stavbách.

Podstatnou část knihy tvoří více než 300 dosud většinou zcela neznámých a výborně reprodukováných fotografií. Na nich je technika zobrazována, obvykle širokoúhlými objektivy tehdejších kamer, uprostřed dění na staveništi, takže je možné si představit probíhající stavební činnost. Mnohé obrázky lze bez nadsázky označit za žánrové, s obdivuhodným citem pro kompozici. Detailní vyobrazení strojů pak zase často překvapí brilantní kvalitou technické fotografie. Pro více technicky orientované zájemce jsou doplněny výkresy v textu a na přílohách.

V současné době se připravuje do tisku pokračování od stejného autora, které zachycuje použití stavebních strojů ostatních českých a slovenských firem před rokem 1948.



Nová kniha, která by měla vyjít v roce 2009, je členěna do tří celků, věnovaných postupně stavitelům, stavbám a strojům. I když hlavní zájem autora patří právě strojům, lze z textu vyčíst mnoho informací o postupu staveb či o historii stavebních firem či jejich majitelů. Trojice hlavních oddílů dovoluje sledovat vzájemné prolínání firem a jejich inventáře na jednotlivých stavbách, přesuny strojů, spolupráci firem v konsorciích a mnoho dalšího. Postup nasazení strojů na velkých vodních, železničních, silničních i jiných stavbách je většinou čerpán přímo ze stavebních deníků, pokud se je podařilo najít. Ve zvláštní části jsou seřazeny tabulky k jednotlivým oddílům knihy. Seznamy jednotlivých velkých strojů s hlavními historickými a technickými údaji obsahují přes 2 300 položek. Text a tabulky doplňuje a informace tak mnohonásobně rozšiřuje velké množství kvalitních fotografií ze staveb, převážně dosud nepublikovaných. Nechybějí výkresy některých strojů včetně samostatných příloh. Nová publikace s názvem „Stroje na stavbách“ bude mít ve dvou dílech celkem více než 800 stran, přes 500 fotografií, výkresů a náčrtů.

Tisková informace

Seminář

OCELOVÉ, HLINÍKOVÉ A DŘEVĚNÉ KONSTRUKCE V EVROPSKÝCH NORMÁCH

23. září 2008

ČVUT – Fakulta stavební, Tháškurova 7, Praha 6

www.ocel-drevo.fsv.cvut.cz

STAVEBNÍ OBZOR

ROČNÍK 17 ČÍSLO 08/2008

Navigace v dokumentu

OBSAH

Jokl, M. Optimalizace mikrobiálního mikroklimatu	225
Pernicová, R. – Keppert, M. – Černý, R. – Pavlíková, M. Studium omítek pro sanaci historických objektů	230
Kočí, J. – Maděra, J. – Tesárek, P. – Černý R. Počítačová simulace experimentu v reálných podmínkách – obvodový plášť na bázi lité sádry	236
Vejmelková, E. – Černý, R. – Ondráček, M. – Sedlmajer, M. Trvanlivost vysokohodnotného betonu s alternativními silikátovými pojivy	242
Vorel, V. – Línková, L. – Rotbauerová, V. Ověřování přesnosti délkového posunu měřeného totální stanicí	246
Blažek, R. – Skořepa, Z. Měření svislých posunů totální stanicí trigonometrickou metodou	249

8 • 2008

ročník 17

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



Fakulta stavební
VUT v Brně



Fakulta stavební
VŠB TU-Ostrava



Česká komora autorizovaných
inženýrů a techniků

OBSAH

Jokl, M.

**Optimalizace mikrobiálního
mikroklimatu 225**Pernicová, R. – Keppert, M.
– Černý, R. – Pavlíková, M.**Studium omítek
pro sanaci historických
objektů 230**Kočí, J. – Maděra, J. – Tesárek, P.
– Černý R.**Počítačová simulace experi-
mentu v reálných pod-
mínkách – obvodový plášť
na bázi lité sádry 236**Vejmelková, E. – Černý, R.
– Ondráček, M. – Sedlmajer, M.**Trvanlivost
vysokohodnotného
betonu s alternativními
silikátovými
pojivy 242**Vorel, V. – Línková, L.
– Rotbauerová, V.**Ověřování přesnosti
délkového posunu
měřeného totální
stanicí 246**

Blažek, R. – Skořepa, Z.

**Měření svislých posunů
totální stanicí
trigonometrickou
metodou 249****CONTENT**

Jokl, M.

**Optimization of Microbial
Microclimate 225**Pernicová, R. – Keppert, M.
– Černý, R. – Pavlíková, M.**Study of Plasters Designed
for Renovation of Historical
Buildings 230**Kočí, J. – Maděra, J. – Tesárek, P.
– Černý R.**Computer Simulation of an
Experiment in Real
Conditions – Casting Plaster-
-Based External Skin 236**Vejmelková, E. – Černý, R.
– Ondráček, M. – Sedlmajer, M.**Effects of Alternative Silicate
Binders on the Parameters
Determining Durability
of High Performance
Concrete 242**Vorel, V. – Línková, L.
– Rotbauerová, V.**Verification of Accuracy
of Length Shift
Measured with a Total
Station 246**

Blažek, R. – Skořepa, Z.

**Measurement of Vertical
Displacements with Total
Station Using Trigonometric
Method 249****INHALT**

Jokl, M.

**Optimierung des mikrobiellen
Mikroklimas 225**Pernicová, R. – Keppert, M.
– Černý, R. – Pavlíková, M.**Studium von zur Sanierung
historischer Objekte entwor-
fenen Putzen 230**Kočí, J. – Maděra, J. – Tesárek, P.
– Černý R.**Computersimulation eines
Versuchs unter realen
Bedingungen – Außenwand
auf Basis von Gussgips . . 236**Vejmelková, E. – Černý, R.
– Ondráček, M. – Sedlmajer, M.**Dauerhaftigkeitseigenschaften
hochwertigen Betons,
der alternative
Silikatbindemittel
enthält 242**Vorel, V. – Línková, L.
– Rotbauerová, V.**Überprüfung der Genauigkeit
der mit einer Totalstation
gemessenen
Längsverschiebung 246**

Blažek, R. – Skořepa, Z.

**Messung von vertikalen
Verschiebungen mit einer
Totalstation mit der trigono-
metrischen Methode 249****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 lektorovaný 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 21. 8. 2008 Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

Optimalizace mikrobiálního mikroklimatu

prof. Ing. Miloslav JOKL, DrSc.

ČVUT – Fakulta stavební
Praha

Vzniku mikroorganismů v interiéru je možné předejít nejen omezením kondenzace vodní páry na stavebních konstrukcích a výměnou vzduchu, ale i fyzikální a chemickou sterilizací vzduchu využívající i baktericidní účinek některých rostlin.

Optimální mikrobiální mikroklima lze zajistit zásahem do zdroje mikroorganismů, do pole přenosu od zdroje k exponovanému subjektu nebo zásahem na subjektu.

Zásah do zdroje mikroorganismů

Jde v podstatě o péči o čistotu pokožky, oděvu a obuvi, izolaci nemocných, úpravu vzduchotechnických zařízení a odstranění kondenzace vody na stěnách.

Úprava vzduchotechnických zařízení

V klimatizačních zařízeních se doporučuje nahradit sprchovací komoru (pračku vzduchu) parním zvlhčovačem, u něhož je vlhčení dosahováno rozprašováním vodní páry na ohříváč. Zkondenzovanou vodu je ovšem nutné odvádět, aby se v ní mikroorganismy opět nemnožili.

Pro odvlhčování je třeba dávat přednost suchým metodám (použití absorpčních látek, např. litiumchloridu) před kondenzací na chladiči. Obdobně při filtraci je třeba preferovat suché způsoby, při nichž relativní vlhkost vzduchu při průchodu filtrem nepřesáhne 70 %. Doporučuje se zařadit filtr též na vstup čerstvého vzduchu do systému a na výstupu do klimatizovaného prostoru a věnovat větší pozornost sterilizaci vzduchu. Při použití pračky vzduchu je téměř nutností filtrace nebo sterilizace co nejbliže za pračkou.

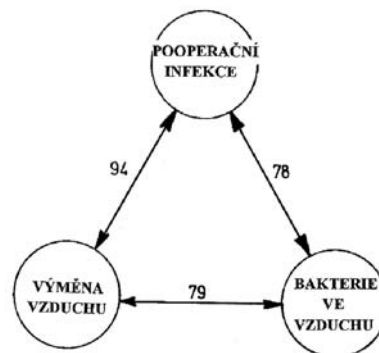
Ke vzduchovodům mezi stropy musí být přístup, aby se daly dobře čistit a v místech možné kondenzace vodní páry (průchod chladnými prostory) musí být dostatečně izolovány.

Odstranění kondenzace vody na stěnách

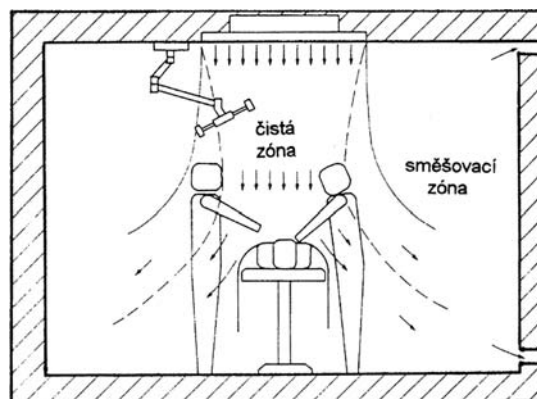
Zabráníme-li kondenzaci páry na stavebních konstrukcích, zabráníme současně tvorbě plísní v těchto místech. Lze to provést zlepšenou tepelnou izolací, vhodným vytápěním (jež by zvýšilo teplotu kontaminovaných ploch), větráním a instalací odvlhčovačů vzduchu schopných udržovat relativní vlhkost vzduchu nižší než 70 %.

Zásah do pole přenosu

Nejúčinnějším opatřením k omezení šíření mikrobů v budově je péče o čistotu interiérů. Jinak platí totéž, co platí o omezení šíření oděrů. Nepříjemný hmyz (mouchy, šváby, komáry) lze podle indických výzkumů snadno odstranit rozprašováním slabého roztoku oleje z himálajského cedru (již jednoprocenní roztok spolehlivě hubí komáry). Pro člověka je to látka příjemně vonící a levná (získává se z cedrových pilin).



Obr. 1. Vliv výměny vzduchu vyjádřený korelačními koeficienty (při prokázaném vlivu mají hodnotu 0,0-1,0; čím vyšší, tím vyšší vliv) na počet bakterií ve vzduchu a na pooperační infekce



Obr. 2. Optimální proudění vzduchu na operačním sále

Přívod čerstvého vzduchu je nejen nejjednodušším, a tudíž i ekonomicky přijatelným způsobem udržení mikrobů v optimálním rozmezí, ale i velmi účinným (obr. 1). Záleží ovšem na obrazech proudění ve větraném prostoru. Zkušenosti z operačních sálů ukazují, že optimálním řešením je vytěšňovací (displacement) větrání, při němž vzduch vstupuje do interiéru velkým průměrem malou rychlostí (kolem 0,15 m/s) a v hlavní části (čisté zóně) se nemísí se vzduchem v místnosti, pouze po okrajích výstůl dochází ke směšování (obr. 2).

Dezinfekci vzduchu, resp. přesněji přiměřenou sterilizaci vzduchu, lze rozdělit na chemickou a fyzikální. Dezinfekci se usmrtí již dospělé mikroorganismy, sterilizace je razantnější a usmrcuje i jejich vznikající formy.

Nejstarší chemická sterilizace vzduchu se zřejmě prováděla kouřem. Již ve středověku během morových epidemií se domy vykuřovaly spaliny pryskyřičného dřeva, jalovce, levandule, rozmarýny, jehličí, dehtu, síry, později dokonce střelného prachu. Experimentálně bylo zjištěno, že spaliny papíru, tabáku a trávy zabíjejí *Escherichia coli* a *Sarcina* do tří hodin. Stejného účinku bylo dosaženo spalováním pryskyřice a olejů – kouř z 1 kg těchto látek dezinfikoval 3 000 m³ vzduchu ve 30 minutách. Aktivními látkami jsou v tomto případě pravděpodobně fenoly. Velmi účinný je také kouř kadidla. V kouři papíru, bavlny a dalších látek byl nejúčinnější látkou formaldehyd. Ten je také příčinou baktericidní schopnosti spalin jehličí, jež zabíjejí *Escheria coli*, a dokonce *Streptococcus pyogenes* v 55 až 95 minutách. Kouř odpařované kyseliny mléčné a boraxu na doutnající jehličí zabíjí oba mikroby dokonce do 25 minut. Laboratorně byla připravena zvláště účinná látka, tzv. Jersonova směs (antracen, antracénový olej, chlorečnan draselný, chlorid amonný, cerezín), která však zanechává zbytky na povrchu v interiéru, takže ji lze použít jen za mimořádných okolností [1]. Na plísň však uvedené spaliny téměř nepůsobí.

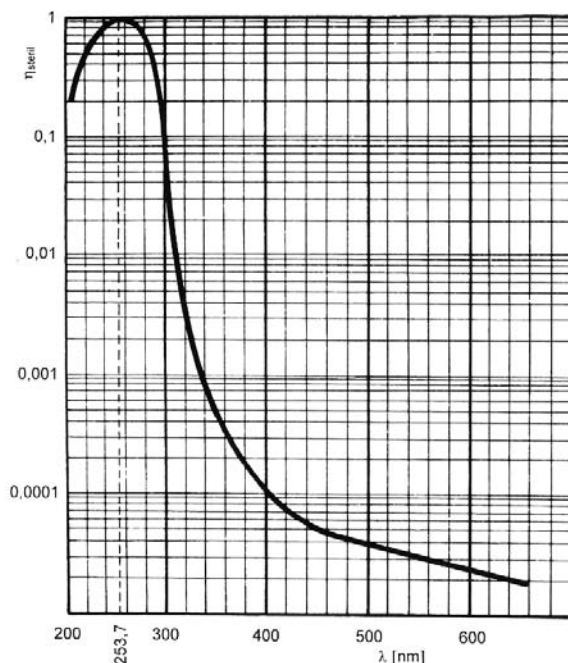
V současnosti je většinou nutné sterilizovat vzduch v místnostech, v nichž jsou stále přítomni lidé, takže lze použít pouze látky bez dráždivých a škodlivých účinků a neprodukcující oděry. V praxi se osvědčil triethylenglykol a stále častěji se používají fytoncidy produkované některými rostlinami. Triethylenglykol je bezbarvá olejovitá kapalina hustoty 1,1254 kg/l při 20 °C, bod varu má 287,3 °C. Při zkouškách se ukázalo, že má velmi vysokou germicidní schopnost (již při koncentraci 40 µg/l v vzduchu bylo během 15 minut usmrceno 90 % mikroorganismů). Tato schopnost je daleko vyšší v podobě par než jako tekutina (rovněž nejprve odpařený, a pak ze vzduchu vysrážený, má v kapalné formě daleko vyšší germicidní schopnost než před odpařením). Tato vlastnost ukazuje na značné možnosti jeho použití a snadnou úpravu vzduchotechnických zařízení ke sterilizaci pomocí této látky. Protože je účinný proti značné části vzdušné mikroflóry (i proti chřipkovému viru), bylo by jeho použití ve stavbách určených k pobytu lidí velkým přínosem.

Fytoncidy jsou součástí ovzduší každého lesa (např. 1 ha borového porostu vylučuje v létě 5 kg těchto těžkých látek, u jalovcového lesa je to dokonce 30 kg). Název navrhl v roce 1928 B. P. Tokin, který si všiml, že kašička z obyčejné cibule zamezuje i na určitou vzdálenost rozmnožování buněk kvasnic. Spolu s cibulí drží v působení fytoncidů prvenství česnek (patří rovněž k čeledi liliovitých) – ve zkumavce ničí téměř všechny druhy mikrobů. Fytoncidy působením kyslíku a dalších látek způsobují rozklad krystalické látky alliin na allicin, což je již chemický název fytoncidu. Alicin, rozpuštěný ve vodě v poměru 1 : 125 000, zastavuje růst mikrobů. Je však velmi nestálý a snadno rozrušitelný zásadami. Proto po vstupu do organismu člověka působí nesrovnatelně slaběji než ve zkumavce.

Je zřejmé, že vysazování některých druhů rostlin má význam nejen estetický, ale zlepšuje i mikrobiální mikroklima. Nejsou to jen jalovce a borovice, ale všechny jehličnaté rostliny a tují (zeravy). Rovněž japonské bonsaje mají pro kvalitu vnitřního ovzduší nezanedbatelný význam.

Fyzikální sterilizaci vzduchu lze provádět germicidními výbojkami, vatovými filtry, elektrostatickými filtry a ionizátory. Sterilizaci vzduchu germicidními výbojkami bylo experimentálně zjištěno, že záření o vlnové délce 2 537 Å

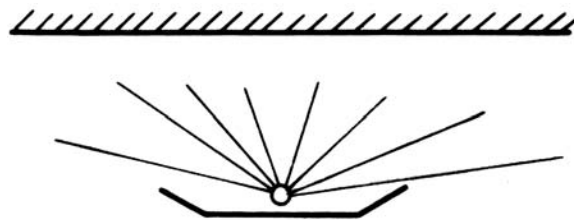
tj. 253,7 nm, jež patří mezi záření ultrafialové, má inaktivující účinek na bakterie, houby a plísň, tzn. že se zastaví dělení buněk těchto mikroorganismů a vytváření jejich kolonií. Závislost germicidní účinnosti záření na délce vlny je znázorněna na obr. 3. Je zřejmé, že záření vlnové délky 253,7 nm prochází maximem křivky. Ultrafialové záření uvedené vlnové délky se získává výbojem ve rtuťových parách uzavřených v trubiciích ze speciálního skla.



Obr. 3. Závislost sterilizační účinnosti na vlnové délce záření η_{steril} – sterilizační účinnost, λ – vlnová délka

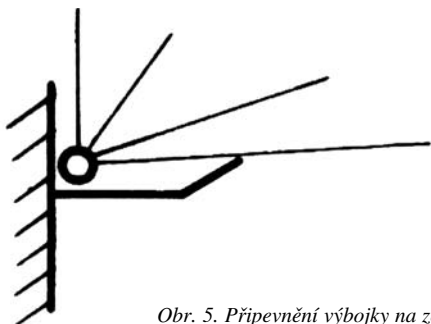
Princip je tedy stejný jako u zářivek osvětlovacích, kde viditelné záření – světlo – dostáváme transformací primárního záření přes fluoreskující povlak nanesený na vnitřní straně trubice. Tyto trubice u germicidních výbojek sestávají ze speciálního skla, které propouští paprsky o délce 253,7 nm, jež normální sklo pohlcuje. Rozměry trubice jsou voleny tak, že se trubice ustálí na 40 °C, při kteréžto teplotě vykazuje tlak rtuťových par nejpříznivější hodnotu. Výkon zářivek klesá s jejich stárnutím. Počáteční hodnoty jsou asi o 25 % vyšší.

Výbojky se montují minimálně do výše 2 m, a to tak, aby osoby v místnosti nebyly ozařovány přímými paprsky. Jsou opatřeny speciálními reflektory z hliníku, který má vysokou odrazivost pro paprsky vlnové délky 253,7 nm – asi 88 %.



Obr. 4. Zavěšení výbojky do středu místnosti

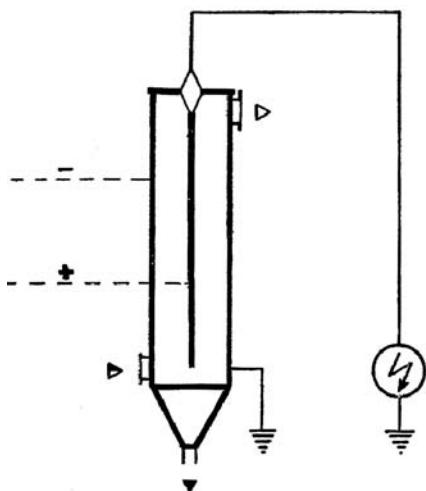
Zavěšují se buď do středu místnosti (obr. 4), nebo se připevňují na zeď (obr. 5). První způsob dává lepší výsledky, protože úhel přímého ozáření je dvojnásobný.



Obr. 5. Připevnění výbojky na zeď

Sterilizační účinek filtrů ze skleněné vaty spočívá v jejich vysoké účinnosti i pro jemné prachové částice, pomocí nichž jsou bakterie v prostředí rozptylovány. Vatové filtry při relativně nízkém odporu (proti plstěným, látkovým nebo papírovým) mají poměrně značnou kapacitu. Při užívání běžně vyráběných vložek a buněk je nutné dbát na rovnoměrné vyplnění vatou tak, aby odpor všech buněk byl přibližně stejný, neboť jinak dochází k jejich přetížení s nízkým odporem a klesá jejich filtrační účinnost. Proti vytváření kolonií bakterií na usazeném prachu je třeba vatové polštáře napouštět sterilizačními prostředky. Výměnu a sterilizaci je nutné způsobit prašností a požadované sterilítě vzduchu za filtrem. Nepříjemná je u tohoto způsobu, zvláště musíme-li dosáhnout vysoké čistoty, tlaková ztráta, jejímž důsledkem je zvýšená spotřeba energie pro pohon ventilátoru.

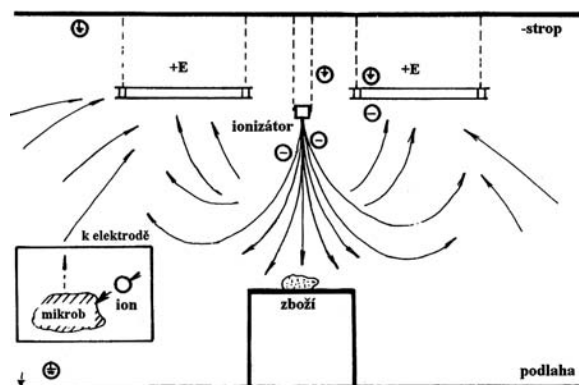
Sterilizační účinek elektrostatických filtrů spočívá ve vysoké odlučivosti nejjemnějších frakcí prachu, které běžnými filtry nelze zachytit. Vyžadují zdroj vysokého napětí, který bývá hospodárný teprve pro jednotky vyšších výkonů. Skříně, jež současně tvoří zápornou elektrodu, prochází v celém průřezu stejnoměrně pomalý proud vzduchu mezi kladnou a zápornou elektrodou, na něž je vloženo vysoké napětí. Částice získávají kladný náboj u kladné elektrody, a pak putují k záporné elektrodě, na které se usazují a jsou z ní oklepávány nebo vodou splachovány do sběrače a odtud do zásobníku, odkud jsou odstraňovány (obr. 6).



Obr. 6. Schéma elektrostatického filtru

Přístroj je určen pro zdravotnická zařízení (infekční oddělení nemocnic a poliklinik, pooperační místnosti, ordinace, čekárny, transfúzní stanice, výroby infúzních roztoků, laboratoře, zubní laboratoře, léčebné domy, jesle), restaurace, hotely, reprezentační místnosti, čítárny, kuřárny, ale i obytné místnosti, zvláště v oblastech s nevalnou kvalitou venkovního vzduchu.

Schéma zařízení na sterilizaci vzduchu ionizátory v potravinářské provozovně vidíme na obr. 7. Negativní ionty působí na mikroby dvojným způsobem – jednak jako na aerosolové částice, jež po obdržení záporného náboje putují ke kladné elektrodě, kde jsou zachyceny, jednak ionty kyslíku v důsledku dychtivé slučivosti zabíjejí anaerobní bakterie, tj. nesnášející kyslík. Účinnost tohoto zařízení vůči bakteriím, kvasinkám a plísním je zřejmá z obr. 8.



Obr. 7. Schéma zařízení na sterilizaci vzduchu v potravinářské provozovně (+E kladné elektrody, strop je záporná elektroda)

BAKTERIE



Obr. 8. Výsledek sterilizace vzduchu ionizací ve výrobně majonézy

Přítomnosti Legionell ve vzduchu je nutné zabránit již likvidací ve vodě, se kterou jsou do vzduchu rozprašovány. Umožňují to speciální ionizátory (vyráběné ve Velké Británii), jejichž elektrody uvolňují ionty mědi a stříbra, které bakterie zabíjejí. Jejich cena je však značná, takže se používají jen ve speciálních případech, jako jsou např. transplantací centra. V ostatních případech je nutné se spokojit s ohřevem vody na vysokou teplotu (60-80 °C).

Baktericidní a mykocidní úprava povrchů interiéru

Výskyt mikrobů v ovzduší do značné míry souvisí s jejich počtem na stěnách místnosti. Účinným opatřením k optimalizaci mikrobiálního mikroklimatu by tedy bylo přidávání baktericidní a mykocidní substance do povrchového filmu stěn, nábytku a předmětů v místnosti, např. do nátěrů a tapet, a to alespoň v prostorách, kde se lidé nejčastěji zdržují.

Proti Legionellám lze využít i baktericidní schopnosti mědi. V laboratořích NASA bylo prokázáno, že prvotní rozvoj kolonií bakterií Legionella pneumophila nastává již při 15-20 °C tam, kde jsou na vnitřním povrchu usazeny mikro-

organismy, jež působí jako stimulátor. Podstatný je materiál, ze kterého je povrch zhotoven. Z experimentálních výsledků, znázorněných v *tab. 1*, je zřejmé, že vytváření kolonií bakterií na mědi je méně než poloviční vůči sklu a mnohonásobně nižší vůči všem plastům. Pro rozvod teplé užitkové vody je tedy použití mědi zvláště výhodné.

Tab. 1. Vliv materiálu povrchu na koncentraci *Legionell*

Materiál	Počet kolonií [$1.10^3/1 \text{ cm}^2$]	
	mikroflóra	<i>Legionella pneumophila</i>
měď	70	0,7
sklo	150	1,5
polybuten	180	2,0
polyethylen	960	23,0
tvrdý PVC	1 070	11,0
ethylen-propylen-kopolymer	27 000	500,0

Tab. 2. Vliv materiálu spodního prádla na tvorbu mikroorganismů

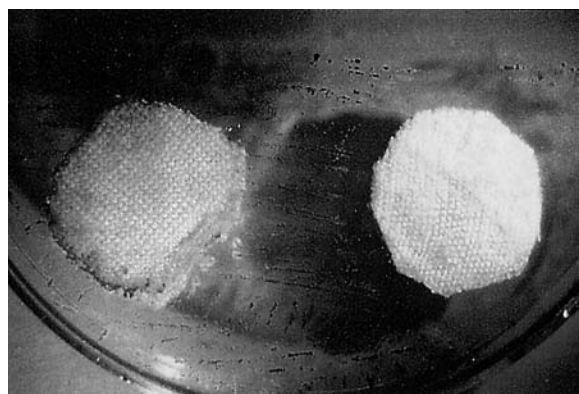
Materiál	Vlastnosti	Tvorba
polyamid (PA)	tužší na omak, může dráždit pokožku	přežívají na něm patogenní bakterie a plísně, které přežívají i praní
	v zimě chladí	
	po delším nošení nepropouští pot	
	urychluje vznik ostrého zápachu	
	pere se a žehlí při nízkých teplotách	
polyester (PE)	jemnější na omak než PA	bakterie a plísně na něm přežívají jen vzácně
	do určité míry prodyšný	
	lze prát do 60 °C	
lycra (PUR)	vysoká pružnost a pevnost	podporuje rozvoj nežádoucích plísní a bakterií
	nesaje pot, hustý úplet je neprodyšný, pouze směs lycry s bavlnou, polyamidem či polyesterem je částečně prodyšná	
	lze prát do 40 °C	
mikrovlákno	jemnější a měkčí než bavlna	vliv na tvorbu bakterií a plísní dle původního materiálu, ale výrazně snížený
	může být vyrobeno ze všech syntetických vláken, liší se podstatně menším průměrem	
	nejvíce pohlcuje pot	
	nejprodyšnější	
	praní dle původních vláken	

Mimořádně náročnou a precizní práci vyžaduje likvidace plísní. Nejsou citlivé (na rozdíl např. od bakterií) na ultrafialové záření, a navíc vlákna plísní pronikají 5–10 cm, někdy až 20 cm do hloubky zdiva. Nejprve je třeba odstranit ohnisko nákazy (např. seškrábáním a omytím saponátem), potom příčinu, tj. vlhkost (např. odstranit tepelné mosty dodatečnou izolací), a posléze zdivo chránit fungicidy. K dispozici je tuzemské SAVO, německé SCHIMMEL STOP a rakouský QUALICHEM. Stavební firmy obvykle preferují přípravky typu PREDA, jež mají také účinky antibakteriální. PREDA 111 je vhodný k sanaci plísněmi napadeného zdiva, omítek, plastů, podlahových krytín a jiných povrchů. Lze jej preventivně přidávat i do nátěrových hmot. PREDA 312 je bílý matný nátěr s vysokou krycí schopností, určený především pro bytovou výstavbu. Doporučuje se do koupelen, spížních skříní, sklepů apod. PREDA 313 je určený pro potravinářské provozy s vysokým výskytem plísní (pekárny, pivovary, jatka). Přípravek BIOSTAT je založený na bázi oxidu hlinitého obohaceného aktivním stříbrem. Ionty stříbra se v ošetřených materiálech uvolňují, procházejí buněčnými stěnami nežádoucích organismů, a tím zastavují jejich růst.

Zásah na subjektu

Důležitý pro rozvoj mikroorganismů, zvláště bakterií a plísní, je materiál oděvu, zvláště prádla, jež je v bezprostředním styku s vlhkým povrchem pokožky (*tab. 2*). Příliš těsné prádlo nepropouští teplo a pot a vytváří na kůži ideální mikroklima pro jejich rozvoj. U prádla ze syntetických vláken, jež nelze prát ani žehlit za vyšších teplot, a tím také provést jejich určitou dezinfekci, se tyto mikroorganismy mohou postupně hromadit a uvolňovat do interiéru budovy.

Výsledkem výzkumu francouzské firmy Rhovyl' AS jsou antibakteriální vlákna speciálně vyvinutá proti mikroorganismům způsobujícím bakteriální kontaminaci. Antibakteriální agencie je přidávána do rozpouštědla před jeho smícháním s polymery. Údajně je odolná proti praní a dalším úpravám látky. Vzorky této látky vidíme na *obr. 9* [2].



Obr. 9. Antibakteriální vlákna přidávaná do polymerů

Literatura

- [1] Bencko, V.: Health Risk of Indoor Air Pollutants: A Central European Perspective. *Indoor Environ.*, 1994, 3: 213-223.
- [2] Jokl, M.: *Zdravé obytné a pracovní prostředí*. Praha, Academia 2002.

Jokl, M.: Optimization of Microbial Microclimate

Microorganism removal is primarily achieved, firstly, by preventing water vapour condensation and securing air exchange, and secondly by physical and chemical air sterilization using even bactericidal effect of plants.

Jokl, M.: Optimierung des mikrobiellen Mikroklimas

Der Entstehung von Mikroorganismen im Gebäudeinnern kann nicht nur durch Beschränkung der Kondensation von Wasserdampf an Baukonstruktionen, sondern auch durch physikalische und chemische Sterilisation der Luft, welche auch die bakterizide Wirkung einiger Pflanzen benutzt, vorgebeugt werden.

• veletrhy**glasstec****21.–25. října 2008****Düsseldorf**

Sklo je základním materiálem v řadě oborů a oblastech aplikací, které nemohou být různorodější – počínaje architekturou přes automobilový průmysl a výrobu obalů až po obory elektrotechniky a další odvětví. Především v minulých čtyřech desetiletích od vzniku veletrhu glasstec, který se koná každé dva roky a který letos slaví dvacáté výročí, přišli vědci s řadou objevů, které změnily možnosti využívání skla.

Těžištěm letošního ročníku je aktuální téma „Sklo a energie“. Mnohostranné využití sklářských technologií a možností úspor energie přiblíží zvláštní předváděcí akce „glass technology live“. Inovační park je tentokrát rozdělen do segmentů „Světlo a transparence“, Fotovoltaika“, Solární termika“ a „Ochrana teplem a sluncem“. Doprovodnou akcí za účasti předních světových odborníků bude architektonický kongres „Transparenz! sklo a fasádní technologie“.

www.glasstec.de**• literatura****Přehled judikatury z oblasti stavebního práva**

Sestavili

Jitka Křenková**Michal Mazanec**

ASPI, 1 472 s., vazba vázaná, 1 770 Kč

ISBN 978-80-7357-296-9



Komplexně pojatý přehled pří-
náší judikatury z oboru stavebního práva, zahrnující otázky práva veřejného i soukromého. Sborník judikatury shrnuje administrativistickou i civilistickou judikaturu (ostatně i četná cenná právní stanoviska Ministerstva pro místní rozvoj ČR) ke stavebnímu právu, excerptovanou v zásadě od počátku vydávání (celkem devíti) pramenů do roku 2007. Pokud je známo, praxe dosud pomůcku tohoto typu a podobného rozsahu nemá.

Jednotlivé kapitoly přehledu jsou věnovány základním institutům stavebního práva, územnímu plánování, územnímu a stavebnímu řízení a účastenství v něm, stavebnímu řádu, jednotlivým typům staveb, ochraně zvláštních zájmů ve výstavbě, řízení před správními úřady a před soudem, správním deliktům v oblasti stavebního práva aj. Text je doplněn poznámkovým aparátem, podrobnými rejstříky a srovnávacími tabulkami starého a nového (resp. nového a starého) stavebního zákona.

Publikace je určena širokému okruhu těch, kteří se v praxi setkávají se soukromoprávními i veřejnoprávními otázkami stavebního práva, tj. zaměstnancům obecných i specializovaných stavebních i jiných úřadů včetně ministerstev, soudců civilním i správním, advokátům i jiným právním profesím.

www.aspi.cz**NICOM3**

May 31 - June 2, 2009 | Prague, Czech Republic
3rd International Symposium
on Nanotechnology in Construction

Nanotechnologie ve stavebnictví

– understanding and modification
of material nano-structure

31. května – 2. června 2009**ČVUT – Fakulta stavební, Praha**

- modeling and simulation of nanostructures
- instrumentation, techniques and metrology at nano-scale
- intelligent nano-materials
- R&D frameworks

www.conference.cz/nicom3/

Studium omítek pro sanaci historických objektů

Ing. Radka PERNICOVÁ
 Ing. Martin KEPPERT, Ph.D.
 prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.
 Ing. Milena Pavlíková, Ph.D.
 ČVUT – Fakulta stavební
 Praha

Článek se zabývá studiem mechanických, vlhkostních a tepelných parametrů omítek pro sanaci historických objektů, jmenovitě modifikované vápenometakaolinové omítky a dvou suchých maltových směsí. Získaná data mohou sloužit nejen pro posouzení, zda budou vhodné jako sanační omítky pro aplikaci na zdivo historických objektů, ale také jako vstupní data do matematických modelů kombinovaného transportu hybnosti, tepla a vlhkosti.

Úvod

Z velké většiny jsou budovy, jejichž zdivo je nutné sanovat, památkově chráněné historické objekty. Mohou být chráněny buď jako celek, nebo pouze jejich části. Z hlediska památkové ochrany jsou doporučovány, a posléze schvalovány, takové postupy sanace, které zachovávají původní dispozice, konstrukční prvky, ale také původní materiály [1]. Obvyklou snahou autora sanačního projektu je uplatnit stavební hmoty, které umožňují difúzi plynné vlhkosti a zdivo neutěšňují.

Sanační omítky byly vytvořeny téměř před dvaceti lety pro povrchovou úpravu historického zdiva, na kterém vznikly „mapy“ jako důsledek vztlínající neboli kapilární vlhkosti. Protože však značná část historických staveb není proti pronikání zejména vlhkosti podloží izolována, je používání sanačních omítek spojeno s rizikem dlouhodobého poškození zdiva pod sanační omítkou [2]. Aplikace sanační omítky nevede k odstranění příčiny problému, ale po správně provedené izolaci a odvlhčení mohou právě sanační omítky přispět k prodloužení životnosti historického zdiva. Sanační omítky však nemohou plně nahradit historicky dochované omítky, neboť mají jinou funkci než omítky původní, jiné složení a odlišné projevy stárnutí.

Pro povrchové úpravy historického zdiva omítek, vysprávky, zdění i omítání se často používaly vápenné malty, pro nátěry pak vápenné fasádní barvy. S rozvojem technologií a rozšířením sortimentu stavebních materiálů byly neuváženě aplikovány nové materiály, které měly v porovnání s vápennými omítkami jiné vlastnosti, např. zpevňování omítek vodním sklem, doplňování poškozených částí cementovými vysprávkami, fixace degradovaných omítek cementovými postřiky a v neposlední řadě i používání akrylátových nátěrů a sanačních omítek [3].

Profesionální přístup k péči o historické materiály, tedy i o malty a omítky, vyžaduje ověřování kompatibility tradičních a moderních prostředků s dochovanými materiály. Ne vždy se však podaří zjistit všechna rizika spojená s aplikací soudobých materiálů. Z těchto důvodů jsou navrhovány a ověřovány moderní sanační systémy a modifikované vápenné omítky, aby se nejen vzhledem, ale především vlastnostmi co nejvíce podobaly materiálům původním.

Dochované omítky a zdivo spojená vápennou maltou dokládají, že vápenné pojivo nevykazovalo kvalitu, jaké umož-

ňuje dosáhnout moderní způsob výroby. Z výsledků chemických analýz navíc vyplynulo, že vápno bylo téměř vždy, více či méně, znečištěno příměsmi, které vnašely do záměsi hydraulické vlastnosti. To nás opravňuje k používání vápenných omítek s hydraulickými přísadami, které zlepšují především mechanické vlastnosti, a následně zvyšují odolnost proti stárnutí a poškození vnějšími vlivy. Jako nevhodná se ukázala volba vápenocementových omítek, kdy došlo k vytvoření poměrně odolné vrstvy, jež však vykazovala příliš rozdílné chování vůči pronikající vlhkosti proti podkladovému zdivu. Jako velice výhodné se ukázalo přidávat do vápenného pojiva latentně hydraulické příměsi, např. popílek, strusku či metakaolin [4].

Sanační omítky, souvislá vrstva zatvrdlé malty na povrchu zděné konstrukce, musí splňovat především vysokou pórovitost, propustnost pro vodní páru a sníženou kapilární vodivost vlhkosti. Poměrně často se používají jednovrstvé omítky s hydrofobizačními přísadami. Jejich nevýhodou je nedostatečná odolnost vůči pronikání zasolených roztoků, které pak v makroporézní struktuře snadno krystalizují. Nové systémy zahrnují aplikaci několika vrstev omítek, z nichž každá splňuje určité požadavky a dohromady tvoří rezistentní prostředí vůči pronikání vlhkosti a solí. Nejprve se nanáší vrstva vyrovnávací, tzv. podhoz, dále malta jádrová neboli sanační, a finální povrchová úprava, např. nátěr nebo štuk. Účelem vícevrstevných systémů je zamezit průniku solí k povrchu, aniž by se zhoršily vlhkostní poměry ve zdivu.

Úkolem podkladních vrstev sanačních omítek je omezit příjem vlhkosti ze sanované stěny, především na vlhkost v plynné podobě, protože transportem kapalné vlhkosti se dostávají do konstrukce minerální soli. Za tím účelem se používají omítky s přidavkem hydrofobizátoru, který ovlivňuje vázání vody na stěny pórů omítky [5]. Přídavek této přísady do vápenné omítky vede ke snížení nasákavosti, a tím ke zvýšení odolnosti proti pronikání vody a roztoků obsahujících soli. Pokud přidáme do směsi hydrofobizátor, hydrofilní část molekuly se naváže na zrna pojiva, hydrofobní konec směřuje ven a odpuzuje molekuly vody. Tak se vytváří ochranná vrstva uvnitř pórů materiálu, která odpuzuje vlhkost.

V tomto článku se zabýváme stanovením základních mechanických, vlhkostních a tepelných parametrů průmyslově vyráběného sanačního systému a nově navržené vápenometakaolinové omítky s přidavkem hydrofobizačního činidla, která by měla splňovat náročné požadavky na sanační omítky. Pro porovnání uvádíme parametry pro čistě vápennou omítku.

Materiály

Při experimentu jsme ověřovali průmyslově vyráběný sanační omítkový systém (podkladní vrstva je označena v textu jako VOS II a jádrová omítky jako VOS I) a nově navrženou vápennou omítku (označena v textu VOMH) modifikovanou přidavkem pucolánové aktivního metakaolinu a hydrofobizačního činidla. Pro porovnání byla připravena čistě vápenná omítky. Složení směsí je shrnuto v tab. 1.

Tab. 1. Složení záměsí omítek

Typ	Vápno CL 90	Písek 0/2mm	Metakaolin	Stearan zinečnatý	Voda
	Mokrá	Bratčice	Mefisto K 05		
[kg]					
VO	4,80	14,40	–	–	4,80
VOMH	4,00	14,40	0,80	0,02	4,20
suchá maltová směs					
VOS I	35				6,30
VOS II	35				7,00

K přípravě vápenometakaolinové omítky a porovnávací čistě vápenné omítky byl použit vápenný hydrát CL 90 Car-meuse (vápenka Mokrá). Jako plnivo byl namíchán tříděný křemičitý písek v poměru 1 : 1 : 1, aby bylo dosaženo plynulé granulometrie 0-2 mm (Heidelberg Cement Group, Brněnské pisky, filiálka Bratčice). Přídavkem byl metakaolin MEFISTO K 05 (České lupkové závody, Nové Strašecí), vysoce aktivní, mikroskopicky jemně mletý (průměrná velikost částic je 3-5 μm) pucolánový materiál, složený převážně z SiO_2 o hmotnostním zastoupení 58,7 % a Al_2O_3 o hmotnostním zastoupení 38,5 %. Hydrofobizační přísadu stearan zinečnatý vyrábí Setuza, Ústí nad Labem.

Vzorky záměsí byly odlity do forem podle požadavků jednotlivých měření. Po vyjmutí byly udržovány v prostředí s vysokou relativní vlhkostí, a zároveň pravidelně vlhčeny jemně rozprašovačem po dobu 28 dní tak, aby reakce všech složek záměsí zdárně proběhla. Toto uložení zkušebních těles podle normy [7] není nejvhodnější pro vápenné omítky tvrdnoucí karbonatačním pochodem a vede k nižším hodnotám pevnosti. Proto byly základní materiálové charakteristiky stanoveny nejen po 28 dnech tvrdnutí, ale budou sledovány i po dvou letech, kdy je možné předpokládat, že karbonatace již proběhla.

Metody a výsledky měření

Měření probíhala v klimatizované laboratoři při 23 ± 1 °C a 30 ± 5 % relativní vlhkosti. Uváděné výsledky jsou průměrem tří a více hodnot. Základní materiálové parametry, jako je objem a nasycený obsah vlhkosti, byly určeny sycením vzorků vodou za sníženého tlaku a následným vážením vzorků maximálně nasycených a vzorků maximálně nasycených ponořených pod vodní hladinu, kdy se určuje Archimédova hmotnost. Vzhledem k tomu, že jde o obecně známé metody, nebudeme se jimi podrobně zabývat. Hustota byla stanovena pomocí héliové pyknometrie přístrojem Pycnomatic ATC. Základní materiálové charakteristiky omítek jsou shrnuty v tab. 2.

Tab. 2. Základní materiálové parametry omítek

Typ	Objemová hmotnost	Hustota	Otevřená pórovitost	Nasycený obsah vlhkosti
	[kgm^{-3}]	[kgm^{-3}]	[%]	[kgm^{-3}]
VO	1 650	2 605	36,70	359,00
VOMH	1 745	2 615	33,20	332,40
VOS I	1 175	2 555	54,60	502,90
VOS II	1 240	2 575	52,90	518,20

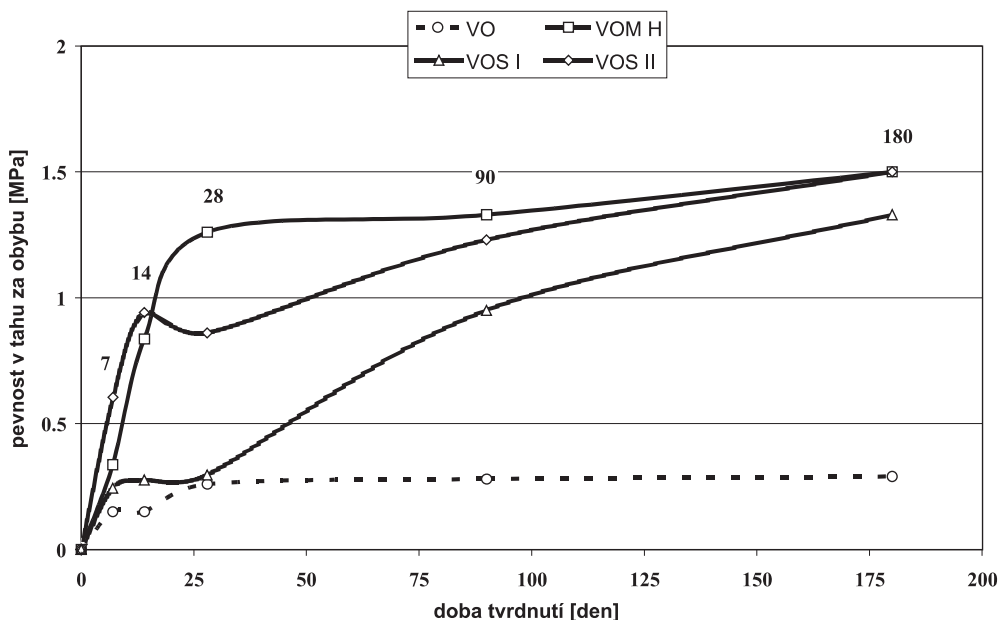
Objemová hmotnost vápenné i vápenometakaolinové omítky byla o 30 % vyšší než u prefabrikovaných sanačních omítek. Hustota všech materiálů se téměř nelišila. Přídavek

hydrofobizačního činidla způsobil pokles pórovitosti u vápenometakaolinové omítky o 10 % proti čistě vápenné omítkě. Prefabrikované sanační omítky vykazovaly o více než 40 % vyšší pórovitost než vápenometakaolinové omítky. Podle směrnice WTA [6] malta na vápenometakaolinové bázi nesplňuje požadavek 40% porozity. Proto bude nutné v rámci dalšího výzkumu zvýšit její pórovitost. Hodnoty nasyceného obsahu vlhkosti korespondují s hodnotami pórovitosti.

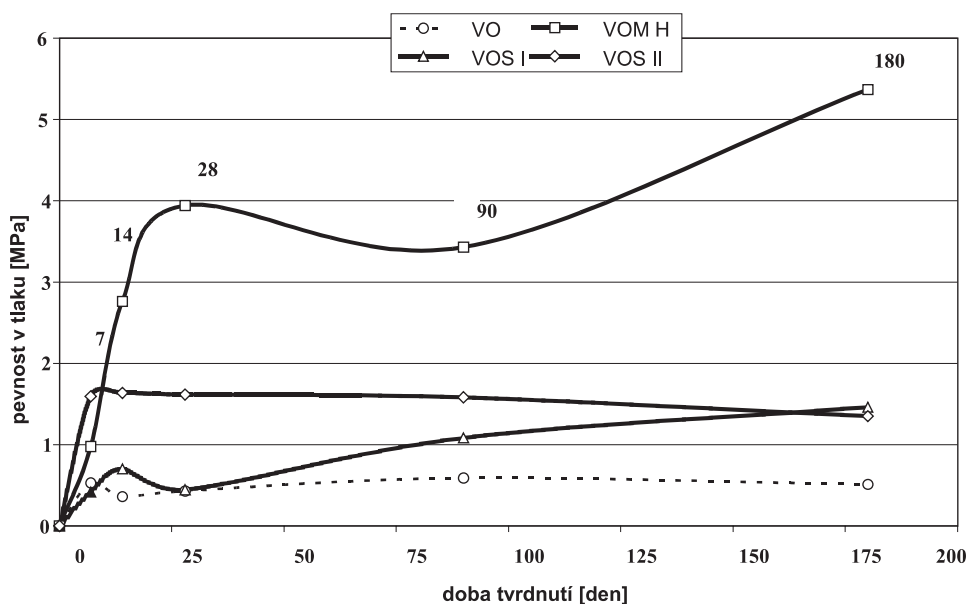
Pevnosti v tlaku a tahu za ohybu se ověřovaly na hydraulickém lisu (INOVA, Praha) podle ČSN EN 196-1 [7]. Tento přístroj dosahuje maximální stlačné síly 2 500 kN. Na standardních trámcích velikosti 40x40x160 mm se průběžně sledovaly změny pevnosti v tlaku a tahu za ohybu (obr. 1, obr. 2). Hodnoty jsou aritmetickým průměrem tří v případě pevnosti v tahu za ohybu a šesti pro pevnost v tlaku působících sil. Z počátku se u všech záměsí vyvíjela pevnost v tahu za ohybu stejně, ale již po sedmém dni jsme mohli u směsi VOS II a VOMH pozorovat značný nárůst (obr. 1). Až do 28. dne vytvrzování dosahovaly VOS I a porovnávací VO shodných hodnot, u sanační omítky pak došlo k prudkému nárůstu pevnosti až ke konečné hodnotě, která byla téměř pětinašobkem hodnoty naměřené pro vápennou omítku. Podobný vývoj vykazovala omítka VOS II a modifikovaná vápenometakaolinová omítka, jejich konečná pevnost představuje více než pětinašobné hodnoty naměřené pro vápennou omítku.

Je zřejmé, že proti základní směsi vápenné omítky vzrostla konečná pevnost v tlaku pro všechny studované materiály (obr. 2), největší nárůst byl zaznamenán u modifikované vápenometakaolinové omítky, u které byl pozorován desetinásobný nárůst, u prefabrikovaných sanačních omítek téměř trojnásobný nárůst. Všechny hodnoty jsou ovlivněny především kvalitou přípravy zkušebních těles a ošetření během vytvrzování. Relativní chyba měření je odhadnuta na max. ± 10 % z naměřené hodnoty.

Vzhledem k tomu, že omítky přispívají k celkové tepelně technické funkci stavební konstrukce, byly stanovovány také základní termofyzikální parametry. Přístroj ISOMET 2104 (Applied Precision), řízený mikroprocesorem, aplikuje dynamickou metodu měření, která umožňuje redukovat dobu měření na 10 až 15 minut. Měření je založeno na analýze časové závislosti teplotní odezvy zkoušeného materiálu na impulsy tepelného toku. Tepelný tok je vyvolán elektrickým vyhříváním odporového ohříváče v sondě, která je v přímém tepelném kontaktu se vzorkem. Vyčíslení hodnoty součinitele tepelné vodivosti a měrné objemové tepelné kapacity je založeno na vyhodnocení periodicky vzorkovaných záznamů teploty jako funkce času. Naměřená měrná objemová tepelná kapacita [$\text{J/m}^3\text{K}$] se jednoduše přepočítá na častěji používanou měrnou tepelnou kapacitu [JkgK] jejím vydělením objemovou hmotností. Pro materiál obsahující vlhkost byla měrná tepelná kapacita vypočítána ze směšovacího vztahu. K měření pevných a tvrdých materiálů se po-



Obr. 1. Pevnost omítek v tahu za ohybu



Obr. 2. Pevnost omítek v tlaku

užívají plošné sondy, které vyžadují hladký povrch průměru nejméně 60 mm. Hloubka vzorku má být 10-15 mm v závislosti na tepelné vodivosti materiálu. Vzhledem k rozměrům plošné sondy bylo proto nutné pro měření použít vzorky o rozměrech 60x60x60 mm. Hodnoty součinitele tepelné vodivosti a měrné tepelné kapacity pro vysušené omítky prezentuje tab. 3, jejich závislost na obsahu vlhkosti obr. 3 a obr. 4.

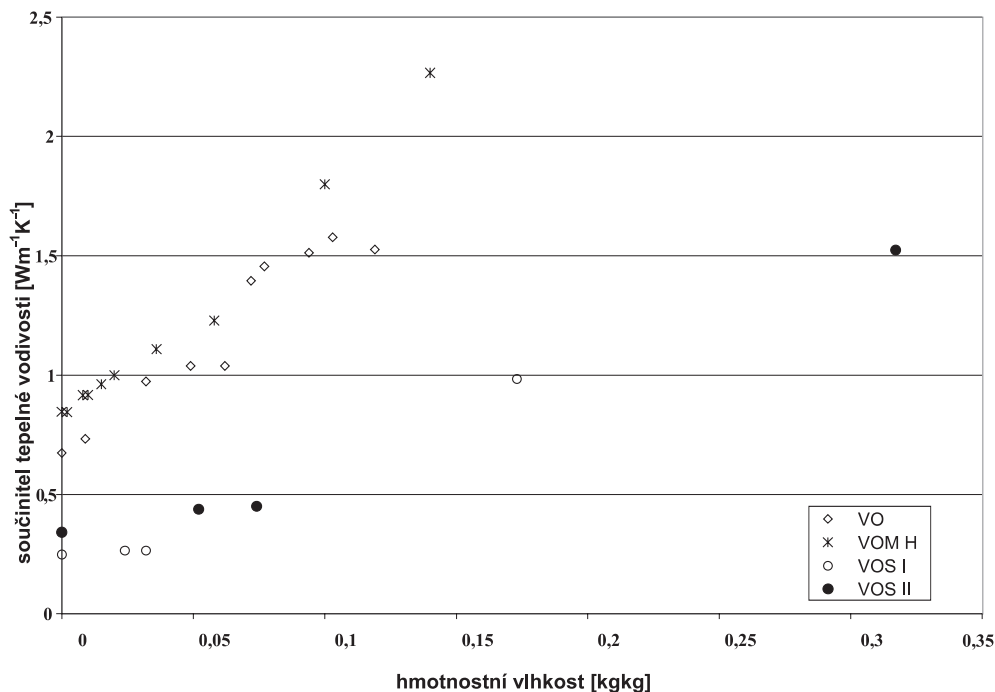
Hodnoty součinitele tepelné vodivosti pro jednotlivé materiály se značně lišily. Výrazně nižší byly u sanačních omítek, kde v celém vlhkostním rozsahu dosáhly maximálně třetiny příslušné hodnoty pro čisté vápennou omítku. Opačný trend bylo možné pozorovat v případě měrné tepelné kapacity. Modifikovaná vápenometakaolinová omítka kopírovala v celém vlhkostním rozsahu průběh měrné tepelné kapacity vápenné omítky v závislosti na vlhkosti a tyto hodnoty byly o několik desítek procent nižší než u sanačních

Tab. 3. Termofyzikální parametry

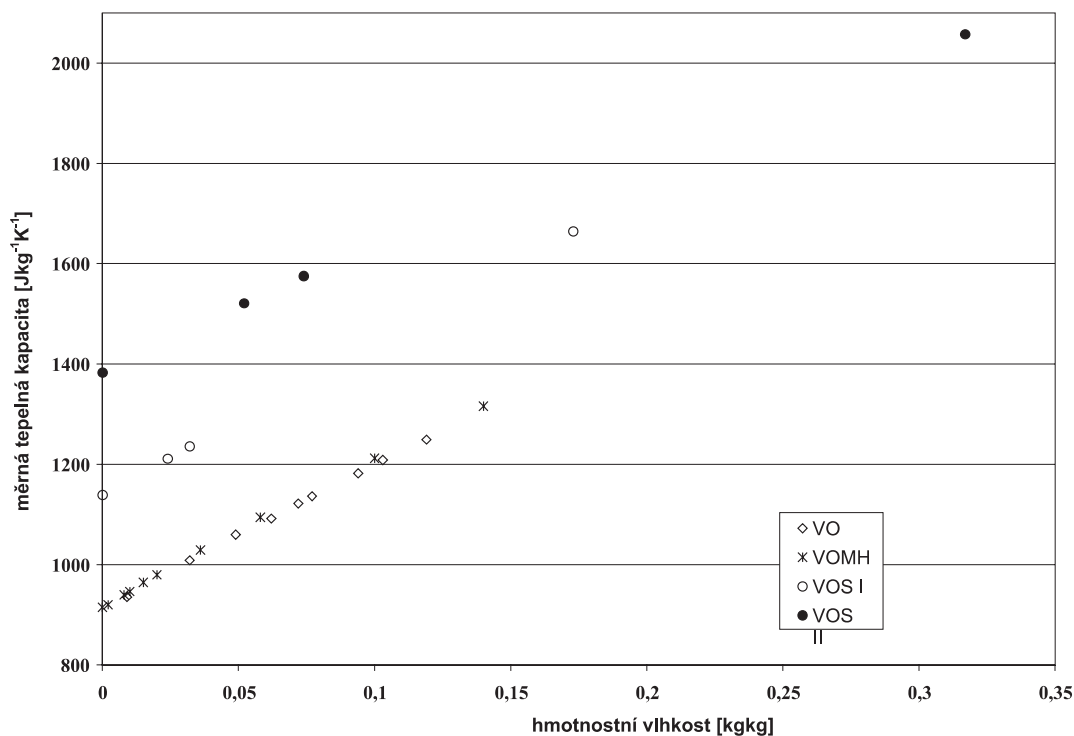
Typ omítky	Součinitel tepelné vodivosti [Wm ⁻¹ K ⁻¹]	Měrná tepelná kapacita [Jkg ⁻¹ K ⁻¹]
VO	0,670	910
VOMH	0,850	915
VOS I	0,250	1 140
VOS II	0,340	1 380

omítek. Získaná data jsou pouze orientační, neboť experimentální chyba pro impulsní metodu činí cca 10 %.

Jedním z nejdůležitějších ukazatelů funkčnosti sanační omítky je hodnota součinitele difúze vodní páry nebo faktoru difúzního odporu. Obecně má být skladba vrstvené oba-



Obr. 3. Součinitel tepelné vodivosti v závislosti na obsahu vlhkosti



Obr. 4. Měrná tepelná kapacita v závislosti na obsahu vlhkosti

lové konstrukce navržena tak, aby difúzní odpor jednotlivých vrstev od interiéru směrem k exteriéru klesal. Hodnoty součinitele difúze vodní páry a faktoru difúzního odporu byly vypočítány z hodnot součinitele difúzní propustnosti stanoveného metodou bez teplotního spádu podle normy [8]. Toto měření je založeno na jednorozměrném šíření vodní páry vzorkem a spočívá v měření difúzního toku páry prošlé vzorkem při znalosti jejích parciálních tlaků ve vzduchu pod měrným povrchem vzorku a nad ním. Koeficient difúze vodní páry byl stanoven pro dvě charakteristická uspořádání

experimentu, jednou miska obsahovala vysoušedlo $CaCl_2$ (0-5 % relativní vlhkosti), podruhé nasycený roztok K_2SO_4 (97 % relativní vlhkosti). Vypočítané hodnoty parametrů transportu plynné vlhkosti nejen pro sanační omítky a omítku vápennou, ale také pro materiály nosné konstrukce, cihlu, pískovec a vápenec, shrnuje *tab. 4*.

Nejnižší hodnoty součinitele difúze vodní páry byly vypočítány ze součinitele difúzní propustnosti pro čisté vápennou omítku. Hodnoty pro vápenometakaolinovou omítku byly o 75 % vyšší v porovnání s čistou vápennou omítkou,

Tab. 4. Základní parametry transportu vodní páry

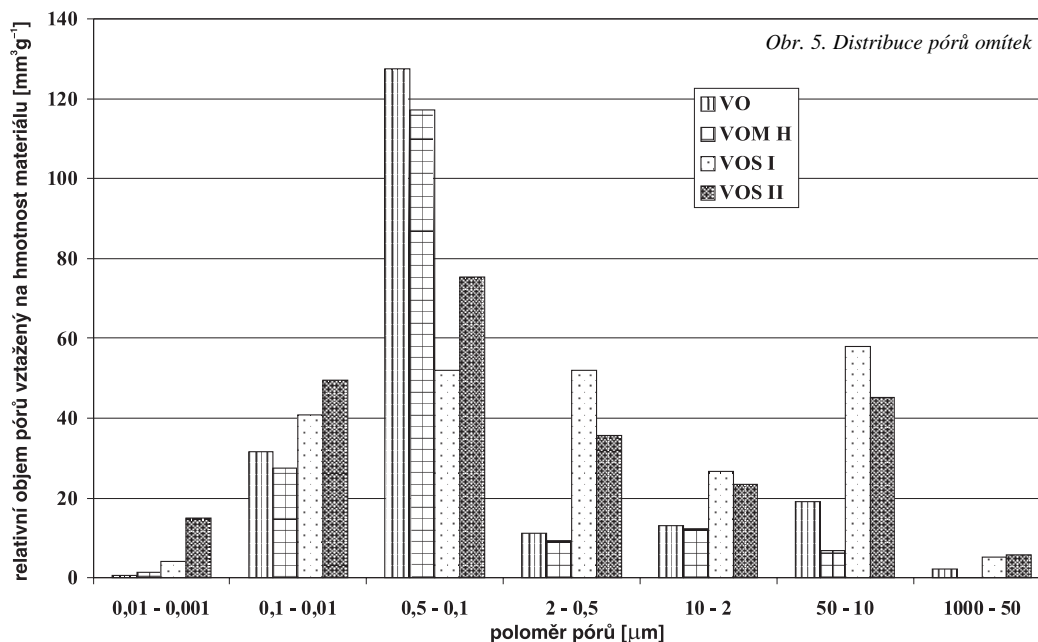
Materiál	Součinitel difúze [m^2s^{-1}]		Faktor difúzního odporu [-]	
	97-25 % RH	0-25 % RH	97-25 % RH	0-25 % RH
VO	2,90E-06	2,90E-06	8,0	9,0
VOMH	1,60 E-6	1,50E-06	14,0	15,0
VOS I	1,10 E-6	1,30E-06	17,0	18,0
VOS II	1,80E-06	1,50E-06	13,5	16,0
BR (cihla)	1,50E-06	1,20E-06	15,0	17,0
SS (pískovec)	3,40E-06	1,20E-06	7,0	18,5
LS (vápenec)	4,80E-07	4,50E-07	48,0	53,0

Tab. 5. Základní parametry transportu kapalné vody

Typ omítky	Vlhkostní absorpční koeficient [$\text{kg m}^{-2}\text{s}^{-1/2}$]	Součinitel vlhkostní vodivosti [m^2s^{-1}]
VO	2,30E-01	4,10E-07
VOMH	6,50 E-2	3,90E-08
VOS I	1,30 E-2	7,00E-10
VOS II	3,30E-02	4,10E-09

Tab. 6. Základní charakteristiky porézní struktury omítek

Typ omítky	Objem pórů vztážený na hmotnost materiálu [mm^3g^{-1}]	Měrný povrch [m^2g^{-1}]
VO	205,10	2,90
VOMH	174,80	3,00
VOS I	238,70	4,50
VOS II	249,60	9,60



prefabrikované sanační omítky pak téměř o 100 %. Vysoké hodnoty faktoru difúzního odporu, vypočítané pro sanační omítky, nejsou vzhledem k jejich funkci zcela vyhovující, neboť transport vodní páry jimi bude značně omezen v porovnání s vápennou omítkou.

Součinitel vlhkostní vodivosti se určoval přibližnou metodou založenou na klasickém nasákání z volné vodní hladiny [9]. Z naměřených dat se sestrojil závislost kumulativního obsahu vlhkosti na odmocnině času, ze které se lineární regresi přímo určí vlhkostní absorpční koeficient. Přibližná hodnota součinitele vlhkostní vodivosti se potom vypočítá

pomocí vlhkostního absorpčního koeficientu a nasyceného obsahu vlhkosti [10]. Hodnoty součinitele vlhkostní vodivosti vápenometakaolinové omítky klesly o řád, u sanačních omítek o dva až tři řády proti čistě vápenné omítkě. To znamená, že všechny omítky prokázaly zvýšenou odolnost vůči pronikání kapalné vody a agresivních roztoků.

Základní podmínkou přenosu tekutin ve stavebních materiálech je přítomnost otevřených pórů. Z pohledu transportních procesů jsou stavební materiály klasifikovány podle velikosti pórů, která ovlivňuje jejich zaplňování vodou absorpčními kapilárními silami. Podle posledních výzkumů

můžeme póry rozdělit do několika skupin:

- submikroskopické póry o poloměru menším než 10^{-9} m, voda se jimi nemůže pohybovat;
- kapilární póry velikosti 10^{-9} až 10^{-3} m, v nichž pohyb vody vyvolává povrchové napětí, tedy kapilární síly;
- makropóry a vzdušné póry větší než 10^{-3} m, převládá v nich vliv gravitace.

Z technického hlediska je důležité brát strukturu, zejména rozdělení pórů podle velikosti poloměru, jako základní informaci při rozhodování o sanačních opatřeních. Distribuce pórů pro jednotlivé materiály byla stanovena pomocí rtuťové porozimetrie přístrojem Pascal 440. Jak ukazuje *tab. 6*, u modifikované vápenometakaolinové omítky došlo k poklesu celkového objemu pórů téměř o 15 % proti čisté vápenné omítce. Naopak obě průmyslově vyráběné maltové směsi vykazovaly zvýšený objem pórů vztažený ke hmotnosti materiálu proti čisté vápenné omítce, konkrétně o 16 % v případě VOS I a 22 % pro VOS II. Výsledky korespondují s hodnotami měrných povrchů pro jednotlivé materiály.

Distribuci pórů jednotlivých vápenných omítek ukazují *obr. 5*. Je zřejmé, že největší objem kapilárních pórů v rozsahu 0,1-0,5 μm byl naměřen u čisté vápenné a vápenometakaolinové omítky. Z křivek distribuce pórů dále vyplynulo, že podkladová sanační omítka VOS II měla větší zastoupení pórů kapilárních v rozmezí 0,01-0,5 μm , a poté i v rozmezí 10-50 μm , zatímco u sanační jádrové omítky VOS I jsme mohli pozorovat poměrně rovnoměrné zastoupení pórů v celém rozsahu 0,01-50 μm . U všech omítek bylo zjištěno jen minimální zastoupení pórů větších než 50 μm . Hlavní rozdíl mezi navrženou vápenometakaolinovou omítkou a sanačními omítkami je ve výrazně vyšším zastoupení pórů v rozmezí 10-50 μm u průmyslových suchých maltových směsí. Větší objem pórů v této oblasti by byl ve vývoji vápenometakaolinových omítek žádoucí.

Závěr

V článku jsou prezentovány základní fyzikální, mechanické, tepelné a vlhkostní parametry tří typů omítek určených pro sanaci historických objektů. Konkrétně byla studována modifikovaná vápenometakaolinová omítka s přísadkou hydrofobizátoru a průmyslově vyráběné suché maltové směsi, které tvoří sanační systém složený z podkladové a jádrové maltové směsi. Všechny omítky vykazují vysoké hodnoty celkové otevřené pórovitosti, přičemž je jejich porézní struktura tvořena převážně kapilárními póry, což demonstrují naměřené křivky distribuce pórů. U omítek byly dále zjištěny relativně vysoké hodnoty pevnosti v tahu za ohybu i v tlaku vzhledem k vápenné omítce. Získané výsledky dokládají, že omítky mírně negativně ovlivňují odvod plynné vlhkosti, a zároveň výrazně zpomalují transport vody v kapalném skupenství.

Závěrem je možné říci, že vápenné omítky modifikované přísadkou metakaolinu splňují po zvýšení pórovitosti požadavky kladené na omítky určené pro sanaci historických budov. Vzhledem k současným trendům v rekonstrukci památek a jejich fasád se použití metakaolinu jako purolánové přísady do vápenné omítky jeví velmi příznivě, neboť takto modifikovaná může nahradit běžně používané průmyslové vápenocementové maltové směsi.

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

Literatura

- [1] Bafík, M. a kol.: Odvlhčování staveb. Praha, Grada Publishing 2005. ISBN 80-247-0765-9.
- [2] Michonová, D.: Příprava vápenných malt v péči o stavební památky. Praha, ČKAIT 2006. ISBN 80-86769-81-X.
- [3] Hošek, J. – Losos, L.: Historické omítky. Praha, Grada Publishing 2007. ISBN 978-80-247-1395-3.
- [4] Rovnaníková, P.: Omítky. Chemické a technologické vlastnosti. Praha, STOP 2002.
- [5] Tydlitát, V. – Tesárek, P. – Kunca, A. – Zuda, L. – Černý, R. – Rovnaníková, P.: Vliv hydrofobizace na vlastnosti vápenné omítky s metakaolinem. Stavební obzor, **14**, 2005, č. 5, s. 150-153.
- [6] Směrnice 2-2-91 Vědecko-technické společnosti pro udržování stavebních objektů a památkové péči. „Sanační omítkové systémy“.
- [7] ČSN EN 196-1 Metody zkoušení cementu. Stanovení pevnosti. ČNI, 2005.
- [8] ČSN 72 7031 Měření součinitele difúze vodní páry stavebních materiálů metodou bez teplotního spádu. ČSNI 1973.
- [9] Kumaran, M. K.: Moisture Diffusivity of Building Materials from Water Absorption Measurements. IEA Annex 24 Report T3-CA-94/01, Ottawa, 1994.
- [10] Hochmann, R. – Setzer, M. J.: Bauphysikalische Formeln und Tabellen. Düsseldorf, 2001.

Pernicová, R. – Keppert, M. – Černý, R. – Pavlíková, M.: Study of Plasters Designed for Renovation of Historical Buildings

This paper deals with mechanical, hygric and thermal parameters of plasters which are potentially applicable in renovation of historical buildings; they are a modified lime-metakaolin plaster and two pre-mixed renovation plasters. The measured data will serve for the assessment of their performance as renovation plasters for application in historical buildings masonry and as input parameters of mathematical models of coupled momentum, heat and moisture transport.

Pernicová, R. – Keppert, M. – Černý, R. – Pavlíková, M.: Studium von zur Sanierung historischer Objekte entworfenen Putzen

Der Artikel befasst sich mit dem Studium der mechanischen, Feuchtigkeits- und wärmetechnischen Parameter von Putzen, die potenziell zur Sanierung historischer Objekte anwendbar sind, namentlich von modifizierten Kalk-Metakaolinputzen und zwei kommerziell produzierten trockenen Mörtelmischungen. Die gewonnenen Daten werden nicht nur zur Beurteilung dienen, ob die Putze als Sanierungsputze zur Anwendung am Mauerwerk historischer Objekte geeignet sind, sondern auch als Eingabedaten für mathematische Modelle des kombinierten Transports der Beweglichkeit, Wärme und Feuchtigkeit.

Počítačová simulace experimentu v reálných podmínkách

Obvodový plášť na bázi lité sádry

Bc. Jan KOČÍ

Ing. Jiří MADĚRA, Ph.D.

Ing. Pavel TESÁREK, Ph.D.

prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.

ČVUT – Fakulta stavební

Praha

Článek se zabývá experimentem se sádrovým blokem, jehož cílem bylo zkoumat dlouhodobé teplotně vlhlostní chování obvodového pláště v reálných podmínkách. Hlavním nástrojem byla počítačová simulace, jejíž výstupy sloužily k porovnání s dosud známými průběhy teploty a relativní vlhkosti uvnitř konstrukce. Získané výsledky byly podkladem pro predikci chování obvodového pláště v následujících deseti letech.



Obr. 1. Pohled na experiment z exteriéru

Úvod

Otázky udržitelného rozvoje a obnovitelných zdrojů v souvislosti s ochranou životního prostředí se celosvětově stále diskutují. Problémy ekologie se neodmyslitelně týkají i oblastí stavebnictví, především v souvislosti s možností využití materiálů a výrobků z recyklovatelných zdrojů. Další šetrnou možností ve vztahu k přírodě je využití odpadních materiálů z průmyslové výroby, pro které se musí složitě řešit odpadové hospodářství včetně uložení na skládkách.

Jedním z takových materiálů jsou energosádrovce, které vznikají při odsiřování v tepelných elektrárnách. V elektrárně Počerady se tento materiál zušlechťuje kalcinací na sádro, a následně se používá (někdy pod označením energosádra) k výrobě sádrokartonových desek. Dlouhodobým cílem je vyvinout bloky pro obvodové pláště budov z levného a ekologického materiálu, který pochází ze suroviny druhotné [1].

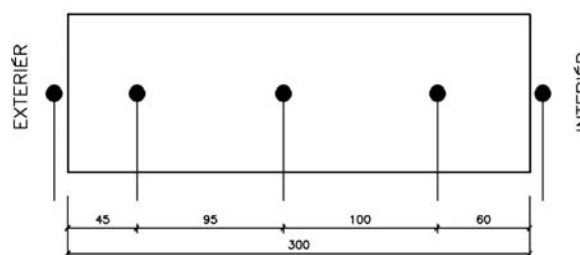
Ze zahraničí je známo několik možností využití sádry k výrobě bloků pro obvodové pláště budov. Zajímavé jsou především dva z území bývalé NDR – prvním byla aplikace sádrové venkovní stěny s jádrem z pórosádry (sádry, ve které je chemickými přísadami vytvořen systém pórů) s ocelovou výztuží chráněnou proti korozi, druhým jednovrstvé bloky na venkovní stěny ze sádry. Jednovrstvá konstrukce byla pro zlepšení tepelně izolačních vlastností zpěněna [2].

Popis experimentu

Experiment byl rámcově rozdělen na fáze monitorovací a simulační. Objektem byl sádrový blok tl. 300 mm zabudovaný do obvodového pláště budovy a vystavený povětrnostním vlivům. V dlouhodobé monitorovací fázi, která trvala přibližně 24 měsíců, byla sledována odezva a chování konstrukce z hlediska teplotně vlhlostního namáhání.

Na exteriérové a interiérové straně bloku byly umístěny sondy pro sledování teploty a relativní vlhkosti, další tři byly rozmístěny uvnitř sádrového bloku v přibližně stejných děl-

kových intervalech (obr. 2). Monitorován byl průběh teploty a relativní vlhkosti v konstrukci a jejich rozložení v čase. Pro zajištění jednorozměrného transportu tepla a vlhkosti byl blok obložen ze čtyř stran tepelnou izolací. Data uvnitř bloku sledovaly snímače NH 421.65 napojené na ústřednu Comet MS3+ (fy Comet System). Teplotu a relativní vlhkost zaznamenávaly v třicetiminutových intervalech. Podle parametrů udávaných výrobcem byla teplota změřena s přesností $\pm 0,4$ °C (v teplotním rozsahu -20 až 50 °C), relativní vlhkost s přesností $\pm 2,5$ % (pro vlhlostní rozsah 5-95 %, při referenční teplotě 23 °C).



Obr. 2. Schéma rozmístění měřicích sond

Klimatická data (exteriérová a interiérová teplota a relativní vlhkost, rychlost a směr větru a vnější atmosférický tlak) zaznamenávala rádiová meteorologická stanice WS2305 (fy Conrad) napojená na ústřednu kontinuálně v třicetiminutových intervalech. Relativní vlhkost byla měřena v rozsahu 20-95 %. V případě, že byla mimo měřený rozsah, indikovala ústředna hodnotu 19 %, resp. 96 %. Rozlišení přístroje je 1 %. Teplota byla měřena v rozsahu 29,9-69,9 °C s rozlišením 0,1 °C.

Výsledkem monitorovací fáze byly dvě sady dat – klimatická a skutečný průběh teploty a relativní vlhkosti uvnitř konstrukce – obě byly základem pro fázi simulační. Klimatická data byla vstupním parametrem pro (zpětnou) simula-

ci, která sloužila k ověření funkčnosti matematického modelu a jejíž výsledky byly porovnány se skutečným průběhem zkoumaných veličin v konstrukci. Na základě výsledku tohoto porovnání byla provedena „kalibrace“ počítačového modelu, a to úpravou přestupových koeficientů pro teplotu a vlhkost na rozhraní sádra/vzduch. Protože každý materiál má specifické koeficienty přestupu, bylo pro přesnost dalších simulací nezbytné tyto koeficienty určit (koeficienty přestupu tepla a vlhkosti závisí na druhu materiálu, jeho tvaru a povrchové úpravě a na prostředí, ve kterém se materiál nachází). S takto nastaveným počítačovým modelem byla provedena predikční analýza navržené skladby, zahrnující vnější omítku a tepelnou izolaci. Simulace byla provedena jako předpoklad předpovědi chování systému v následujících deseti letech s cílem zjistit včas jeho nedostatky.

Základní materiálové charakteristiky

Ke zhotovení sádrového bloku byla použita β -sádra vyrobená v elektrárně Počerady. Čistota počeradského energosádrovce je okolo 98 %. Vodní součinitel čerstvé sádry pro výrobu sádrových bloků byl roven 0,627, což odpovídá konzistenci podle normy [7]. Jako tepelně izolační materiál byla zvolena hydrofobizovaná minerální vlna (fy Rockwool) s nízkým faktorem difúzního odporu vodní páry. Tento typ izolace byl zvolen na základě počítačových simulací, při nichž se ověřovala skladba obvodového pláště z hlediska teplotně

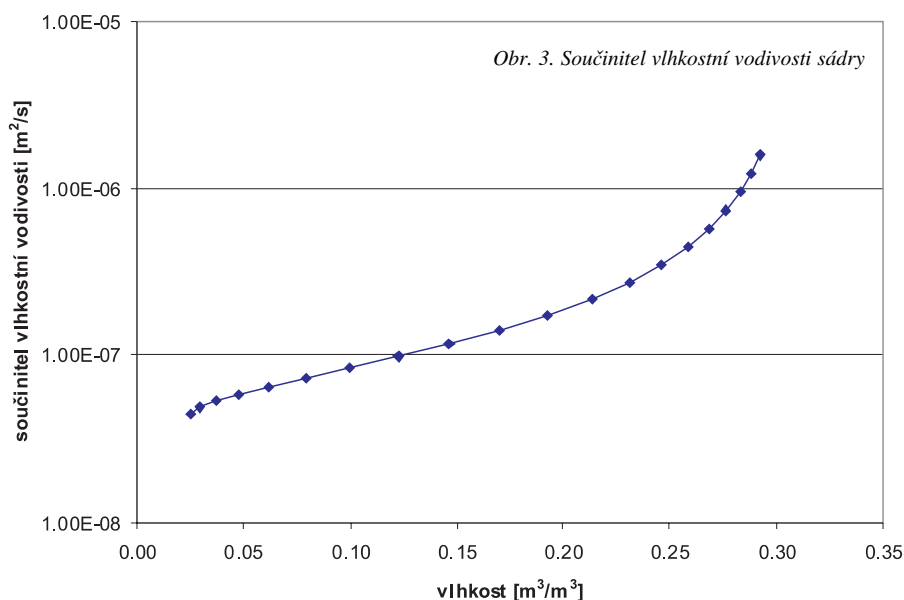
vlhkostního chování s tepelnou izolací z různého materiálu a s různými materiálovými charakteristikami [3]. Materiálové charakteristiky vnější omítky se ověřovaly na vzorcích vyrobených z materiálu dodaného firmou Mamut-Therm [4]. Základní charakteristiky všech materiálů, naměřené v laboratorní transportních procesů na Katedře materiálového inženýrství a chemie Fakulty stavební ČVUT v Praze, jsou uvedeny v *tab. 1*. Součinitel vlhkostní vodivosti κ byl pro sádro definován na základě hodnot znázorněných na *obr. 3*.

Návrh tepelné izolace

Z hlediska tepelně technického by prostý sádrový blok normě [7] nevyhověl, proto byla navržena a podle této normy posouzena následující skladba obvodového pláště:

- vnější vápenocementová omítko, tl. 10 mm,
- vnější tepelná izolace, tl. 100 mm,
- blok obvodového pláště na bázi lité sádry, tl. 300 mm.

Celková tloušťka pláště se tedy pohybuje okolo 400 mm. Variantně se uvažovalo o různých typech upravené sádry a tepelné izolace, alternativně i o použití varianty s vnitřním zateplením [3]. Tloušťka tepelné izolace 100 mm byla navržena v souladu s normou [7]. Ve druhé části této normy je rozhodujícím kritériem součinitel prostupu tepla, požadovaná hodnota této veličiny U_N [W/m²K] pro vnější stěnu těžkou (tedy s plošnou hmotností vyšší než 100 kg/m²) je 0,38 W/m²K.

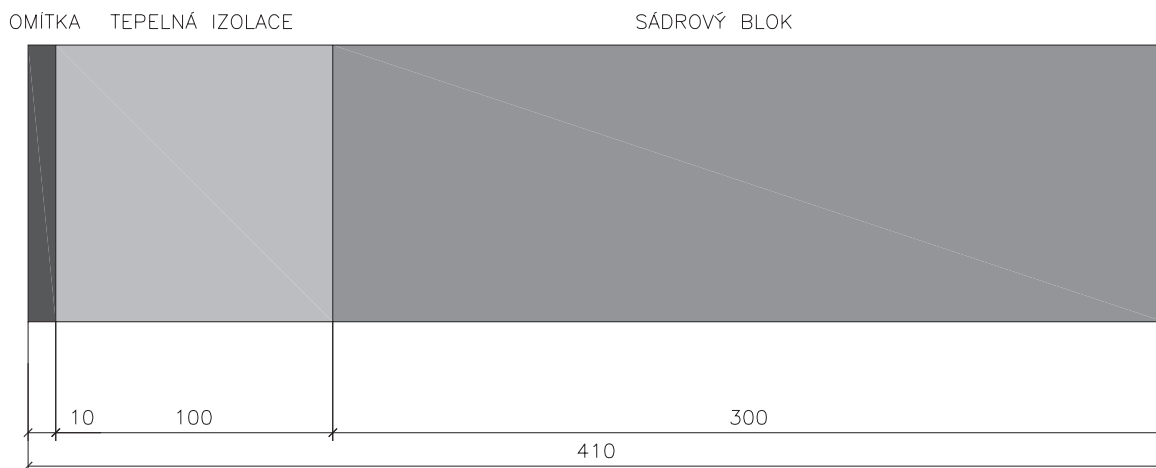


Tab. 1. Základní materiálové charakteristiky použitých materiálů

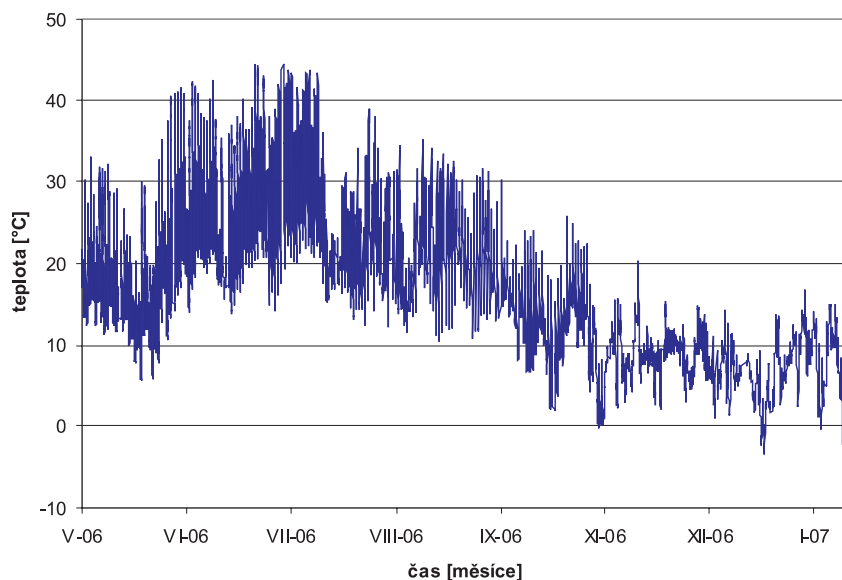
Materiál	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	μ [-]	θ_{hyg}	θ_{sat}	λ_{dry}	λ_{hyg}	λ_{sat}	κ [m ² /s]
				[m ³ /m ³]		[W/mK]			
sádra	1 170	800	13	0,086	0,38	0,44	0,59	0,91	–
tepelná izolace	280	840	3	0,0073	0,89	0,041	0,05	1,10	$5,31 \cdot 10^{-13}$
omítko	1 493	1 100	7	0,0955	0,40	0,62	0,93	1,92	$7,29 \cdot 10^{-7}$

ρ – objemová hmotnost [kg/m³], c – měrná tepelná kapacita [J/kgK], μ – faktor difúzního odporu vodní páry [-], θ_{sat} – saturovaný obsah vlhkosti [m³/m³], θ_{hyg} – hygroskopický obsah vlhkosti [m³/m³], θ_{dry} – součinitel tepelné vodivosti materiálu v suchém stavu [W/mK], λ_{sat} – součinitel tepelné vodivosti materiálu v saturovaném stavu [W/mK], λ_{hyg} – součinitel tepelné vodivosti materiálu při hygroskopické [W/mK], κ – průměrná hodnota součinitele vlhkostní vodivosti [m²/s]

Pro navrženou skladbu konstrukce musí být splněna podmínka $U < U_N$. Jestliže budeme uvažovat o zateplení sádrových bloků tepelnou izolací tl. 100 mm se součinitelem tepelné vodivosti $\lambda = 0,04 \text{ W/mK}$, pak je součinitel prostupu tepla celé konstrukce $0,33 \text{ W/m}^2\text{K}$. V tomto případě je splněna podmínka pro budovy s relativní vlhkostí vzduchu do 60 %. Schéma sádrového bloku s tepelnou izolací je na obr. 4.



Obr. 4. Sádrový blok s vnější tepelnou izolací a omítkou



Obr. 5. Průběh teploty během měření – exteriér

Počítačová simulace

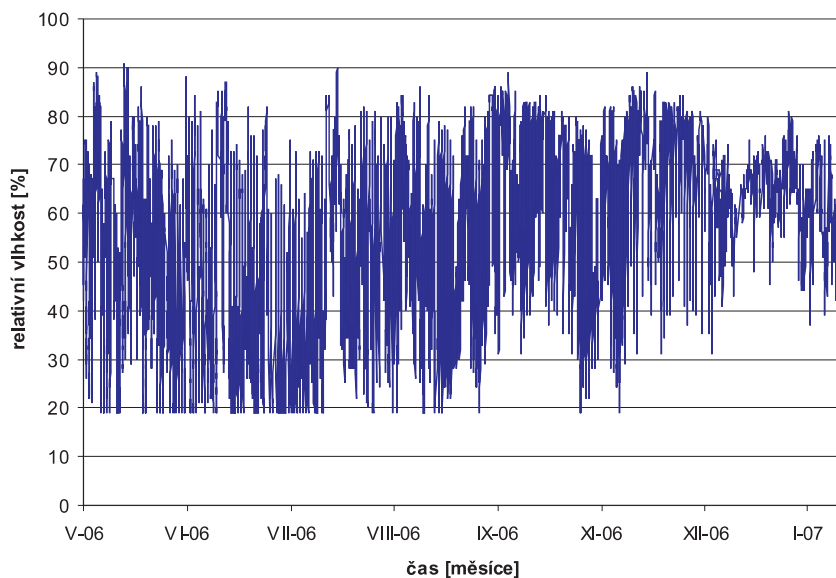
Počítačová simulace byla provedena v programu TRANSMAT [5], který řeší parciální diferenciální rovnice přenosu tepla a vlhkosti metodou konečných prvků. Program je neustále vyvíjen na Katedře mechaniky a Katedře materiálového inženýrství a chemie Fakulty stavební ČVUT v Praze. Při všech simulacích byl použit difúzní model současného přenosu tepla a vlhkosti podle K. H. Künzela [6].

Jako klíčové se z hlediska přesnosti simulace jeví okrajové podmínky. Jde o soubor prvků, které působí na konstrukci z vnějšku v průběhu simulace a ovlivňují její chování. V interiéru to je především tepelně vlhkostní mikroklíma, které je víceméně stálé, rozhodující je však exteriér. Největší význam má zde teplota a relativní vlhkost vzduchu, které

jsou velmi proměnlivé. Při velké náročnosti na přesnost simulace lze do exteriérových okrajových podmínek zahrnout také tlak, směr a rychlost proudění větru, sluneční svit a intenzitu slunečního záření, oblačnost a vodní srážky. To však nebyl případ této simulace. Exteriérové okrajové podmínky použité při zpětné simulaci byly získány z vlastní meteorologické stanice (obr. 5, obr. 6). V létě se maximální teploty pohybovaly kolem $40 \text{ }^\circ\text{C}$, v zimním období dosahovala

minima teplot kolem $0 \text{ }^\circ\text{C}$. Relativní vlhkost vzduchu se ve zkoumaném intervalu pohybovala nejčastěji mezi 30 a 70 %, výjimkou nebyly hodnoty pod 20, resp. nad 80 %. V případě, že relativní vlhkost vzduchu byla nižší než 20 %, indikovala ústředna hodnotu 19 %, jelikož rozsah měření ústředny je 20-95 %. Teplota v interiéru se pohybovala mezi $20\text{-}30 \text{ }^\circ\text{C}$ (výjimečně překročila $35 \text{ }^\circ\text{C}$). Relativní vlhkost se pohybovala nejčastěji mezi 20-35 % (výjimečně přesáhla 40 %).

Při predikčních simulacích nebylo možné použít vlastní klimatická data, proto byl použit referenční klimatický rok (souhrn klimatických hodnot pro různá místa ve světě se zpracovává od roku 1948). V naší simulaci byl použit referenční rok zpracovaný pro Prahu. Interiérové okrajové podmínky byly zvoleny konstantní ($T = 21 \text{ }^\circ\text{C}$, $\theta = 55 \text{ } \%$).



Obr. 6. Průběh relativní vlhkosti během měření – exteriér

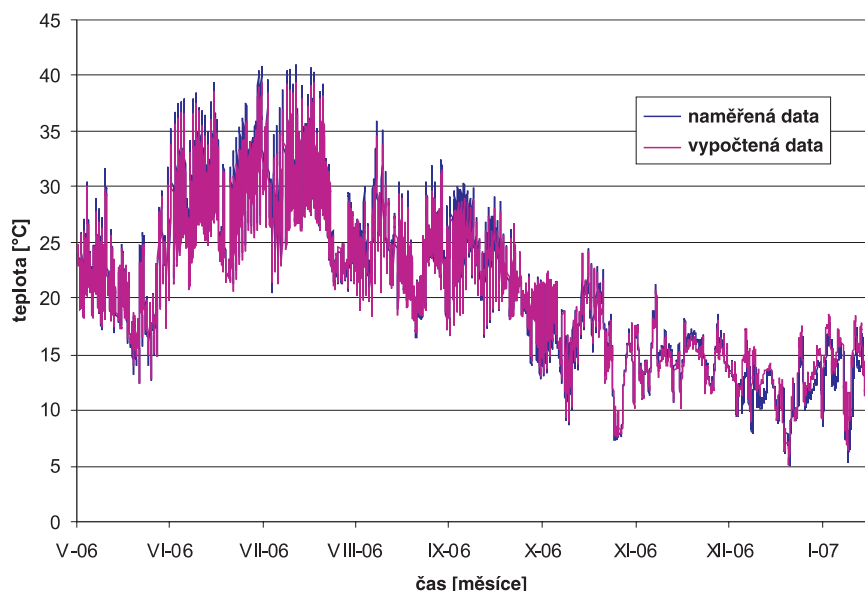
Výsledky

Výsledky zpětné analýzy byly znázorněny graficky, přičemž obr. 7 znázorňuje průběh teploty uvnitř sádrového bloku ve vzdálenosti 45 mm od exteriérové hrany od května 2006 do ledna následujícího roku. Vypočtený a naměřený průběh teploty se liší maximálně o 2-3 °C. Průběh relativní vlhkosti na obr. 8 ukazuje rovněž nepatrné výchyly simulovaných a změřených hodnot (max. 4 %), z čehož lze usoudit, že zvolené přestupové koeficienty jsou vhodné a takto připravený matematický model lze pro predikční simulace konstrukce s navrženou tepelnou izolací využít.

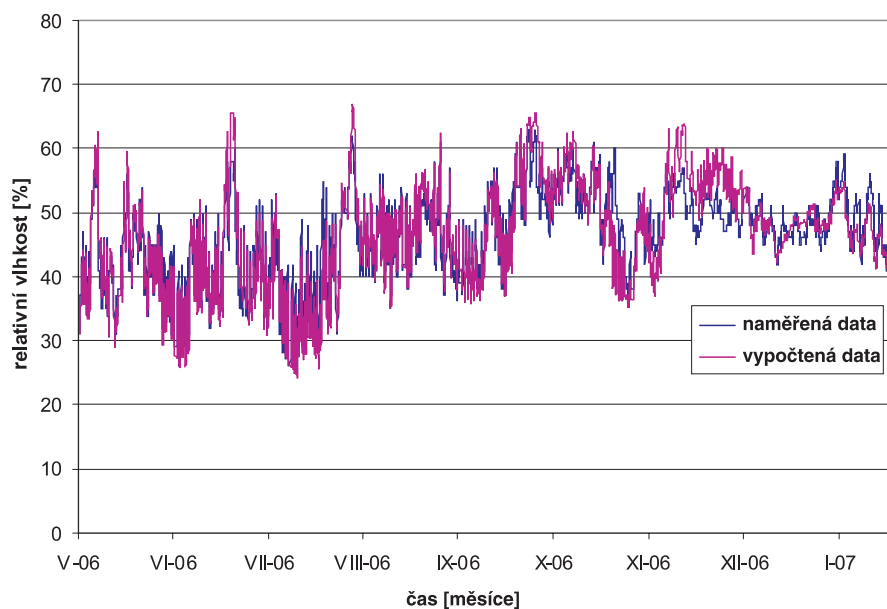
Výsledky predikčních simulací v posledním, tj. desátém roce simulace, jsou prezentovány v obr. 9 až obr. 12 (podélné profily v letním a zimním období v obr. 9, resp. obr. 10). Funkce tepelné izolace, zejména podíváme-li se na zimní období, je patrná z obr. 9, z něhož je rovněž zřejmé, jak tepelná izolace ovlivňuje rozložení teploty uvnitř sádrového bloku během celého roku. Rozdíl teploty během letního a

zimního období uvnitř bloku totiž nepřesahuje 10 °C, navíc neklesá v zimě pod 13 °C a v létě jen výjimečně překračuje 22 °C. Tím se významně snižuje jeho teplotní namáhání a prodlužuje životnost.

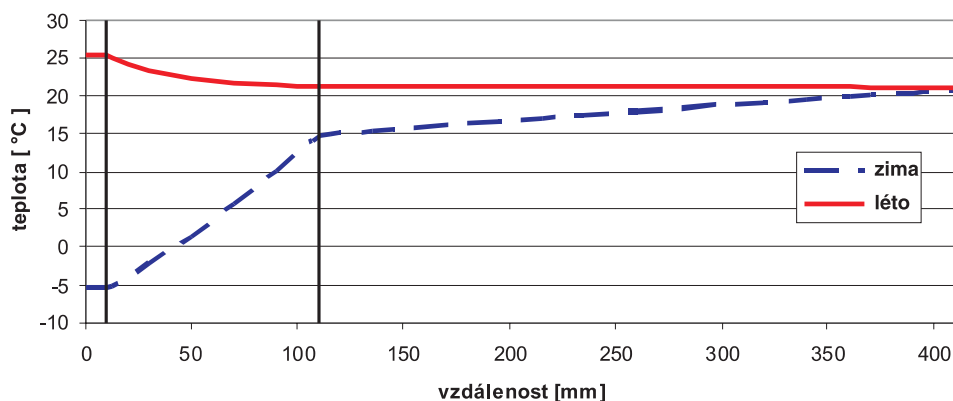
Rozložení relativní vlhkosti uvnitř konstrukce v letním a zimním období desátého roku simulace je zachyceno na obr. 10. V zimním období je názorný vliv tepelné izolace, která díky izolování sádrového bloku od vnějšího studeného vzduchu posouvá rosný bod v konstrukci a relativní vlhkost uvnitř bloku tak klesá. Relativní vlhkost se pohybuje od 35 do 62 %, což jsou z hlediska kondenzace uvnitř sádrového bloku hodnoty bezproblémové. Podle sorpční izotermy sádry totiž odpovídá hodnotě 63 % relativní vlhkosti obsah vlhkosti přibližně 0,00217 m³/m³. Tato hodnota je výrazně pod známou hygroskopickou vlhkostí, která byla měření zjištěna na 0,086 m³/m³. Také je nutné brát v potaz, že interiérové okrajové podmínky byly definovány podle normy [7], tedy jako konstantní. Relativní vlhkost interiéru byla dána



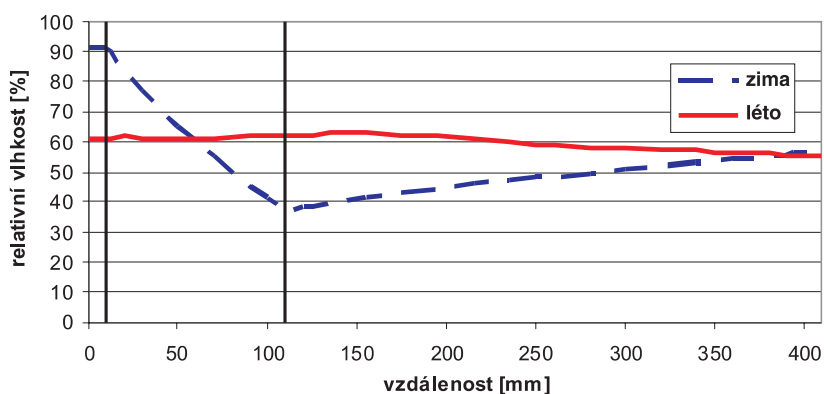
Obr. 7. Průběh teploty uvnitř bloku ve vzdálenosti 45 mm od exteriéru



Obr. 8. Průběh relativní vlhkosti uvnitř bloku ve vzdálenosti 45 mm od exteriéru



Obr. 9. Průběh teploty v podélném profilu, $t = 10$ let (pozice 0 mm odpovídá exteriérovému líci konstrukce)

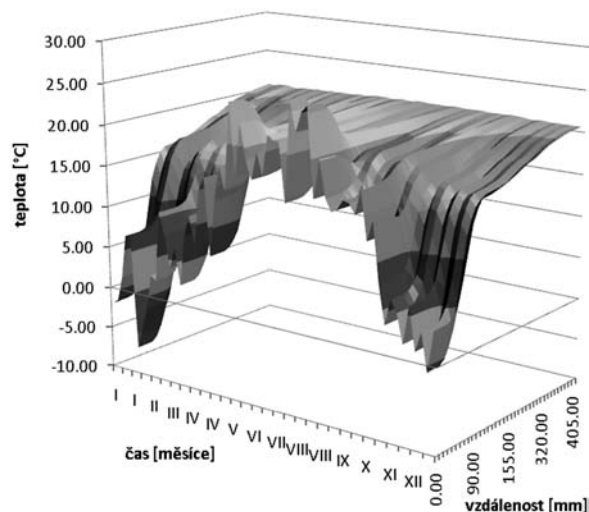


Obr. 10. Průběh relativní vlhkosti v podélném profilu, $t = 10$ let (pozice 0 mm odpovídá exteriérovému líci konstrukce)

konstantní hodnotou 55 %, což je v porovnání s naměřeným průběhem hodnota podstatně vyšší. V praxi se pohybovala nejčastěji mezi 20-35 % a jen občas překročila 50 %.

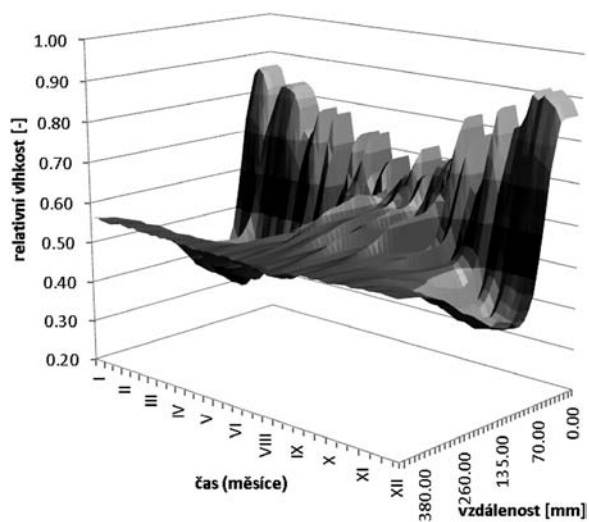
Rozložení teploty, resp. relativní vlhkosti, během desátého roku simulace zachycují obr. 11 a obr. 12. Pozice 0 mm

odpovídá exteriérovému líci pláště. Průběh vnější teploty s maximem v červenci a srpnu a minimem v lednu je vidět na obr. 11. S narůstající vzdáleností od exteriéru se výkyvy teploty zmenšují, uvnitř sádrového bloku už mají relativně klidný průběh v rozmezí 15-20 °C.



Obr. 11. Rozložení teploty v konstrukci, $t = 10$ let

Relativní vlhkost uvnitř konstrukce (obr. 12) je v letních měsících výrazně vyšší než v zimních (v zimě je ovlivněna tepelnou izolací). Rozdíl představuje přibližně 20 %. V extrémech dosahuje vlhkost uvnitř sádrového bloku 60 %, ovšem ani tak není překročen rosný bod, který byl výpočtem stanoven přibližně na 73 % relativní vlhkosti.



Obr. 12. Rozložení relativní vlhkosti v konstrukci, $t = 10$ let

Závěr

Hlavním cílem experimentu bylo posoudit sádrový blok s tepelnou izolací z hlediska teplotně vlhkového namáhání. Podle normy [7] konstrukce vyhoví, a rovněž na základě výsledků prezentované analýzy nebyly shledány nedostatky, které by zabráňovaly jejímu dalšímu využití. To lze doložit i faktem, že i prostý sádrový blok, který je vystaven povětrnosti od počátku experimentu až do současnosti (více než tři roky), nejeví známky degradace. Možnost využití sádry ve stavební praxi je však natolik komplikovaná, že je nutné provést další experimenty a měření, např. k ověření teplotně vlhkového namáhání v kombinaci s mechanickým namáháním, a provést zkoušky pevnosti, které by ukázaly, zda nedošlo ke ztrátě únosnosti materiálu.

Dílejší cíle, jakými bylo ověření funkčnosti matematického modelu a vyvíjeného softwaru, byly splněny bezesbýtku. Přínosem experimentu jsou i klimatická data, která mohou být použita pro další počítačové simulace.

Článek vznikl za podpory výzkumného záměru MŠMT ČR MSM: 68 40 77 00 31.

Literatura

- [1] Tesárek, P.: Vlastnosti energosádry a její využití ve stavebnictví. [Dizertace], ČVUT, Praha, 2007, 135 s.
- [2] Schellhase, W.: Rozvoj sádrového průmyslu v NDR. In: Sádra ve stavebnictví. Brno, ČSVTS, 1967, s. 119-136.
- [3] Maděra, J. – Tesárek, P. – Černý, R.: Coupled Heat and Moisture Transport in a Building Envelope on Cast Gypsum Basis. Advanced Computational Methods in Heat Transfer IX., Southampton: WIT Press 2006, pp. 153-162.
- [4] Jerman, M. – Tesárek, P. – Černý, R.: Properties of Water Vapor Retarders. In: Computational and Experimental Analysis of Structure and Properties of New Building Materials from Nano- to Macrolevel IV. Prague, CTU, 2007, pp. 45-50. ISBN 978-80-01-03759-1.
- [5] Maděra, J. – Černý, R.: TRANSMAT – A Computer Simulation Tool for Modeling Coupled Heat and Moisture Transport in Building Materials. Proceedings of Workshop 2005 – Part A, B. Pratur, CTU, 2005, pp. 470-471.
- [6] Künzel, H. M.: Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components. [Ph.D. Thesis], Stuttgart, IRB Verlag 2005, p. 135.
- [7] ČSN 73 0540: Tepelná ochrana budov. Část 1: Terminologie. ČNI, 2005. Část 2: Požadavky. ČSNI, 2002. Část 3: Výpočtové hodnoty veličin pro navrhování a ověřování. ČSNI, 1994. Část 4: Výpočtové metody, červen. ČNI, 2005.

Kočí, J. – Maděra, J. – Tesárek, P. – Černý R.: Computer Simulation of an Experiment in Real Conditions - Casting Plaster- Based External Skin

The experiment with a casting plaster block was aimed to investigate long-term (two-year) thermal- moisture behaviour of the designed external skin in real conditions. The output of the computer simulation as the main tool was employed for a comparison with the known course of temperature and relative humidity inside the structure. Based on it, the behaviour of the external skin was predicted for the ten years to come.

Kočí, J. – Maděra, J. – Tesárek, P. – Černý R.: Computersimulation eines Versuchs unter realen Bedingungen – Außenwand auf Basis von Gussgips

Zweck des Versuchs mit einem Gipsblock war die Erforschung des langfristigen (zweijährigen) Wärme-Feuchtigkeits-Verhaltens einer entworfenen Außenwand unter realen Bedingungen. Die Ausgaben der Computersimulation als Hauptinstrument dienen zum Vergleich mit dem bekannten Verlauf der Temperatur und relativen Feuchtigkeit innerhalb der Konstruktion, und auf ihrer Grundlage wurde das Verhalten der Außenwand in den kommenden zehn Jahren vorausgesagt.

Trvanlivost vysokohodnotného betonu s alternativními silikátovými pojivy

Ing. Eva VEJMELOVÁ, Ph.D.
prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.
ČVUT – Fakulta stavební, Praha

Ing. Michal ONDRÁČEK
Ing. Martin SEDLMAJER
VUT – Fakulta stavební, Brno

V článku jsou určeny parametry charakterizující trvanlivost vysokohodnotných betonů s obsahem strusky, popílku a metakaolinu, které jsou považovány za alternativní silikátová pojiva. Základní fyzikální vlastnosti, vlhkostní parametry a parametry odolnosti vůči zmrazovacím cyklům a pronikání solí jsou porovnány s referenčním betonem bez alternativních silikátových pojiv.

Úvod

Dynamicky se rozvíjející stavebnictví a rychlý rozvoj v oblasti stavebních hmot se výrazným způsobem odráží ve vývoji techniky. Moderní technická řešení ve všech odvětvích užité techniky využívají nejnovějších vědeckých poznatků základního výzkumu a snaží se je aplikovat na konkrétní případy v praktickém životě, zejména v průmyslu. Kromě nových technologií zpracování a aplikace nových teoretických poznatků skýtá velké možnosti využití užitných vlastností používaných materiálů. Na této bázi je založen rozvoj jednoho z moderních odvětví – materiálového a fyzikálního inženýrství, které cíleně ovlivňuje složení vyvíjených materiálů tak, aby jejich vlastnosti splňovaly užitná kritéria a byl přitom zohledněn i přístup ekologický a ekonomický.

Ve stavebnictví, v němž byly klasické materiály ověřovány po staletí, začal tento proces poněkud později než v metalurgii či v oblasti plastů na bázi polymerů. Vzhledem k obrovskému objemu stavebních hmot, produkovaných v současnosti, je tato problematika aktuální a atraktivní. U stavebních materiálů se kromě mechanických vlastností klade důraz na vlastnosti izolační, tepelné, akustické a na vlastnosti charakterizující jejich trvanlivost. Významná je v této souvislosti schopnost transportu vlhkosti v podobě vodní páry a kapalné vlhkosti a schopnost transportu solí, a proto se ve vývojových laboratořích stále častěji tyto fyzikální parametry měří. V průmyslových aplikacích jsou součástí kontroly kvality a jakosti.

V tomto článku, který by měl rozšířit poznání o použití alternativních silikátových pojiv v betonech z hlediska parametrů charakterizujících jejich trvanlivost, se budeme zabývat vlastnostmi určujícími životnost vyvíjených betonových směsí, ve kterých je kromě klasických cementových pojiv a běžného kameniva použito ještě speciálních přísad a příměsí, plastifikátorů a speciálních plniv, čímž jsou požadované vlastnosti vylepšovány. Jako alternativní materiály, které se chovají při vytváření pevné struktury betonu jako pucolánová, resp. hydraulická pojiva, lze použít popílky

nebo strusky, které vznikají jako odpad v jiných průmyslových odvětvích. Dalším alternativním materiálem je metakaolin, který se sice vyrábí odvodněním kaolinu při teplotě okolo 700 °C, ale tato teplota je téměř o 800 °C nižší než teplota výpalu cementu.

Materiály

Vysokohodnotné betony byly vyrobeny ve čtyřech modifikacích. Jako náhrada cementového pojiva byla použita jemně mletá vysokopecní struska, elektrárenský vysokoteplotní popílek, metakaolin MEFISTO K 05. Kromě toho byl ověřován referenční beton, který neobsahoval žádnou z uvedených příměsí (tab. 1). U alternativ BS – jemně mletá vysokopecní struska (KOTOUČ, Štramberk), BP – vysokoteplotní popílek (ČEZ, Elektrárna Dětmarovice), BM – metakaolin MEFISTO K 05 (ČLUZ, Nové Strašecí), BR – referenční beton bylo nahrazeno 9,1 % cementu alternativními silikátovými materiály. Množství záměsové vody bylo pro všechny receptury zvoleno tak, aby byla splněna konzistence S3 [1], a tím zajištěna požadovaná zpracovatelnost čerstvého betonu. Vlastnosti při zatěžování mrazem a chemickými rozmrazovacími prostředky (CHRL) byly porovnány s vlastnostmi referenčního betonu, který příměsí neobsahoval.

Tab. 1. Složení jednotlivých směsí vysokohodnotného betonu

Složení	Množství [kgm ⁻³]			
	BM	BP	BS	BR
cement CEM I 42,5 Mokrý	440	440	440	484
písek 0-4 mm, těžký praný	812	812	812	812
drť 8-16 mm	910	910	910	910
superplastifikátor Mapei Dynamon SX	5,30	5,30	5,30	5,30
metakaolin MEFISTO	44	–	–	–
popílek Dětmarovice	–	44	–	–
struska Štramberk	–	–	44	–
voda	142	137	146	148

Metody

Základní materiálové parametry, jako je objem vzorku, objemová hmotnost [kgm⁻³], hustota matrice ρ_{mat} [kgm⁻³], otevřená pórovitost ψ [%] byly stanoveny sycením vzorků

vodou za sníženého tlaku a následným vážením vzorků maximálně nasycených a vzorků maximálně nasycených ponořených pod vodní hladinu, kdy se určuje Archimédova hmotnost.

Pro zjištění součinitele difúze vodní páry byla použita klasická misková metoda bez teplotního spádu, založená na jednorozměrném šíření páry vzorkem. Spočívá v měření difúzního toku páry prošlé vzorkem při znalosti jejich parciálních tlaků ve vzduchu pod měrným povrchem vzorku a nad ním [2]. Vzorek je vzduchotěsně a parotěsně izolován a utěsněn technickou plastelinou ve speciální hliníkové misce naplněné buď sušícím médiem (silikagelem či bezvodým CaCl_2), nebo roztokem s vysokým rovnovážným parciálním tlakem (voda, K_2SO_4). Miska se vzorkem se periodicky váží a zjištěné úbytky či přírůstky hmotnosti se v závislosti na době vážení zaznamenají do grafu. Po dosažení přímkového charakteru křivky se měření pokládá za ukončené. Součinitel difúzní propustnosti δ [s] se vypočítá podle vztahu

$$\delta = \frac{\Delta m \cdot d}{S \cdot \tau \cdot \Delta p_p}, \quad (1)$$

kde Δm je hmotnost páry difundující vzorkem [kg], d tloušťka vzorku [m], S plocha vzorku [m^2], τ období korespondující s transportem hmotnosti vodní páry Δm [s] a Δp_p rozdíl parciálních tlaků páry ve vzduchu na obou stranách vzorku [Pa].

Součinitel vlhkostní vodivosti κ [m^2s^{-1}] byl určen přibližnou metodou, založenou na měření nasákavosti [3]. Měřicí zařízení sestává z kovové konstrukce zavěšené na digitální váze, do níž je upevněn po obvodu vodotěsně a parotěsně izolovaný vzorek. Váha ležící na kovovém stojanu, překlenutím nádoby s vodou, je propojena s počítačem, což umožňuje kontinuální zaznamenávání hmotnostního přírůstku vzorku ponořeného 1-2 mm pod vodní hladinu v závislosti na čase.

Z naměřených dat se sestrojí závislost kumulativního obsahu vlhkosti na odmocnině času, ze které se lineární regrese určí vlhkostní absorpční koeficient A [$\text{kgm}^{-2}\text{s}^{-1/2}$]. Přibližná hodnota součinitele vlhkostní vodivosti se potom určí na základě vztahu

$$\kappa \approx \left(\frac{A}{w_{\text{sat}}} \right)^2, \quad (2)$$

kde w_{sat} je nasycená vlhkost [kgm^{-3}].

Pro měření součinitele difúze vodní páry a součinitele vlhkostní vodivosti byly nařezány vzorky $40 \times 40 \times 20$ mm, vodotěsně a parotěsně izolované ze čtyř stran epoxidovou pryskyřicí, aby bylo dosaženo podmínky jednorozměrného transportu vlhkosti.

Koeficient mrazuvzdornosti K byl vypočítán z poměru pevností v tahu za ohybu, resp. tlaku těles uložených v normovém prostředí, a pevností po sto zmrazovacích cyklech [4]. Odolnost proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek byla zjišťována metodou A [5].

Výsledky a diskuze

Ověřování všech parametrů probíhalo za konstantních podmínek v klimatizované laboratoři při 22 ± 1 °C a relativní vlhkosti 25-30 %. Jako počáteční byla brána hmotnost vysušeného materiálu. Prezentované výsledky jsou průměrnou hodnotou tří až pěti měření.

Všechny studované záměsi vysokohodnotných betonů byly podobné objemové hmotnosti, rozdíly mezi jednotlivými byly menší než 5 %. Nejvyšší hustoty pevné matrice (tab. 2) bylo dosaženo u referenčního betonu, nejnižší u betonu s obsahem popílku, ani v tomto případě však nebyly významnější rozdíly. Patrnější rozdíl byl zaznamenán u betonu s obsahem popílku, který byl průměrně o 30 % nižší než u ostatních materiálů.

Tab. 2. Základní parametry materiálů

HPC	ρ	ρ_{mat}	ψ [%]
	[kg m^{-3}]		
BM	2 370	2 690	13,0
BS	2 330	2 600	9,7
BP	2 360	2 720	12,5
BR	2 380	2 720	12,3

Transportní parametry vodní páry materiálů jsou uvedeny v tab. 3. Nejnižší hodnoty faktoru difúzního odporu dosáhly materiály BS a BM, které se vzájemně lišily poměrně málo, naměřené hodnoty byly dvakrát až třikrát nižší než u BR a BP, což není zcela v souladu s měřením otevřené pórovitosti uvedené v tab. 2. Ze získaných dat však nelze jednoznačně určit důvod. Objektivnější závěr by mohl být vysloven po získání distribuční křivky porů na základě porozimetrických měření. Nejvyšší hodnoty faktoru difúzního odporu vodní páry, a to až téměř o 30 % (dry cup) vyšší než u referenčního betonu BR, dosáhl materiál BP, což ukazuje na příznivý vliv popílku na jeho pórovou strukturu i přes relativně vyšší pórovitost.

Součinitel difúze vodní páry v uspořádání dry cup byl nižší než v uspořádání wet cup. Tento výsledek je v souladu se zkušenostmi na jiných typech materiálů a je odrazem skutečnosti, že v uspořádání wet cup je částečně zachycen přenos vody v kapalně formě.

Tab. 3. Transportní parametry vodní páry materiálů

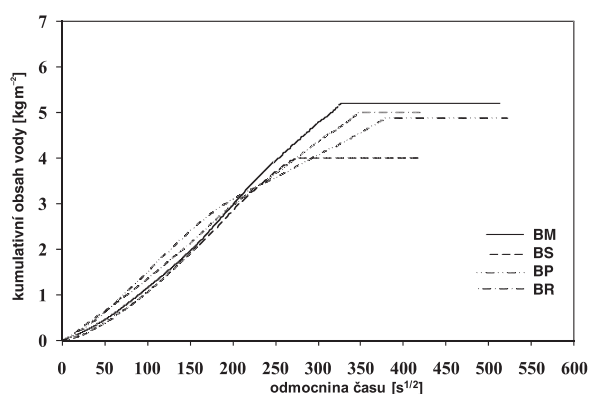
HPC	5/25-30 %			97/25-30 %		
	δ [s]	D [m^2s^{-1}]	μ [-]	δ [s]	D [m^2s^{-1}]	μ [-]
BM	9,52E-12	1,31E-06	17,70	1,90E-11	2,61E-06	8,99
BS	1,09E-11	1,50E-06	15,80	2,64E-11	3,63E-06	6,60
BP	3,81E-12	5,23E-07	44,63	9,76E-12	1,34E-06	17,18
BR	5,16E-12	7,09E-07	32,44	8,01E-12	1,10E-06	20,99

Rychlost pronikání vody do vzorků je ilustrována na obr. 1, kde jsou uvedeny charakteristické křivky kapilárního nasákání jednotlivých materiálů. Naměřené a vypočítané transportní parametry kapalně vlhkosti (tab. 4) ukazují, že nejvýznamnější vliv na snížení schopnosti transportu kapalně vlhkosti měl obsah vysokopecní strusky a metakaolinu. Vzhledem k referenčnímu betonu se hodnoty jejich součinitele vlhkostní vodivosti snížily o 30-40 %. Největší schopnost transportu kapalně vlhkosti měl v tomto případě beton s obsahem popílku, jehož součinitel vlhkostní vodivosti se příliš nelišil od hodnoty naměřené u referenčního betonu. Korelace hodnot součinitele vlhkostní vodivosti s hodnota-

mi otevřené pórovitosti nebyla stejně jako v případě faktoru difúzního odporu vodní páry příliš dobrá (materiály BM, BP a BR mají podobné hodnoty otevřené pórovitosti). I v tomto případě bude tedy nutné dodatečné měření distribuční křivky pórů, která může poskytnout doplňující informace pro vysvětlení rozdílů v transportních parametrech kapalně vlhkosti.

Tab. 4. Transportní parametry kapalně vlhkosti

HPC	A [$\text{kgm}^{-2}\text{s}^{-1/2}$]	κ [m^2s^{-1}]
BM	0,0070	4,09E-09
BS	0,0057	3,77E-09
BP	0,0105	6,49E-09
BR	0,0099	7,15E-09



Obr. 1. Charakteristické křivky nasákání

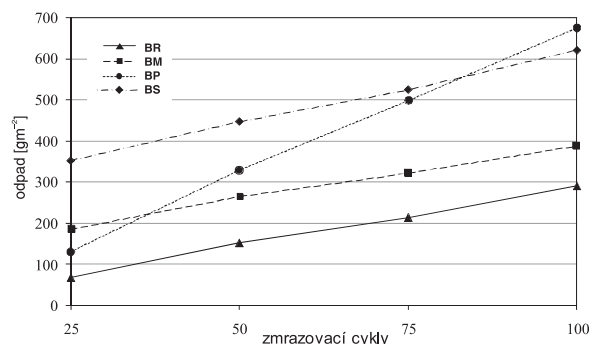
Všechny betony připravené s příměsmi alternativních surovin i beton referenční jsou vyhodnoceny jako mrazuvzdorné, tj. koeficient mrazuvzdornosti K , získaný jak z poměrů pevností v tlaku, tak z poměrů pevností v tahu za ohybu, je větší než 0,75. Výsledky ukazují, že ve vysokohodnotných betonech není nutné použít provzdušňovací přísady, aby byla zajištěna dostatečná mrazuvzdornost. Výsledky jsou prezentovány v tab. 5.

Tab. 5. Koeficient mrazuvzdornosti materiálů

HPC	Koeficient mrazuvzdornosti K z poměru pevností	
	v tlaku [-]	v tahu za ohybu [-]
BM	1,00	1,00
BS	1,00	0,80
BP	0,95	0,85
BR	1,00	0,80

Aby byly betonové povrchy schopny odolávat působení chloridů, je maximální odpad po sto zmrazovacích cyklech stanoven na $1\ 000\ \text{gm}^{-2}$. Všechny vzorky tomuto kritériu vyhověly, odpad byl pod hranicí $700\ \text{gm}^{-2}$. Zkouše byla podrobena krychlová tělesa o velikosti hrany 150 mm. Nejvyšší odpad byl zjištěn u receptury, v níž byl použit elektrárenský popílek, který po 25 cyklech vykazoval malé množství odpadu, ale ten v průběhu zkoušky výrazně rostl. Nejvyšší odolnost při působení CHRL vykazuje referenční vzo-

rek, velice dobré výsledky jsou také u betonu, v němž bylo pojivo částečně nahrazeno metakaolinem. Časový průběh zkoušky je znázorněn na obr. 2.



Obr. 2. Průběh odolnosti betonu proti působení vody a CHRL

Závěr

Popsaný výzkum ukázal, že se sledované materiály mohou stát rovnocennou náhradou vysokohodnotných betonů obsahujících jako pojivo pouze portlandský cement. Materiály obsahující strusku a metakaolin transportovaly kapalnou vodu znatelně pomaleji než referenční materiál a materiál obsahující popílek. Nejpomalejší transport vodní páry byl zaznamenán u betonu s obsahem popílku. Všechny vzorky betonů bez problémů splnily požadavky na mrazuvzdornost, a to bez přidavku provzdušňovací přísady, s velmi vysokými koeficienty po stu zmrazovacích cyklech, které byly zjištěny jak z poměru pevností v tahu za ohybu, tak pevností v tlaku. Podobně vyhověla odolnost proti působení vody společně s chemickými rozmrazovacími látkami. Maximální odpad po stu zmrazovacích cyklech byly pod hranicí $700\ \text{gm}^{-2}$.

Použití alternativních silikátových pojiv jako částečné náhrady cementu nevedlo k patrnému zhoršení ověřovaných vlastností. Při porovnání naměřených parametrů se jako nejvýhodnější náhrada cementu projevil metakaolin. Vlastnosti dosažené u betonů s jeho obsahem dosahovaly podobných hodnot jako u referenčního betonu. Použití elektrárenského popílku jako příměsi mělo za následek mírný pokles pevností a více odpadu při zkoušce CHRL, kde zhoršenou odolnost vykazovala i vysokopecní struska.

Na základě výsledků výzkumu je možné konstatovat, že použití alternativních silikátových pojiv jako částečné náhrady portlandského cementu může být považováno za perspektivní cestu k produkci vysokohodnotných materiálů šetrných k životnímu prostředí.

Článek vznikl za podpory projektu ME 08009 MŠMT ČR.

Literatura

- [1] EN 206-1 Beton Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. ČSN, 2001.
- [2] ČSN 72 7031 Měření součinitele difúze vodní páry stavebních materiálů metodou bez teplotního spádu. ČSN, 1985.
- [3] Kumaran, M. K.: Moisture Diffusivity of Building Materials from Water Absorption Measurements. IEA Annex 24 Report T3-CA-94/01, Ottawa 1994.
- [4] ČSN 73 1322/Z1 Stanovení mrazuvzdornosti betonu. ČSN, 1968.
- [5] ČSN 731326/Z1 Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek. ČSN, 1984.

Vejmelková, E. – Černý, R. – Ondráček, M. – Sedlmajer, M.: Effects of Alternative Silicate Binders on the Parameters Determining Durability of High Performance Concrete

This paper determines parameters characterizing the durability properties of high performance concrete containing alternative silicate binders, namely fly ash, ground granulated blast furnace slag and metakaolin. The measured basic physical properties, hygric properties and parameters describing the resistance from frost cycles and salt penetration are compared with reference high performance concrete without alternative silicate binders.

Vejmelková, E. – Černý, R. – Ondráček, M. – Sedlmajer, M.: Dauerhaftigkeitseigenschaften hochwertigen Betons, der alternative Silikatbindemittel enthält

Im Artikel werden die Parameter bestimmt, welche die Dauerhaftigkeitseigenschaften hochwertiger Betone mit einem Gehalt von Schlacke, Flugasche und Metakaolin charakterisieren, die als alternative silikatische Bindemittel gelten. Die grundlegenden physikalischen Eigenschaften, die Feuchtigkeitsparameter und die Parameter der Beständigkeit gegen Frostzyklen und das Durchdringen von Salzen werden mit einem Referenzbeton ohne Gehalt dieser Bindemittel verglichen.



Jaké to je na stavárně?

Fakulta stavební
ČVUT v Praze
Vás zve

Den otevřených dveří pro širokou veřejnost
v rámci akce Dny stavitelství a architektury
18. říjen 2008

Den otevřených dveří pro zájemce o studium
6. listopad 2008
23. leden 2009

www.fsv.cvut.cz

• projekty

Budova FILADELFIE



Filadelfie bude dalším přírůstkem do promyšleného seskupení moderních architektonicky zajímavých staveb, jež společně vytvářejí harmonickou koncepci celého areálu BB Centra. V blízkosti budovy vznikne rozsáhlý park doplněný vodním prvkem. Nové zelené plochy vytvoří příjemnou klidovou zónu, další místo k relaxaci bude na střeše budovy, kde vznikne terasa s nevšedním výhledem. Budova nabídne nájemcům plochu o téměř 30 000 m² kancelářských ploch v sedmácti nadzemních podlažích. V kvalitě vnitřního prostředí a uživatelského komfortu patří k nejmodernějším administrativním budovám.

Stejně jako ostatní budovy BB Centra bude i Filadelfie splňovat standardy bezpečně vybavené budovy s nejmodernějším protipožárním zabezpečením. V podzemních garážích se bude nacházet téměř tisíc parkovacích stání využívaných z části i veřejností. Stavba byla zahájena v květnu letošního roku, dokončení se plánuje na druhé čtvrtletí roku 2010. Generálním dodavatelem je společnost PSJ, autorem návrhu architektonická kancelář DaM.

Tisková informace



Ověřování přesnosti délkového posunu měřeného totální stanicí

doc. Ing. Vladimír VOREL, CSc.
Ing. Lenka LÍNKOVÁ, Ph.D.

ČVUT – Fakulta stavební

Ing. Veronika ROTBAUEROVÁ

Článek se zabývá ověřováním přesnosti malého délkového posunu měřeného totální stanicí. Výsledků lze využít při geodetickém monitorování staveb, zvláště pak při zkouškách stavebních konstrukcí.

Úvod

Přesnost totální stanice se pro měření délek určuje standardním postupem [1] a výrobci ji obvykle vyjadřují směrodatnou odchylkou ve tvaru

$$\sigma = a + k \cdot d \cdot 10^{-6}, \quad (1)$$

kde a je absolutní člen [mm], k je konstanta, d měřená délka [km], σ vychází v milimetrech.

Směrodatná odchylka je úplná, tj. zahrnuje náhodnou i systematickou složku a platí pro měření délek ve stanoveném dosahu přístroje, na hranoly téhož výrobce a při zavedení fyzikálních korekcí měřené délky. Tyto korekce zohledňují teplotu, tlak a vlhkost při měření proti jejich referenčním hodnotám. Při pasivním odrazu od stěny objektu se uvádí specifický parametr σ [2].

Při geodetickém monitorování staveb [3], ve zkušebnictví a v průmyslových aplikacích geodézie se vyskytuje úloha přesně měřit malou změnu délky (déloký posun), ke které došlo např. mezi dvěma zatěžovacími stavy nebo v důsledku dynamických příčin, např. kmitáním konstrukce při provozu. Takový déloký posun se zpravidla zjišťuje na vhodně voleném pozorovaném bodu osazeném na konstrukci, přičemž stanovisko přístroje je umístěno mimo konstrukci na pilíři, jehož stabilita byla předem ověřena [4]. Navozuje se tedy otázka, s jakou dosažitelnou přesností lze malý déloký posun měřit.

Ověřovaný přístroj

Totální stanice Topcon GPT-2006 [2] střední třídy přesnosti je vhodná pro měření ve výstavbě (obr. 1). Katedra speciální geodézie ČVUT má pro výuku soubor dvanácti těchto přístrojů, převzatých v jedné dodávce. Náhodně byla vybrána jedna stanice (v. č. 0585) a podrobena zkouškám na experimentální základně. Její dosah v hranolovém režimu je 4 km, přesnost měřené délky $\sigma = 3 + 2 \cdot d \cdot 10^{-6}$ mm, prakticky to je 3 mm pro délky do 150 m, které přicházejí v úvahu při geodetickém monitorování staveb. Na displeji se zobrazuje délka na čtyři desetinná místa. Toto zobrazení nekoresponduje s přesností „absolutního“ měření délky (hodnotou $\sigma = 3$ mm), ale bylo využito při ověřování přesnosti měření déloký posunu.

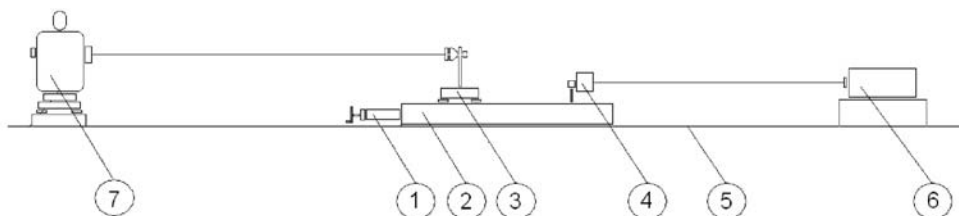


Obr. 1. Totální stanice Topcon GPT-2006

Základna a referenční zařízení

Z řady experimentů [5] bude popsán ten, který proběhl v metrologické laboratoři oboru geodézie a kartografie Fakulty stavební ČVUT. Bylo využito základny pro laserovou interferometrii, uspořádání přístrojů a vozíku na vodicích lištách je patrné z obr. 2. Měření malého déloký posunu (do 40 mm) probíhalo při vzdálenosti totální stanice od hranolu 4, 12 a 18 m.

Laserový interferometr Renishaw ML 10 (v. č. 60825-1) umožňuje číst měřenou délku na jedno desetinné místo mikrometru. Výrobce udává, že do vzdálenosti 40 m lze dosáhnout přesnosti 0,7 μ m při zavedení opravy z vlivu atmosféry. Podle zkušeností provozovatele zařízení (Katedra vyšší geodézie, doc. Ing. F. Krpata, CSc., a Ing. Z. Vyskočil, za jejichž pomoci mohlo být měření uskutečněno) lze dosáhnout výběrové směrodatné odchylky 1 μ m. Tato charakteristika platí do vzdálenosti 24 m, měříme-li posunutím úsek 1 m. Je však nutné předepsaným postupem zavádět fyzikální korekce. To předpokládá měřit teplotu vzduchu s přesností 0,1 $^{\circ}$ C, atmosférický tlak na 100 Pa a vlhkost vzduchu na 10 % jednotkou automatických korekcí, která je součástí laserového zařízení. Při měření malého déloký posunu (rozdílu délek) v laboratoři s ustáleným prostředím opravu z vlivu atmosféry nebylo třeba zavádět. V každém případě pracuje



Obr. 2. Experimentální základna

1 – suport s mikrometrickou stupnicí, 2 – pojízdná plošina, 3 – odrazný hranol pro totální stanici, 4 – odrazný hranol pro interferometr, 5 – kolejnice, 6 – interferometr, 7 – totální stanice

laserový interferometr při měření délek o několik řádů přesněji než totální stanice Topcon GPT-2006, a proto je vhodným referenčním zařízením.

Mechanika vozíku základny obsahovala jako jemný nastavovací prvek mikrometrický šroub. Skutečná hodnota délkového posunu však byla určována interferometricky. Bylo zajištěno, aby záměrná přímka byla vodorovná a rovnoběžná s vodicí lištou.

Homogenní prostředí v laboratoři bylo kontrolováno digitálními přístroji Greisinger GPB/GFTH.

Postup experimentu

Při vzdálenosti totální stanice $d = 4$ m od hranolu, umístěného na vozíku, pak 12 a 18 m byl vozík zajištěn. Mikrometrickým šroubem na sestavě vozíku se nastavoval délkový posun s krokem přibližně 0,5 mm. Při tom se četl délkový údaj x_i na displeji totální stanice na desetiny milimetru, a současně údaj X_i na interferometru na desetitisíciny milimetru. Vzhledem k možnosti nastavovat mikrometrem vozíku délkový posun v rozsahu 0-40 mm bylo při kroku 0,5 mm změřeno 80 odpovídajících si hodnot ($x_i; X_i$) postupem „tam“ a nezávisle „zpět“.

Analýza přesnosti

Pro každou z délek $d = 4, 12$ a 18 m byly z hodnot ($x_i; X_i$) vytvořeny pracovní tabulky, a to zvlášť pro měření „tam“ a „zpět“ při posunech 0,5; 1,0; 2,0 mm. Příklad pro posun 0,5 mm s obecnými symboly je v tab. 1. Z tabulky je patrné, že délkové posuny δ_{ij} budou vzájemně nezávislé a jejich počet $n = 40$. Totéž platí o posunech Δ_{ij} . Posuny Δ_{ij} měřené laserovým interferometrem lze považovat vzhledem k vysoké přesnosti zařízení za hodnoty konvenčně pravé ve smyslu ČSN 01 0115 [6] a hodnoty ε_{ij} budou podle definice v téže normě chybami (délkového posunu).

Tab. 1. Pracovní tabulka ($d = 4,0$ m, posun 0,5 mm, měření „tam“)

i	x_i	δ_{ij}	X_i	Δ_{ij}	ε_{ij}
0	x_0	$\delta_{01} = x_1 - x_0$	X_0	$\Delta_{01} = x_1 - x_0$	ε_{01}
1	x_1		X_1		
2	x_2	$\delta_{23} = x_3 - x_2$	X_2	$\Delta_{23} = x_3 - x_2$	ε_{23}
3	x_3		X_3		
4	x_4	$\delta_{45} = x_5 - x_4$	X_4	$\Delta_{45} = x_5 - x_4$	ε_{45}
5	x_5		X_5		
80	x_{80}		X_{80}		

x_i – čtení totální stanice, X_i – čtení interferometru, δ_{ij} – délkový posun, Δ_{ij} – délkový posun, ε_{ij} – chyba délkového posunu, $\varepsilon_{ij} = \Delta_{ij} - \delta_{ij}$

Analogicky byly vytvořeny pracovní tabulky pro posuny 1 mm a 2 mm, pro měření „tam“ a „zpět“. Z každé pracovní tabulky pak byla vypočtena výběrová směrodatná odchylka délkového posunu

$$s = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{n-1}}, \tag{2}$$

kde n je rozsah souboru chyb, $n = 40$, přičemž $(n - 1)$ ve jmenovateli je z důvodu použití hodnoty s ve statistickém testu, který je dále popsán. Výsledkem výpočtů podle vzorce (2) je tab. 2. Výběrové směrodatné odchylky se zde pohybují v intervalu 0,48-0,74 mm, proto výpočet souhrnné charakteristiky není možný bez ověření jejich homogenity. Při tom lze předpokládat, že hodnoty výběrových směrodatných odchylek s_i v tab. 2 pocházejí z normálně rozdělených základních souborů chyb ε_{ij} , přičemž každý soubor má za parametr rozptyl σ_i^2 .

Tab. 2. Výběrové směrodatné odchylky s_i [mm]

Postup měření	Tam			Zpět		
	0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0
posun [mm]						
délka [m]						
4	0,57	0,65	0,58	0,49	0,50	0,48
12	0,6	0,66	0,51	0,59	0,71	0,59
18	0,68	0,59	0,74	0,72	0,67	0,66

$n = 40$ (platí pro každou hodnotu s_i)

Test homogenity přesnosti je testem hypotézy $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2$, překročení kritické hodnoty vede k jejímu zamítnutí. Bartlettovo kritérium [7] má rozdělení χ^2 . Zavede se označení

$$s^2 = \frac{1}{f} \sum_{i=1}^k f_i \cdot s_i^2 \tag{3}$$

a vypočte se hodnota výrazu

$$B = \frac{1}{C} (f \cdot \ln s^2 - \sum_{i=1}^k f_i \cdot \ln s_i^2) = \frac{2,30259}{C} (f \cdot \log s^2 - \sum_{i=1}^k f_i \cdot \log s_i^2), \tag{4}$$

kde $C = 1 + \frac{1}{3(k-1)} (\sum_{i=1}^k \frac{1}{f_i} - \frac{1}{f}), \tag{5}$

$$f = \sum_{i=1}^k f_i, \tag{6}$$

přičemž f_i je počet stupňů volnosti pro odhad rozptylu s_i^2 ;
 s_i^2 – druhá mocnina výběrové směrodatné odchylky
 délkového posunu vypočtené podle vztahu
 (2);
 k – počet odhadu rozptylů.

Platí-li $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2$, pak veličina B má přibližně χ^2 rozdělení o $n = k - 1$ stupních volnosti. Kritický obor pro test hypotézy $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2$ na hladině významnosti α je dán nerovností $B > \chi_{\alpha, k-1}^2$.

Bartlettův test byl proveden nejprve pro hodnoty ve sloupcích tab. 2 (celkem 6 testů), kdy se ověřovalo, zda měření stejného délkového posunu při různé vzdálenosti totální stanice od hranolu pocházejí ze stejného základního souboru. Například test č. 1 zní

$$H_0: \sigma_{4;0,5}^2 = \sigma_{12;0,5}^2 = \sigma_{18;0,5}^2 \text{ pro měření „tam“},$$

$$H_1: \text{non } H_0,$$

kde H_0 je hypotéza nulová, H_1 hypotéza alternativní. Hodnota charakteristiky B pro testy č. 1 až 6 je vypočtena v tab. 3. Kritická hodnota χ^2 rozdělení $\chi_{0,05;2}^2 = 5,99$ nebyla překročena.

Tab. 3. Hodnoty charakteristiky B

Test	1	2	3	4	5	6
B	1,38	0,51	5,87	5,5	4,78	3,77

Dále byl tento test aplikován na výběrové směrodatné odchylky uvedené v řádcích tab. 2, tedy bylo zjišťováno, zda měření různého délkového posunu při stejné vzdálenosti totální stanice od hranolu pocházejí ze stejného základního souboru. Testová charakteristika nabyvala hodnoty nejvýše 2,76 a vzhledem ke kritické hodnotě $\chi_{0,05;2}^2 = 5,99$ nelze nulovou hypotézu pro žádný test zamítnout. Je tedy možné předpokládat, že hodnoty výběrových směrodatných odchylek s_i obsažené v tab. 2 pocházejí z téhož základního souboru chyb ε_{ij} definovaných v tab. 1. Z hodnot v tab. 2 byla potom kvadratickým průměrem vypočtena výběrová směrodatná odchylka délkového posunu $s = 0,62$ mm, která je souhrnnou charakteristikou přesnosti, jež představuje (vzhledem ke střední třídě totální stanice) překvapivě dobrý výsledek.

Dále je třeba dodat, že chyby délkového posunu ε_{ij} uvedené v tab. 1, obsahují náhodnou a systematickou složku. Systematická složka bude vyjadřovat rozdíl systematických chyb údajů totální stanice (x_0, x_1) , (x_2, x_3) atd., přičemž předpokládáme, že údaje interferometru mají systematickou chybu o několik řádů menší. Proto výběrová směrodatná odchylka $s = 0,62$ mm, která je produktem chyb ε_{ij} , bude kromě náhodných vlivů alespoň z části vyjadřovat i vlivy systematické a bude se přibližovat hodnotě úplné výběrové střední chyby [8].

Podle platných metrologických předpisů, zejména [9], se výsledek předchozí analýzy přesnosti vyjádří rozšířenou nejistotou měření

$$U \leq k \cdot s, \quad (7)$$

kde k je koeficient rozšíření, při pravděpodobnosti $P = 0,95$ bude $k = 2$, s je výběrová směrodatná odchylka. Při výsledku $s = 0,6$ mm činí rozšířená nejistota měření délkového posunu $U \leq 1,2$ mm.

Závěr

Experimentálně bylo prokázáno, že při měření malého délkového posunu stanicí Topcon GPT-2006, a to při vzdálenosti 4-18 m, lze dosáhnout směrodatné odchylky $s = 0,6$ mm, tj. rozšířená nejistota měření $U \leq 1,2$ mm. To znamená výsledků podstatně lepších, než by se dalo očekávat od této třídy totální stanice („třímilimetrový dálkoměr“).

Charakteristiky $s = 0,6$ mm a $U \leq 1,2$ mm současně popisují rozlišitelnost ověřovaného přístroje. Tyto charakteristiky platí pro malý délkový posun při relativně krátké délce a za ustálených atmosférických podmínek.

Uvedeného postupu lze využít ke zjištění rozlišitelnosti i jiných totálních stanic. Popsaný plánovaný experiment probíhal v homogenním prostředí. Výsledky analýzy přesnosti poskytují možnost použít totální stanice Topcon GPT-2006 při ověřování stavebních a dalších konstrukcí v laboratorních, průmyslových halách apod. Pro geodetické monitorování staveb v průběhu realizace a jejich dohotovení se dá o použití totální stanice ke stanovení malého délkového posunu uvažovat, bude-li změna atmosférických veličin po dobu měření minimální.

**Příspěvek byl vypracován s podporou výzkumného zá-
měru MSM 6840770001, dílčí část „Geodetické moni-
torování pro zajištění spolehlivosti staveb“.**

Literatura

- [1] ČSN ISO 17 123-4 Optika a optické přístroje – Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřicích přístrojů – Část 4: Elektrooptické dálkoměry. ČNI, 2005.
- [2] Firemní literatura Trimble a Topcon.
- [3] Vorel, V.: Geodetické monitorování staveb, jeho východiska a souvislosti. Geodetický a kartografický obzor, 52, 2006, č. 7, s. 127-129.
- [4] ČSN 73 0405 Měření posunů stavebních objektů. ČSNI, 1997.
- [5] Rotbauerová, V.: Testování přesnosti totální stanice. [Diplomová práce]. ČVUT – Fakulta stavební, Praha, 2007.
- [6] ČSN 01 0115 Mezinárodní slovník základních a všeobecných termínů v metrologii. ČSNI, 2002.
- [7] Janko, J.: Statistické tabulky. Praha, ČSAV 1958.
- [8] Hampacher, M. – Radouch, V.: Teorie chyb a vyrovnávací počet 10. Praha, Nakladatelství ČVUT 1997.
- [9] EA-4/02 Vyjadřování nejistot měření při kalibracích. Praha, ČIA 2000.

Vorel, V. – Línková, L. – Rotbauerová, V.: Verification of Accuracy of Length Shift Measured with a Total Station

This paper verifies the accuracy of a small length shift measured with a total station. The results may be used in geodetical monitoring of constructions, particularly in tests of building structures.

Vorel, V. – Línková, L. – Rotbauerová, V.: Überprüfung der Genauigkeit der mit einer Totalstation gemessenen Längsverschiebung

Der Artikel befasst sich mit der Überprüfung der Genauigkeit einer geringen mit einer Totalstation gemessenen Längsverschiebung. Die Ergebnisse können bei der geodätischen Überwachung von Bauten, insbesondere bei Prüfungen von Baukonstruktionen, angewandt werden.

Měření svislých posunů totální stanicí trigonometrickou metodou

doc. Ing. Radim BLAŽEK, CSc.
Dr. Ing. Zdeněk SKOŘEPA

ČVUT – Fakulta stavební
Praha

S nástupem přesných totálních stanic v geodetické praxi souvisí i nový postup měření a výpočtu svislých posunů stavebních objektů trigonometrickou metodou. Je provedena analýza této metody na základě experimentálního měření podle nově navržené technologie.

Úvod

Katedra geodézie a pozemkových úprav FSv ČVUT v Praze se zabývá již desítky let etapovým sledováním svislých posunů stavebních objektů (obilních sil, budov a mostních konstrukcí), dnes převážně měřením svislých posunů při statických zatěžovacích zkouškách mostů ve spolupráci s Experimentálním centrem a Katedrou mechaniky FSv ČVUT. Při těchto činnostech se většinou vystačí s metodou přesné geometrické nivelace. V jednotlivých případech jsou však pozorované body nepřístupné nivelačnímu měření, např. pozorované body uprostřed mostního pole, na které není možné dohlédnout pod vodorovnou z pevného stanoviska. Protože zpravidla jde o průhyb mostovky, vyvinuli jsme pro tento případ novou měřickou a výpočetní technologii.

Dosavadní zkušenosti

Trigonometrická metoda je jednou z geodetických možností určování svislých posunů stavebních objektů [4]. Spočívá v opakovaném měření zenitových úhlů (úhel ve svislé rovině mezi svislicí a záměrou na bod) za předpokladu, že poloha stanoviska o známé vzdálenosti od pozorovaných bodů je během měření neměnná. Při statických zatěžovacích zkouškách jde nejčastěji o přesné opakované zaměření zenitových úhlů z pevného stanoviska ležícího mimo deformační zónu ve známé vzdálenosti od pozorovaných bodů. Pozorované body musí signalizovat, aby umožňovaly přesné (podle časových možností nejlépe několikanásobné) zacílení v každé měřické etapě (nultá etapa, zatěžovací stav, odtížení). Zenitové úhly je možné měřit v podstatě jakýmkoli vteřinovým teodolitem (časovou výhodou je automatické urovnání indexů kompenzátořem) s nezávislým určením potřebných vzdáleností, nebo dnes výhodnějším a jednodušším postupem – přesnou totální stanicí, která umožní současně přímé měření vzdáleností a registraci řady měřených veličin v omezeném časovém intervalu jediným měřičem (větší počet měření vede obecně k přesnějším výsledkům).

Poprvé byla tato metoda experimentálně použita při statické zatěžovací zkoušce silniční estakády Krejčárek – Palmovka v roce 2005 při sledování bodu R 22 (střed pole) ve dvou zatěžovacích stavech (sousedního a sledovaného pole). Dosážená přesnost byla nezávisle ověřena statickou zatěžovací zkouškou silničního mostu Malá Chuchle – Nadjezd nad Strakonickou ulicí, kde byly sledovány body R31 a R32 pod

mostovkou ve středu třetího pole rovněž ve dvou zatěžovacích stavech, tentokrát při centrickém a excentrickém zatížení sledovaného pole. K měření zenitových úhlů byl použit starší typ kalibrovaného vteřinového teodolitu Zeiss Theo 010A a k určení šikmé délky totální stanice Leica TCR 403, která měří délky i bez hranolu pomocí zabudovaného laserového dálkoměru. Signalizaci pozorovaného bodu zajišťoval svisle upevněný kruhový terčik Ø 50 mm s kontrastně (černobíle) vybarvenými mezikružními, která umožňují až deset nezávislých symetrických zacílení zenitového úhlu (obr. 1).



Obr. 1. Záměrný terč s mezikružními

Vzhledem k časově náročnému programu zatěžovacích zkoušek bylo však ve všech případech opakovaně (v přibližně pětiminutových intervalech) cíleno pouze na střed terče vždy bezprostředně v obou polohách dalekohledu. Průměr středového kruhu (5 mm) se totiž promítá při zvětšení dalekohledu (30×) teodolitu právě do dvojrysky záměrného kříže na vzdálenost pevného stanoviska cca 30 m, a umožňuje tak velmi kvalitní zacílení. Svislý posun, jehož očekávaná velikost je zpravidla v řádu milimetrů (maximálně centimetrů), byl počítán podle přibližného vzorce. Výsledné posuny (tab. 1)

Tab. 1. Výsledky dvou různých zatěžovacích zkoušek

Svislý posun							
ID	zatěžovací stav	zatížení	<i>n</i>	σ	odtížení	<i>n</i>	σ
R_22	1	-0,85	9	0,04	-0,32	7	0,06
R_22	2	4,20	8	0,06	0,15	7	0,08
R_31	2	7,35	8	0,08	0,36	6	0,10
R_32	2	6,63	8	0,15	-0,66	6	0,10
R_31	3	7,66	7	0,09	0,32	7	0,08
R_32	3	6,62	7	0,11	0,76	7	0,07
kvadratický průměr				0,10	–	–	0,08

* svislé posuny a směrodatné odchylky σ jsou uvedeny v milimetrech,

n – počet měření; znaménko minus zdvih např. při zatížení sousedního pole

se vztahují k začátku měření bez zatížení, kdy je svislý posun nulový. Norma [1] stanoví mezní odchylku délky výsledného vektoru posunu hodnotou 2/15 očekávaného posunu. Je-li například pro bod R31 očekávaný posun 12,86 mm, pak je mezní odchylka 1,71 mm a směrodatná odchylka 0,7 nebo 0,6 mm podle použitého intervalu spolehlivosti 2,5 (99 %) nebo 3,0 (99,7 %). Opačnou úvahou vychází, že dosažená směrodatná odchylka 0,09 mm (kvadratický průměr směrodatných odchylek uvedených v tab. 1) postačí ke sledování očekávaného posunu již o velikosti 1,6 mm.

Inovace

V současné zeměměřické praxi se téměř úplně ustoupilo od používání vteřinových teodolitů s optickým mikrometrem (přístrojů bez elektroniky a softwaru). Naše strategie řešení svislých posunů trigonometrickou metodou proto předpokládá, že se k měření použije přesná totální stanice, tj. elektronický teodolit s vestavěným elektronickým dálkoměrem, obsáhlým programovým vybavením a registrací měření (obr. 2, obr. 3). Tyto přístroje měřický proces urychlují,



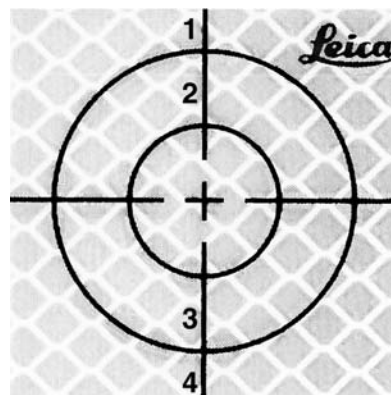
Obr. 2. Leica TPS 1202

12:00	IR	STD	I	
MĚŘENÍ				
Měření: Default				
Survey	Offset	Code	Mapa	
ID bodu	:		1	
A1:		ZAKLADNI ETAPA		
V	:	98.1899	g	
Vodor vzdál.	:	20.010	m	

			A
	>INS<	MALÁ	->NUM

Obr. 3. Zobrazení výsledků měření

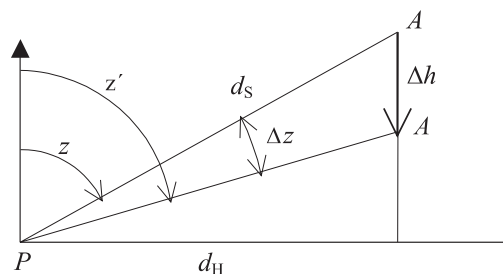
což v našem případě, kdy výsledky jednotlivých měření závisejí na čase, je přínosem. Efektivně měřit s těmito přístroji však vyžaduje kromě znalostí z geodézie i počítačovou a informační gramotnost.



Obr. 4. Cílové body na odrazném terčiku (40×40 mm)

Vzorce pro výpočet svislých posunů

Svislý posun způsobí změnu zenitového úhlu, který se měří v jednotlivých etapách. V základní etapě se změří úhel z , v další etapě úhel z' . Změna zenitového úhlu, která nastane vlivem svislého posunu, je $\Delta z = z' - z$ [gon]. Svislý posun Δh se vypočte podle vzorce, který slouží k výpočtu vzdálenosti dvou bodů ležících na jedné svislici. Jeho odvození je patrné z obr. 5. Předpokládá se (vycházíme z dosavadních zkušeností), že během měření nedošlo ke změně polohy stanoviska P , a tím ani ke změně vodorovné vzdálenosti d_H .



Obr. 5. Trigonometrická metoda

$$\Delta h = d_H (\cot g z - \cot g z') = d_H \frac{\cos z \sin z' - \cos z' \sin z}{\sin z \sin z'} = d_H \frac{\sin \Delta z}{\sin z \sin z'}, \quad (1)$$

kde d_H je vodorovná délka.

Šikmá délka d_S se měří elektronickým dálkoměrem, kterou přístroj redukuje na vodorovnou délku d_H . Je lépe ji změřit na začátku každé etapy v obou polohách dalekohledu na střed odrazného terčiku.

Protože úhel Δz lze očekávat malý, platí

$$\sin \Delta z \approx \frac{\Delta z}{\rho},$$

tedy

$$\Delta h = d_H \frac{\Delta z}{\rho \sin z \sin z'}, \quad (2)$$

kde $\rho = \frac{200}{\pi} \doteq 63,6620$ gon.

Vzorec (2) se dále zjednoduší, pokud platí $z' \approx z$, pak

$$\Delta h = d_H \frac{\Delta z}{\rho \sin^2 z} = d_H \frac{\Delta z}{\rho} (1 + \cotg^2 z) = k \Delta z, \quad (3)$$

kde veličina $k = \frac{d_H}{\rho \sin^2 z} = \frac{d_H}{\rho} (1 + \cotg^2 z)$ je pro všechny etapy na stanovisku konstantní.

Rozptyl (variance) vypočteného svislého posunu (1) je

$$\sigma_{\Delta h}^2 = (\Delta h / d_H)^2 \sigma_D^2 + d_H^2 (1 + \cotg^2 z)^2 + (1 + \cotg^2 z')^2 (\sigma_V / \rho)^2,$$

kde σ_D je směrodatná odchylka (střední chyba) měřené délky a σ_V je směrodatná odchylka měřeného zenitového úhlu.

Vliv prvního členu (přesnosti měřené délky) je zanedbatelný. Prakticky se uplatňuje pouze vliv druhého členu (přesnosti měřených zenitových úhlů), a navíc $z \approx z'$, pak výsledný rozptyl je

$$\sigma_{\Delta h}^2 = \left(\frac{d_H}{\rho} (1 + \cotg^2 z) \right)^2 \sigma_{\Delta z}^2, \quad \sigma_{\Delta z} = \sigma_V \sqrt{2}. \quad (4)$$

Měření zenitových úhlů (čtyřbod)

Zenitové úhly se měří na odrazný terčik na fólii (obr. 4) o rozměrech 20 x 20 mm (dosah 2 až 40 m je určen výrobem) nebo 40 x 40 mm (dosah 20 až 100 m) nebo 60 x 60 mm (dosah 60 až 180 m). Na druhém štítku jsme použili cílové body 1 až 4 (obr. 4). Měřením na tyto body jsou sledovány svislé posuny. Měření zenitových úhlů probíhá ve dvou polohách dalekohledu (pak lze určit indexovou chybu přístroje a kontrolovat měření) vždy s dvojnásobným cílením (cíle se střídavě shora a zdola) podle obecného schématu A^I - B^I, B^{II} - A^{II}, který určuje pořadí měření. Podle tohoto schématu se nejprve měří v první poloze dalekohledu postupně na cílové body 1, 2, 3, 4. Poté se dalekohled proloží do druhé polohy a měření se opakuje na stejné cílové body, ale v opačném pořadí, tj. 4, 3, 2, 1. Měření se registrují do vnitřní paměti přístroje nebo na paměťovou kartu.

Redukce zenitových úhlů

Zenitové úhly se měří na odrazný terčik, který má celkem čtyři cílové body (obr. 4). Další postup řešení spočívá v redukci měřených zenitových úhlů ke středu S. Podle obr. 6 je

$$\operatorname{tg} \delta_z = \frac{r \sin z}{(d_H / \sin z) \mp r \cos z} = \frac{2r \sin^2 z}{2d_H \mp r \sin 2z} \quad \left. \begin{array}{l} (-) \dots \text{body 1, 2} \\ (+) \dots \text{body 3, 4} \end{array} \right\} \quad (5)$$

kde r je poloměr příslušné kružnice, průměry obou kružnic byly určeny na komparátoru v laboratoři Katedry vyšší geodézie FSv ČVUT v Praze.

Redukovaný zenitový úhel je $z = \bar{z} \pm \delta_z$. Redukce (5) se vypočte pro každý cílový bod. U bodů 1 a 2 se hodnota δ_z přičítá, u bodů 3 a 4 se odečítá.

Pro další zpracování se vypočte z redukovaných zenitových úhlů průměr $z_A = \Sigma \bar{z} / 4$. Empirická směrodatná odchylka výsledného zenitového úhlu (průměru) se určí podle vzorce

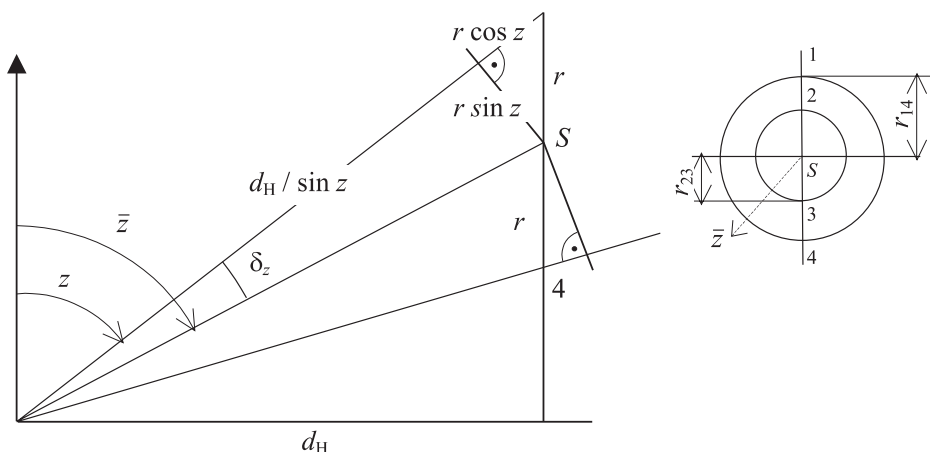
$$\sigma_{z_A} = \sqrt{\frac{\Sigma \bar{z}^2 - (\Sigma \bar{z})^2 / n}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\Sigma vv}{n(n-1)}},$$

kde opravy $v = z_A - \bar{z}$, $n = 4$. Empirická směrodatná odchylka $\sigma_{\bar{z}} = 2\sigma_{z_A}$ měřeného zenitového úhlu (jednoho měření) je v našem případě dvakrát větší (je násobkem odmocniny z počtu měření) než směrodatná odchylka průměru.

Směrodatné odchylky σ_{z_A} a jejich kvadratický průměr z jednotlivých etap získané při experimentálním měření jsou uvedeny v tab. 2. Čísla ukazují na vysokou přesnost výsled-

Tab. 2. Směrodatné odchylky zenitových úhlů

ID	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆
etapa	$d_H = 20 \text{ m}$	$d_H = 30 \text{ m}$	$d_H = 40 \text{ m}$	$d_H = 50 \text{ m}$	$d_H = 60 \text{ m}$
	σ_{z_A} [mgon]				
základní	0,25	0,20	0,18	0,29	0,15
1.	0,26	0,14	0,21	0,33	0,15
2.	0,12	0,08	0,25	0,16	0,12
3.	0,16	0,13	0,25	0,15	0,11
kvadratický průměr	0,21	0,14	0,22	0,25	0,13



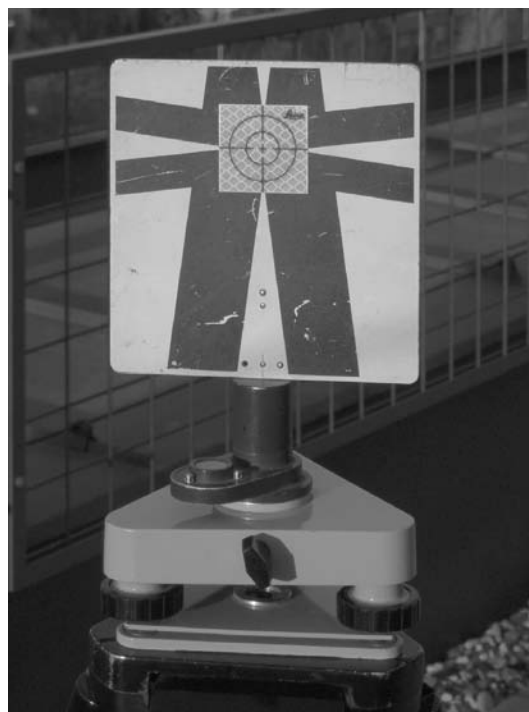
Obr. 6. Redukce zenitového úhlu

ných zenitových úhlů měřených totální stanicí, které byly v každé etapě a na každém stanovisku určeny ze čtyř realizací.

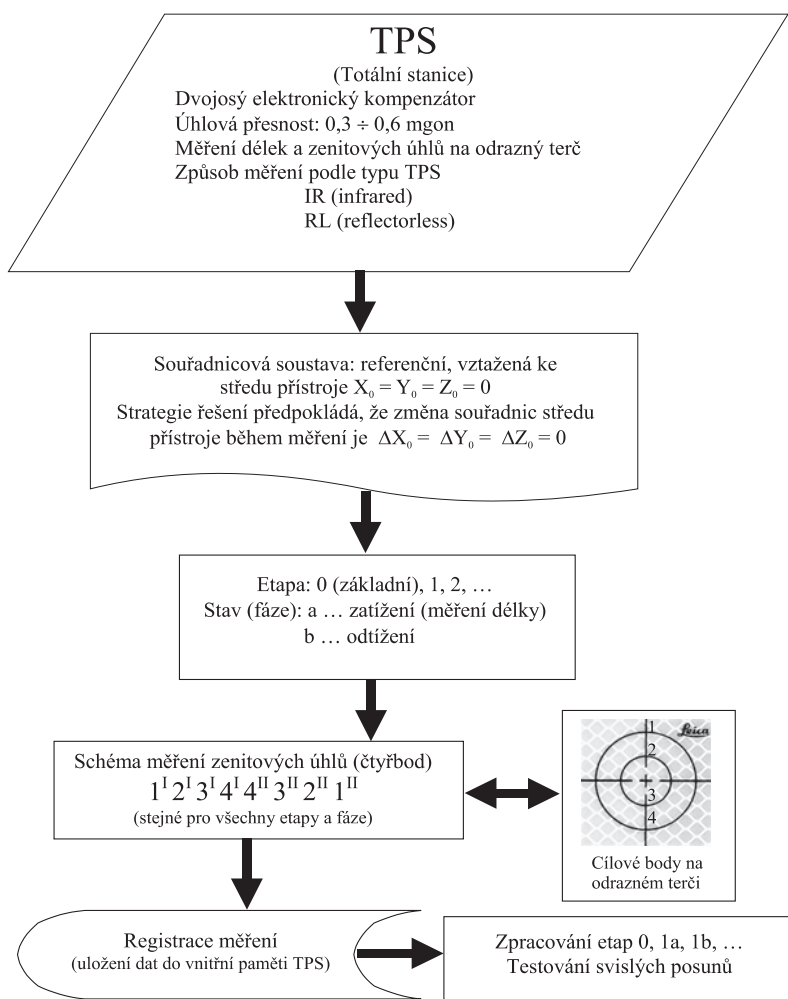
Uspořádání experimentu

Cílem bylo nejen ověřit technologii měření svislých posunů podle navrženého schématu, ale i analyzovat trigonometrickou metodu z hlediska identifikace svislých posunů s rostoucí délkou záměry. Svislé posuny byly simulovány otočkou stavěcích šroubů trojnožky, která byla po celou dobu měření spolu se záměrným terčem umístěna na stativu na pozorovaném bodě A1 (obr. 7). K měření délek a zenitových úhlů jsme použili totální stanici Leica TPS 1202 (Total Position System). Úhlová přesnost přístroje pro horizontální i vertikální dělení kruh je 0,6 mgon, délková 2 mm + 2 ppm (obr. 2). Použitím tohoto přístroje s registrací se jednoznačně zkrátí čas potřebný k měření.

Měření probíhalo na pomocné základně s mírným sklonem. Základnu tvořilo šest bodů (A1-A6) ležících ve svislé rovině. Vzdálenost prvního a druhého bodu byla 20 m, druhého a třetího bodu 10 m atd. Tento počet bodů byl stanoven proto, aby bylo možné sledovat identifikaci svislých posunů s rostoucí délkou záměry od 20 do 60 m (s krokem 10 m). Po zařazení do svislé roviny byly tyto body měřickými hřebíky stabilizovány. Měření začínalo vždy v základní etapě, stavěcí šrouby byly v krajní horní poloze. Na každém šroubu a třínožce byla jemná ryska, pomocí které bylo možno



Obr. 7. Odrazný terčik se čtyřmi cílovými body, nalepený na záměrném terči Zeissovy soupravy se třemi podstavci



Obr. 8. Měření svislých posunů (trigonometrická metoda) – blokové schéma

zjistit počet otoček, přičemž jedna otočka simulovala svislý posun přibližně 0,7 mm. V první etapě se simulovaný posun vytvořil pootočením o jednu otočku směrem dolů, ve 2. a 3. etapě vždy o tři další otočky. Měření začínalo na bodě A2 (od cílového terče na bodě A1 byl vzdálen 20 m) a postupovalo se až na bod A6. Svislé posuny se nezávisle kontrolovaly digitálním nivelačním přístrojem Leica DNA 03 (Leica) měřením na invarové měřítko s čárovým kódem.

Experiment byl podrobněji zpracován v rámci diplomového projektu, jehož vedoucím byl druhý z autorů článku. Měření a výsledky jsou uvedeny v práci [5]. Z této práce uvádíme v tab. 3 výsledné hodnoty absolutních posunů (vztažených k nulté etapě). V závorkách jsou uvedeny hodnoty svislých posunů určené nezávisle pomocí přesného digitálního nivelačního přístroje Leica DNA 03. Tyto hodnoty po řádcích ukazují, jak dobře se podařilo replikovat simulované svislé posuny.

Tab. 3. Absolutní svislé posuny určené z redukovaných zenitových úhlů

ID	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆
etapa	d _H = 20 m	d _H = 30 m	d _H = 40 m	d _H = 50 m	d _H = 60 m
Δh [mm]					
1.	0,69 (0,65)	0,52 (0,76)	1,03 (0,72)	0,86 (0,74)	0,84 (0,79)
2.	2,95 (2,90)	2,82 (2,96)	3,03 (3,02)	3,16 (3,07)	2,86 (3,00)
3.	5,15 (4,85)	4,95 (5,25)	5,14 (5,27)	5,43 (5,25)	5,29 (5,21)

Ověření svislých posunů

V našem případě byly posuny simulované (provedené pomocí otáček stavěcích šroubů), a tedy reálně musely nastat. V praxi závisejí na pohybu stavby. Abychom se přesvědčili, že zmíněné posuny skutečně nastaly, nebo že vypočtená změna Δh plyne pouze z náhodných měřických chyb při nezměněné poloze stavby, je nutné ověřit nulovou hypotézu.

Nechť je ΔH skutečná hodnota svislého posunu a Δh svislý posun vypočítaný z opakovaného měření zenitových úhlů. Předpokládáme, že určené hodnoty Δh mají normální rozdělení Δh ~ N(ΔH, σ_{Δh}²). Formulujeme se nulová hypotéza H₀ : ΔH = 0 proti alternativní hypotéze H₁ : ΔH ≠ 0.

Pokud bude pro hodnotu Δh (odhad parametru ΔH) platit Δh ≥ q, nulová hypotéza se zamítne (v neprospěch H₀) budou svědčit případy, kdy hodnota Δh bude hodně vzdálena od ΔH). Podle [2], kde je uvedeno obecné odvození, se číslo q vypočte z podmínky, aby pravděpodobnost chyby 1. druhu byla rovna α (hladina testu)

$$\alpha = P(\Delta h \geq q) = P(|\Delta h|/\sigma_{\Delta h} \geq q/\sigma_{\Delta h}). \quad (6)$$

Pro distribuční funkci obecně platí Φ(-x) = 1 - Φ(x). Odtud můžeme s ohledem na (6) psát

$$\alpha = 2(1 - \Phi(q/\sigma_{\Delta h})). \quad (7)$$

Kritická hodnota rozdělení N(0,1) je číslo u(α), které překročí náhodná veličina s pravděpodobností α = 1 - Φ(u(α)). Pak s ohledem na (7) je u(α/2) = q/σ_{Δh} a q = u(α/2) σ_{Δh}. Pro α = 0,05 je u(α/2) = 1,96, a proto q = 1,96 σ_{Δh}. Nulovou

hypotézu H₀ zamítne na hladině α, jestliže |Δh| ≥ 1,96 σ_{Δh}. V praxi se svislý pohyb stavby určí podle [3]:

- při Δh < σ_{Δh} nemůžeme nulovou hypotézu ΔH = 0 zamítnout a pohyb stavby není měřením prokázán;
- při σ_{Δh} < Δh < 2σ_{Δh} lze o platnosti této hypotézy pochybovat a pohyb stavby je možno připustit;
- při Δh > 2σ_{Δh} je hodnota Δh statisticky významná. Nulovou hypotézu ΔH = 0 zamítne a jsme prakticky přesvědčeni o pohybu stavby.

Výsledky ověření nulové hypotézy na stanovisku A6 (nejvzdálenějším od pozorovaného bodu, kdy lze očekávat problém s identifikací svislého posunu v první simulované etapě, protože jeho velikost je několik desetin milimetru) jsou uvedeny v tab. 4 a tab. 5.

Tab. 4. Zenitové úhly, redukované zenitové úhly a střední chyby (A6)

Etapa	ID cíle	z	\bar{z}	z _A	v	σ _{z_A}	σ _{\bar{z}}
		[gon]			[mgon]		
základní	1	98,05795	98,0738	98,07384	0,43	0,15	0,29
	2	98,06635	98,07427		-4,24		
	3	98,08158	98,07366		1,86		
	4	98,0895	98,07365		1,95		
1.	1	98,05873	98,07458	98,07473	1,55	0,15	0,3
	2	98,06718	98,07509		-3,61		
	3	98,0825	98,07458		1,49		
	4	98,09053	98,07467		0,57		
2.	1	98,06093	98,07678	98,07687	0,93	0,12	0,23
	2	98,06903	98,07694		-0,74		
	3	98,08495	98,07703		-1,64		
	4	98,09258	98,07672		1,45		
3.	1	98,06328	98,07913	98,07944	3,18	0,11	0,23
	2	98,07178	98,07969		-2,49		
	3	98,08733	98,07941		0,36		
	4	98,0954	98,07955		-1,05		
výsledná směrodatná odchylka (kvadratický průměr)						0,13	0,27

Tab. 5. Svislé posuny (A6)

Etapa	z _A [gon]	k	Δz [mgon]	Δh [mm]
základní	98,07384	0,0944268		
1.	98,07473		0,89	0,84
2.	98,07687		2,14	2,02
3.	98,07944		2,57	2,43
σ _{Δh}	0,18 mm	d _H	60,059 m	

Nulovou hypotézu H₀ zamítne na hladině α (= 0,05), protože Δh ≥ 1,96 σ_{Δh} (0,84 > 0,35). Hodnota Δh je signifikantní a jsme přesvědčeni o pohybu.

Závěr

Trigonometrická metoda s využitím totální stanice je rychlá a efektivní. Geodet může zkušební laboratoři, která

řídí statické zatěžovací zkoušky, bezprostředně po skončení zatěžovacího stavu předat výsledky příslušné etapy, které lze považovat za objektivní. Dosahovaná přesnost měření (charakterizovaná směrodatnou odchylkou) se pohybuje od 0,2 do 0,1 mm. Nebyla prokázána významnější závislost dosažené přesnosti na vodorovné délce záměry (v rozmezí 20 až 60 m) ani na jejím sklonu (v rozsahu 90 až 110 gon). Vzhledem k proměnnosti stavebních konstrukcí v čase je vhodnější zvětšit počet sérií měření (než jednotlivých měření), která se dále zpracují z časového hlediska – vystihují pak lépe spojitě změny svislých posunů v čase.

Měření ve dvou polohách dalekohledu je možné z časových důvodů sdružit do dvou celků v rámci jedné série podle navrženého schématu měření. Tento postup umožňuje lepší kontrolu měření zenitových úhlů, než je měření v jedné poloze dalekohledu. Pro výpočet předpokládaných svislých posunů měření v jedné poloze dalekohledu stačí, ale časová úspora měřických prací není natolik velká, abychom tento postup doporučovali. Výpočetní technikou je možné zpracovávat výsledky ihned po skončení zatěžovacího stavu (předběžné výsledky) včetně dodatečné analýzy (uvede se v protokolu o průběhu zatěžovací zkoušky).

Článek vznikl za podpory výzkumného záměru MSM 6840770005.

Literatura

- [1] ČSN 73 0405 Měření posunů stavebních objektů. ČSN, 1997.
- [2] Anděl, J.: Matematická statistika. Praha, SNTL 1985.
- [3] Böhm, J. – Radouch, V. – Hampacher, M.: Teorie chyb a vyrovnávací počet. Praha, Geodetický a kartografický podnik 1988.
- [4] Hauf, M. a kol.: Geodézie. Praha, SNTL 1982.
- [5] Vacek, M.: Měření svislých posunů totální stanicí a teodolitem (trigonometrická metoda). [Diplomová práce], ČVUT Praha, 2008.

Blažek, R. – Skořepa, Z.: Measurement of Vertical Displacements with Total Station Using Trigonometric Method

The introduction of accurate total stations into the geodetical practice is closely related to the new techniques of measurement and calculation of vertical displacements of building constructions using the trigonometric method. Analysis of this method is made based on experimental measurements in accordance with the newly designed technology.

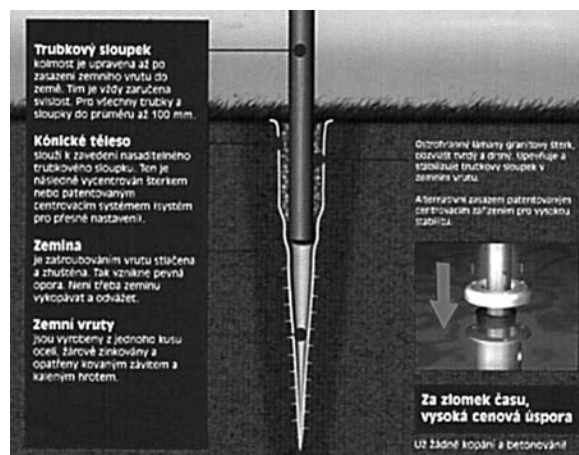
Blažek, R. – Skořepa, Z.: Messung von vertikalen Verschiebungen mit einer Totalstation mit der trigonometrischen Methode

Mit dem Beginn des Einsatzes von genauen Totalstationen in der geodätischen Praxis hängt auch ein neues Verfahren der Messung und Berechnung vertikaler Verschiebungen von Bauobjekten mit der trigonometrischen Methode zusammen. Es wird eine Analyse dieser Methode auf der Basis des experimentellen Messens nach einer neu entworfenen Technologie vorgenommen.

● zprávy

Zemní vruty

Inovativní systém zakládání pomocí zemních vrutů Krinner byl představen odborné i laické veřejnosti v rámci prezentace modulární výstavby mobilních montovaných domů. Zemní vruty lze použít k zakládání montovaných hal, skleníků, staveb pro nouzové ubytování, přístřešků, solárních panelů na volných plochách, pódíí, stožárů, dopravních značek, městského mobiliáře apod.



K dispozici jsou v rozměrech 0,5-3 m a podle délky lze k zašroubování použít speciální vrtačku, ruční vrátek, u těch delších speciální zařízení. Výhodou je rychlé vybudování stabilního základu bez kopání a betonování, který je možné okamžitě zatížit. Systém je ověřen podle přísných kritérií na tlakovou, tahovou a boční zátěž. K výhodám patří snadná demontovatelnost a možnost opětovného použití, dlouhá životnost a šetrnost k životnímu prostředí, dřevěné stavby na těchto základech nehyní. Vzhledem k tomu, že jsou vruty téměř celé zašroubovány do země a neruší estetický dojem stavby, získávají u architektů velkou oblibu.

Tisková informace

Všechna čísla časopisu

STAVEBNÍ OBZOR

**si mohou čtenáři zakoupit
v redakci časopisu**

**a v Prodejně technické literatury
ČVUT, Bílá 90, Praha 6.**

• Fakulta stavební

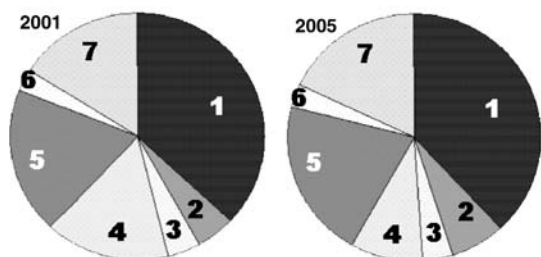


Setkání zástupců stavební praxe s pedagogy fakulty

Ve školním roce 2008/2009 se na Fakultě stavební ČVUT otevírá nový magisterský studijní obor **Příprava, realizace a provoz staveb (L)**. Katedra technologie staveb, která je garantem tohoto oboru, proto uspořádala počátkem září setkání zástupců stavební praxe s pedagogy, kteří budou v nově otevíraném oboru zajišťovat výuku jednotlivých předmětů.

Vedoucí katedry doc. Ing. Pavel Svoboda, CSc., přivítal celkem 25 hostů, které postupně pedagogové seznámili s obsahem a rozsahem předmětů, které budou v novém magisterském oboru přednášeny (tab. 1).

Tab. 1. Předměty vyučované v magisterském studijním oboru Příprava, realizace a provoz staveb



Obr. 1. Nabídka pracovních míst pro stavební inženýry v SRN v letech 2001 a 2005

1 – stavební firmy, 2 – realitní kanceláře, 3 – školy, věda a výzkum, 4 – úřady, 5 – projekční kanceláře, 6 – výroba a prodej stavebních materiálů, 7 – ostatní

(Zdroj: Bundesagentur für Arbeit, Nürnberg)

Základní motivací pro vznik nového studijního oboru byla nutnost lépe reagovat na potřeby stavebnictví. Jak ukazují grafy na obr. 1, dosahuje v sousední SRN nabídka pracovních míst ve stavebních firmách trvale téměř 40 % z celkové nabídky. Poptávka po absolventech stavebních fakult je v českých stavebních firmách jistě ještě výraznější. Cílem výuky je proto lépe připravit studenty pro život zejména ve stavební praxi, tj. poskytnout studentům program Stavební inženýrství důkladnější znalosti v oboru přípravy a řízení, realizace a provozu staveb. Dále je chce obor „L“ seznámit s řízením provozu budov a staveb, resp. s řízením podpůrných procesů ve společnostech, které se o provoz budov starají. Absolventi tak budou vybaveni patřičnými znalostmi pro rychlejší uplatnění ve stavebních podnicích, v investorských organizacích a v organizacích zaměřených na provoz a správu budov.



„Kulatého stolu“ se zúčastnili zástupci firem, se kterými Katedra technologie staveb FSv ČVUT dlouhodobě spolupracuje. Jsou to především velké stavební firmy (Metrostav, Skanska CZ, Konstruktiva Branko, Syner, VCES), ale také významní dodavatelé strojů, nářadí, materiálů (Peri, Phoenix-Zeppelin, Hilti ČR, Bauxit Weber Terranova) a další.

1. semestr			
128OPV	Operační výzkum	2+2	z, zk
122KRJS	Kvalita a řízení jakosti ve stavebnictví	2+2	z, zk
122PRP	Příprava a řízení projektů	2+2	z, zk
122RSPB	Řízení správy, provozu a údržby budov	2+2	z, zk
105PPRS	Právní předpisy při realizaci staveb	2+0	zk
126FIR1	Finanční řízení a investování	2+2	z, zk
122STPL	Stavebně technologické projektování L	0+2	kz
122ZST	Zvláštní stavby a speciální technologie	2+0	z
105PSS	Psychologie a sociologie	2+0	z
1	Povinně volitelný předmět	1+1	z
2. semestr			
128MMTS	Matematické metody v technologii staveb	2+1	z, zk
122BOZ	Řízení BOZP ve stavební firmě a na staveništi	2+2	z, zk
126RINZ	Rizikové inženýrství	2+2	z, zk
126YMAR	Marketing	2+0	z
122PROJ	Projekt	0+3	kz
122VPS	Využití výpočetní techniky při přípravě staveb	1+1	kz
2	Povinně volitelné předměty	2+2	z

Hosté obšírnou informací přivítali, mnozí se zapojili do živé diskuse o celkové koncepci tohoto oboru, který nebude omezen pouze na magisterské studium, ale brzy bude rozšířen i na bakalářské studium. V této souvislosti se hovořilo zejména o praxi studentů na stavbách a o tématech bakalářských a magisterských diplomových prací. Stavební praxe potřebuje především odborníky pro přípravu staveb, ale také kvalitní stavbyvedoucí, kteří ovládají jak moderní technologie stavění, tak techniky plánování a finančního controllingu.

Fakulta stavební ČVUT předpokládá, že absolventi oboru „L“ se uplatní jako projektoví manažeři, specialisté komplexního řízení kvality, vedoucí útvarů a samostatní auditóři bezpečnosti a ochrany zdraví, specialisté na omezování

nepříznivých vlivů stavební činnosti na životní prostředí, odborníci na řízení provozu budov (facility management) a v neposlední řadě jako vrcholoví manažeři stavebních i investorských firem.

Setkání u „kulatého stolu“ bylo uzavřeno příslibem další spolupráce fakulty se stavební praxí, která se zaměří především na zapojení studentů řádného studia a doktorandů do řešení technických a provozních úkolů, které stojí před vedením stavebních firem. Zpětná vazba, kterou každé setkání pracovníků školy a praxe představuje, má velký význam pro dotváření výuky jednotlivých předmětů. Proto se podobná setkání budou pravidelně opakovat.

Ing. Josef Ladra



Foto: Tomáš Pokorný

• ČVUT



Sedm statečných

Cílem intenzivní marketinkové kampaně zaměřené na středoškoláky je dlouhodobě klesající zájem o technické vzdělávání. Zatímco v předešlém akademickém roce si na ČVUT podalo přihlášku 14 858 studentů, v letošním roce to bylo už jen 12 657 uchazečů. Kampaň je tedy zcela na místě, neboť poptávka českých a zahraničních podniků po vysokoškolsky vzdělaných inženýrech roste.

Ve spolupráci s předním českým grafickým a designérským studiem Drawetc byla připravena kampaň pro získání středoškoláků ke studiu prostřednictvím speciálních webových stránek a dalších podpůrných aktivit. Vizualy kampaně byly vytvořeny na základě průzkumu životního stylu současných mladých lidí ve věku 14 až 18 let tak, aby korespondovaly s jejich zájmy.

Název „Sedm statečných“ má představovat sedm fakult ČVUT. Pro jednotlivé fakulty byly vytvořeny kreslené postavičky, fyzicky vybavené pro práci v technickém univerzitním prostředí, s typickými atributy, z nichž každý pozná, kterou fakultu zastupují. Budou se objevovat na plakátech, na propagačních materiálech a provázet studenty na speciálním webu. Jejich úkolem je přiblížit prostředí technické univerzity a odstranit blok, který vůči technice řada z nich má.

Na samostatném serveru pak najdou středoškoláci informace nejen o možnostech studia na všech fakultách ČVUT, dnech otevřených dveří, tipy, jak zvládnout přijímací řízení, ale i o aktivitách vysokoškoláků. Pro účast v týdenních soutěžích o reklamní předměty s motivy kampaně však bude nutná registrace včetně e-mailové adresy, na kterou jim pak budou zaslány zajímavé informace, novinky týkající se přijímacího řízení atd. Tahákem celé kampaně, a tudíž hlavní motivací k registraci, bude vědomostní soutěž o počítačovou sestavu v hodnotě 100 tis. Kč.

Kampaň bude podpořena roadshow na středních školách. Současní studenti jednotlivých fakult budou po celé republice diskutovat se středoškoláky a informovat je o možnostech studia na ČVUT. Mediálním partnerem kampaně se stalo Centrum.cz, které provozuje službu ICQ jako nejoblíbenější komunikační kanál mezi středoškolskými studenty. Kromě toho bude ČVUT využívat na veletrzích vysokoškolského vzdělávání i technologii BlueTooth – pokud si ho návštěvník veletrhu zapne na mobilním telefonu, může přijmout zdarma SMS zprávu s animací jedné z postaviček. V neposlední řadě se očekává, že studenti si řeknou o existenci tohoto projektu mezi sebou.

Cílem tohoto dlouhodobého projektu je časem vytvořit komunitní server, kde se budou setkávat potenciální zájemci o studium na ČVUT. Komunitní weby jsou současným trendem a dnešní středoškoláci jsou zvyklí této formě komunikace a sami vyhledávají místa na internetu, kde se dozvědí více informací k tématu, které je zajímavá.



- 1 – strojař
- 2 – architektka
- 3 – stavař
- 4 – dopravák
- 5 – biomedička
- 6 – elektrik
- 7 – jádro

Vzhledem k tomu, že ČVUT je první vysokou školou, která spustí marketinkovou kampaň v této podobě a šíří, očekává se velký zájem médií o její propagaci v širším měřítku, neboť jde o jediný projekt svého druhu se zaměřením na specifickou cílovou skupinu.

www.sedmstatecných.cz

STAVEBNÍ OBZOR

ROČNÍK 17 ČÍSLO 09/2008

Navigace v dokumentu

OBSAH

Witzany, J. – Čejka, T. – Zigler, R. Stanovení zbytkové únosnosti existujících zděných konstrukcí	257
Šmejkal, J. – Makovička, D. – Pospíšil, J. Únosnost spřažených desek v montážním stadiu zmonolitnění	266
Pešková, Š. – Procházka, P. Optimální návrh tvaru vláken s konstantními povrchovými silami	272
Svoboda, L. – Vimmrová, A. Příprava pěnové sádrové hmoty pomocí kyselého činidla	277
Štroner, M. – Pospíšil, J. Analýza systematických vad skenování ploch s nenulovou křivostí	280

9 • 2008

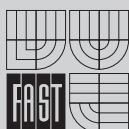
ročník 17

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



Fakulta stavební
VUT v Brně



Fakulta stavební
VŠB TU-Ostrava



Česká komora autorizovaných
inženýrů a techniků

OBSAH**CONTENTS****INHALT**

Witzany, J. – Čejka, T. – Zigler, R.
**Stanovení
 zbytkové
 únosnosti
 existujících zděných
 konstrukcí** 257

Witzany, J. – Čejka, T. – Zigler, R.
**Reliability of Diagnostic
 Methods for Determination
 of Residual Load-Bearing
 Capacity of Existing
 Masonry Structures** 257

Witzany, J. – Čejka, T. – Zigler, R.
**Die Zuverlässigkeit diagnos-
 tischer Methoden für die
 Bestimmung der Resttragfähig-
 keit bestehender Mauer-
 werkskonstruktionen** ... 257

Šmejkal, J. – Makovička, D.
 – Pospíšil, J.
**Únosnost spřažených
 desek
 v montážním stadiu
 zmonolitnění** 266

Šmejkal, J. – Makovička, D.
 – Pospíšil, J.
**Load-Bearing Capacity of
 Composite Slabs during the
 Assembly Stage of
 Monolithing** 266

Šmejkal, J. – Makovička, D.
 – Pospíšil, J.
**Tragfähigkeit von
 Verbundplatten im
 Montagestadium der
 Monolithisierung** 266

Pešková, Š. – Procházka, P.
**Optimální návrh tvaru vláken
 s konstantními povrchovými
 silami** 272

Pešková, Š. – Procházka, P.
**Optimal Design of the Shape
 of Fibres with Constant
 Surface Forces** 272

Pešková, Š. – Procházka, P.
**Optimaler Entwurf der Form
 von Fasern mit konstanten
 Oberflächenkräften** 272

Svoboda, L. – Vimmrová, A.
**Příprava pěnové
 sádrové hmoty
 pomocí kyselého
 činidla** 277

Svoboda, L. – Vimmrová, A.
**Preparation
 of Gypsum
 Foam Using Liquid
 Acid Agent** 277

Svoboda, L. – Vimmrová, A.
**Zubereitung einer
 Gipsschaummasse
 mit Hilfe eines sauren
 Wirkstoffs** 277

Štroner, M. – Pospíšil, J.
**Analýza systematických
 vad skenování
 ploch s nenulovou
 křivostí** 280

Štroner, M. – Pospíšil, J.
**Analysis of Systematic
 Faults in Scanning
 Areas with Non-Zero
 Curvature** 280

Štroner, M. – Pospíšil, J.
**Analyse systematischer
 Fehler des Scannens von
 Flächen mit einer Krümmung
 größer als Null** 280

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 lektorovaný 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 29. 9. 2008 Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

Stanovení zbytkové únosnosti existujících zděných konstrukcí

prof. Ing. Jiří WITZANY, DrSc.
Ing. Tomáš ČEJKA, Ph.D.
Ing. Radek ZIGLER, Ph.D.

ČVUT – Fakulta stavební
Praha

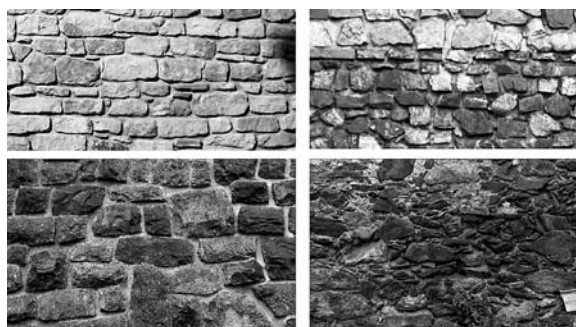
Určení únosnosti existujících historických zděných konstrukcí je mimořádně obtížná úloha. Je dána značnou rozmanitostí vlastností zdicích prvků, spojovací malty a vazby cihelného zdiva v rámci jednoho podlaží, popř. v rámci i jednoho zděného prvku (např. stěny) po jeho výšce i po délce, různými zásahy do zdiva a v neposlední řadě degradačními procesy probíhajícími v maltě i zdicích prvcích. Zvýšenou vlhkost významně ovlivňuje různorodost a nehomogenita zděných konstrukcí.

Přes poměrně rozsáhlý výzkum zděných konstrukcí není zcela uspokojivě řešena otázka spolehlivého určení únosnosti stávajících, zejména historických zděných konstrukcí. Rozmanitost zejména přírodních zdicích prvků, druh, velikost a tvar prvků použitých v kamenném a smíšeném zdivu, rozdílné mechanické vlastnosti zdicích prvků i spojovací malty a v neposlední řadě vazba a způsob provedení zdiva významně ovlivňují přetvárné vlastnosti a únosnost zdiva. Řada místních zvyklostí a specifických vlastností složek, z nichž bylo zdivo provedeno, struktura zdiva a zděných konstrukcí podle příslušného časového a slohového období jsou další faktory, které významně ovlivňují mechanické vlastnosti zdiva. Způsob výroby jednotlivých složek zdiva a technologie jeho provádění jsou procesy s relativně vysokým stupněm variability, které přispívají k heterogennímu charakteru zdiva z hlediska jeho fyzikálně mechanických vlastností.

V případě přírodních zdicích prvků jsou jejich proměnlivé vlastnosti ovlivněny dalšími vlivy, např. lokalitou, způsobem těžení a zpracování přírodního kamene, v případě cihelných zdicích prvků kvalitou cihlářské hlíny, technologií výroby, složením a pórozitou cihelného střepe. Vlastnosti pojiva ovlivňují jednotlivé složky, jejich poměr, složení písku, velikost kameniva, způsob zpracování a další faktory. Zvýšená vlhkost zdiva, provázená chemickými, biochemickými a fyzikálně mechanickými degradačními procesy, způsobuje v čase změny význačných vlastností zdiva a jeho jednotlivých složek, změny struktury, poréznosti, mineralogického a chemického složení. Intenzita degradačních procesů a uvedených změn závisí na počátečních vlastnostech jednotlivých složek zdiva a agresivitě vnějšího prostředí,

kterému je zdivo vystaveno, účinku vlhkosti a probíhajících transportních procesech, v jejichž důsledku dochází ve zdivu k chemickým a fyzikálním změnám.

Existuje řada způsobů vzájemného spojování zdicích prvků, tzv. vazeb zdiva, velké množství způsobů vytváření a skladby nosných zděných prvků. Svou roli sehrává i velikost, tvar a struktura cihel, způsob opracování, tvar a rozměry zdicích prvků z přírodního kamene, různé způsoby ztužování např. historického zdiva a další skutečnosti, které významně ovlivňují únosnost a mechanismus porušování zdiva, mechanické a fyzikální vlastnosti zdiva cihelného, kamenného a smíšeného (obr. 1).



Obr. 1. Příklady vazby kamenného a smíšeného zdiva

Zcela specifické problémy je nutné řešit u vícevrstvého zdiva s vnějšími vrstvami vyzděnými s uplatněním některých způsobů vazby zdiva a s vnitřní vrstvou tvořenou úlomky kamenů různé velikosti pojené větším množstvím malty (obr. 2). Vzhledem k charakteru vnitřní vrstvy obsahující velké množství pojiva, několikanásobně větší, než obsahují vnější zděné vrstvy, lze oprávněně předpokládat rozdílné přetvárné vlastnosti, únosnost a mechanismus porušení vnějších a vnitřních vrstev. Ke snížení rozdílnosti těchto mecha-



Obr. 2. Příklady kamenného vícevrstvého zdiva

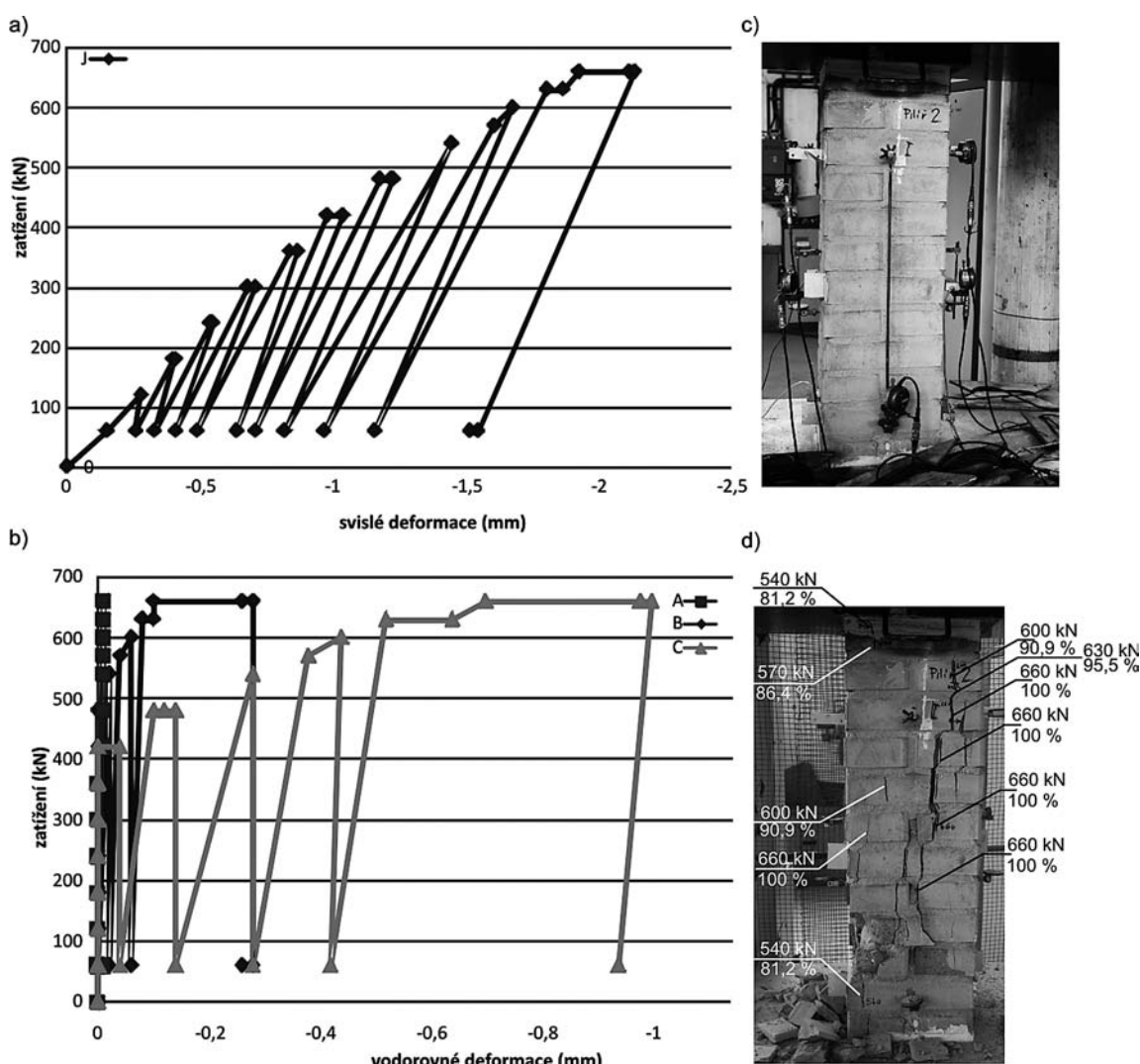
nismů porušování přispívá v některých případech „provázání“ vnějších vrstev s vnitřní vrstvou prostřednictvím kamenů, popř. cihel, tzv. vazáků, zasahujících do vnitřní vrstvy. Tyto vazáky (kamenné, popř. cihly) lze v některých případech rozpoznat na vnějším neomítnutém povrchu vícevrstvého zdiva. Zazubená a přirozená nepravidelnost vnitřního povrchu vnějších vrstev provedených z neopracovaných kamenů zlepšuje vzájemné spojení jednotlivých vrstev a zvyšuje odolnost vícevrstvé zděné konstrukce proti „rozvrstvení“, které zpravidla předchází úplnému porušení zdiva. Při tloušťce historického zdiva 700-900 mm lze již předpokládat vícevrstvou strukturu s vnějšími vrstvami o tloušťce 200-250 mm, popř. až 350 mm u zdiva s tloušťkou nad 1 200 mm.

Numerické posouzení zatížitelnosti, tj. reziduální únosnosti stávajícího historického zdiva, vyžaduje vytváření výstižných materiálových modelů chování zdiva při přenášení zatížení a modelů popisujících mechanismus porušování (lomu) v závislosti na vlastnostech jednotlivých složek zdiva, způsobu jejich vzájemné vazby ve zdivu a dalších parametrech. Zdivo lze klasifikovat jako nehomogenní křehký materiál skládající se ze dvou složek o různých charakteristikách.

Pracovní diagram zděného tláčeného prvku $N \times \Delta$, je charakteristický téměř nulovou, tzv. pružnou oblastí deformací, progresivním nárůstem trvalých svislých deformací již od

nízké úrovně vzrůstajícího monotónního tlakového namáhání a výrazným poklesem reziduální únosnosti po dosažení mezní únosnosti (obr. 3):

- interval $N \in (0; N_i)$ je oblast omezená počátkem zatěžování a zatížením, při kterém vznikají svislé tahové trhliny ve zdivu (N). Napětí po vodorovném průřezu je dosud přibližně rovnoměrně rozloženo, tomu odpovídají i přibližně rovnoměrné svislé deformace prvku ve vodorovném průřezu;
- interval $N \in (N_i; N_{pp})$ je oblast **rozvoje trhlin**, kdy dochází k progresivnímu rozvoji a vzniku trhlin provázanému nerovnoměrným rozdělením tlakového napětí po průřezu i nerovnoměrným přetvářením zděného prvku, který se postupným rozvojem svislých tahových trhlin začíná rozdělovat na dílčí svislé pilíčky;
- interval vymezený $N \in (N_{pp}; N_{obs})$ je oblast **úplného rozrušování** zděného prvku porušeného jednou, popř. několika výraznými svislými tahovými trhlinami procházejícími přes značnou část výšky tlačенého prvku. Tato oblast zahrnuje i dílčí zplastizování malty;
- interval $N \in (N_{obs}; N_{rez})$ je oblast náhlého poklesu únosnosti zdiva, kdy dochází k jeho rozrušování. Zůstatková (reziduální) únosnost zdiva v tlaku závisí na rozsahu celkového narušení zdiva a je zpravidla pouhým zlomkem mezní únosnosti.



Obr. 3. Příklad experimentálně stanoveného pracovního diagramu zdiva při monotónně vzrůstajícím tlaku, porušení tlačенého pilíře
a – závislost svislé deformace na zatížení, b – závislost příčných deformací na zatížení, c – pohled na neporušený zkušební pilíř
d – pohled na porušený zkušební pilíř

U běžných druhů zdiva jsou zpravidla tlaková (svislá) a tahová (vodorovná) přetvoření malty, při zatížení svislou normálovou silou větší než odpovídající přetvoření zdicích prvků (např. cihel). Jsou však celkově nižší než odpovídající přetvoření samotné malty, tj. bez spolupůsobení se zdicími prvky (s cihlami).

U malt s velmi malou pevností je soudržnost malty a cihel (adheze) malá a při tlakovém zatížení zdiva je malta „vytlačována“ ze spár (obr. 4).

U malt s vyšší pevností (do 5 MPa) soudržnost obou materiálů zajišťuje jejich spolupůsobení, a tím i shodné příčné přetvoření. V důsledku vzájemného spolupůsobení je malta, která má tendenci k většímu příčnému přetvoření, příčně „tlačena“, a naopak cihly příčně „taženy“. Pro tento případ poměru modulů pružnosti (přetvárnosti) malty a cihel ($E_m < E_c$) předchází vzniku průběžných svislých trhlin ve zděném prvku a jeho následného porušení vznik svislých trhlin v cihlách, které se porušují tahem od účinku příčného přetváření „poddajnější“ malty v ložných spárách. Ve zdivu s maltou vysoké pevnosti (cementové) dochází k obdobnému mechanismu, který však působí opačně.

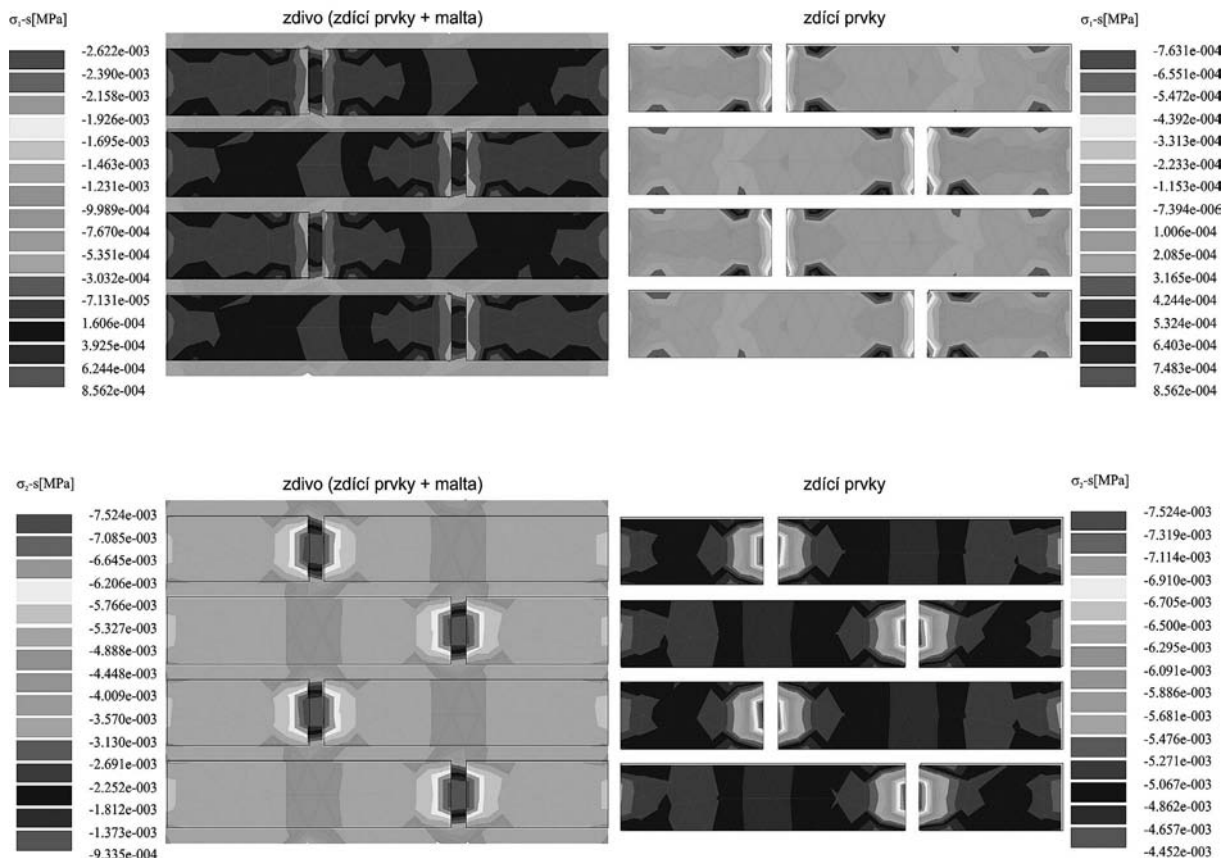
Rozdílná tuhost heterogenního průřezu zdiva, tvořeného zdicími prvky a poddajnější maltou ve styčných spárách, je současně i příčinou vzniku lokálních koncentrací tlakových napětí v okolí hran zdicích prvků přiléhajících ke styčným spárám vyplněným poddajnější maltou (obr. 5). Uvedený mechanismus vzájemné interakce zdicích prvků a spojovací malty se zpravidla uplatňuje až při určité úrovni tlakového namáhání zdiva. V běžných případech při namáhání zdiva nižším než 60 % mezního namáhání se tento mechanismus významně neuplatňuje (obr. 3).

Se zvětšující se výškou ložné spáry se příznivý účinek příčných tlakových napětí $-\Delta\sigma_{x\tau}$ na výslednou pevnost mal-

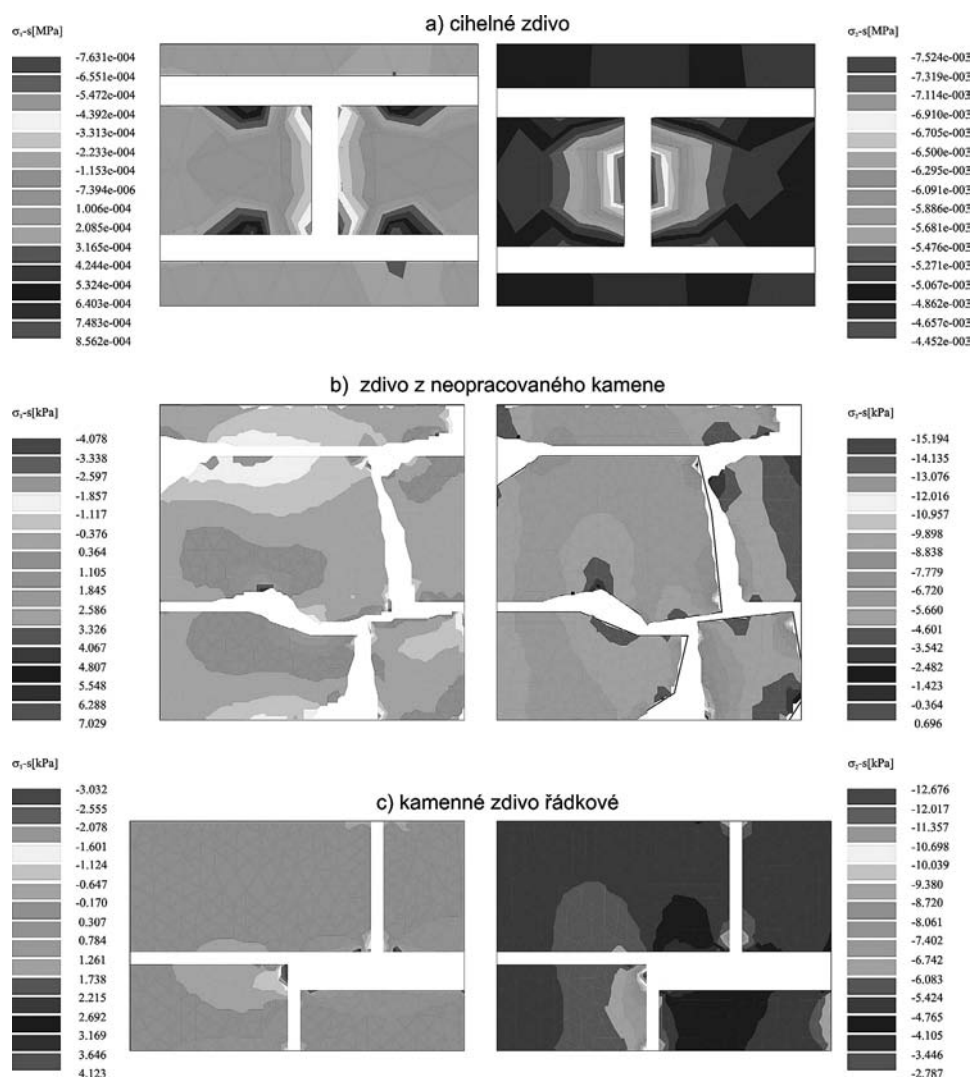
ty postupně omezuje pouze na průřezy přiléhající ke stykovým spárám „malta/cihla“. Z uvedeného vlivu vzájemného spolupůsobení složek zdiva je zřejmý vliv vazby zdiva, výšek ložných spár, přídržnosti malty k cihlám a případně i význam a vliv příčného vyztužení zdiva v ložných spárách na zvýšení pevnosti zdiva.

Rozměry ložných spár a kvalita malty významně ovlivňují mechanické vlastnosti historického kamenného, popř. smíšeného zdiva. Značný význam má i poměr mezi výškou zdicích prvků, např. kamene, a výškou ložné spáry. Pro malty s nižší pevností platí, že se vzrůstající výškou spáry klesá pevnost zdiva v tlaku. Zdicí prvky vytvářejí triaxiální stav tlakové napjatosti malty v ložných spárách, a tím zvyšují její pevnost v tlaku (obr. 6). Při větší výšce spáry se tento příznivý vliv omezuje pouze na průřezy ložné spáry přiléhající ke zdicím prvkům. Redukční vliv ložných spár na únosnost zdiva v tlaku proto stoupá se vzrůstající výškou spár. Únosnost zdiva v tlaku výrazněji než mechanické vlastnosti malty ovlivňují mechanické vlastnosti zdicích prvků. Proto je důležité věnovat mimořádnou pozornost stanovení materiálových vlastností zdicích prvků, především pevnosti v tlaku, v tahu, součiniteli příčné roztlačnosti (Poissonova konstanta) a modulu pružnosti. Podobně pro maltu je kromě pevnosti v tlaku významný i součinitel příčné roztlačnosti. Mechanismus interakce obou složek zdiva a výsledky mikroanalýzy tlaceného zděného pilíře pro různé poměry modulů pružnosti (přetvárnosti), velikost a tvar zdicích prvků a vazbu zdiva jsou znázorněny na obr. 7.

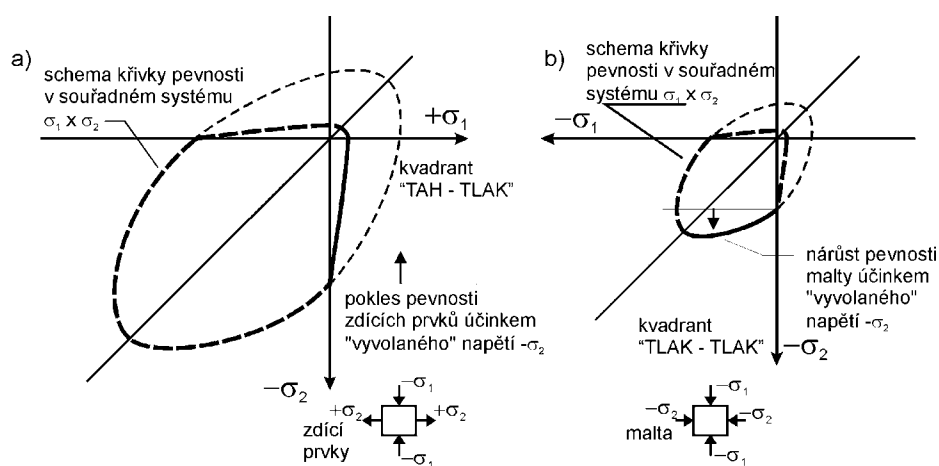
Pevnost zdiva v tlaku f_k by se měla, jak vyplývá z uvedené kvalitativní analýzy, vyjadřovat jako proměnná hodnota závislá nejen na pevnosti zdicích prvků v tlaku f_b , malty v tlaku f_m , ale i na pevnosti zdicích prvků, popř. malty v ta-



Obr. 4. Mechanismus vzájemného spolupůsobení cihel a malty
(modul pružnosti cihel $E_c = 6\ 000\ \text{MPa}$, modul pružnosti malty $E_m = 1\ 000\ \text{MPa}$, zatížení $1\ \text{kN/m}^2$)



Obr. 5. Místa lokálních koncentrací v okolí hran zdicích prvků
(modul pružnosti cihel $E_c = 6\ 000\ \text{MPa}$, modul pružnosti malty $E_m = 1\ 000\ \text{MPa}$, modul pružnosti pískovce $E_p = 10\ 000\ \text{MPa}$;
pro lepší znázornění nejsou vykresleny izolinie hlavních napětí v maltě)

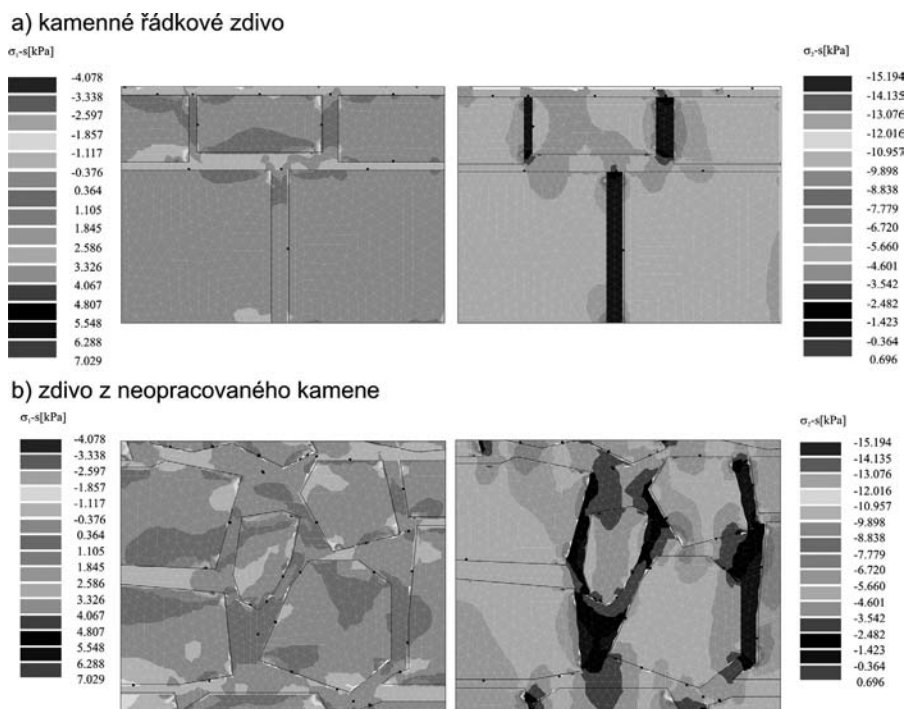


Obr. 6. Vliv spolupůsobení „zdicí prvek/malta“ na výslednou pevnost zdiva
a) schematické znázornění křivky pevnosti pro zdicí prvek, b) schéma křivky pevnosti pro maltu

hu. Průzkum zděných konstrukcí pro stanovení jejich únosnosti v tlaku se dosud převážně omezuje na určení pevnosti zdicích prvků v tlaku f_b . Pevnost v tahu se uplatňuje zejména při zatížení blízkém se meznímu zatížení zdiva, ve stádiu počínajícího rozvoje trhlin ve zdivu s méně kvalitní maltou

a má významný vliv na zůstatkovou únosnost zdiva.

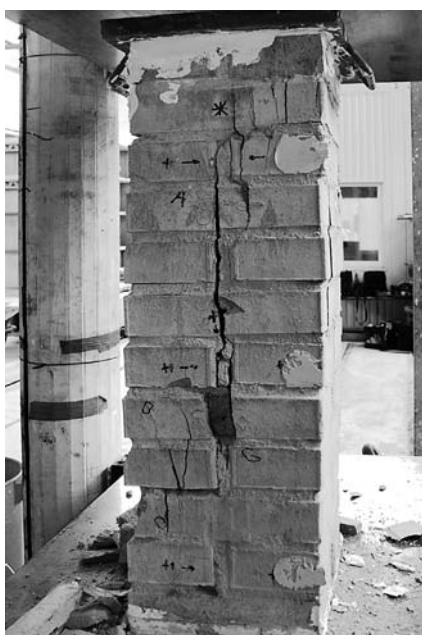
Trhlinka vznikne v tom místě (průřezu) zděné konstrukce, kde působící vodorovné normálové napětí v tahu překročí lokální (místní) pevnost zdicího prvku v tahu, popř. kde příčné přetvoření překročí hodnotu mezního poměrného pře-



Obr. 7. Izolinie hlavních napětí σ_1 , σ_2 kamenného zdiva s vyznačením míst koncentrací hlavních napětí

tvoření zdicích prvků v tahu $\varepsilon_{x,m}$. Pevnost zdiva v tahu jako heterogenního materiálu závisí na poloze průřezu, tj. na vzdálenosti a poloze posuzovaného průřezu vzhledem k ložným a styčným spárám.

V tlačných zděných pilířích a sloupech obvykle první svislé tahové trhliny (obr. 8) vznikají ve střední třetině výšky prvku (zde jsou největší hodnoty příčného přetvoření ε_x) a odtud se šíří k hornímu a spodnímu zhlaví pilíře. Vznik trhlin v horní nebo spodní koncové části zděného pilíře zpravidla bezprostředně předchází mezní únosnosti pilíře a vyžaduje neodkladné statické zajištění (např. příčné stažení průřezu).



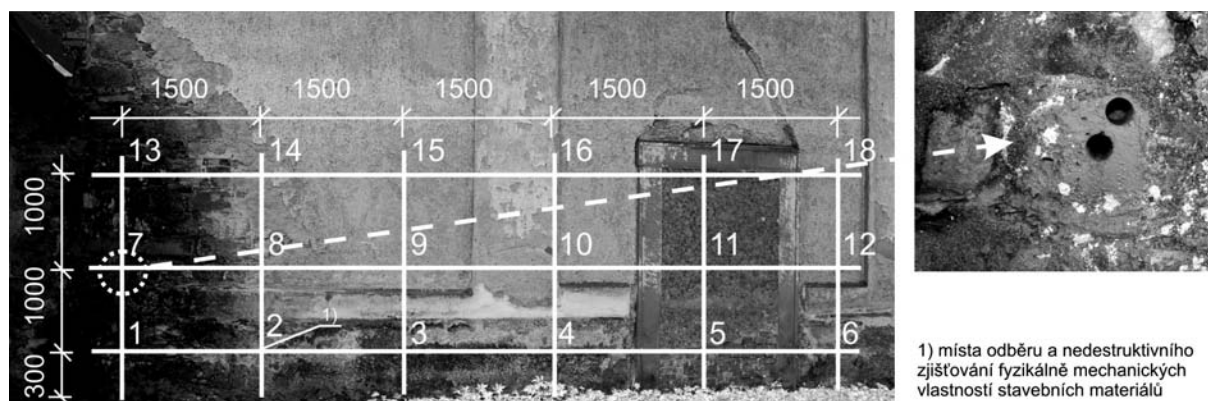
Obr. 8. Charakteristické porušení zděného pilíře po dosažení mezního zatížení v dostředném tlaku

Experimentální stanovení fyzikálně mechanických vlastností zdicích prvků a malty [1]

Výzkum a analýza výsledků stanovení pevnosti, modulu pružnosti, vlhkosti a chemismu zejména zdicích prvků na základě některých běžně používaných nedestruktivních metod ukázal na řadu problémů, které ovlivňují spolehlivost získaných výsledků. Stanovení zbytkových mechanických vlastností historického, především smíšeného a kamenného zdiva, má v důsledku jeho heterogenosti, variability vlastností jeho různých složek, nepravidelností provedení, rozložení vlhkosti a nízké spolehlivosti hodnot získaných nedestruktivními metodami zjišťování pevnosti v tlaku zdicích prvků a malt převážně informativní charakter a lze je aplikovat pouze při dostatečných rezervách únosnosti zdiva ve vztahu k jejich skutečnému zatížení (které by v závislosti na rozptylu zmíněných vlastností, provedení zdiva a stupně narušení zdiva nemělo přestoupit 30 % mezní únosnosti zdiva zjištěné nedestruktivními metodami).

Výzkum prokázal i poměrně značný rozptyl zjišťovaných vlastností v rámci např. zděné stěny rozměrů 9 x 4 m (obr. 9). Statistické vyhodnocení experimentálně zjištěných pevností v tlaku a modulu pružnosti získaných odběrem vzorků a nedestruktivním měřením v místech průsečíků virtuální sítě, „položené“ na vyšetřované zděné stěně (obr. 9), je uvedeno v tab. 1.

Z vyhodnocení, uvedeného v tab. 1 a z obr. 10, je patrný nejen rozptyl experimentálně zjišťovaných vlastností zdicích prvků a malty v rámci uvedené zděné stěny, ale i značný rozptyl samotných experimentálně získaných hodnot při použití různých měřicích přístrojů (Schmidt L a ruční vrtačka s indentorem, tzv. Kučerova). Hodnoty pevnosti a modulu pružnosti zjištěné laboratorně na odebraných jádrových vývrtech \varnothing 35 mm a délky 20-70 mm v místech průsečíků virtuální sítě slouží jako základ pro porovnání s hodnotami zjištěnými nedestruktivními metodami.



Obr. 9. Pohled na vyšetřovanou zděnou konstrukci s vyznačením virtuální sítě

Tab. 1. Naměřená pevnost zdicích prvků [MPa]

a) cihelné zdivo, 1. polovina 20. století, výrobní hala

Přístroj	Min	Max	Průměr	Směrodatná odchylka	Medián	Průměrná odchylka	Variační koeficient	Rozptyl
lis	4,04	29,04	13,43	6,18	14,04	5,07	46,05	38,22
Schmidt	12,30	19,70	16,43	2,31	16,66	1,88	14,07	5,34
Kucera	12,00	34,40	25,08	5,79	24,80	4,24	23,09	33,55

b) smíšené zdivo – cihly, 17. století, kostel

Přístroj	Min	Max	Průměr	Směrodatná odchylka	Medián	Průměrná odchylka	Variační koeficient	Rozptyl
lis	3,93	13,03	6,79	3,15	6,16	2,53	46,48	9,95
Schmidt	10,16	30,29	20,17	5,97	20,74	4,27	29,59	35,60
Kucera	11,36	35,47	24,30	9,29	21,28	8,51	38,22	86,29

c) smíšené zdivo – pískovec, 17. století, kostel

Přístroj	Min	Max	Průměr	Směrodatná odchylka	Medián	Průměrná odchylka	Variační koeficient	Rozptyl
lis	4,98	40,16	29,32	9,35	32,52	7,49	31,89	87,43
Schmidt	15,05	33,47	26,41	5,02	70,06	28,40	19,02	25,24
Kucera	21,28	39,04	34,07	5,22	82,86	32,21	15,31	27,19

d) kamenné zdivo – pískovec, 17. století, hospodářské stavení na faře

Přístroj	Min	Max	Průměr	Směrodatná odchylka	Medián	Průměrná odchylka	Variační koeficient	Rozptyl
lis	1,52	4,31	2,31	0,94	1,78	0,88	40,54	0,87
Schmidt	11,74	23,54	16,06	3,00	15,93	2,37	18,66	8,98
Kucera	12,00	24,25	15,31	3,54	14,00	2,68	23,12	12,53

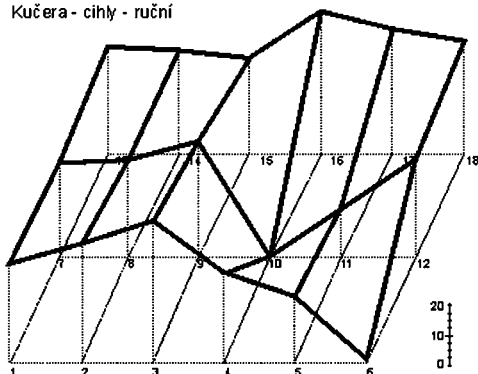
Poznámka: Pevnost zdicích prvků v lise stanovena podle Eurokódu 6, postup stanovení pevnosti zdicích prvků Schmidovým tvrdoměrem podle ČSN 73 1373, postup stanovení pevnosti zdicích prvků pomocí upravené ruční vrtačky (Kučerova vrtačka) podle „Zjišťování pevnosti malty a cihel ve stávající zděné konstrukci pomocí upravené ruční vrtačky, Praha 1989“.

Průzkum prokázal, že spolehlivost a výstižnost stanovení fyzikálně mechanických vlastností zdiva (f , E) může být závažně ovlivněna výběrem a použitím příslušné nedestruktivní metody. Z uvedeného důvodu je nezbytné v případech zvláště staticky exponovaných částí a prvků historické zděné konstrukce provést ověřovací jádrové vrty, situované zejmé-

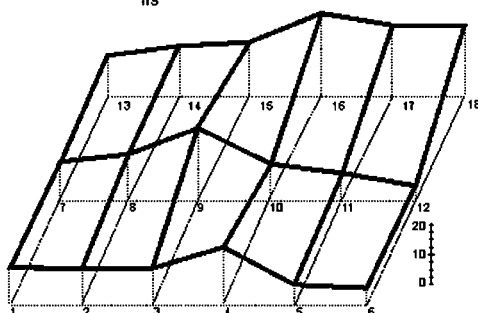
na do exponovaných míst, a dále tak, aby byla postižena různorodost historického zdiva, a stanovit zbytkovou únosnost destruktivní zkouškou odebraných vzorků. Odběr jádrových vývrtů chlazených vodou vyžaduje zjištění vlhkosti zdicích prvků v místě předpokládaného odběru (před odběrem) a následnou úpravu vlhkosti odebraného vzorku na úroveň

Humpolec cihelné zdivo (tovární hala, 1920)

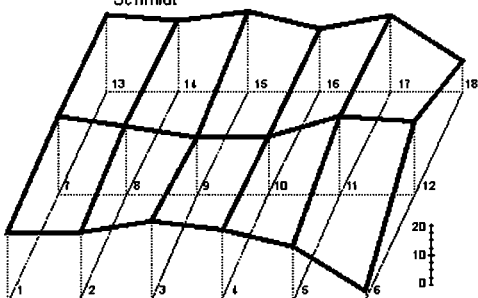
Kučera - cihly - ruční



lis



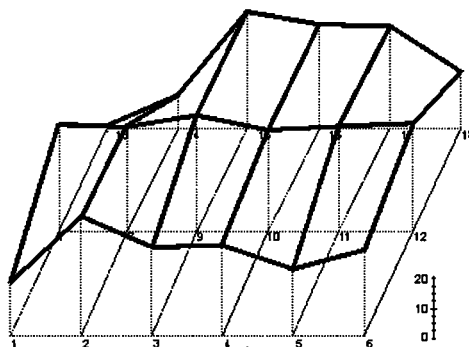
Schmidt



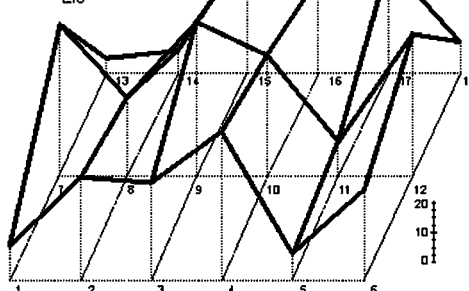
Fořt smíšené zdivo (kostel, 17. stol.)

5,11,13,14,17,18 - cihly
1-4,6-10,12,15,16 - pískovec

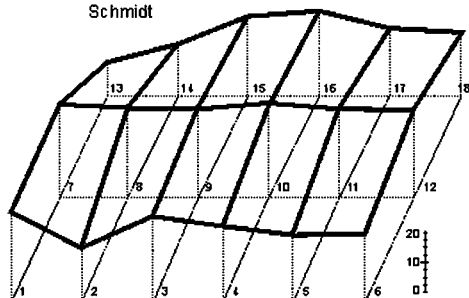
Kučera - el.



Lis



Schmidt



Obr. 10. Experimentálně získané rozložení pevnosti f zdicích prvků [MPa] ve vyšetřovaných stěnách (Humpolec, Fořt)

odpovídající původní vlhkosti vzorku zdiva v místě odběru [2], [3], [4].

Výsledky analýzy pevnosti zdicích prvků, získaných v rámci provedeného průřezu a statisticky vyhodnocených (tab. 1), lze shrnout následovně:

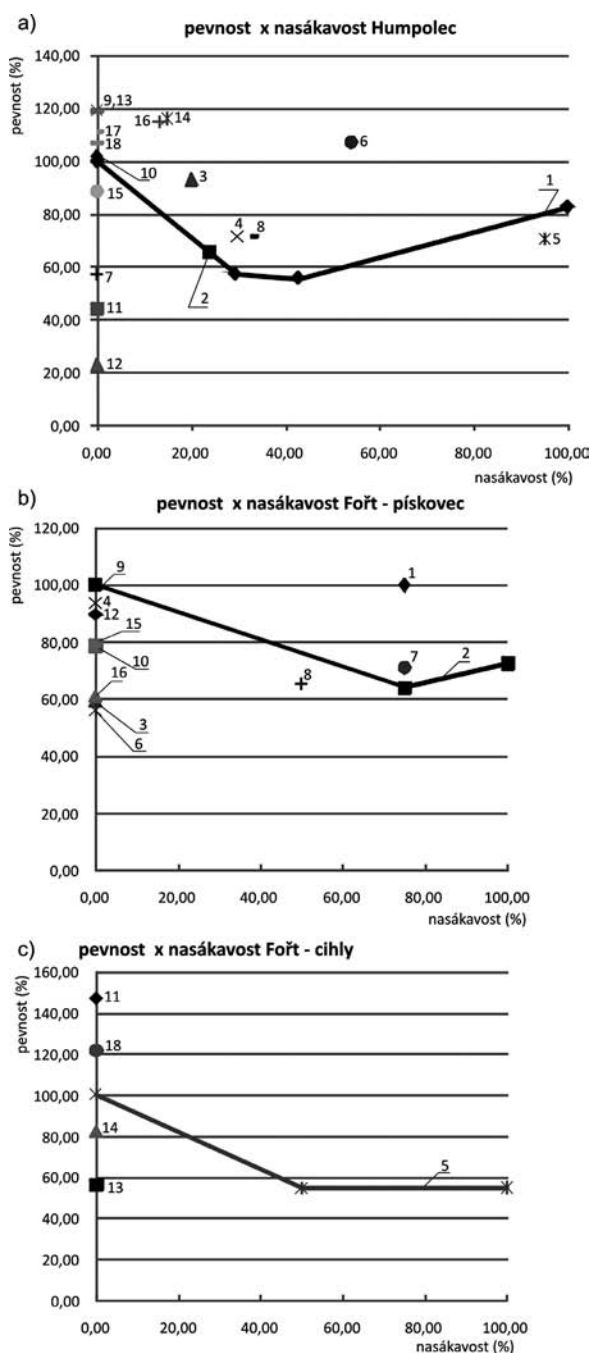
- rozložení pevnosti f zdicích prvků ve vyšetřovaných stěnách vykazuje značnou variabilitu rozdělení souboru náhodných hodnot kolem její střední hodnoty;
- z porovnání minimálních a maximálních hodnot experimentálně zjištěných a ze statisticky získané směrodatné odchylky je patrné, že pevnost zdicích prvků ve vyšetřované oblasti vykazuje značné odlišnosti;
- poměrně vysoké hodnoty variačního koeficientu jsou dalším dokladem relativně velké variability rozložení pevnosti zdiva v rámci vyšetřované konstrukce;
- zpravidla vyšší hodnoty pevnosti zdicích prvků získané nedestruktivními metodami (Schmidt, Kučera) jsou především ovlivněny spolupůsobením ověřované lokální oblasti (v místě kontaktu s diagnostickým zařízením) s oblastí primárně nezátíženou (mezí hodnoty namáhání v oblasti lokálního extrémního zatížení);

- ze statistického vyhodnocení je dále patrné, že zejména v rozsahu nižších pevností, tj. nižší kvality zdicích prvků, případně prvků narušených degradačními procesy, narůstají rozdíly zjištěných pevností získaných nedestruktivními a destruktivními metodami (nižší pevnosti vykazují zkoušky jádrových vývrtů);
- zejména u zdicích prvků nižší kvality, případně narušených degradačními procesy (dlouhodobé vylouhování pojiva), mohou být pevnosti zjištěné destruktivní zkouškou jádrových vývrtů menších průměrů (< 35 mm) ovlivněny způsobem odběru (při provádění jádrového vývrtu – případ zjištěných pevností „lis“ znázorněných v tab. 1d – nelze vyloučit narušení celistvosti vzorku). Jádrové vývrty menších průměrů se doporučují především u památkově chráněných objektů, tak aby došlo k minimálnímu narušení původního zdiva.

Poznámka:

Zkušenosti získané z dosavadního průřezu ukazují na nutnost zabývat se dále touto problematikou především v souvislosti se současnou tendencí omezovat destruktivní zásahy do diagnostikované konstrukce při provádění průřezu a používat vzorky malých rozměrů, případně tzv. nanovzorky.

Výzkum vlivu vlhkosti na hodnotu pevnosti zdicích prvků v tlaku f_b prokázal závažný vliv vlhkosti na pevnost v tlaku a modul pružnosti poréznych stavebních materiálů (obr. 11).



Obr. 11. Experimentálně získané závislosti f_b x w pro cihlu a pískovec

Odběr vzorků lze také provést částečným „vylomením“ prvků vhodné velikosti ze zdiva. Výsledky nedestruktivních zkoušek mohou být zvláště u historického zdiva ovlivněny degradačními procesy, jejich největší intenzita zpravidla zasahuje povrchové a přípovrchové vrstvy nadzákladového zdiva (procesy chemické, fyzikální a mikrobiologické koroze). Z experimentálně získaných závislostí f_b x w je zřejmý vliv vlhkosti (stupně nasycenosti) zdicích prvků na jejich pevnost. Souvislost vlhkosti a pevnosti zdicích prvků je patrná z obr. 12.

Odběr vzorků malty musí být výhradně suchou cestou, aby přidáním vody nedošlo k narušení struktury, ke změně složení malty, k následným chemickým a mineralogickým procesům, a to jak ve stádiu odběru malty ze zdiva, tak následně v laboratoři. Přímé určení pevnosti a modulu pružnosti malty, popř. laboratorní ověření vyjmutých vzorků, je velmi obtížné (odběr větších částí zdiva, použití metody tzv. tenkých lisů apod.).

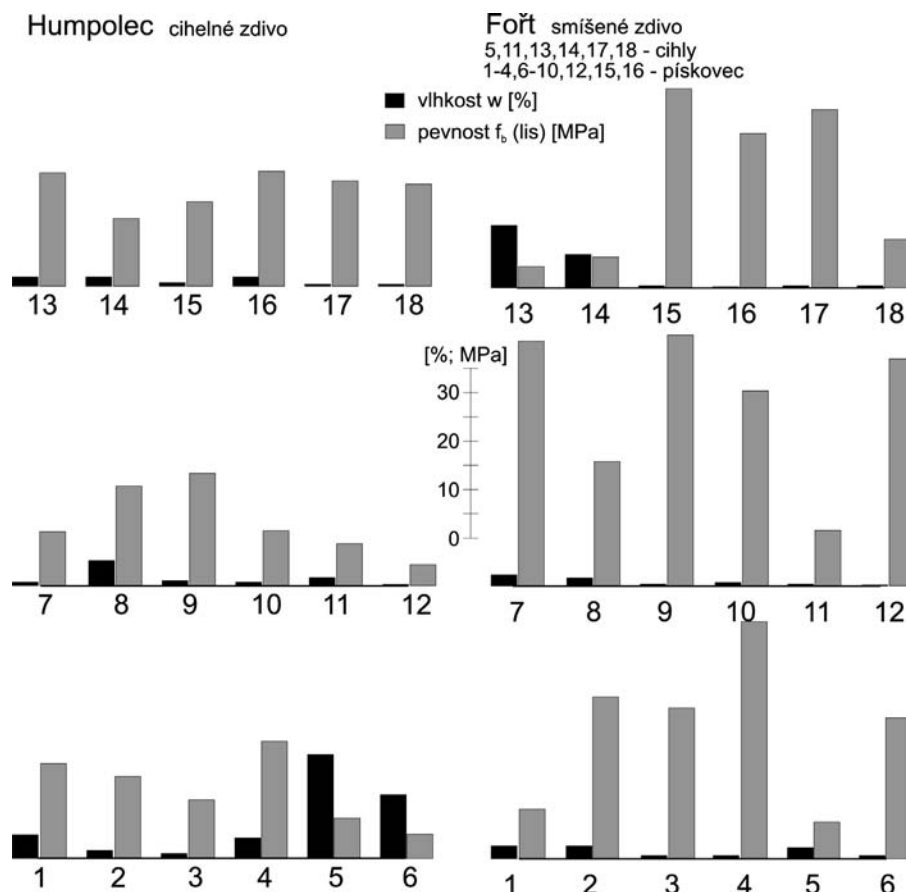
Předpokladem pro stanovení zbytkových mechanických vlastností historického zdiva a jeho zatížitelnosti je podrobný popis, zmapování a analýza všech mechanických narušení, trhlin, stavu povrchových vrstev, různorodosti zdiva, tloušťky a kvality pojiva v ložných spárách, druh a rozměry zdicích prvků a vazby zdiva.

Zvláštní pozornost vyžaduje stanovení zatížitelnosti kamenného nebo smíšeného zdiva z nepravidelných prvků (z neopracovaného lomového kamene), popř. z různých druhů přírodních kamenů (opuka, jemnozrnný pískovec, hrubozrnný pískovec, vápenec, žula apod.) a zdivo vícevrstvé (tzv. emplekton). Převážně pozitivní vliv trojosé tlakové napjatosti malty, který se uplatňuje v klasickém cihelném zdivu, nelze aplikovat na zdivo, v němž se vyskytují úlomky a ostrohranné zdicí prvky z neopracovaného lomového kamene. Místem vzniku svislých tahových trhlin, rozdělujících zděný prvek na jednotlivé části („sloupce“), jsou nejčastěji průřezy s neúčinným provázáním zdiva v několika vrstvách. Lokální stavy napjatosti charakterizované tahovou složkou, vznikající v okolí zdicích prvků s relativně vyšším modulem pružnosti proti okolním prvkům, se mohou nepříznivě projevit až při vyšších hodnotách namáhání kamenného nebo smíšeného zdiva.

Shrnutí

Klesající spolehlivost určení fyzikálně mechanických vlastností historického zdiva musí být provázána narůstajícím poměrem mezi experimentálně stanovenou mezní pevností a skutečným namáháním zděné konstrukce. Otázka mezní nebo přípustné únosnosti je obvykle nastolována při výskytu rozsáhlejších narušení zdiva, popř. při rekonstrukci, při níž dochází ke změně zatížení nebo rozsáhlejším zásahům do stávajícího zdiva. Zásadou, z níž by měla vycházet každá rekonstrukce, je zachování původního statického konceptu a řešení celé konstrukce, případně odstranění dřívějších necitlivých zásahů a cizorodých konstrukčních prvků. Tato zásada vymezuje současně i koncept pro návrh připravované rekonstrukce. Každé významnější zvýšení zatížení stávající historické zděné konstrukce, případně zásahy a úpravy, musí být podrobně kvalitativně, popř. při dostatku výstižných vstupních hodnot, numericky posouzeny tak, aby byla preventivně vyloučena možnost následného vzniku trhlin a narušení zdiva.

V současnosti jsou v souvislosti s rekonstrukcí historických objektů v řadě případů aplikovány modely homogenizovaného zdiva. Numerická analýza, založená na jedné straně na matematických modelech a na druhé straně na nedostatečně výstižných materiálových a fyzikálních modelech, může vést nejen k chybným závěrům, ale může být i příčinou chybné koncepce rekonstrukce, a následně vést ke vzniku statických poruch a narušení. Nedostatečně výstižné okrajové podmínky a vstupní parametry popisující fyzikálně mechanické vlastnosti zdiva a jeho jednotlivých složek nelze odstranit aplikací „sebenáročnějšího“ numerického modelu.



Obr. 12. Rozložení vlhkosti a pevnosti cihel a pískovce po ploše experimentálně vyšetřovaných zděných konstrukcí (Humpolec, Fořt)

Literatura

- [1] Projekt GA ČR č. 103/06/1801 „Analýza spolehlivosti vlastností stavebních materiálů a konstrukcí s přihlédnutím k jejich změnám v čase a časově proměnným vlivům“, 2006-2008, hlavní řešitel prof. Ing. Jiří Witzany, DrSc.
- [2] Witzany, J. – Čejka, T. – Zigler, R.: Vliv vlhkosti na fyzikálně mechanické vlastnosti poréznych stavebních materiálů a na únosnost zdiva. *Stavební obzor*, 12, 2003, č. 4, s. 97-104. ISSN 1210-4027.
- [3] Witzany, J. – Čejka, T. – Zigler, R.: Vliv vlhkosti na změny významných fyzikálně mechanických vlastností zdiva a důsledky pro namáhání nosných konstrukcí. *Stavební obzor*, 10, 2001, č. 12, s. 15-21. ISSN 1210-4027.
- [4] Čejka, T.: Vliv vlhkosti na fyzikálně mechanické vlastnosti stavebních materiálů. DDP, FSv ČVUT, Praha 2002.

Witzany, J. – Čejka, T. – Zigler, R.: Reliability of Diagnostic Methods for Determination of Residual Load-Bearing Capacity of Existing Masonry Structures

The determination of the residual load-bearing capacity of existing masonry structures is affected by a substantial variability of the characteristics of the lump building material (particularly in the case of stone and mixed brickwork), the initial components and technology of production of binding mortar and the masonry itself. But it is also severely impacted by degradation processes, moisture, weathering, etc. The investigations undertaken suggest that even the diagnostic methods applied have an effect on the results obtained. This paper summarizes and compares the results of an investigation involving non-destructive methods in situ, as well as destructive methods based on the samples taken in the laboratory.

Příspěvek byl vypracován za podpory projektu GA ČR č. 103/06/1801 „Analýza spolehlivosti vlastností stavebních materiálů a konstrukcí s přihlédnutím k jejich změnám v čase a časově proměnným vlivům“.

Witzany, J. – Čejka, T. – Zigler, R.: Die Zuverlässigkeit diagnostischer Methoden für die Bestimmung der Resttragfähigkeit bestehender Mauerwerkskonstruktionen

Die Bestimmung der Resttragfähigkeit bestehender Mauerwerkskonstruktionen wird durch eine deutliche Variabilität der Eigenschaften des benutzten stückartigen Baumaterials (insbesondere im Falle von Naturstein- und Mischmauerwerk), den Ausgangskomponenten und der Technologie der Herstellung des Fugenmörtels und des Mauerwerks selbst beeinflusst. Sie wird aber auch schwerwiegend durch die Zerfallsprozesse, die Feuchtigkeit, die Verwitterung u.ä. beeinflusst. Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass auch die angewandten diagnostischen Methoden Einfluss auf die gewonnenen Ergebnisse haben. Im Beitrag sind die durch zerstörungsfreie Methoden in-situ und durch zerstörende Methoden aufgrund von im Labor entnommenen Proben gewonnenen Forschungsergebnisse zusammengefasst.

Únosnost spřažených desek v montážním stadiu zmonolitnění

Ing. Jiří ŠMEJKAL, CSc.

ŠPS – statická kancelář, Plzeň

doc. Ing. Daniel MAKOVIČKA, DrSc.

ČVUT – Kloknerův ústav, Praha

Ing. Jiří POSPIŠIL

B&BC, Zbůch

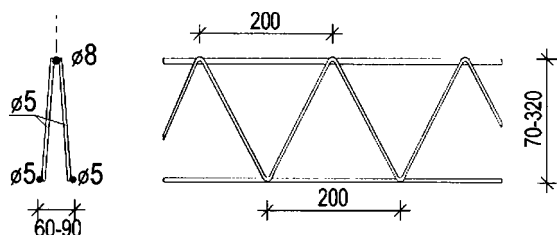
Spražené železobetonové stropní desky jsou při montáži a při manipulaci s prefabrikovanými částmi vynášeny především příhradovou výztuží. Přitom její únosnost v ohybu a ve smyku čeští výrobci nedefinují. Při zmonolitňování stropní desky je nutné prefabrikáty podepřít liniovými podpěrami. Experimentem bylo ověřeno, že při stanovení vzdálenosti liniových montážních podpor lze vycházet ze stavebně technických osvědčení odpovídajících výrobků ze SRN.

Úvod

Spražené železobetonové desky vzniknou spojením prefabrikované tenké desky se zabudovanou prostorovou a dolní výztuží s monolitickou částí na stavbě. Využívají se s výhodou pro stropní konstrukce. Po dopravě z výroby se prefabrikované desky osadí do určené polohy, podepřou, doplní se horní a spárová výztuž a stropní konstrukce se zmonolitní. Příhradová výztuž, zabetonovaná v prefabrikovaných deskách, plní funkci spřahující výztuže mezi prefabrikátem a dobetonovanou horní částí desky a při manipulaci a během montáže jako základní nosný prvek prefabrikovaného dílce. Pro návrh spřažených stropních desek platí ČSN EN 1992-1-1 [1] a ČSN EN 13747 [2].

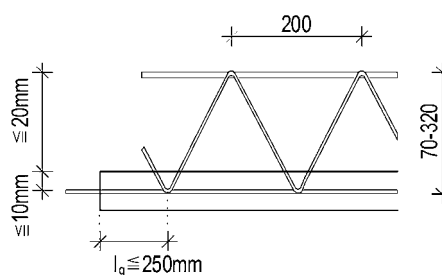
Příhradová výztuž

Prostorová příhradová výztuž pro spřažené stropní desky (obr. 1) je obvykle tvořena betonářskou výztuží B500A (BSt500G), a to v horním pásu jedním prutem $d_s = 8$ mm, v dolním pásu dvěma pruty $d_s = 5$ mm a diagonálami $d_s = 5$ mm [5], [7]. Výztuž uvažovaná v následujícím textu musí odpovídat stavebně technickému osvědčení Z-15.1-147 [4] nebo Z-15.1-1 [5]. Při použití jiného typu je nutné postupy upravit. V prefabrikovaných částech se předpokládá beton C25/30 a vyšší, betonářská výztuž B500A, případně B500B. Pro účinné spřažení se předpokládá zdrsňená pracovní spára [2], [3], minimální nerovnosti 3 mm po vzdálenostech 40 mm. Maximální vzdálenost mezi příhradovou



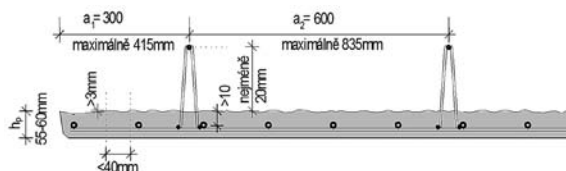
Obr. 1. Typická příhradová výztuž pro spřažené stropní desky

výztuží je 835 mm, maximální vzdálenost příhradové výztuže od kraje je 415 mm. Minimální výška příhradové výztuže nad prefabrikovaným dílcem je 20 mm (obr. 2).



Obr. 2. Minimální zapuštění spodního pásu příhradové výztuže do stropního dílce a maximální vzdálenost dolního styčnicku od okraje dílce

V praxi se používají prefabrikované desky šířky 240 mm se čtyřmi nebo se třemi kusy příhradové výztuže. Tomu odpovídá vzdálenost příhradové výztuže 600 nebo 800 mm (obr. 3). Prefabrikovaná deska má obvykle tloušťku 55-60 mm.



Obr. 3. Vzdálenost mezi příhradovou výztuží stropního dílce

Pokyny pro manipulaci, skladování a dopravu

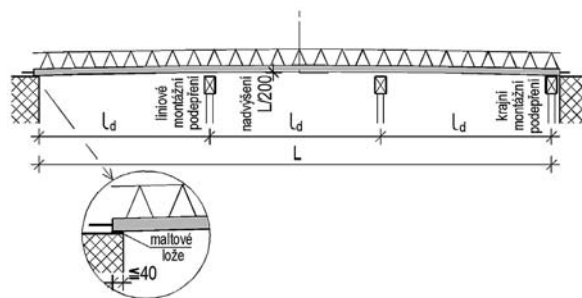
Při skladování je nutné desky ukládat na rovný dostatečně únosný povrch. Při skládání na sebe se musí prokládat dřevěnými hranoly, a to vždy nad sebou. Do délky desky 600 mm postačují obvykle dva proklady ve vzdálenosti $L/5$ od okrajů (L – délka prefabrikátu). V rámci technické dokumentace [2], [3] je nutné pro stropní desku vytvořit výkres skladby se systémem montážního podepření a pokyny pro manipulaci, skladování a montáž.

Specifikace pro montáž

Před kladením desek je nutné zajistit montážní podepření – systém liniových podpor (obr. 4). Liniové podpory se musí obvykle nadvýšit o $1/250$ rozpětí. Systém montážních liniových podpor musí být definován [3] v technické dokumentaci stropní desky. Dále je nutné prověřit dostatečnou únosnost montážních prostředků vzhledem k hmotnosti desek a maximálnímu vyložení jeřábu.

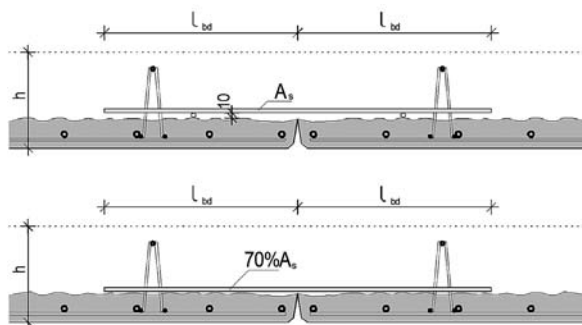
Prefabrikované desky se kladou na vodorovný, pevný a řádně očištěný okraj nosných stěn nebo průvlaků. Minimální hloubka je 40 mm při uložení na zdivu a 20 mm při uložení na ocelové nebo železobetonové konstrukci. Při jejím nedodržení se musí umístit montážní podepření v bezpro-

střední blízkosti uložení (obr. 4). Při uložení větším než 40 mm se desky ukládají do maltového lože. Znečištěná pracovní spára může únosnost konstrukce v konečném stavu znehodnotit, proto je nutné ji udržovat, především během vázání horní výztuže, čistou.



Obr. 4. Vzdálenost montážních liniových podpor

Na povrch stropních desek se klade spárová výztuž (obr. 5). Pokud se navrhuje s plným využitím průřezu, musí být její betonové krytí vůči prefabrikátu alespoň 10 mm. Pokud se pokládá přímo na zdrsňený horní líc prefabrikátu, je nutné redukovat její účinnou průřezovou plochu na 70 % z důvodu nedodržení minimální tloušťky obetonování (vzhledem k soudržnosti výztuže s betonem).

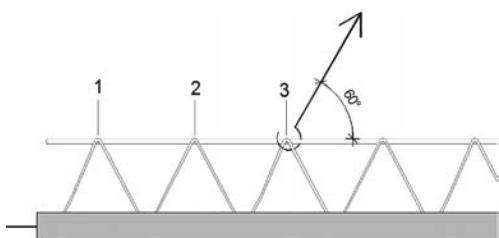


Obr. 5. Spárová výztuž mezi stropními dílci

Na příhradovou výztuž se obvykle kladou výztužné sítě s příložkami nebo vázaná horní výztuž. Z toho vyplývá optimální výška příhradové výztuže, jež musí přesahovat prefabrikát minimálně 20 mm (obr. 2 a obr. 3). Doba montážního podepření závisí nejen na způsobu realizace stavebního objektu, ale i na klimatických podmínkách v průběhu realizace.

Specifikace pro manipulaci a montáž

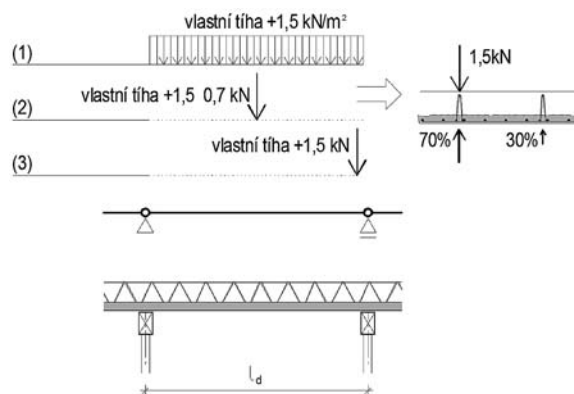
Prefabrikované části lze zvedat za příhradovou výztuž v místě přikotvení diagonál k hornímu pásu příhradové výztuže. Zvedací háky se uchytávají v pětině délky prefabrikátu od jeho konců, minimálně však za třetí styčník od kraje desky (obr. 6).



Obr. 6. Schéma uchycení montážního háku pro manipulaci s dílcem

Únosnost v montážním stavu

Únosnost desek v ohybu v montážním stavu je zajištěna především příhradovou výztuží. Pro zjednodušení návrhu montážního podepření se uvažuje statické schéma prostého nosníku (obr. 7). Pro montážní stav se uvažuje zatížení vlast-



Obr. 7. Statické schéma pro řešení montážního stavu dílce

ní tíhou železobetonové spřažené stropní desky a proměnným plošným zatížením 1,50 kN/m² [4], [5] nebo 1 kN/m² [2]. Alternativně k proměnnému plošnému zatížení je nutné uvažovat zatížení osamělým břemenem v hodnotě 1,50 kN v nejnepříznivější poloze. Přitom lze uvažovat částečné rozdělení zatížení do sousední příhradové výztuže v rámci jednoho prefabrikovaného dílce. Uvedené hodnoty jsou návrhové, součinitel v montážních stavech je uvažován hodnotou $\gamma_F = 1$. V souladu se stavebně technickým osvědčením [4], [5] je únosnost příhradové výztuže definována v tab. 1. Podle normy [2] lze pro návrh montážního stavu použít statické schéma spojitý nosník s menším proměnným zatížením a jinými hodnotami součinitelů zatížení. Pro návrh montážního stavu se zatížením a statickým schématem podle [2] čeští výrobci únosnost příhradové výztuže nedefinují. Pokud vyjdeme z únosnosti podle [4] a [5], je nutné dodržet celou metodiku návrhu.

Tab. 1. Únosnost příhradové výztuže [4], [5]

Příhradová výztuž (obr. 1)		Únosnost	
typ	výška [mm]	M_{Rs} [kNm]	V_{Rs} [kN]
D7/5	70	1,35	4,56
D8/5	80	1,37	4,56
D9/5	90	1,38	4,56
D10/5	100	1,40	4,56
D11/5	110	1,42	4,56
D12/5	120	1,43	4,56
D13/5	130	1,45	4,56
D14/5	140	1,48	4,56
D15/5	150	1,51	4,56
D16/5	160	1,53	4,56
D17/5	170	1,56	4,56
D18/5	180	1,59	4,56
D19/5	190	1,62	4,56
D20/5	200	1,64	4,20
D21/5	210	1,67	3,85

Návrh montážního stavu vychází z únosnosti M_{Rs} a V_{Rs} příhradové výztuže definované ve [4] a [5]. Únosnost byla následně ověřena výpočtem a experimentem v souladu s [2] (obr. 12). Hodnoty M_{Rs} a V_{Rs} pro nejčastěji používanou příhradovou výztuž jsou uvedeny v tab. 1. Při návrhu se uvažuje pouze únosnost do mezního stavu vybočení horního tláčeného pásu (obr. 13). Dolní pás je posílen železobetonovou prefabrikovanou částí s podélnou výztuží, při návrhu montážního podepření není rozhodující, jak je dále doloženo výsledky experimentálního měření. Horní pás je stabilizován přivařenými prostorovými diagonálami. Vybočení diagonál (obr. 14) při pečlivém svarovém spojení nastává později než vybočení horního pásu příhradové výztuže.

Maximální vzdálenost liniových montážních podpor při rovnoměrném plošném zatížení vlastní tíhou a proměnným zatížením v hodnotě 1,50 kN/m² podle [4] a [5]

$$l_d \leq \sqrt{\frac{8 \cdot M_{Rs}}{(h \cdot 25 + 1,5) \cdot a}}, \quad (1)$$

kde h je tloušťka spráženého stropní desky, a je vzdálenost příhradové výztuže v prefabrikované části desky.

Maximální vzdálenost liniových montážních podpor l_d při rovnoměrném plošném zatížení vlastní tíhou a proměnným osamělým zatížením γ_f 1,50 kN je dána vztahem

$$l_d \leq \sqrt{\frac{(1,5 \cdot \gamma_f)^2 + 25 \cdot 8 \cdot h \cdot M_{Rs} \cdot a}{25 \cdot h \cdot a}} - \frac{(1,5 \cdot \gamma_f)}{25 \cdot h \cdot a} \quad (2)$$

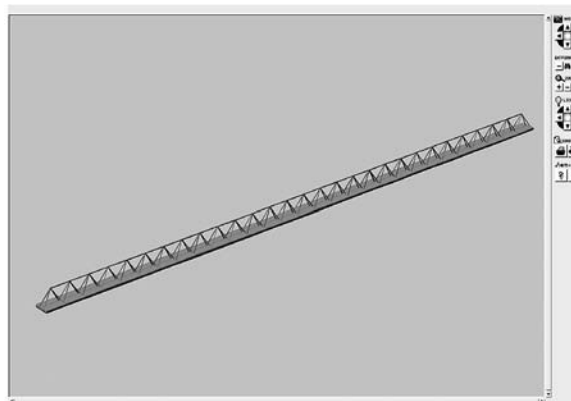
Přitom γ_f je součinitel roznášení proměnného osamělého zatížení do sousední příhradové výztuže. Roznášení zatížení je možné pouze v rámci jednoho dílce a na vzdálenost maximálně rovnou vzdálenosti mezi působištem osamělého břemene a podepřením prefabrikátu (obr. 7). V tabulkách 2 a 3 bylo uvažováno roznášení do sousední příhradové výztuže 30 % ($\gamma_f = 0,7$) při osamělém břemenu působícím uprostřed vzdálenosti mezi montážními podpěrami. Při působení osamělého břemene u podpory nebylo roznášení ($\gamma_f = 1$) uvažováno.

Maximální vzdálenost liniových montážních podpor l_d při rovnoměrném plošném zatížení vlastní tíhou a proměnným osamělým břemenu působícím u podpory je dána vztahem

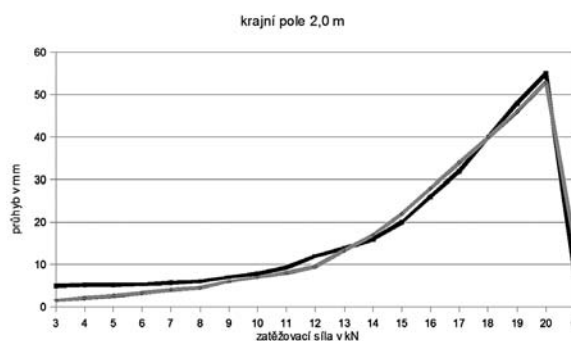
$$l_d \leq \frac{2 \cdot V_{Rs}}{25 \cdot h \cdot a} - \frac{2 \cdot (1,5 \cdot \gamma_f)}{25 \cdot h \cdot a} \quad (3)$$

Při návrhu vzdálenosti montážního podepření l_d rozhoduje nejmenší z hodnot získaných ze vztahů (1), (2) a (3). Výsledky výpočtů, uvedené v tab. 2, odpovídají hodnotám používaným v Německu [4], [5].

Při zatěžování prefabrikované části sprážené stropní desky dochází nejdříve k vybočení horního pásu příhradové výztuže (obr. 13). Při obvyklém vyztužení prefabrikátu nenastává zhroucení konstrukce po vybočení horního pásu příhradové výztuže. Při dalším nárůstu zatížení se prvek stává poddajnější – viz výsledky měření na obr. 9 až obr. 11. Dalším kritériem pro maximální vzdálenost liniových montážních podpěr je maximální průhyb prefabrikátu při zmonolitňování. Hodnoty únosnosti v tab. 3 a maximální vzdálenost



Obr. 8. Výpočet (model) konstrukce



Obr. 9. Zatěžovací křivka krajního pole s teoretickým rozpětím 200 mm

nosti montážních liniových podpěr v tab. 2 odpovídají maximálním průhybům v montážním stavu do 10 mm [2]. Kratší vzdálenost montážních liniových podpěr než 1 000 mm není vhodná. Pro větší zatížení je nutné volit příhradovou výztuž s větším průřezem horního pásu a diagonál.

Únosnost prefabrikovaných částí stropních desek

Při respektování únosnosti příhradové výztuže podle [4] a [5] je únosnost prefabrikovaných částí sprážených stropních desek uvedena v tab. 3. Tyto hodnoty jsou nezbytné v procesu výrokové certifikace podle [2]. Při tvorbě montážního podepření je snazší vycházet z maximální vzdálenosti liniových podpěr (tab. 2) než z odpovídající únosnosti.

Ověření únosnosti prefabrikované části

Předpoklady experimentu

Pro ověření únosnosti prefabrikovaných částí sprážené železobetonové stropní desky byly provedeny zkoušky. Z prefabrikovaných desek byly vyříznuty pruhy s jednou příhradovou výztuží o šířce 500 mm. Dolní podélná výztuž zkušebních vzorků byla 4×R14 a 6×R14. Příhradová výztuž D15/5 byla vysoká 150 mm, horní pás byl Ø 8 mm, dolní pás a diagonály dvakrát Ø 5 mm. Celková předpokládaná tloušťka stropní desky byla 220 mm, betonové krytí dolní výztuže a příhradové výztuže 20 mm. Vzorky byly podepřeny ve vzdálenosti 1 600 mm, 2 200 mm a 2 000 mm jako spojitý nosník. Zatěžovány byly hydraulickým válcem v rozsahu

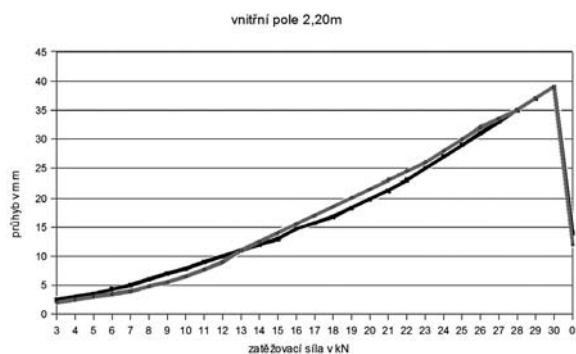
Tab. 2. Vzdržalosti montážního podepření spřažených stropních desek

Příhradová výztuž (obr. 1)		Únosnost		Tloušťka desky h	Maximální vzdálenost			
					l_{d1} vztah (1)	l_{d2} vztah (2)	l_{d3} vztah (3)	$l_{d \max}$ výsledná
typ	výška [mm]	M_R [kNm]	V_{Rs} [kN]	[m]				
D7/5	70	1,35	4,55	0,14	1,90	1,99	2,98	1,90
D9/5	90	1,38	4,55	0,16	1,83	1,90	2,60	1,83
D10/5	100	1,40	4,55	0,17	1,80	1,86	2,45	1,80
D11/5	110	1,42	4,55	0,18	1,77	1,83	2,31	1,77
D12/5	120	1,43	4,55	0,19	1,75	1,80	2,19	1,75
D13/5	130	1,45	4,55	0,20	1,72	1,77	2,08	1,72
D14/5	140	1,48	4,55	0,21	1,71	1,75	1,98	1,71
D15/5	150	1,51	4,55	0,22	1,69	1,73	1,89	1,69
D16/5	160	1,53	4,55	0,23	1,68	1,71	1,81	1,68
D17/5	170	1,56	4,55	0,24	1,67	1,70	1,74	1,67
D18/5	180	1,59	4,55	0,25	1,65	1,68	1,67	1,65
D19/5	190	1,62	4,55	0,26	1,64	1,67	1,60	1,60
D20/5	200	1,64	4,55	0,27	1,63	1,65	1,54	1,54
D21/5	210	1,67	4,20	0,28	1,62	1,64	1,38	1,32
D22/5	220	1,70	3,85	0,29	1,61	1,63	1,11	1,11

Tab. 3. Montážní únosnost prefabrikované části spřažených stropních desek

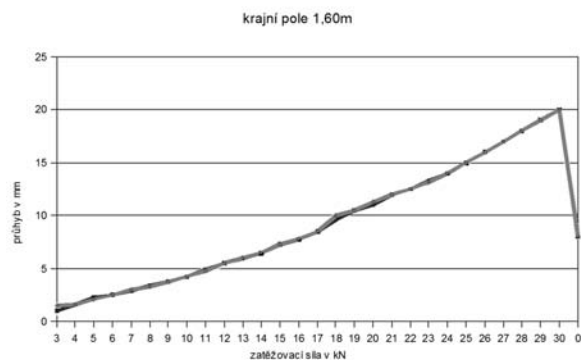
Tloušťka desky [mm]	Příhradová výztuž (obr. 1)		a [m]	Únosnost			
				příhradové výztuže		prefabrikované části	
	typ	výška [mm]		v ohybu [kNm]	ve smyku [kN]	v ohybu [kNm]	ve smyku [kN]
140	D7/5	70	0,6	1,35	4,55	2,25	7,58
150	D8/5	80	0,6	1,37	4,55	2,28	7,58
160	D9/5	90	0,6	1,38	4,55	2,31	7,58
170	D10/5	100	0,6	1,40	4,55	2,33	7,58
180	D11/5	110	0,6	1,42	4,55	2,36	7,58
190	D12/5	120	0,6	1,43	4,55	2,39	7,58
200	D13/5	130	0,6	1,45	4,55	2,42	7,58
210	D14/5	140	0,6	1,48	4,55	2,46	7,58
220	D15/5	150	0,6	1,51	4,55	2,51	7,58
230	D16/5	160	0,6	1,53	4,55	2,56	7,58
240	D17/5	170	0,6	1,56	4,55	2,60	7,58
250	D18/5	180	0,6	1,59	4,55	2,65	7,58
260	D19/5	190	0,6	1,62	4,55	2,69	7,58
270	D20/5	200	0,6	1,64	4,20	2,74	7,00
280	D21/5	210	0,6	1,67	3,85	2,79	6,42
290	D22/5	220	0,6	1,70	3,52	2,83	5,87

0-50 kN vždy ve středu pole s roznesením po délce 500 mm, svisle nad příhradovou výztuží. Mikrometrickými hodinkami (0-100 mm) byl měřen synchronizovaně průhyb. Před zahájením experimentu byl programem FRAP2-4H (firmy PCAE) proveden podrobný výpočet pro vzorek desky s příhradovou výztuží (obr. 8) se součinitelem zatížení $\gamma_F = 1$ a materiálovými součiniteli $\gamma_C = 1,50$ a $\gamma_S = 1,15$. Ve výpočtu se sledovalo především chování horního pásu a diagonál. Dolní pás je v montážním stavu vždy zabetonován a posílen dolní výztuží. Pro montážní stav není rozhodující dolní pás, což potvrdil výpočet i experiment.



Obr. 10. Zatěžovací křivka vnitřního pole s teoretickým rozpětím 220 mm

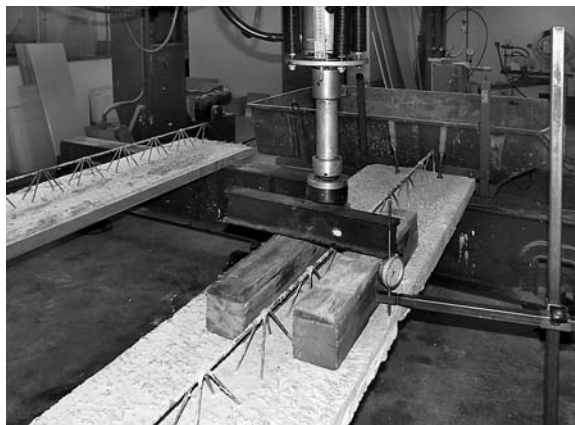
Při výpočtu montážního stavu podle uvedených tabulek únosnosti vznikala v horním pásu tlaková síla 10 kN, která odpovídá Eulerovu vzpěrnému břemenu horního pásu na vzdálenost 200 mm při kloubovém uložení obou konců. Při experimentu bylo zjištěno vybočení kolem 28 kN vzpěrného tlaku. To odpovídá Eulerovu vzpěrnému břemenu při pružném vetknutí obou konců. Vybočení diagonál nastalo později při osovém zatížení 4,1 kN. Diagonály lze modelovat obdobně jako tlacený prut s pružným vetknutím na obou koncích.



Obr. 11. Zatěžovací křivka krajního pole s teoretickým rozpětím 160 mm

Výsledky

Ve středu sledovaného pole probíhalo postupné zatěžování od 0 do 20 kN nebo 30 kN. Podle výsledků zatěžovacích křivek (obr. 7 až obr. 9) je zřejmé, že vliv dolního pásu není pro montážní únosnost rozhodující. Obě křivky jsou v podstatě shodné. Výztužení by bylo rozhodující pro vyšší zatížení, než jaké je přípustné při montážním stavu zmonolitnění. Vybočení horního pásu nastalo u krajního pole 2 000 mm při zatížení 11 až 12 kN (obr. 7). Počátek vybočení lze



Obr. 12. Uspořádání experimentu (TZUS Plzeň)



Obr. 13. Vybočení horního pásu příhradové výztuže v krajním poli 200 mm při zatížení 30 kN



Obr. 14. Počátek vybočení diagonál nad vnitřní podporou

velmi obtížně stanovit. Vybočení horního pásu u vnitřního pole 2 200 mm nastalo mezi 12-15 kN (obr. 8), u krajního pole 1 600 mm mezi 16-18 kN (obr. 9). Po vybočení horního pásu se mírně zmenšila poddajnost, křivka byla strmější. Vybočení nastalo při zatěžovacím ohybovém momentu 4,1 kNm, což odpovídá tlaku 27,33 kN v horním pásu. Vybočení diagonál bylo při výrazně větším zatížení, a to pouze nad vnitřními podporami. V průběhu experimentu nedošlo k viditelnému poškození bodových svarů mezi diagonálami a horním pásem příhradové výztuže.

Po odlehčení bylo možné pozorovat převážně pružné vrácení vzorku do původního tvaru (obr. 15). Zbytkové plasticke deformace byly menší než 10 mm po 30 minutách po odtížení. Částečně deformovaný zůstal horní pás příhradové výztuže. Redukce vybočení byla však významná. Vybočení diagonál zůstalo v plné hodnotě v oblasti nad vnitřními podporami. Při zatěžování nebyly patrné vlasové trhliny nad vnitřními podporami.



Obr. 15. Zkušební vzorek po odtížení
(na fotografiích jsou patrné zbytkové deformace horního pásu)

Závěr

Montážní podepření může podstatně ovlivnit odolnost spřažené železobetonové stropní konstrukce. V technické dokumentaci podle [2] a [3] musí být definován systém liniového montážního podepření. Hodnoty únosnosti příhradové

výztuže čeští výrobci nedeklarují. Výztuž se vyrábí podle stavebně technických osvědčení [4] a [5]. Experimentem podle [2] bylo ověřeno, že pro návrh montážního podepření lze použít únosnost podle tab. 2 a tab. 3. Únosnost prefabrikovaných částí spřažených stropních desek má rezervy ve zjednodušení statického schématu na prostý nosník (obr. 7) a v únosnosti vlastní prefabrikované části jako spojité desky po překonání únosnosti horního pásu příhradové výztuže ve středním poli. Při překročení únosnosti horního pásu však vznikají nepřijatelné deformace [2] a dochází k redukci únosnosti spřažené stropní konstrukce jako celku. Pro spřaženou stropní desku je nutné vyhotovit obdobný statický návrh jako pro monolitickou stropní desku [1]. Navíc je nutné posoudit smyk v pracovní spáře mezi prefabrikovanou částí a celou řadu dalších detailů vyplývajících z technologie spřažených stropních desek.

Literatura

- [1] ČSN EN 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1 Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. ČSN, 1992.
- [2] ČSN EN 13747 Betonové prefabrikáty – stropní deskové dílce pro spřažené stropní systémy. ČNI, 2006.
- [3] ČSN EN 13369 Společná ustanovení pro betonové prefabrikáty. ČNI, 2005.
- [4] Stavebně technické osvědčení Z-15.1-147 DIBt ze dne 12.11.2004 BRD.
- [5] Stavebně technické osvědčení Z-15.1-1 DIBt ze dne 18.10.2004 BRD.
- [6] ČSN EN 10080 Ocel pro výztuž do betonu – Svařitelná žebírková betonářská ocel. ČSN, 2005.
- [7] ČSN 420139 Ocel pro výztuž do betonu – Svařitelná žebírková betonářská ocel. ČNI, 2007.

Šmejkal, J. – Makovička, D. – Pospíšil, J.: Load-Bearing Capacity of Composite Slabs during the Assembly Stage of Monolithing

Composite reinforced concrete floor slabs are primarily carried by trussed reinforcement during assembly of, as well as handling with prefabricated components. Its carrying capacity in bending and shear is not defined by Czech manufacturers. When making the floor slab monolithic, the prefabricated elements should be supported by line supports. It has been experimentally verified that for the determination of the distance of line assembly supports, engineers can ensue from building and technical certificates of corresponding German products.

Šmejkal, J. – Makovička, D. – Pospíšil, J.: Tragfähigkeit von Verbundplatten im Montagestadium der Monolithisierung

Verbunddeckenplatten aus Stahlbeton werden bei der Montage und Handhabung der vorgefertigten Teile vor allem durch eine Gitterträger getragen. Dabei definieren die tschechischen Hersteller deren Biege- und Schubfestigkeit nicht. Bei der Monolithisierung einer Deckenplatte ist es notwendig, die vorgefertigten Teile durch linienförmige Unterstützungen zu unterstützen. Im Versuch wurde überprüft, dass bei der Festlegung des Abstandes der linienförmigen Montageunterstützungen von den bautechnischen Bescheinigungen, die deutschen Produkten entsprechen, ausgegangen werden kann.



NICOM3

May 31 - June 2, 2009 | Prague, Czech Republic
3rd International Symposium
on Nanotechnology in Construction

Nanotechnologie ve stavebnictví

– understanding and modification
of material nano-structure

31. května – 2. června 2009
ČVUT – Fakulta stavební, Praha

www.conference.cz/nicom3/

Optimální návrh tvaru vláken s konstantními povrchovými silami

Ing. Šárka PEŠKOVÁ
 prof. Ing. RNDr. Petr PROCHÁZKA, DrSc.
 ČVUT – Fakulta stavební
 Praha

V článku se hledá optimální tvar průřezu vláken v betonových kompozitních konstrukcích za podmínky, že tahové povrchové síly podél přechodu mezi vlákny a betonovou maticí jsou co nejmenší. Tento požadavek je nejvhodnější z hlediska únosnosti kompozitů. Řešení se hledá na jednotkové buňce, která je vyňata z periodické struktury materiálu. Optimální tvar se hledá v množině daných funkcí.

Úvod

Možnost uplatnění vláken v kompozitních materiálech je značně ovlivněna tvarem vláken vnořených do různých matic. V našem případě je uvažován vlákno vyztužený beton (FRC). Tvar vláken je určen za předpokladu, že v kontaktní zóně jsou povrchové síly co nejmenší. Tato podmínka vyjadřuje požadavek na omezení nebezpečí rozpojení vláken od matrice, neboť důsledkem může být značné snížení únosnosti konstrukce. Základní oblasti použití vláken:

- podzemní výrubu,
- zabezpečení svahů a ochrana povrchů,
- zakládání,
- opravy,
- mosty,
- budovy,
- námořní konstrukce.

V článku vycházíme z formulací, které jsou vhodné pro metodu konečných prvků, ale odpovídají velmi podobně postupům uvedeným v [1] pro metodu okrajových prvků. Využívá se trik, jenž je určitým zobrazením integrální formulace pro kompozitní strukturu, která v běžné aplikaci není vhodná pro formulaci v okrajových prvcích [2]. Tímto způsobem se zajistí, že se i v konečných prvcích vyloučí vliv jedné z fází, většinou vlákna, na kterém se předpokládá lineární chování materiálu. Tento postup byl použit např. v [3], kde se řešilo rozpojování vláken a matrice. Vybrané nelineární problémy byly řešeny v [4] použitím analýzy transformačního pole, kde úlohu plastických deformací přebírají vnitřní parametry, tj. vlastní napětí nebo vlastní deformace [5]-[6]. Základy numerických postupů pro řešení vlastností kompozitů, tzv. homogenizaci, lze nalézt např. v [7]-[8], v nichž se řeší odezvy od Eshelbyho sil [9], které působí podél kontaktu mezi vlákny a maticí. Nelineární vlastnosti matrice mohou být vyjádřeny Misesovou podmínkou precizovanou do matematické formy [10].

Základní úvahy

Postup rozpojování vlákna od matrice kompozitních materiálů je velmi důležitý při posuzování únosnosti a mož-

nosti poškození kompozitů. Je třeba se soustředit na postup, který umožňuje vyloučení extrémně velkých radiálních sil na přechodu mezi vlákny a maticí a vychází z vlivu normálových povrchových sil aplikovaných na jednotkovou buňku v periodickém prostředí. Takový přístup je zjednodušením obecného problému popisujícího mechanické chování fázového rozhraní mezi vlákny a maticí v kompozitním materiálu. Od standardních postupů, zahrnujících normálové a smykové účinky, se zjednodušuje na lineární, zatímco obecně jde o značně nelineární chování.

V našem případě je navrženo zavedení Eshelbyho zatížení na fázovém rozhraní popisujícím sousedství vláken a matrice. Vzhledem k tomu, že matrice a vlákna jsou dostatečně tuhá, porušení nastane hlavně ve fázovém rozhraní. Protože poškození může být popisováno mezifázovým povrchovým zatížením, jsou vytvářeny příčinkové matice ve smyslu analýzy transformačního pole, čímž se urychluje iterační řešení nelineárního problému. Toto řešení objasňuje a nabízí nový velmi výkonný a rychlý algoritmus. Matrice se řídí Misesovou teorií ideálně elastoplastických stavů, zatímco vlákna zůstávají pružná.

Hledáme optimální tvar průřezu vláken v kompozitní struktuře (např. v betonu) s co možná nejmenšími tahovými povrchovými silami na kontaktu vlákna a matrice s cílem je potlačit. Podmínka je volena tak, aby normálové poškození, které se projevuje nejvíce na kontaktu vláken s maticí, bylo potlačeno, takže z tohoto hlediska jde o lineární úlohu. Ta se stává nelineární v okamžiku, kdy hledáme optimální tvar vláken. Smykové poškození není uvažováno, neboť v jednotkových buňkách, ve kterých je problém řešen, smyková napětí na povrchu kontaktu jsou proti normálovým napětím poměrně malá. Volnými parametry jsou povrchové síly podél kontaktu vláken a matrice v kompozitu, které nahrazují polohu bodů na hranici vlákna. Většinou je volena právě poloha bodů na hranici vláken v závislosti na jakostním funkcionálu. Důvodem pro výběr těchto parametrů (kontaktních sil, Eshelbyho sil) je, že napětí v kompozitní struktuře je silně ovlivněno povrchovými silami při možném rozpojování matrice a vláken.

Teoretický postup řešení problému zahrnuje formulaci a návrh numerického postupu s využitím Suquetových (vlastně Eshelbyho) povrchových sil, které vznikají na hranici mezi vlákny a maticí [7]-[8]. Koncem osmdesátých let Dvorak (RPI, USA) navrhl analýzu transformačního pole (Transformation Field Analysis) [5], která sestává z vyjádření celkových napětí nebo jiných mechanických veličin pomocí lineární kombinace těchto veličin od vnějšího zatížení na lineárně pružné konstrukci a vlastních deformací, resp. vlastních napětí. Tato metoda byla rozšířena na případy plastických vlivů nebo i vlivy poškození v kompozitním agregátu [6]. Zkušenosti s numerickými procesy, uvedené na konci článku, by měly ukázat možnosti aplikace tohoto postupu v praxi. Optimalizační procedura je vyvinuta a aplikována na chování jednotkové buňky pomocí metody konečných prvků.

Numerický postup

Cílem tohoto oddílu je ukázat možné vztahy v agregátu, zahrnující v tomto případě napětí, resp. deformace a vlastní napětí, resp. vlastní deformace v zónách umožňujících vhodně definovat aproximace materiálových vlastností, které jsou potřebné pro vyjádření předchozích vztahů. Začneme s myšlenkou, která byla použita při odvození plastických deformací pomocí vlastních deformací v [1]. Z této publikace může být přímo odvozen funkcionál (ve skutečnosti velmi slabá formulace vedoucí na konečné prvky) potřebný k formulaci numerických metod.

V souřadnicovém systému $0x_1x_2x_3$ uvažujeme oblast $\Omega \in R^3$ s hranicí Γ , popisující tvar tělesa, které je studováno (v našem případě je to heterogenní struktura kompozitu). Uvnitř tělesa jsou situovány podoblasti $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_n$. Hranice je rozdělena $\Gamma \equiv \Gamma_u \cup \Gamma_p, \Gamma_u \cap \Gamma_p = 0$. Na Γ_u jsou předepsány hraniční posuvy $u_i = \bar{u}_i, i = 1, 2, 3$ a na Γ_p jsou dány hraniční povrchové síly $p_i = \bar{p}_i, i = 1, 2, 3$, na Ω označme:

$u \equiv \{u_1, u_2, u_3\}^T \equiv u_p, i = 1, 2, 3 \dots \dots$	vektor posunutí,
$\varepsilon \equiv \varepsilon_{ij}, i, j = 1, 2, 3 \dots \dots$	tenzor deformace,
$\sigma \equiv \sigma_{ij}, i, j = 1, 2, 3 \dots \dots$	tenzor napětí,
$\mu \equiv \mu_{ij}, i, j = 1, 2, 3 \dots \dots$	tenzor vlastních deformací,
$\lambda \equiv \lambda_{ij}, i, j = 1, 2, 3 \dots \dots$	tenzor vlastních napětí.

Rozdělme postup na dva kroky. V *prvním kroku* se uvažuje porovnávání tělesa, jehož tvar je shodný s tvarem zkoumaného tělesa, které je homogenní a izotropní, tzn. že různé materiálové vlastnosti vláken a matrice jsou potlačeny a platí zobecněný Hookův zákon s materiálovou maticí L^0 a maticí materiálové přetvárnosti M^0 . Tedy

$$\sigma_{ij}^0 = L_{ijkl}^0 \varepsilon_{kl}^0 \text{ nebo } \varepsilon_{ij}^0 = M_{ijkl}^0 \sigma_{kl}^0 \text{ v } \Omega, \quad (1)$$

$$u_i^0 = \bar{u}_i \text{ na } \Gamma_u, \quad p_i^0 = \bar{p}_i \text{ na } \Gamma_p \quad (2)$$

a hodnoty v tomto kroku jsou označeny horním indexem 0. V závislosti na typu problému (zatížení, podpory a geometrie konstrukce, dané poměry na výchozím tělese) je v tomto kroku k dispozici buď explicitní řešení, nebo řešení z metody konečných prvků. Poznamenejme, že řešení metodou konečných prvků nečiní potíže, neboť pro homogenní a izotropní prostředí fundamentální řešení existuje a je známé. Dostaneme tak posuvy u^0 , povrchové síly p^0 , tenzor malých pružných deformací ε^0 a tenzor napětí σ^0 . Tyto hodnoty jsou považovány za známé, a tedy nepodléhají změnám (např. variaci).

Ve *druhém kroku* je zachován tvar výchozího tělesa (je tedy stejný jako v prvním kroku) a jsou dány skutečné okrajové podmínky hraničními posuvy $u = \bar{u} \in \Gamma_u$ a povrchovými silami $p = \bar{p} \in \Gamma_p$. Studované těleso ve druhém kroku je tedy reálné, podléhající podmínkám na skutečném tělese. Je obecně neizotropní a heterogenní. Znamená to, že je vytvořeno z anizotropních částí. Skutečné posuvy u , deformace ε a napětí σ jsou nyní neznámé veličiny a platí obecný Hookův zákon, který též zahrnuje vlastní deformace

$$\sigma_{ij} = L_{ijkl} \varepsilon_{kl} + \lambda_{ij} \text{ nebo } \lambda_{ij} = -L_{ijkl} \mu_{kl} \text{ v } \Omega, \quad (3)$$

$$u_i = \bar{u}_i \text{ na } \Gamma_u, \quad p_i = \bar{p}_i \text{ na } \Gamma_p.$$

Podobně jako u klasických Hashinových-Strickmanových principů zavedeme symetrický polarizační napjatostní tenzor τ nebo symetrický deformační polarizační tenzor γ zápisem

$$\sigma_{ij} = L_{ijkl}^0 \varepsilon_{kl} + \tau_{ij}, \quad \varepsilon_{ij} = M_{ijkl}^0 \sigma_{kl} + \gamma_{ij}. \quad (4)$$

Poté zavedeme nové proměnné

$$u_i' = u_i - u_i^0 \text{ na } \Omega, \quad u_i' = 0 \text{ na } \Gamma_u \quad (5)$$

a také

$$\varepsilon_{ij}' = \varepsilon_{ij} - \varepsilon_{ij}^0 \text{ na } \Omega, \quad p_i' = 0 \text{ na } \Gamma_p. \quad (6)$$

Z (3) a (1) dostaneme

$$\sigma_{ij}' = L_{ijkl}^0 \varepsilon_{kl}' + \tau_{ij} \text{ v } \Omega. \quad (7)$$

Jelikož oba tenzory σ a σ_0 jsou staticky přípustné, platí

$$\frac{\partial \sigma_{ij}'}{\partial x_j} = \frac{\partial (L_{ijkl}^0 \varepsilon_{kl}' + \tau_{ij})}{\partial x_j} = 0 \text{ v } \Omega, \quad (8)$$

$$\tau_{ij} - [L]_{ijkl} \varepsilon_{kl} - \lambda_{ij} = 0 \text{ v } \Omega \quad (9)$$

a

$$[L]_{ijkl} = L_{ijkl} - L_{ijkl}^0.$$

Protože pole ε_{ij} a ε_{ij}^0 jsou kinematicky přípustná, musí být splněny vztahy (v zobecněném smyslu)

$$\varepsilon'_{ij,kl} + \varepsilon'_{kl,ij} - \varepsilon'_{ik,jl} - \varepsilon'_{jl,ik} = 0 \text{ v } \Omega, \quad (10)$$

$$\gamma_{ij} - [M]_{ijkl} \sigma_{kl} - \mu_{ij} = 0 \text{ v } \Omega, \quad (11)$$

v nichž indexy za čárkou označují, podle kterého argumentu se derivuje, a

$$[M]_{ijkl} = M_{ijkl} - M_{ijkl}^0.$$

Okrajové podmínky mohou v čárkovaném systému být zapsány

$$u_i' = 0 \text{ na } \Gamma_u, \quad \sigma_{ij} n_j = 0 \text{ na } \Gamma_p. \quad (12)$$

Soustředíme se nyní na základní vlastnosti veličin v čárkovaném systému. Uvažujme opět oblast $\Omega \in R^3$ s hranicí $\Gamma = \Gamma_u \cup \Gamma_p, \Gamma_u \cap \Gamma_p = 0$. Na Γ_p platí vztahy mezi napětím $\sigma' = \sigma'_{ij}, i, j = 1, 2, 3$ a povrchovými silami

$$p_i(\mathbf{x}) = \sigma'_{ij}(\mathbf{x}) n_j(\mathbf{x}), \quad \mathbf{n} = \{n_1, n_2, n_3\}^T, x \in \Gamma_p, \quad (13)$$

kde n je jednotková vnější normála v bodě x . V oblasti Ω platí statické rovnice (8). Kinematické rovnice pro čárkovaný systém zní

$$\varepsilon'_{ij}(\mathbf{x}) = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i'(\mathbf{x})}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j'(\mathbf{x})}{\partial x_i} \right). \quad (14)$$

S ohledem na (7) tedy platí $\sigma'_{ij} = L^0_{ijkl} \varepsilon'_{kl} + \tau_{ij}$, takže trojrozměrně máme

$$\sigma'_{ij} = 2G^0 \varepsilon'_{ij} + \delta_{ij} \frac{2G^0 \nu^0}{1-2\nu^0} \varepsilon'_{kk} + \tau_{ij} = 2G^0 \varepsilon'_{ij} + \lambda^0 \delta_{ij} \varepsilon'_{kk} + \tau_{ij}, \quad (15)$$

kde Kroneckerovo delta $\delta_{ij} = 1$ pro $i = j$ a v opačném případě je nulové. Materiálové konstanty G^0 a λ^0 jsou Laméovy konstanty (G^0 je ovšem známé též jako smykový modul), ν^0 je Poissonovo číslo. Všechny tyto konstanty jsou platné na srovnávacím tělese, všechny jsou konstantní v celém srovnávacím médiu Ω^0 a vytvářejí matici materiálové tuhosti L^0 . Skutečné L ovšem tuto vlastnost postrádá, materiálové koeficienty závisí na poloze v kompozitu. Jelikož je většinou uvažován příčně anizotropní materiál, je vyžadována znalost obecně pěti koeficientů skutečného tělesa.

Ekvivalentní formulace pro konečné prvky

Nyní předložíme slabou formulaci k diferenciálním operátorům (8). Připomeňme, že slabá formulace je potřebná pro správné odvození výchozích formulací pro konečné prvky za obecných podmínek. Zde je vše soustředěno na přechodové podmínky mezi fázemi (např. beton, vlákno) a na nelineární chování matrice, takže metoda konečných prvků k řešení této úlohy je vhodnější. Testovací funkcí ϕ_i , která není identicky nulová na Ω , vynásobme i -tou rovnicí (8) a integrujeme jejich obě strany přes oblast Ω . Dostaneme

$$\int_{\Omega} \frac{\partial \sigma'_{ij}(\mathbf{x})}{\partial x_j} \phi_i(\mathbf{x}) d\Omega(\mathbf{x}) = 0, \quad i = 1, 2, 3. \quad (16)$$

Použitím Greenovy věty (Gausse-Ostrogradského) dostaneme

$$\begin{aligned} \int_{\Omega} \frac{\partial \sigma'_{ij}(\mathbf{x})}{\partial x_j} \phi_i(\mathbf{x}) d\Omega(\mathbf{x}) &= \int_{\Gamma} \sigma'_{ij}(\mathbf{x}) \phi_i(\mathbf{x}) n_j(\mathbf{x}) d\Gamma(\mathbf{x}) - \\ &- \int_{\Omega} \frac{\partial \phi_i(\mathbf{x})}{\partial x_j} \sigma'_{ij}(\mathbf{x}) d\Omega(\mathbf{x}) = 0, \end{aligned} \quad (17)$$

kde předchozí vztahy byly odvozeny s uvážením následujících vlastností symetrie

$$\frac{\partial \phi_i(\mathbf{x})}{\partial x_j} \sigma'_{ij}(\mathbf{x}) = \frac{\partial \phi_i(\mathbf{x})}{\partial x_j} \sigma'_{ji}(\mathbf{x}) = \frac{\partial \phi_j(\mathbf{x})}{\partial x_i} \sigma'_{ij}(\mathbf{x}).$$

Označme

$$\varepsilon_{ij}^*(\mathbf{x}) = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \phi_i(\mathbf{x})}{\partial x_j} + \frac{\partial \phi_j(\mathbf{x})}{\partial x_i} \right), \quad (18)$$

pak substituce (18) a (13) do (17) dává

$$\int_{\Gamma} p'_i(\mathbf{x}) \phi_i(\mathbf{x}) d\Gamma(\mathbf{x}) - \int_{\Omega} \varepsilon_{ij}^*(\mathbf{x}) \sigma'_{ij}(\mathbf{x}) d\Omega(\mathbf{x}) = 0. \quad (19)$$

Dále, použitím (7), dostaneme

$$\begin{aligned} \int_{\Gamma} p'_i(\mathbf{x}) \phi_i(\mathbf{x}) d\Gamma(\mathbf{x}) - \int_{\Omega} \varepsilon_{ij}^*(\mathbf{x}) (L^0_{ijkl} \varepsilon'_{kl}(\mathbf{x}) + \tau_{ij}(\mathbf{x})) d\Omega(\mathbf{x}) &= \\ = \int_{\Gamma} p'_i(\mathbf{x}) \phi_i(\mathbf{x}) d\Gamma(\mathbf{x}) - \int_{\Omega} \varepsilon_{ij}^*(\mathbf{x}) L^0_{ijkl} \varepsilon'_{kl}(\mathbf{x}) d\Omega(\mathbf{x}) - \\ - \int_{\Omega} \varepsilon_{ij}^*(\mathbf{x}) \tau_{ij}(\mathbf{x}) d\Omega(\mathbf{x}) = 0, \quad i = 1, 2, 3. \end{aligned} \quad (20)$$

Připomeňme symetrii indexů v tenzorech materiálové tuhosti a přetvárnosti

$$\{ijkl\} = \{klij\} = \{jilk\} = \{jikl\},$$

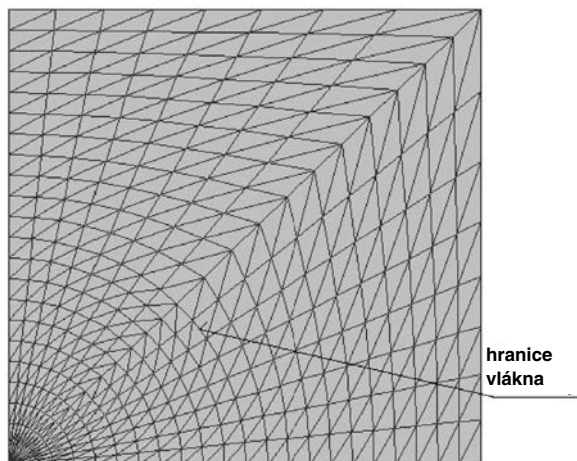
takže např. platí $L_{ijk} = L_{jki}$, tzn. že smyk neovlivňuje normálová napětí, a naopak. Z rovnice (20) přímo plyne formulace v konečných prvcích, kdy plasticita je obsažena ve vyjádření posledního členu pravé strany. Matematická formulace pro konečné prvky se vyjadřuje takto: „Hledáme takové přípustné p , že rovnice (20) je splněna pro každé přípustné ϕ_i , $i = 1, 2, 3$.“

Optimalizace

Aby byly potlačeny tahové povrchové síly na kontaktu mezi maticí a vlákny, musí být z numerického hlediska co nejmenší. Tento požadavek je ve skutečnosti ekvivalentní hledání takových povrchových sil, jejichž rozdělení na kontaktu je co nejbližší konstantě – z numerického hlediska se tedy blíží konstantě. Není však možné požadovat konstantní rozdělení v celém rozsahu, protože ani fyzikální pozadí problému to zcela neumožňuje.

Z toho dostáváme, že optimalizační problém, který je v našem případě kombinován s problémem volné hranice, může být formulován takto (dále se pro jednoduchost omezíme na dvojrozměrný problém): „Uvažujme čtvercovou nebo obdélníkovou jednotkovou buňku. Mezi všemi plochami vláken ve 2D s danou mírou nepřevyšující velikost 1 (jednotkové buňky mají plochu rovnou jedné), jejichž střed (těžiště) je ve středu buňky, máme nalézt takovou plochu, pro níž jsou povrchové kontaktní síly p_n co nejmenší. Abychom mohli řešit tento značně nelineární problém, je navržen následující postup:

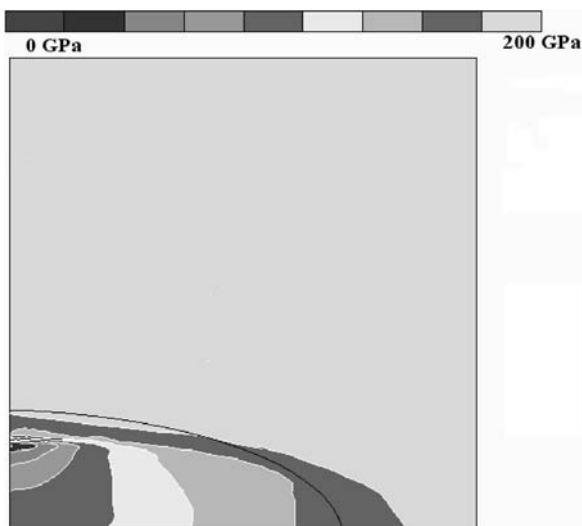
- uvažujme výchozí tvar vlákna v jednotkové buňce (v našem případě vycházíme z kruhového tvaru, resp. afinního tvaru pro jiné obdélníkové jednotkové buňky). Podmínka dané plochy vlákna musí být splněna, neboť v opačném případě nebude zajištěna konvergence iterací a nebude dosaženo reálného tvaru vlákna. Tato konstanta určuje zároveň plošný poměr vlákna v matici;
- předepíšeme volné parametry (návrhové parametry) optimalizace. V našem případě jako rozumné se předpokládá, že volné parametry budou definovány jako vzdálenost mezi kontaktními body v běžné a minulé iteraci, přičemž se předpokládá, že vlákno a matrice jsou pevně spojeny. Pohyby kontaktních bodů jsou projektovány do paprsků vycházejících ze středu, tj. počátku souřadnic;
- vlákna i matici rozdělíme do trojúhelníkových konečných prvků. Položením $L^0 = L^f$ (tuhost vlákna) a z (8) okamžitě plyne, že ani polarizační tenzor na vláknu ani vlastní deformace se nebudou vyskytovat v této rovnici, jsou z ní eliminovány. Objeví se pouze uvnitř matrice. Typická počáteční síť je zřejmá z obr. 1. Pracujeme tedy se symetrickou úlohou, která umožňuje řešit problém pouze v prvním kvadrantu. Pro popsání nelineárního chování matrice použijeme postupu popsánoho v [10]. Vlastní deformace, objevující se pouze v oblasti matrice, zastupují plastické deformace a vlastní napětí je zde relaxační napětí.



Obr. 1. Výchozí síť pro optimalizaci

Příklady

Uvedené příklady jsou studovány jednak na čtvercové jednotkové buňce a jednak na obdélníku. Vlastnosti matrice (beton): $E = 33$ GPa, $E_p = 22$ GPa, $E_r = 0,5$ GPa, $\nu = 0,16$, $\nu_r = 0,38$, vlastnosti vlákna: $E = 210$ GPa a $\nu = 0,3$ – hodnoty s indexem p jsou vrcholové (peak) a hodnoty s indexem r jsou reziduální. Symetrické okrajové podmínky jsou předepsány podél levé svislé a dolní vodorovné hranice. Podél horní vodorovné hranice předepisujeme posuvy $u_y = -0,05$ (tlak) a na pravé hranici jsou předepsány posuvy $u_x = 0,05$ (tah). Rozdělení normálových napětí ve směru osy x a optimální tvar vlákna jsou patrná z obr. 2 pro první kvadrant čtvercové jednotkové buňky a podobně normálová napětí a optimální tvar vláken v prvním kvadrantu jsou vidět z obr. 3. Ve vyjádření předchozích veličin a tvarů jsme využili symetrie jednotkové cely.

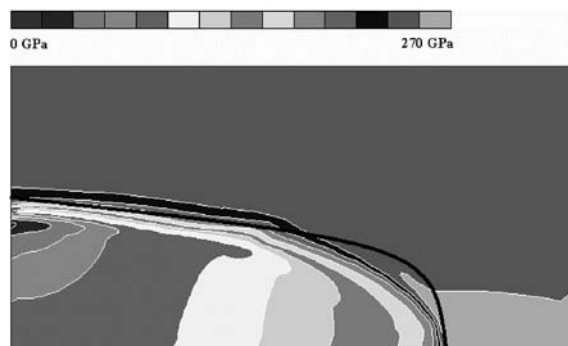


Obr. 2. Optimální tvar vlákna v jednotkové buňce

Závěry

V článku je navrženo řešení optimálního rozložení povrchových sil podél kontaktu mezi vlákny a matricí. Materiálově nelineární chování matrice je popsáno pomocí vlastních deformací, které umožňují zrychlení iteračních postupů. Cílem je minimalizovat rozdělení napětí v buňce s jednot-

kovým zatížením, kterému odpovídá zadaný posuv. Ekvivalentní požadavek vyslovil Suquet [8] a ukázal, že kontaktní síly odpovídají Eshelbyho silám na kontaktu [9]. Ty jsou odvozeny z rozdílných materiálových vlastností matrice a vlákna a ze směru vnější normály k vláknu.



Obr. 3. Optimální tvar vlákna v obdélníkové jednotkové buňce

Problém je řešen na čtverci a obdélníku s plošným podílem vláken 1/8. Výsledky vedou na přibližně eliptické tvary vláken. Připomeňme, že jiné podmínky optimalizace vedou k podobnému tvaru, který však může mít singularitu na kontaktní hranici, což v našem případě nelze připustit, a ani tato tendence se nemůže projevit z důvodů formulace problému.

Článek vznikl v rámci projektu č. 103/07/0304 GA ČR a výzkumného záměru CZE MSM 6840770001.

Literatura

- [1] Procházka, P. – Šejnoha, J.: Behavior of Composites on Bounded Domain. BE Communications, 7 (1), 6-8, 1996.
- [2] Brož, P. – Procházka, P.: Řešení nelineárních úloh mechaniky metodou okrajových prvků. Praha, Grada 1995.
- [3] Procházka, P.: Homogenization of Linear and of Debonding Composites Using BEM. Engineering Analysis with Boundary Elements, 25, 2001, 753-769.
- [4] Procházka, P.: Homogenization of Nonlinear Composites Using Transformation Field Analysis. Journal of the Chinese Institute of Engineers, 22(5), 1999, 721-727.
- [5] Dvorak, G. J.: Transformation Field Analysis of Inelastic Composite Materials. Proc. R. Soc. Lond. A 437, 311-327, 1995.
- [6] Dvorak, G. J. – Procházka, P.: Thick-Walled Composite Cylinders with Optimal Fiber Prestress Composites, Part B. Engineering, Volume 27, Issue 6, 643-649, 1996.
- [7] Suquet, P.: Elements of Homogenization for Inelastic Solid Mechanics. Lecture Notes in Physics, 272 – Homogenization Technique for Composite Media, 1987.
- [8] Suquet, P.: Effective Properties of Nonlinear Composites. Continuum Micromechanics 377 in CISM Courses and Lectures. Ed. by P. Suquet, New York, Springer 1997, 197-264.
- [9] Eshelby, J. D.: The Determination of the Elastic Field of an Ellipsoidal Inclusion, and Related Probleme. J. Mech. Phys. Solids, 1957, 376-396.
- [10] Duvant, G. – Lions J.-L.: Les Inéquations en Mécanique et en Physique. Paris, Dunod 1972.

Pešková, Š. – Procházka, P.: Optimal Design of the Shape of Fibres with Constant Surface Forces

In this study, an optimal shape design of the cross-section of fibres in composite concrete structures is sought under condition that tensile interfacial tractions are as small as possible. This requirement is relatively most appropriate from the perspective of the bearing capacity of the composites. The solution is searched for inside of a unit cell which is cut out of a periodic structure of the material. The optimal shape is found in a given set of functions.

Pešková, Š. – Procházka, P.: Optimaler Entwurf der Form von Fasern mit konstanten Oberflächenkräften

Im Artikel wird der optimale Querschnitt von Fasern in Betonverbundkonstruktionen unter der Bedingung gesucht, dass die Oberflächen-Zugkräfte entlang des Übergangs zwischen den Fasern und der Betonmatrix so gering wie möglich sind. Diese Forderung ist aus der Sicht der Tragfähigkeit der Komposita am geeignetsten. Die Lösung wird an einer Einzelzelle gesucht, die aus der periodischen Struktur des Materials herausgelöst wird. Die optimale Form wird in der Menge der gegebenen Funktionen gesucht.

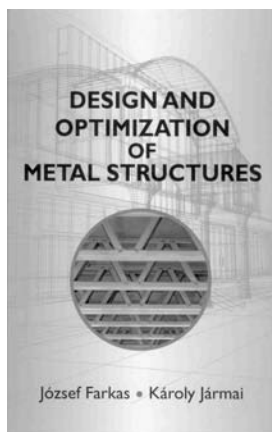
•recenze

József Farkas – Károly Jármai

Design and Optimization of Metal Structures

(Navrhování a optimalizace kovových konstrukcí)

Horwood Publishing Ltd., Chichester, UK, 2008, 300 s., ISBN 978-1-904275-29-9



Přední maďarští odborníci v oblasti optimalizace ocelových konstrukcí završují touto publikací svůj mnohaletý výzkum publikovaný ve stovkách odborných článků a příspěvků, s návazností na svou předchozí knihu „Economic Design of Metal Structures“ (2003). Kniha předkládá projektantům a výrobcům návod, jak při zohlednění návrhových a výrobních požadavků navrhnout nejlepší konstrukční řešení na základě minimalizace nákladů. Autoři pod-

robně uvádějí matematický aparát včetně zavedených podmínek týkajících se dimenzování (prostá a stabilní únosnost, deformace, kmitání atd.), výroby (tolerance deformací při svařování, dostupné rozměry a profily) a ceny (cena materiálu a jeho dělení, příprava, svařování, montáž, ochrana proti korozi atd.). Zavedené okrajové podmínky vycházejí z moderních předpisů (Eurokódů, materiálů ECCS apod.) a vlastního výzkumu praktických postupů svařování pro konkrétní konstrukce, od nosníků po složité deskostěnové konstrukce pozemního a mostního stavitelství, i různé konstrukce strojů.

Kniha má deset kapitol a čtyři přílohy obsahující pomocné napěťové funkce, geometrické charakteristiky průřezů a svařovací parametry pro různé druhy svařování. V kapitole 1 je uveden přehled optimalizačních metod. Pozornost se věnuje moderním metodám, jako jsou Snymanova-Fattihova metoda, algoritmus částice roje, vícecílová optimalizace. Kapitola 2 se zabývá náklady. Zvolená cenová funkce pokrývá cenu materiálu a kompletní výroby, zatímco další náklady (amortizace, doprava, údržba apod.) nejsou zahrnuty. Kapitola 3 uvádí potřebná vstupní data pro seizmický návrh, vycházející z Eurokódu 8, zatímco kapitola 4 rekapituluje potřebná data pro návrh z hlediska ochrany proti požáru podle Eurokódu 3. Kapitola 5 se věnuje velkorozponovým

visutým zastřešením včetně příkladu optimalizace nosného visutého prvku z válcovaného profilu I. V rozsáhlé kapitole 6 jsou analyzovány jednoduché i patrové ocelové rámy. Optimalizace je ukázána pro konstrukce svařované i šroubované, zatížené běžným i seizmickým zatížením. Pozornost je věnována montážním stykům patrových ráků s dutými sloupy a optimalizaci konstrukce z hlediska ochrany proti požáru. Podrobně je provedena optimalizace podpůrného rámu z trubek pro tlakovou nádobu v seizmické oblasti. Kapitola 7 se zabývá optimalizací svařovaných vyztužených desek, používaných zejména v mostním stavitelství a loďarství. Po formulaci problému z hlediska návrhu i výroby jsou optimalizovány náklady pro vybrané případy vyztužených desek (jednostranně vyztužená deska s podélnými, popř. i příčnými výztuhami, a dutinová deska zatížená tlakem, popř. desky s příčným zatížením). Rozsáhlá kapitola 8 se věnuje optimalizaci svařovaných válcových a kónických skořepin různých geometrických tvarů, vyztužení a zatížení. Teorie zahrnuje globální i lokální boulení a optimalizuje se hmotnost vyztužené skořepiny a výrobní náklady. Kapitola 9 je věnována trubkovým konstrukcím (v aplikacích např. konstrukcím skořepinových nebo příhradových větrných elektráren). Poslední kapitola 10 se týká optimalizace komorových pilířů, tvořených svařovanými dutinovými deskami s aplikací v mostním stavitelství.

Kniha poskytuje přehled moderních optimalizačních metod a může být dobrou pomůckou pro výrobce a projektanty při hledání optimálního konstrukčního řešení složitých svařovaných konstrukcí.

První z autorů, József Farkas (nar. 1927), vydal současně v nakladatelství Gazdász Nyomda Ltd., 2008 (ISBN 978-963-87738-2-1) zajímavou publikaci „Music of Spiritual Love“ (Hudba duchovní lásky). Jako profesor stavebního inženýrství a muzikant (pianista a varhaník) se zajímal celý život o klasickou hudbu a v této publikaci velmi působivou formou rozebírá barokní hudbu, desítky skladatelů od Corelliho po Dvořáka a uvádí texty některých oratorií a písní. Hluboký pohled technika na klasickou hudbu může být v našem světě techniky inspirující.

Josef Macháček

Příprava pěnové sádrové hmoty pomocí kyselého činidla

doc. Ing. Luboš SVOBODA, CSc.
Ing. Alena VIMMROVÁ, Ph.D.

ČVUT – Fakulta stavební
Praha

Článek popisuje přípravu pěnové sádrové hmoty pomocí tekutého kyselého činidla obsahujícího síran hlinitý a kyselinu citrónovou. Roztok s kyselinou citrónovou zůstává na rozdíl od nestabilizovaného roztoku síranu hlinitého čirý a jeho vlastnosti se hydrolyzou nemění. Kyselé činidlo je méně citlivé na přesnost dávkování, neboť se změnou množství síranových iontů, které jsou urychlovačem tuhnutí, se mění i koncentrace kyseliny citrónové jako zpomalovače.

Úvod

Hmoty na bázi sádry jsou v poslední době v centru pozornosti, neboť sádra je v porovnání s jinými pojivy energeticky málo náročná a ekologicky příznivá. Znovu se řeší možnosti širšího použití sádrových prefabrikátů a znovu se studují možnosti zvýšení odolnosti sádrových materiálů vůči vodě. Hledají se další způsoby, jak rozšířit možnosti použití sádrových kompozitů, zejména zlepšováním jejich mechanických či tepelně izolačních vlastností. Zajímavým se jeví použití lehčených sádrových hmot v podobě tepelně izolačních tvárníc nebo omítek.

Formulace problému

Obecným postupem, vedoucím ke zlepšení tepelně izolačních vlastností jakéhokoli pevného materiálu, je zvýšení podílu prostorů v jeho struktuře vyplněných plynem. Ke snížení součinitele tepelné vodivosti na hodnotu menší než $0,15 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ je třeba, aby podíl plynné fáze (pórů nebo mezer) činil více než 60 % objemu. Pórovitost kvalitních izolačních materiálů často překračuje 90 % objemu, zatímco přirozená (technologicky obvyklá) pórovitost sádry bývá 45-55 %.

K přípravě anorganických pěnových hmot na bázi sádry lze využít chemickou reakci, při níž vzniká v soustavě tuhnutí sádrové kompozice nadouvací plyn. Jednou z možností je reakce anorganického karbonátu (např. uhličitanu vápenatého nebo hydrouhličitanu sodného) s kyselou složkou schopnou z karbonátu vytěsnit oxid uhličitý. K výhodám podvojného rozkladu karbonátů patří fakt, že jako karbonátová plynotvorná složka může být využit uhličitán vápenatý přirozeně přítomný v přírodní sádře. Pokud ho není dostatek, je vcelku snadné obohatit sádru o určitý karbonátový podíl. Nejčastěji se používá vápenec. Dostatečně jemný vápenec je snadno dostupný (prášková křída), a tak jde o jednoduchou mísicí operaci.

Ve funkci kyselé složky rozkládající karbonát sice mohou být použity různé minerální kyseliny, význam má však pouze kyselina sírová, která nevznáší do tuhnutí soustavy cizorodý aniont. Nevýhodou příliš rychlého rozkladu karbo-

nátu, vedoucího k nestabilním pěním, se pokoušejí odstranit kompozice, ve kterých se jako zdroj kyseliny sírové používá hydrolyticky nestálý síran hlinitý. Vzhledem k hydrolytické nestabilitě je nutné síran hlinitý do sádro-vápenecové směsi přidávat v pevné formě.

Pokud i další pomocné látky, potřebné k vytvoření kvalitní sádrové pěny (regulátor tuhnutí, pomocné polymerní pojivo), mají pevnou formu, je možné tímto způsobem vytvořit prefabrikovanou práškovou směs poskytující sádrovou pěnu pouhým přidáním vody. I když zpracovatelská jednoduchost suché maltové směsi je atraktivní, vznikají při formulaci sádrové pěny zvýšené náklady. Je to způsobeno především tím, že všechny složky podílející se na napěňovací reakci musí být velmi jemně rozemlety, aby se po smísení s vodou dostatečně rychle rozpustily. Zejména mletí síranu hlinitého, dodávaného ve formě hrubých granulí, je náročné. Další zvýšení nákladů přináší redispersovatelné polymerní pojivo, které je dražší než kapalná disperze.

Řešení

Některé z uvedených nedostatků mohou být odstraněny přidáním vodného roztoku síranu hlinitého. Je však hydrolyticky nestabilní a časem se kalí hydroxidem hlinitým. Hydrolyzou vznikají kladně nabitě polymery hydroxidu hlinitého, schopné vybijet záporně nabitě koloidní a suspendované látky obsažené ve vodě, přičemž sražené částice vytvářejí oddělitelné vločky. Tento jev se využívá ve vodárenství, pro naše účely však je nežádoucí.

Jako možné řešení se jeví použití kapalného kyselého činidla, které obsahuje ve vodném roztoku kromě síranu hlinitého kyselinu citrónovou. Přispívá k potlačení hydrolytických pochodů a ke stabilizaci síranového roztoku. Použití kyseliny citrónové přitom nevznáší do směsi neznámý faktor, protože u sádrových hmot se běžně používá jako regulátor tuhnutí. Stejně působí i síran hlinitý, který je urychlovačem, kyselina citrónová působí jako zpomalovač. Jejich vhodnou kombinací je tedy možné dosáhnout kromě pěněního účinku i žádoucí zpracovatelnosti.

Experimentální část

Účinnost a funkčnost kyselého činidla byla ověřována na sádrových směsích, jejichž napěňovací systém byl tvořen plavenou křídou a kyselým činidlem na bázi síranu hlinitého a kyseliny citrónové. Byl ověřován vliv podílu kyseliny citrónové na počátek tuhnutí. Vlastnosti jedné směsi, vyrobené pomocí kyselého činidla, byly porovnány s vlastnostmi směsi stejného složení, připravené pouze z práškových přísad a vody.

Metody, materiály a vzorky

Prísady pro směsi bez kyselého činidla byly smíchány se sádrkou a společně vsypány do odměřeného množství vody.

Následovalo míchání po dobu 30 s při nízkých otáčkách míchačky, stírání a další míchání po dobu 30 s. U směsi s kyselým činidlem bylo odměřeno množství tekutého činidla doplněno požadovaným množstvím vody, a poté byla přidána sádra s práškovými přísadami. Míchání probíhalo stejně jako u směsi bez tekutého činidla. U vzorků se měřil počátek tuhnutí a pevnosti v tahu a ohybu. Počátek tuhnutí se zkušel pomocí Vicatova přístroje s kuželovým nástavcem [5]. Směs pro normová tělesa o rozměrech 40x40x160 mm nebyla zhuňována, pouze na povrchu zarovnána seřiznutím. Po vyjmutí z forem po 48 hodinách se trámečky sušily při 50 °C do ustálené hmotnosti, poté se zjišťovala objemová hmotnost a pevnost v tahu a tlaku. Zkouška pevnosti v tahu za ohybu se prováděla standardním tříbodovým ohybem, pevnost v tlaku na zlomcích tělísek po zkoušce v tahu za ohybu se zatěžovací plochou lisu 40x40 mm.

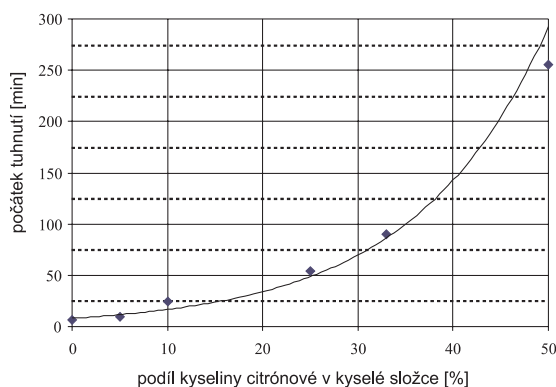
Pro všechny směsi byla základem energosádra (β -sádra) z odpadního sádrovce elektrárny Mělník (výrobce Rigips) s pevností v tlaku 12 MPa a ohybovou pevností 4,7 MPa. Přidávala se prášková disperze Vinnapas RI 551 Z (výrobce Wacker Polymer Systems) v množství 6 % z hmotnosti sádry a prášková celulóza Walocel MKX (výrobce Wolff Cellulosics) v množství 0,2 %. Karbonátovou složku tvořila 2,3 % plavené malířské křídly. Kyselé činidlo bylo vyrobeno rozpuštěním technického síranu hlinitého a potravinářské kyseliny citrónové.

K přípravě kyselého činidla, nahrazujícího záměsovou vodu, se používal roztok 150 g kyseliny citrónové a 300 g krystalického síranu hlinitého doplněný vodou na objem 1 dm³. Takový roztok obsahuje cca 0,72 mol kyseliny citrónové a 0,48 mol síranu hlinitého.

Výsledky

Podle očekávání byl prokázán výrazný vliv obsahu kyseliny citrónové v kyselé složce na počátek tuhnutí. Při zvýšení jejího obsahu z 5 na 33 % oddálil počátek tuhnutí téměř desetinásobně (obr. 1). Mícháním směsi stejného složení, jednak s kapalným činidlem a jednak ze suchých složek, jsme získali tyto zkušenosti:

- počátek tuhnutí byl u směsi s kyselým činidlem 35 minut, objemová hmotnost 686,50 kgm⁻³, pevnost v tahu za ohybu 2,45 MPa, pevnost v tlaku 4,51 MPa;
- u směsi míchané ze suchých složek byl počátek tuhnutí 40 minut, objemová hmotnost 697 kgm⁻³, pevnost v tahu za ohybu 1,83 MPa, pevnost v tlaku 2,81 MPa;
- při stejném dávkování mají suché kompozice s rozemletým síranem hlinitým a práškovou kyselinou citrónovou v podstatě stejný počátek tuhnutí jako směsi, do kterých se přidává kyselé pěnidlo smíchané se záměsovou vodou. Jejich konzistence se však výrazně lišila – směs ze suchých složek byla výrazně tekutější a více pěníla. Ještě před počátkem tuhnutí (cca za půl hodiny po smíchání) došlo ke kolapsu pěny a k výraznému poklesu hmoty ve formě (obr. 2). Hmota, umíchaná z kapalného činidla, zůstala stabilní a objem po počátečním napěnění již nezměnila;
- suché směsi sice více pění, směsi s kyselým činidlem však jsou stabilnější. Protože u nich nedochází ke kolapsu pěny, jsou výrazně pevnější (cca o 35 %), přičemž objemová hmotnost je v podstatě stejná. Rozdíl v chování obou typů směsí může souviset s rozdílnou rychlostí rozpouštění obou kyselých komponent, popř. mohou působit i další toxchemické faktory.



Obr. 1. Vliv obsahu kyseliny citrónové na počátek tuhnutí



Obr. 2. Pokles hmoty připravené ze suchých složek

Výhody použití kyselého činidla

Roztok síranu hlinitého a kyseliny citrónové je možné považovat za výhodné činidlo pro přípravu sádrových pěnových materiálů, neboť má řadu předností. První výhodou je snížení nákladů na výrobu pěnové směsi. Komerčně dostupné roztoky síranu hlinitého jsou levnější než dostatečně jemný síran hlinitý v pevné podobě. Druhou výhodou společného roztoku síranu hlinitého a kyseliny citrónové je jeho hydrolytická stabilita. Zatímco čistý roztok síranu hlinitého se časem kalí, roztok obsahující kyselinu citrónovou zůstává čirý a jeho vlastnosti se nemění (obr. 3). Další podstatnou výhodou kyselého činidla je, že jak kyselina citrónová, tak síran hlinitý působí jako regulátory tuhnutí. Adsorpce kyseliny citrónové na povrch sádrového hemihydrátu snižuje rychlost krystalizace, a působí tak proti urychlujícímu účinku síranových iontů dodávaných do tuhnoucí soustavy síranem hlinitým. Jestliže v důsledku dávkovací nepřesnosti dojde ke změně množství síranových iontů, usnadňujících tvorbu krystalizačních zárodků, změní se stejným způsobem koncentrace regulátoru zpomalujícího rychlost jejich růstu. Kyselé činidlo, obsahující zároveň síranové ionty a kyselinu citrónovou, je proto méně citlivé na přesnost dávkování. Vhodnou kombinací těchto látek je možné dosáhnout kromě pěnového účinku i žádoucí doby zpracovatelnosti. K výhodám použití tekutého činidla lze přiřadit i fakt, že směsi z něj vyrobené jsou stabilnější a nedochází u nich ke kolapsu pěny, a tím ke snížení pevnosti.

Další složkou popsaného kapalného kyselého činidla může být i polymerní disperze, především pak disperze akrylátového nebo styren-akrylátové typu. Příklad disperze působí



Obr. 3. Zakalení roztoku síranu hlinitého (vpravo) v porovnání se společným roztokem síranu hlinitého a kyseliny citrónové (vlevo)

v sádrovém pěnovém kompozitu jako pomocné pojivo zlepšující zejména přílnavost kompozitu k podkladu. Do kapalného kyselého činidla je možné převést i některé další látky používané při formulaci pěnových sádrových kompozitů, zejména zahušťující látky a smáčedla podporující tvorbu pěny. Výhodou je, že příprava sádrové pěny je poměrně nenáročná a míchání může probíhat na stavbě z předem připravených složek – suché a kapalné. Míchání hmoty nevyžaduje zvláštní technologii, lze ji umíchat i běžnými stavebními nástroji, např. vrtačkou se spirálovým nástavcem (obr. 4).



Obr. 4. Příprava sádrové pěny spirálovým míchadlem

Závěr

Sádrová kaše obsahující uhličitán vápenatý může současným účinkem síranu hlinitého a kyseliny citrónové poskytnout pěnovou hmotu uspokojivých vlastností. Jako výhodné se jeví používání síranu hlinitého a kyseliny citrónové ve formě společného vodného roztoku, přidávaného do záměsové vody.

Článek byl zpracován v rámci výzkumného záměru CEZ MSM 6840770031 MŠMT „Komplexní systém metod pro řízený návrh a hodnocení funkčních vlastností stavebních materiálů“.

Literatura

- [1] Colak, A.: Density and Strength Characteristics of Foamed Gypsum. *Cement and Concrete Composites*, **22**, 2000, No. 3, pp. 193-200.
- [2] Rubio-Avalos, J. C. at al.: Development and Characterization of an Inorganic Foam Obtained by Using Sodium Bicarbonate as a Gas Generator. *Construction and Building Materials* **19**, 2005, pp. 543-549.
- [3] Vimrová, A. – Svoboda, L.: Kyselý činidlo pro přípravu pěnové sádrové hmoty. Užiténý vzor č. 17844, 2007.
- [4] Vimrová, A.: Formulace materiálů na bázi sádrové pěny. [Dizertace Ph.D.], ČVUT, Praha, 2007, 103 s.
- [5] ČSN EN 13279-2 Sádrová pojiva a sádrové malty pro vnitřní omítky – Část 2: Zkušební metody. ČNI, 2005.

Svoboda, L. – Vimrová, A.: Preparation of Gypsum Foam Using Liquid Acid Agent

This paper describes the liquid acid agent made from aluminium sulphate and citric acid for preparing gypsum foam. While the aluminium sulphate solution gets dim from hydrolysis, the liquid acid agent remains clear and its properties do not change. The liquid acid agent can serve as a setting regulator, too, because citric acid is a retarder of setting and aluminium sulphate is a setting accelerator. Consequently, the liquid agent is less sensitive to inaccurate batching.

Svoboda, L. – Vimrová, A.: Zubereitung einer Gipsschaummasse mit Hilfe eines sauren Wirkstoffs

Der Artikel beschreibt die Zubereitung einer Gipsschaummasse mit Hilfe eines flüssigen sauren Wirkstoffs, der Aluminiumsulfat und Zitronensäure enthält. Die Lösung mit Zitronensäure bleibt im Unterschied zu einer nicht stabilisierten Aluminiumsulfatlösung klar, und ihre Eigenschaften ändern sich durch die Hydrolyse nicht. Der saure Wirkstoff ist weniger empfindlich gegenüber der Dosiergenauigkeit, denn mit der Änderung der Menge der Sulfationen, die der Erstarrungsbeschleuniger sind, ändert sich auch die Konzentration der Zitronensäure als Verzögerer.

Nové prostory pro odborná setkání

Nové komerční prostory až pro sto hostů najednou získá Praha v hotelovém nádvoří renovovaného hotelu Riverside na vltavském Janáčkově nádvoří. Vedlejší budovu zakoupilo Orco Property Group od soukromého vlastníka v roce 2006 s cílem rozšířit jeho kapacitu a poskytnout hostům kompletní servis. Projekt má na starosti architektonické studio Jestico & Whiles se sídlem ve Velké Británii.

Tisková informace

Analýza systematických vad skenování ploch s nenulovou křivostí

Ing. Martin ŠTRONER, Ph.D.
prof. Ing. Jiří POSPÍŠIL, CSc.

ČVUT – Fakulta stavební
Praha

Při využívání laserových systémů v praxi byly zjištěny některé nesrovnalosti při skenování ploch s nenulovou křivostí. Pro tyto plochy jsou zde na základě numerických simulací analyzovány vznikající systematické chyby měření skenovacími systémy pracujícími na principu prostorové polární metody.

Úvod

Laserové skenovací systémy jsou významnou součástí přístrojů a postupů využívaných v praxi. Při ověřování vlastností ortogonálního prokládání na reálných datech v rámci řešení projektu č. 103/06/0094 GA ČR „Zpracování a analýza produktů hromadného sběru 3D dat terestrickými skenovacími systémy“ byly zjištěny neodůvodněné proměnné systematické odchylky při proložení body koule nebo válcem, a to jak v poloměru, tak v poloze středu (osy). Jev byl zaznamenán u měření systémů na principu prostorové polární metody při zpracování pomocí komerčních programů a při zpracování pomocí volně šiřitelné knihovny Spatfig [1]. Jako příklad pro vyčíslení velikosti vlivu lze uvést příklad koule o poloměru 35 mm, který byl určen s chybou 2 mm nebo válce o poloměru 100 mm, určeném s chybou 5 mm [2].

Uvedený jev má systematický charakter s proměnnou velikostí a je pravděpodobně z převážné části způsoben podstatou měření na objekty s nenulovou křivostí.

Podstata problému

Laserové skenovací systémy na principu prostorové polární metody měří délku na základě difúzního odrazu přímo od povrchu měřeného objektu [3]. Souřadnice bodu jsou dány přesností měření šikmé délky d , zenitového úhlu ζ a vodorovného úhlu ω . Pro výpočet platí rovnice [4]

$$x = d \cdot \cos(\omega) \cdot \sin(\zeta), \quad (1)$$

$$y = d \cdot \sin(\omega) \cdot \sin(\zeta), \quad (2)$$

$$z = d \cdot \cos(\zeta), \quad (3)$$

Směrodatné odchylky charakterizující přesnost souřadnic jsou dány vztahy [4]

$$\sigma_x^2 = \left(\cos^2(\omega) \cdot \sin^2(\zeta) \cdot \sigma_d^2 + d^2 \cdot \sin^2(\omega) \cdot \sin^2(\zeta) \cdot \sigma_\omega^2 + \right. \\ \left. + d^2 \cdot \cos^2(\omega) \cdot \cos^2(\zeta) \cdot \sigma_\zeta^2 \right) \quad (4)$$

$$\sigma_y^2 = \left(\sin^2(\omega) \cdot \sin^2(\zeta) \cdot \sigma_d^2 + d^2 \cdot \cos^2(\omega) \cdot \sin^2(\zeta) \cdot \sigma_\omega^2 + \right. \\ \left. + d^2 \cdot \sin^2(\omega) \cdot \cos^2(\zeta) \cdot \sigma_\zeta^2 \right) \quad (5)$$

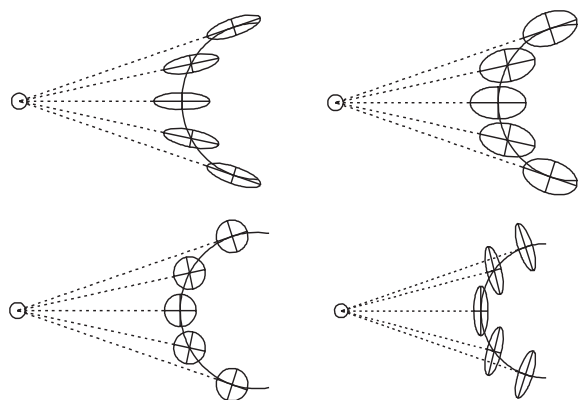
$$\sigma_z^2 = \cos^2(\zeta) \cdot \sigma_d^2 + d^2 \cdot \sin^2(\zeta) \cdot \sigma_\zeta^2 \quad (6)$$

Směrodatnou odchylku σ_p v poloze určeného bodu lze určit

$$\sigma_p^2 = \sigma_d^2 + d^2 \cdot \sin^2(\zeta) \cdot \sigma_\omega^2 + d^2 \cdot \sigma_\zeta^2 \quad (7)$$

Poloosy elipsoidu chyb jsou σ_d ve směru stanovisko – cíl, $d \cdot \sin \zeta \cdot \sigma_\omega$ ve směru kolmém ve vodorovné rovině a $d \cdot \sigma_\zeta$ ve směru kolmém ve svislé rovině. Směrodatnými odchylkami je dáno normální rozdělení určující pravděpodobnost, kde bude měřený bod skutečně určen. Pro zjednodušení lze rozdělení pravděpodobnosti určení polohy bodu zobrazit a vysvětlit v horizontální rovině, jak je ukázáno na obr. 1.

Elipsa chyb pro polární metodu v rovině je vždy dána první poloosou o velikosti σ_d a druhou poloosou o velikosti $d \cdot \sigma_\omega$ [5]. Ze zobrazení vyplývá, že vlivem zakřivení objektu je větší pravděpodobnost, že bod je změřen vně objektu než uvnitř. Pro zvýraznění efektu je objekt znázorněn s velkou křivostí a měření s velkými směrodatnými odchylkami. Ze zobrazení také vyplývá větší vliv efektu pro větší směrodatné odchylky. Zároveň je zřejmý proměnný vliv závislý na úhlu dopadu na objekt a na velikosti směrodatných odchylek ve směrech odpovídajících jednotlivým měřeným veličinám.



Obr. 1. Rozdělení pravděpodobnosti určení polohy bodu v horizontální rovině

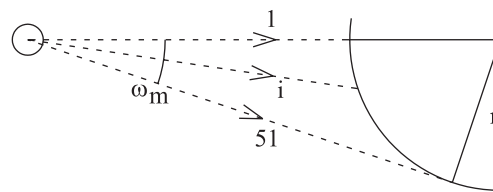
Analytické vyčíslení vlivu tohoto jevu je značně problematické, jako metoda pro vyhodnocení byla zvolena numerická simulace. Ověřováním kvality generátoru náhodných čísel bylo stanoveno 3 000 bodů pro dosažení maximální odchylky 3 %. Další zvýšení počtu bodů již nevede ke zlepšení výsledku a zbytečně zvyšuje výpočetní náročnost. Pro generování náhodného čísla byl využit jednoduchý generá-

tor normovaného normálního rozdělení podle [6]

$$t = \sum_{i=1}^{12} c_i - 6, \quad (8)$$

kde c_i mají rovnoměrné rozdělení v intervalu $\langle 0;1 \rangle$.

Pro určení velikosti vlivu bylo numericky simulováno měření skenerem o běžných charakteristikách $\sigma_d = 0,005$ m a $\sigma_\omega = 0,0050$ gon na kružnice o poloměrech 0,01 m; 0,02 m; 0,05 m; 0,10 m; 0,20 m; 0,50 m ze vzdáleností 1 m, 2 m, 5 m, 10 m, 20 m, 30 m, 40 m, 50 m, 60 m, 70 m, 80 m a 100 m ke středu kružnice.



Obr. 2. Maximální možný úhel skenování ω_m

Maximální možný úhel skenování ω_m (obr. 2) byl rozdělen na celkem padesát stejných dílů a v každém z padesáti jednoho směru bylo simulováno 3 000 opakovaných měře-

Tab. 1. Výsledky simulace skenování pro poloměr objektu $r = 10$ mm

d/m	Pořadí směru										
	1.	6.	11.	16.	21.	26.	31.	36.	41.	46.	51.
	radiální vzdálenost bodů [mm]										
1	10,0	10,1	10,1	10,2	10,4	10,5	10,7	10,8	10,8	11,0	11,1
2	10,1	10,1	10,2	10,2	10,3	10,4	10,7	10,8	10,9	11,0	11,0
5	9,9	10,1	10,2	10,2	10,3	10,4	10,6	10,8	10,8	10,9	11,1
10	10,1	10,1	10,3	10,4	10,5	10,6	10,7	10,8	10,9	11,0	11,1
20	10,4	10,3	10,3	10,1	10,3	10,5	10,7	10,8	11,0	11,0	11,1
30	10,3	10,5	10,4	10,6	10,6	10,6	10,6	10,7	10,9	11,1	11,1
40	10,8	10,5	10,7	10,7	10,7	11,0	10,9	11,0	11,0	11,1	11,2
50	10,9	10,9	11,1	10,9	11,1	10,9	11,2	11,0	11,1	11,2	11,3
60	11,4	11,4	11,2	11,2	11,1	11,3	11,2	11,2	11,4	11,3	11,5
70	11,6	11,6	11,6	11,8	11,6	11,4	11,5	11,4	11,6	11,4	11,5
80	12,0	12,0	12,1	12,0	11,9	12,0	11,9	11,8	11,7	11,5	11,6
100	12,8	12,8	12,6	12,8	12,7	12,5	12,4	12,3	12,4	12,1	12,1

Tab. 2. Výsledky simulace skenování pro poloměr objektu $r = 20$ mm

d/m	Pořadí směru										
	1.	6.	11.	16.	21.	26.	31.	36.	41.	46.	51.
	radiální vzdálenost bodů [mm]										
1	20,1	19,9	20,0	20,2	20,1	20,1	20,3	20,3	20,4	20,5	20,6
2	20,0	20,0	20,0	20,1	20,2	20,2	20,2	20,2	20,4	20,5	20,6
5	19,9	20,2	20,0	20,2	20,2	20,3	20,2	20,3	20,4	20,5	20,6
10	20,1	20,1	19,9	20,2	20,1	20,1	20,2	20,3	20,5	20,5	20,6
20	20,0	20,2	20,0	20,1	20,2	20,0	20,4	20,3	20,5	20,5	20,7
30	20,2	20,1	20,4	20,1	20,2	20,2	20,3	20,5	20,5	20,7	20,5
40	20,2	20,2	20,3	20,1	20,3	20,4	20,5	20,3	20,4	20,6	20,6
50	20,3	20,2	20,5	20,4	20,6	20,3	20,5	20,4	20,7	20,6	20,7
60	20,4	20,3	20,6	20,7	20,7	20,5	20,3	20,6	20,6	20,7	20,7
70	20,7	20,9	20,7	20,8	20,7	20,9	20,7	20,8	20,7	20,7	20,5
80	21,0	21,0	21,0	20,9	20,8	20,9	20,9	20,9	20,8	20,7	20,6
100	21,4	21,5	21,4	21,4	21,5	21,4	21,3	21,2	21,0	20,9	21,0

ni, ze kterých byla vypočtena průměrná vzdálenost. V *tabulkách 1 až 6* je vzhledem k velkému objemu dat uveden výběr jedenácti hodnot (pro 1., 6., ..., 46., 51. směr a dříve uvedených dvanáct vzdáleností), které ilustrují výsledky této simulace. Hodnoty jsou uvedeny v milimetrech. Mezilehlé (zde neuvedené hodnoty) byly v souladu s trendem.

K simulaci bylo využito rovnic

$$d_m = d + t_i \cdot \sigma_d, \quad (9)$$

$$\omega_m = \omega + t_j \cdot \sigma_\omega, \quad (10)$$

kde t_i (t_j) je dáno vztahem (8),

$$x = d_m \cdot \cos(\omega_m), \quad (11)$$

$$y = d_m \cdot \sin(\omega_m). \quad (12)$$

Z výsledků a výše prezentované teorie vyplývá, že při měření laserovým skenerem na objekt s nenulovou křivostí je větší pravděpodobnost, že určený bod bude ležet vně objektu než uvnitř, a proto vždy dochází k systematickým deformacím modelu takovýchto objektů. Velikost pravděpodob-

Tab. 3. Výsledky simulace skenování pro poloměr objektu $r = 50$ mm

d/m	Pořadí směru										
	1.	6.	11.	16.	21.	26.	31.	36.	41.	46.	51.
	radiální vzdálenost bodů [mm]										
1	50,0	50,1	50,0	50,0	50,1	50,2	50,2	50,1	50,2	50,2	50,3
2	50,0	50,0	49,9	50,0	50,1	50,0	50,1	50,3	50,2	50,2	50,2
5	50,0	50,1	50,0	50,0	49,9	50,1	50,1	50,2	50,3	50,2	50,2
10	50,1	50,1	50,0	50,0	50,1	50,0	50,0	50,1	50,1	50,2	50,2
20	50,1	50,1	50,0	50,2	50,1	49,9	50,2	50,2	50,2	50,1	50,3
30	50,2	50,1	50,0	50,1	50,3	50,2	50,0	50,2	50,2	50,3	50,2
40	50,1	50,2	50,1	50,3	50,2	50,2	50,3	50,2	50,2	50,3	50,3
50	50,2	50,2	50,2	50,3	49,9	50,1	50,1	50,2	50,3	50,3	50,3
60	50,1	50,2	50,1	50,3	50,3	50,3	50,1	50,1	50,1	50,2	50,3
70	50,2	50,1	50,3	50,2	50,3	50,4	50,3	50,2	50,3	50,3	50,3
80	50,5	50,3	50,4	50,4	50,4	50,3	50,3	50,3	50,4	50,4	50,0
100	50,4	50,6	50,6	50,5	50,5	50,6	50,5	50,4	50,5	50,5	50,1

Tab. 4. Výsledky simulace skenování pro poloměr objektu $r = 100$ mm

d/m	Pořadí směru										
	1.	6.	11.	16.	21.	26.	31.	36.	41.	46.	51.
	radiální vzdálenost bodů [mm]										
1	100,0	100,1	100,1	99,9	100,1	100,0	100,2	100,1	100,0	100,1	100,1
2	100,2	100,0	99,9	100,0	100,0	100,1	100,1	100,1	100,1	100,1	100,1
5	99,9	100,0	100,0	100,0	99,9	100,0	100,1	100,1	100,1	100,1	100,1
10	100,0	100,1	100,1	100,0	100,1	100,0	100,2	100,0	100,0	100,1	100,1
20	99,9	99,8	100,0	99,9	100,0	100,1	100,1	100,1	100,1	100,2	100,1
30	99,9	100,0	100,1	100,1	100,2	100,1	100,2	100,2	100,2	100,1	100,1
40	99,9	100,2	100,0	100,2	100,0	100,2	100,1	100,2	100,1	100,1	100,1
50	100,2	100,1	100,1	100,2	100,2	100,1	100,1	100,0	100,1	100,1	100,1
60	100,1	100,1	100,1	100,2	100,1	100,1	100,2	100,1	100,1	100,2	100,0
70	100,2	100,1	100,0	100,2	100,1	100,2	100,3	100,4	100,2	100,3	99,8
80	100,2	100,3	99,8	100,2	100,3	100,3	100,1	100,1	100,2	100,0	99,9
100	100,3	100,2	100,1	100,4	100,2	100,3	100,2	100,3	100,1	100,2	100,2

Tab. 5. Výsledky simulace skenování pro poloměr objektu $r = 200$ mm

d/m	Pořadí směru										
	1.	6.	11.	16.	21.	26.	31.	36.	41.	46.	51.
	radiální vzdálenost bodů [mm]										
1	200,1	200,2	200,1	200,0	200,1	200,0	200,0	200,2	200,1	200,0	200,1
2	199,8	200,1	200,1	200,0	200,0	199,9	200,0	200,1	200,0	200,1	200,1
5	200,0	200,1	199,8	200,0	200,1	200,1	200,0	199,9	200,0	200,0	200,1
10	200,0	200,1	200,0	200,1	199,9	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,1
20	199,9	200,1	200,0	200,1	199,9	200,0	200,1	200,1	200,0	200,1	200,1
30	200,1	200,0	200,1	200,1	200,1	200,2	200,1	200,0	200,0	200,1	200,1
40	200,0	200,0	200,0	200,0	200,1	200,0	200,1	200,0	200,0	200,2	200,2
50	199,9	199,9	200,1	200,2	200,0	199,9	200,1	200,0	200,0	200,1	200,0
60	200,1	200,0	200,2	200,0	199,9	200,0	200,0	199,9	200,1	199,8	200,0
70	200,2	200,2	200,1	200,1	200,1	200,1	199,9	200,1	200,0	200,0	200,1
80	200,1	200,1	200,1	200,1	200,1	200,2	200,0	200,2	200,0	199,9	200,1
100	200,3	200,2	200,1	200,3	200,0	200,2	200,2	200,0	200,1	200,1	199,9

Tab. 6. Výsledky simulace skenování pro poloměr objektu $r = 500$ mm

d/m	Pořadí směru										
	1.	6.	11.	16.	21.	26.	31.	36.	41.	46.	51.
	radiální vzdálenost bodů [mm]										
1	499,9	500,0	499,9	500,0	500,0	499,9	499,9	500,0	500,1	500,1	500,0
2	500,0	499,9	500,1	499,9	500,1	499,9	500,1	500,0	500,0	500,0	500,0
5	500,0	499,9	499,9	500,0	500,1	500,0	500,0	499,9	500,0	500,0	500,0
10	500,0	500,0	499,9	499,9	500,1	500,0	500,0	499,9	500,0	500,0	500,0
20	499,9	499,8	500,0	500,0	500,0	499,9	500,0	499,9	500,0	500,0	500,0
30	500,1	500,1	499,9	500,1	500,1	499,9	500,0	499,9	500,1	500,0	500,0
40	500,0	499,9	500,0	500,0	500,1	500,0	500,0	500,1	499,9	500,0	500,0
50	500,2	499,9	499,9	499,9	500,0	499,9	499,9	500,1	500,1	500,1	500,1
60	500,0	499,9	500,0	499,9	500,1	500,0	500,1	499,9	499,9	500,0	500,0
70	500,0	500,1	500,1	500,0	500,0	499,9	500,1	500,1	500,1	500,0	500,1
80	499,8	499,9	500,1	500,1	500,1	500,1	500,1	500,2	500,0	500,0	500,0
100	500,1	500,1	500,0	500,2	500,0	500,1	500,1	499,9	500,2	500,3	500,1

nosti závisí na poloměru křivosti objektu, úhlu dopadu a směrodatných odchylkách měření. Jednoznačně lze říci, že velikost systematických chyb klesá s rostoucí velikostí poloměru křivosti objektu. Důsledek popsaného jevu bude ověřován na simulovaném skenování kružnice a koule, protože velikost změny polohy bodu může mít různý reálný vliv na výsledek vyhodnocení a mohl by se projevit neočekávaným, tj. velkým vlivem, zvláště při skenování objektu pouze z jednoho stanoviska.

Algoritmy ortogonálního prokládání

Důsledky popsaného jevu je vhodné simulovat na měřených bodech s následným ortogonálním proložením příslušného útvaru, aby bylo možné posoudit praktický projev popsaného jevu.

Algoritmus pro kružnici

Pro proložení bodů kružnicí byl použit jednoduchý dvoukrokový algoritmus využívající parametrické vyjádření kruž-

nice v rovině

$$x = r \cdot \cos(\varphi) + x_0, \quad (13)$$

$$y = r \cdot \sin(\varphi) + y_0. \quad (14)$$

Měření ze skeneru je n souřadnic bodů (x, y) , určenými neznámými jsou poloměr r a souřadnice středu x_0, y_0 . Parametr φ je pro každý bod jiný, není v dvoukrokovém algoritmu zařazen mezi neznámé a počítá se z měření a přibližných hodnot neznámých vždy pro každou iteraci. Vektor neznámých

$$\mathbf{h} = \begin{pmatrix} r \\ x_0 \\ y_0 \end{pmatrix}. \quad (15)$$

Pro vyrovnání metodou nejmenších čtverců je třeba zkonstruovat Jacobiho matici (matici plánu) \mathbf{A} , která se skládá ze submatic pro každý bod,

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} \mathbf{A}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{A}_i \\ \vdots \\ \mathbf{A}_n \end{pmatrix}. \quad (16)$$

Submatice pro i -tý bod

$$\mathbf{I}_i = \begin{pmatrix} x_i - (r_0 \cdot \cos(\varphi_{0i}) + x_{00}) \\ y_i - (r_0 \cdot \sin(\varphi_{0i}) + y_{00}) \end{pmatrix}. \quad (17)$$

Vektor redukovaných měření

$$\mathbf{I} = \begin{pmatrix} \mathbf{I}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{I}_i \\ \vdots \\ \mathbf{I}_n \end{pmatrix}. \quad (18)$$

Submatice pro i -tý bod

$$\mathbf{I}_i = \begin{pmatrix} x_i - (r_0 \cdot \cos(\varphi_{0i}) + x_{00}) \\ y_i - (r_0 \cdot \sin(\varphi_{0i}) + y_{00}) \end{pmatrix}, \quad (19)$$

kde r_0 a x_{00}, y_{00} jsou přibližné hodnoty neznámých zvolené na počátku výpočtu (zde vždy hodnoty zadané do generátoru měření) a φ_{0i} hodnota směrníku bodu x_i, y_i ze středu kružnice x_0, y_0 . Vektor přibližných hodnot pro vyrovnání

$$\mathbf{h}_0 = \begin{pmatrix} r_0 \\ x_{00} \\ y_{00} \end{pmatrix}. \quad (20)$$

Výpočet se provede vyrovnáním metodou nejmenších čtverců

$$\mathbf{dh} = (\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{A})^{-1} \cdot \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{I}, \quad (21)$$

$$\mathbf{h} = \mathbf{h}_0 + \mathbf{dh}. \quad (22)$$

Iterace se provádí opakovaně, dokud přírůstky neznámých \mathbf{dh} neklesnou pod stanovenou mez nebo do splnění nerovnosti

$$|s_{0i} - s_{0i-1}| < \varepsilon, \quad (23)$$

kde ε je zvolená malá konstanta, s_{0i} je směrodatná odchylka jednotková po vyrovnání i -té iterace a k je nadbytečný počet měření,

$$s_{0i} = \sqrt{\frac{\mathbf{v}^T \mathbf{v}}{k}}, \quad (24)$$

$$k = 2n - 3. \quad (25)$$

Algoritmus pro kouli

Proložení koule lze provést stejným postupem jako u kružnice, dále tedy budou uvedeny pouze potřebné vzorce a matice. Parametrické rovnice koule

$$x = r \cdot \cos(\varphi) \cdot \sin(\zeta) + x_0, \quad (26)$$

$$y = r \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(\zeta) + y_0, \quad (27)$$

$$z = r \cdot \cos(\zeta) + z_0, \quad (28)$$

kde r je poloměr koule, φ směrník od středu k bodu, ζ zenitový úhel od středu k bodu a x_0, y_0, z_0 souřadnice středu. Vektor neznámých

$$\mathbf{h} = \begin{pmatrix} r \\ x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix}. \quad (29)$$

Jacobiho matice (matice plánu) \mathbf{A} , která se skládá ze submatic pro každý bod,

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} \mathbf{A}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{A}_i \\ \vdots \\ \mathbf{A}_n \end{pmatrix}. \quad (30)$$

Submatice pro i -tý bod

$$\mathbf{A}_i = \begin{pmatrix} \cos(\varphi_{0i}) \cdot \sin(\zeta_{0i}) & 1 & 0 & 0 \\ \sin(\varphi_{0i}) \cdot \sin(\zeta_{0i}) & 0 & 1 & 0 \\ \cos(\zeta_{0i}) & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (31)$$

Vektor redukovaných měření

$$\mathbf{I} = \begin{pmatrix} \mathbf{I}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{I}_i \\ \vdots \\ \mathbf{I}_n \end{pmatrix}. \quad (32)$$

Submatice pro i -tý bod

$$\mathbf{I}_i = \begin{pmatrix} x_i - (r_0 \cdot \cos(\varphi_{0i}) \cdot \sin(\zeta_{0i}) + x_{00}) \\ y_i - (r_0 \cdot \sin(\varphi_{0i}) \cdot \sin(\zeta_{0i}) + y_{00}) \\ z_i - (r_0 \cdot \cos(\zeta_{0i}) + z_{00}) \end{pmatrix}, \quad (34)$$

kde r_0 a x_{00} , y_{00} , z_{00} jsou přibližné hodnoty neznámých zvolené na počátku výpočtu (zde vždy hodnoty zadané do generátoru měření), φ_{0i} hodnota směrničku i -tého bodu ze středu koule, ζ_{0i} je zenitový úhel od středu koule k i -tému bodu. Vektor přibližných hodnot pro vyrovnání

$$\mathbf{h}_0 = \begin{pmatrix} r_0 \\ x_{00} \\ y_{00} \\ z_{00} \end{pmatrix}. \quad (35)$$

Výpočet se provede vyrovnáním metodou nejmenších čtverců stejně jako v předchozím případě, pouze pro nadbytečný počet veličin platí $k = 3n - 4$.

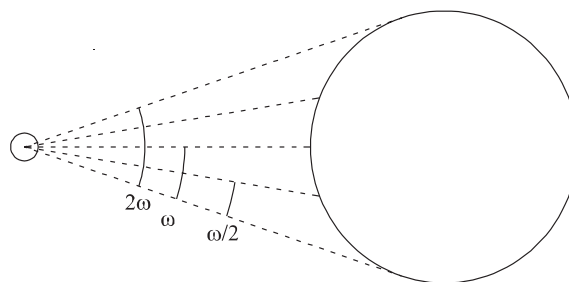
Simulace působení systematického vlivu

Pro posouzení vlivu popisovaného jevu bylo simulováno měření skenerem o běžných charakteristikách $\sigma_d = 0,005$ m a $\sigma_\omega = 0,0050$ gon na kružnici a koule o poloměrech 0,01 m; 0,02 m; 0,05 m; 0,10 m; 0,20 m; 0,50 m ze vzdáleností 1 m, 2 m, 5 m, 10 m, 15 m, 20 m, 30 m, 40 m, 50 m, 60 m, 70 m, 80 m a 100 m ke středu kružnice, vždy ve třech variantách, a to pro celý skenovatelný prostor, jeho polovinu a čtvrtinu.

Výsledky skenování kružnice

U kružnice pro celou skenovatelnou oblast (rozsah 2ω), její polovinu (rozsah ω) a čtvrtinu (rozsah $\omega/2$) z jednoho

stanoviska (podle obr. 3) bylo simulováno měření, vždy 3 000 bodů. Body byla proložena kružnice podle výše uvedeného algoritmu, výsledné poloměry jsou uvedeny v tab. 7 až tab. 9. Ve sloupcích jsou určeny poloměry kružnic pro délky 1 m, 2 m, 5 m, 10 m, 15 m, 20 m, 30 m, 40 m, 50 m, 60 m, 70 m, 80 m, 100 m, v řádcích jsou určeny poloměry pro kružnice o poloměrech 0,010 m; 0,020 m; 0,050 m; 0,100 m; 0,200 m; 0,500 m.



Obr. 3. Rozsah simulace měření na kružnici

Výsledky skenování koule

U koule byla simulace provedena rovněž pro celou skenovatelnou oblast (ve vodorovné rovině v rozsahu úhlu ω , ve svislé v rozsahu ψ), její polovinu (ve vodorovné rovině v rozsahu úhlu $\omega/2$, ve svislé v rozsahu ψ) a čtvrtinu podle (ve vodorovné rovině v rozsahu úhlu $\omega/2$, ve svislé v rozsahu $\psi/2$) obr. 4. V sloupcích tab. 10 až tab. 12 jsou určeny poloměry koulí pro délky 1 m, 2 m, 5 m, 10 m, 15 m, 20 m, 30 m, 40 m, 50 m, 60 m, 70 m, 80 m, 100 m, v řádcích určeny poloměry pro koule o poloměrech 0,010 m; 0,020 m; 0,050 m; 0,100 m; 0,200 m; 0,500 m.

Tab. 7. Simulace 2ω určené poloměry kružnic [mm]

r\d	1	2	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	100
10	7,6	7,5	7,5	7,5	7,6	7,6	7,7	7,8	8,0	8,6	8,9	9,4	9,9
20	17,5	17,4	17,7	17,6	17,6	17,8	18,1	18,7	18,8	20,2	20,6	21,3	26,2
50	49,0	49,1	49,0	48,8	48,8	48,7	49,1	49,3	49,1	50,0	51,4	51,4	52,8
100	99,3	99,1	99,8	99,2	99,3	99,4	99,5	99,4	100	100,2	99,8	99,6	101,3
200	199,3	199,8	199,9	199,6	199,6	199,6	199,8	199,7	200,1	200,2	199,9	199,7	200,5
500	499,8	499,6	499,6	499,7	499,8	499,9	500,1	500,3	500,1	499,8	500,0	500,5	500,1

Tab. 8. Simulace ω určené poloměry kružnic [mm]

r\d	1	2	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	100
10	44,4	44,3	43,1	42,6	34,7	5,7	5,8	6,1	6,5	6,9	7,3	7,8	8,8
20	35,7	36,3	32,6	29,8	29,3	30,0	23,0	10,0	9,5	12,5	9,7	10,4	14,0
50	50,4	49,9	50,1	50,5	51,9	48,6	49,5	48,9	47,6	49,9	50,1	49,0	49,5
100	100,5	99,1	99,9	100,8	100,9	100,1	99,7	100,4	98,9	100,3	99,6	99,4	98,9
200	199,9	201,8	200,4	201,9	200,6	198,6	200,7	199,5	201,1	198,8	200,0	201,2	201,9
500	500,5	499,0	498,4	501,3	498,1	501,8	500,2	499,8	500,4	499,5	499,3	501,6	500,0

Tab. 9. Simulace $\omega/2$ – určené poloměry kružnic [m]

r\d	1	2	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	100
10	51,5	46,4	47,4	45,3	45,2	42,9	40,9	5,6	6,1	6,5	6,9	7,5	8,6
20	60,3	58,6	54,6	57,6	55,4	49,7	46,9	41,0	24,9	7,7	8,1	8,5	9,4
50	71,8	67,3	68,5	65,9	65,4	67,0	68,2	59,1	52,1	49,7	46,0	39,9	32,7
100	110,9	109,9	109,3	110,2	109,2	107,4	106,9	104,4	106,7	99,0	98,1	97,5	92,6
200	206,3	204,7	204,1	206,0	203,0	202,3	201,7	203,5	202,7	198,8	198,4	196,7	193,9
500	503,2	501,8	501,3	499,6	502,7	501,5	500,0	499,2	498,1	499,1	500,0	500,9	493,5

Tab. 10. Simulace měření v celém rozsahu – určené poloměry koulí [mm]

r\d	1	2	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	100
10	8,7	8,7	8,6	8,8	8,8	9,0	9,2	9,6	10,1	10,5	11,4	11,7	16,9
20	17,8	17,9	18,0	18,1	18,2	18,2	18,3	18,8	19,6	20,0	21,5	22,8	27,6
50	48,8	48,7	48,8	48,9	48,8	48,7	49,0	49,9	49,8	50,3	50,4	51,5	53,1
100	99,6	99,1	99,6	99,3	99,3	99,7	99,8	99,6	100	100,6	100,3	100,2	101,1
200	199,3	199,4	199,7	199,8	199,9	199,5	199,6	200,0	199,5	200,3	199,9	200,5	200,2
500	500,2	499,5	499,9	499,6	499,9	499,9	500,0	500,4	499,2	500,0	499,8	499,9	500,8

Tab. 11. Simulace měření na polovinu rozsahu – určené poloměry koulí [mm]

r\d	1	2	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	100
10	14,7	13,0	14,2	12,7	12,6	9,5	8,3	8,8	9,0	9,6	10,4	10,9	13,8
20	18,7	18,7	18,5	18,7	18,4	18,5	18,8	18,8	19,0	19,7	20,9	21,6	27,7
50	48,6	49,1	48,9	48,9	48,7	49,3	49,1	49,0	50,2	49,4	51,0	51,3	53,5
100	99,4	99,2	99,2	99,4	99,8	99,3	99,3	99,6	99,9	101,2	100,3	99,9	103,7
200	198,9	199,4	199,6	199,3	199,3	199,5	200,0	199,7	199,8	200,4	199,6	200,8	200,9
500	499,4	499,5	500,3	499,8	499,5	500,0	499,5	499,8	500,4	500,2	500,6	500,3	499,8

Tab. 12. Simulace měření na čtvrtinu rozsahu – určené poloměry koulí [mm]

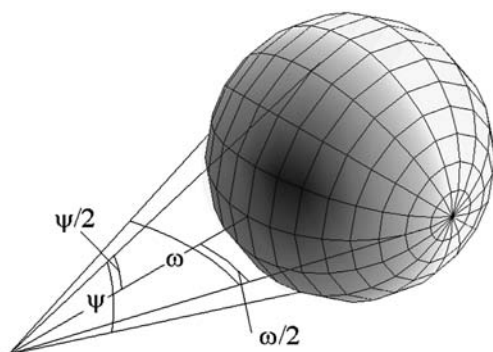
r\d	1	2	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	100
10	25,0	25,1	25,8	25,5	22,5	11,3	7,0	7,4	8,1	8,8	9,6	10,1	12,3
20	24,2	24,1	22,1	23,0	23,9	20,0	18,1	16,7	15,2	14,8	15,0	13,9	16,2
50	48,1	49,3	50,9	49,6	48,7	49,9	48,2	49,4	49,3	50,2	48,2	50,5	52,0
100	95,9	97,7	96,7	98,0	98,1	96,8	99,5	101,0	99,7	99,2	101,7	101,1	102,4
200	201,0	199,3	200,1	199,8	199,9	200,7	199,4	200,0	200,5	199,0	201,0	201,0	199,8
500	499,9	499,8	499,3	499,7	500,0	499,6	500,5	498,8	500,2	500,1	501,4	501,4	498,6

Kromě poloměrů byly sledovány i posuny středů proložených koulí. Pro ilustraci jsou v tab. 13 uvedeny posuny

proti správné hodnotě, znaménko minus značí posun ve směru měření.

Tab. 13. Posuny středu proložené koule – měření v celém rozsahu [mm]

r/d	1	2	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	100
10	-4,7	-4,7	-5,2	-5,0	-4,8	-4,8	-4,7	-4,8	-5,0	-5,9	-4,6	-5,2	3,5
20	-4,4	-4,1	-4,1	-3,8	-3,7	-3,8	-3,8	-3,2	-2,3	-1,6	0,0	1,8	7,1
50	-1,9	-2,2	-2,2	-2,0	-2,1	-2,3	-1,6	-0,7	-0,9	-0,2	0,0	1,3	3,3
100	-0,6	-1,6	-0,7	-1,4	-1,3	-0,5	-0,6	-0,7	-0,2	0,4	0,0	0,0	1,2
200	-1,0	-1,1	-0,4	-0,2	-0,4	-0,8	-0,9	0,0	-0,9	0,2	-0,3	0,3	-0,3
500	0,3	-0,7	-0,2	-0,6	-0,2	-0,1	0,1	0,6	-1,0	0,1	-0,1	-0,5	0,8



Obr. 4. Rozsah simulace měření na kouli

Závěr

Numerickou simulací byly poprvé analyzovány vznikající systematické vady skenování ploch s nenulovou křivostí. Z výsledků vyplývá, že ačkoli systematické chyby v porovnání se směrodatnou odchylkou v měření délky (je však nutné uvážit, že jde o průměrné hodnoty z celkem tří tisíc měření) nejsou příliš velké, dosahují i více než 20 % poloměru objektu. Jejich vliv může být výrazně posílen tím, že objekt není skenován celý (obvykle skenování z jednoho stanoviska). Popisovaný jev nepůsobí na všechny body stejně a právě tato proměnlivost je příčinou v některých případech velké odchylky proloženého útvaru.

Přesnost měřených délek je v použitém rozsahu měření považována za konstantní, vliv přesnosti měření úhlů se mění v závislosti na vzdálenosti. Znaménko systematické chyby závisí na tom, zda převládá chyba příčná nebo podélná, existuje hranice (zde je 63,662 m), kde je vliv chyby v délce a v úhlu stejný a měření charakterizuje kružnice či koule chyb. Vliv u kružnice (případně u válcové plochy) a koule se jeví podobný.

Respektovaný předpoklad je, že velké množství naskenovaných bodů vzhledem k normálnímu rozdělení chyb měření pomůže k získání přesnějších výsledků. Uvedená teorie, podpořená výsledky simulací, ukazuje, že v případech malého poloměru křivosti tento předpoklad neplatí a výsledky jsou chybné. Ze simulací tak vyplývá, že využití koulí o neznámém malém poloměru jako vlicovacích bodů pro skenovací systémy s uvedenou přesností není vhodné, protože dochází nejen k chybnému určení poloměru, ale také k chybnému určení souřadnic středu koule.

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] Koska, B. – Štroner, M. – Pospíšil, J.: The Result Presentation of the Development of Laser and Optic Rotating Scanner LORS and Introduction of Public Library of Classes and Functions SPAT-FIG. In: Optical 3-D Measurement Techniques. Vienna University of Technology, 2005.
- [2] Koska, B.: Optoelektronické metody 3D zaměření povrchů předmětů. [Studie doktorské dizertační práce]. Praha, ČVUT, 2005.
- [3] Kašpar, M. – Pospíšil, J. – Štroner, M. – Křemen, T. – Tejkal, M.: Laser Scanning in Civil Engineering and Land Surveying. Hradec Králové, Vega 2004, 103 s. ISBN 80-900860-7-1.
- [4] Kašpar, M. – Pospíšil, J. – Štroner, M. – Křemen, T. – Tejkal, M.: Laserové skenovací systémy ve stavebnictví. Hradec Králové, Vega 2003, 112 s. ISBN 80-900860-3-9.
- [5] Böhm, J. – Radouch, V. – Hampacher, M.: Teorie chyb a vyrovnávací počet (2. vydání). Geodetický a kartografický podnik, Praha, 1990, 416 s. ISBN 80-7011-056-2.
- [6] Olehla, M. – Věchet, V. – Olehla, J.: Řešení úloh matematické statistiky ve Fortranu. Praha, NADAS 1982, 368 s.

Štroner, M. – Pospíšil, J.: Analysis of Systematic Faults in Scanning Areas with Non-Zero Curvature

In scanning areas with non-zero curvature, certain inconsistencies were identified in practice. Based on numerical simulations, systematic measurement errors are analyzed for these areas by laser scanning systems working on the principle of the spatial polar method.

Štroner, M. – Pospíšil, J.: Analyse systematischer Fehler des Scannens von Flächen mit einer Krümmung größer als Null

Beim Scannen von Flächen mit einer Krümmung größer als Null wurden in der Praxis einige Unstimmigkeiten festgestellt. Aufgrund numerischer Simulationen werden für diese Flächen mit Laserscannsystemen, die auf dem Prinzip der räumlichen polaren Methode arbeiten, systematisch die Messfehler analysiert.



BAU 2009

12. – 17. ledna 2009

www.bau-muenchen.com

• Fakulta stavební



Česká škola v indickém Himálaji

Ve vysokohorské oblasti Zanskar (severoindický stát Jamu & Kashmir, oblast Ladakh), kde vesnice Kargyak leží (4 200 m n. m.), jsou stavební práce v oblasti pro drsné zimní podmínky možné jen od června do září. Veškerý materiál potřebný pro stavbu je nutné získat na místě, donést na zádech, dovézt na koních nebo dotáhnout v zimě po zamrzlé řece. Unikátní konstrukce budovy Sluneční školy, navržené v rámci diplomové práce Ing. Janem Tilingerem na Fakultě stavební ČVUT, umožní celoroční provoz jako jedinému vyučovacímu zařízení v oblasti.



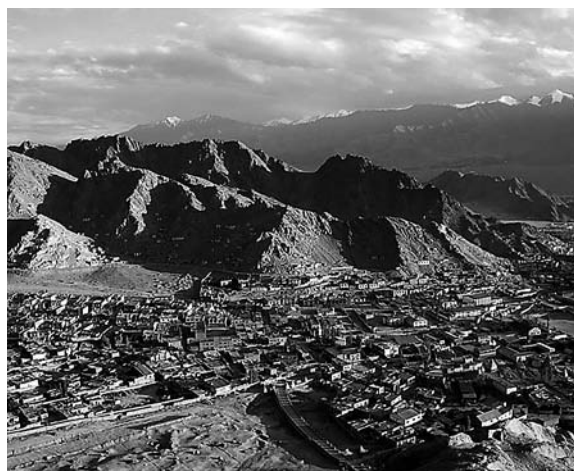
Objekt je projektován jako pasivní dům. Veškeré tepelné zisky jsou získány ze sluneční radiace. Exponovaná jižní fasáda absorbuje celoročně konstantní množství tepla. Ohřátý vzduch cirkuluje na základě rozdílu tlaků a proudění je usměrnováno Trombeho stěnou. Díky systému „solárně nucené“ cirkulace vzduchu bude teplý vzduch rovnoměrně distribuován po celé budově. V Zanskaru neexistují stavební specialisté, každý muž musí umět postavit nosnou konstrukci domu a pouze na truhlářské práce se najímají specialisté. Předpokládané náklady na výstavbu jsou odvozeny z cen v místním stavitelství. Rozpočet zahrnuje náklady spojené s provozem školy na dalších pět let a odhadovaná cena je 4,7 mil. Kč, což je přibližně 225 000 USD.

Cílem projektu Občanského sdružení Surya je zajistit základní vzdělání pro himálajskou vesnici Kargyak a okolní oblasti. Ve vesnici vzdálené tři dny pěšího pochodu od nejbližší silnice dosahuje negramotnost až 90 %. Zápis dětí proběhl po dokončení stavby, i když vyučování probíhalo již celý minulý rok v provizorních prostorách. Většina žáků první třídy se již nyní domluví anglicky lépe než kterýkoli dospělý z vesnice.

Budova byla slavnostně otevřena v polovině září za účasti místních autorit, obyvatel vesnice i širokého okolí. Další oficiální otevření se konalo o něco později za účasti lámů,

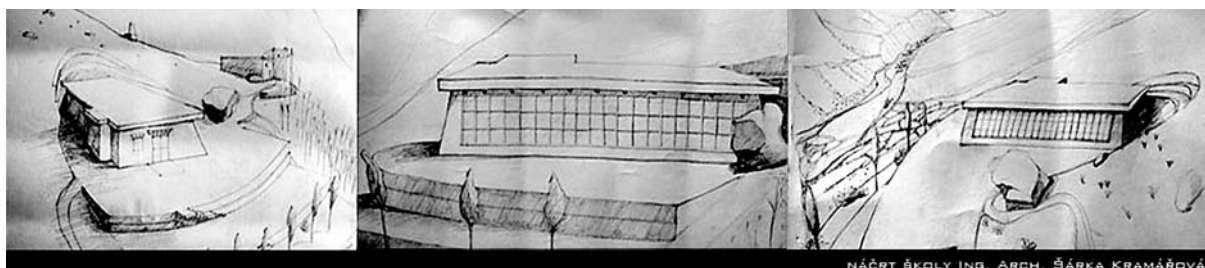
kterí se tři dny modlili za úspěšný chod školy a bezpečný přechod zasněženého sedla Shinko La, přes které poslední členové týmu Surya měli opustit vesnici. Návrat do Čech však značně zkomplikovalo počasí, když v pětitisícovém sedle, kudy vede nejkratší přístupová cesta k vesnici, napadly nečekaně brzy dva metry sněhu, a než tudy bylo možno projít, bylo třeba počkat několik dnů, až se počasí zlepší a část sněhu odtaje. I přes to byl přechod sedla velmi náročný.

Pokračováním projektu je v průběhu příštích pěti let zaúčit místní obyvatele, žijící se pouze zemědělstvím a pastevectvím, v řízení školy a komunikaci s administrativou tak, aby byli schopni školu provozovat sami. V současné době navštěvuje vyučování 38 žáků rozdělených do vyšší a nižší školky a do první třídy základní školy. Vzdělání bylo pro ně až do této doby nedostupné, takže v současné první třídě se potkávají děti ve věku od šesti do patnácti let. Nyní zde působí dva čeští dobrovolní učitelé a jeden tibetský, v průběhu zimy se počítá se složením dva Češi a tři tibetští učitelé.



Na realizaci projektu se letos podíleli čtyři členové sdružení Surya, 24 dobrovolníků, přibližně 28 řemeslníků z Nepálu a Shilmly (Indie) a přinejmenším stejný počet kolemdoucích vysokohorských turistů z různých zemí, kteří se rozhodli v Kargyaku několik dní zůstat a pomáhat při stavbě. Díky jim, sponzorům a také všem, kteří se stavbou pomáhali minulý rok, a rovněž těm, kteří to umožnili svou podpůrnou prací v Česku, se stavbu školy podařilo dokončit právě včas před přicházející zimou.

www.suryaschool.org



STAVEBNÍ OBZOR

ROČNÍK 17 ČÍSLO 10/2008

Navigace v dokumentu

OBSAH

Witzany, J. – Čejka, T. Výzkum fyzikálně mechanických vlastností pórezních zdicích prvků	289
Pruška, J. – Salák, J. Převod mezi parametry Hoekovy-Brownovy a Mohrovy-Coulombovy podmínky	293
Křemen, T. – Pospíšil, J. – Vondráčková, T. Kontrola provedení zemních prací automaticky řízeným dozerem	300
Říha, J. Posuzování zranitelnosti komplexních systémů infrastruktury	304
Bartošová, P. – Maleček, K. Fergusonova kubika jako přechodnice	309
Jerman, M. – Maděra, J. – Kuča, P. – Černý, R. Ověření funkčnosti vnitřního zateplení pomocí počítačové simulace	314
Rejstřík	I–IV

10 • 2008

ročník 17

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



Fakulta stavební
VUT v Brně



Fakulta stavební
VŠB TU-Ostrava



Česká komora autorizovaných
inženýrů a techniků

OBSAH

Witzany, J. – Čejka, T.
**Výzkum fyzikálně
mechanických
vlastností pórezních zdicích
prvků** 289

Pruška, J. – Salák, J.
**Převod mezi parametry
Hoekovy-Brownovy
a Mohrovy-Coulombovy
podmínky** 293

Křemen, T. – Pospíšil, J.
– Vondráčková, T.
**Kontrola provedení
zemních prací
automaticky řízeným
dozerem** 300

Říha, J.
**Posuzování zranitelnosti
komplexních systémů
infrastruktury** 304

Bartošová, P. – Maleček, K.
**Fergusonova
kubika jako
přechodnice** 309

Jerman, M. – Maděra, J. – Kuča, P.
– Černý, R.
**Ověření
funkčnosti
vnitřního zateplení
pomocí počítačové
simulace** 314

Rejstřík

I–IV

CONTENT

Witzany, J. – Čejka, T.
**Research of Physical
and Mechanical
Characteristics of Porous
Masonry Materials** 289

Pruška, J. – Salák, J.
**Conversion between
Parameters of Hoek-Brown
and Mohr-Coulomb
Condition** 293

Křemen, T. – Pospíšil, J.
– Vondráčková, T.
**Check of Completion
of Earthworks by
Automatically Controlled
Dozer** 300

Říha, J.
**Assessment of Vulnerability
of Complex Infrastructure
Systems** 304

Bartošová, P. – Maleček, K.
**Ferguson's Cubical
Curve as a Transition
Curve** 309

Jerman, M. – Maděra, J. – Kuča, P.
– Černý, R.
**Verification of Performance
of Interior Thermal
Insulation Using
Computer
Simulations** 314

Register

I–IV

INHALT

Witzany, J. – Čejka, T.
**Untersuchung der
physikalisch-mechanischen
Eigenschaften poröser
Mauerwerksteile** 289

Pruška, J. – Salák, J.
**Überführung zwischen
Parametern der Hoek-Brown-
und der Mohr-Coulomb-
Bedingung** 293

Křemen, T. – Pospíšil, J.
– Vondráčková, T.
**Kontrolle der Ausführung
von Erdarbeiten mit einem
automatisch gesteuerten
Dozer** 300

Říha, J.
**Beurteilung der Verletzbarkeit
komplexer Infra-
struktursysteme** 304

Bartošová, P. – Maleček, K.
**Fergusonsche Kurve
dritter Ordnung als Über-
gangsbogen** 309

Jerman, M. – Maděra, J. – Kuča, P.
– Černý, R.
**Überprüfung
der Funktionstüchtigkeit
einer inneren Wärme-
dämmung durch
Computersimulation** 314

Register

I–IV

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 VĚBR, CSc.
doc. Ing. Josef VITÁSEK, CSc.
prof. Ing. Jiří WITZANY, DrSc.
Ing. Renata ZDAŘILOVÁ

STAVEBNÍ OBZOR, odborný lektorovaný 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 30. 10. 2008 Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

Výzkum fyzikálně mechanických vlastností porézních zdicích prvků

prof. Ing. Jiří WITZANY, DrSc.
Ing. Tomáš ČEJKA, Ph.D.
ČVUT – Fakulta stavební
Praha

V rámci experimentálního a laboratorního výzkumu reziduálních fyzikálně mechanických vlastností historických zděných konstrukcí [1], [2], zejména stanovení zbytkové pevnosti a modulu pružnosti v tlaku, se uskutečnil výzkum zaměřený na vliv vlhkosti a pórovitosti na uvedené vlastnosti zdicích prvků – cihel, pískovce a opuky. Dílčí výsledky, publikované v [2] a v tomto pojednání, dokládají potřebu dalšího výzkumu vlivu pórovitosti, vlhkosti a chemizmu na vývoj vlastností stavebních materiálů používaných na historické stavby.

denzace povrchová, kondenzace vnitřní, sorpce, technologie výroby, chemická reakce, vysoký obsah hygroskopických solí, mikroorganismy, poruchy kanalizačních a vodovodních sítí, poruchy vnitřních rozvodů a odpadního potrubí, zatékání z komínových a větracích průduchů. Hlavní příčinou, popř. příčinou zvýšené vlhkosti zdiva, lze stanovit z průběhu vlhkosti po průřezu konstrukce (např. ve dvou až třech výškových úrovních nadzákladového zdiva, obr. 2), v některých případech z vnějších projevů zvýšené vlhkosti.

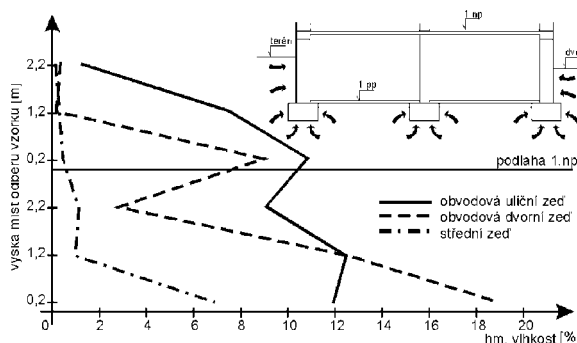
Účinek vlhkosti na stavby

Převážná část historických zděných budov vykazuje zvýšenou vlhkost nadzákladového zdiva a vyžaduje provedení dodatečných hydroizolací a ochrany proti účinku vzliňající kapilární vlhkosti a vlhkosti migrující ve formě vodní páry z podzákladí a ze zeminy obklopující stavební konstrukci v úrovni pod povrchem terénu a vlhkosti z vnějšího a vnitřního prostředí (smáčení povrchů dešťovou vodou, sorpce, kondenzace apod.). Zvýšená vlhkost podzemního a části nadzemního zdiva do výšky 1,2-3,0 m nad terénem je nejčastěji způsobena nedostatečnou, nefunkční a degradovanou nebo častěji chybějící ochranou zdiva před zemní vlhkostí (obr. 1).



Obr. 1. Vzliňání zemní vlhkosti v obvodovém zdivu, chemická, biochemická a fyzikální degradace povrchových vrstev a zdiva

Příčinou zvýšené vlhkosti stavebních konstrukcí a materiálů může být smáčení, prosakování, kapilární vzliňání, kon-

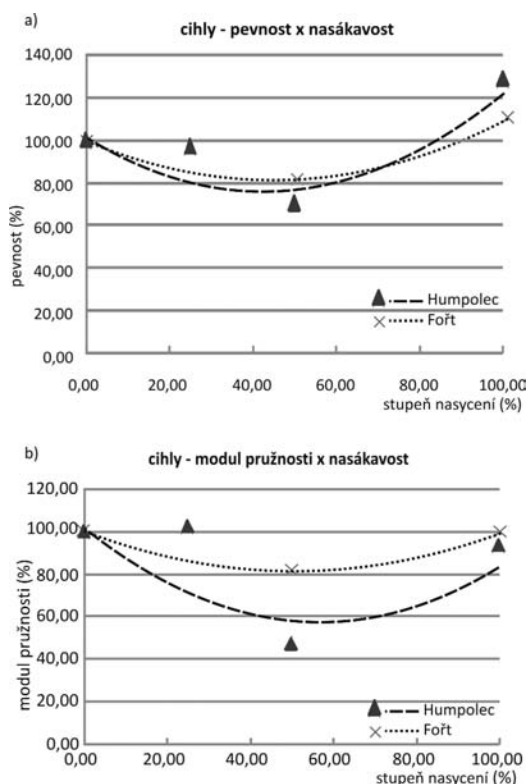


Obr. 2. Průběh vlhkosti ve zdivu

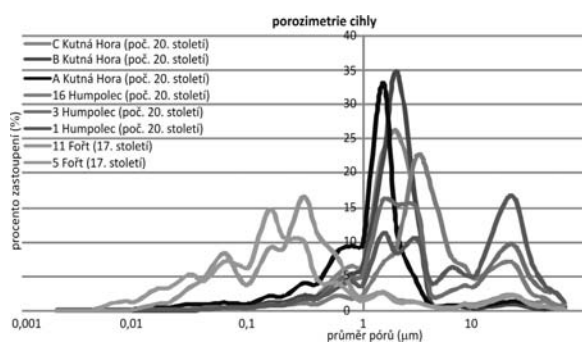
Vlhkost na rozdíl od teploty má hmotnou bázi. Šíří se porézním systémem stavebních látek jednak ve formě páry, jednak ve formě kapaliny. Tento jev, souhrnně označovaný jako transport vlhkosti, souvisí s řadou průvodních jevů, jako je absorpce vody na stěnách pórového systému, s kapilárními jevy a fázovými změnami v závislosti na termodynamických poměrech v pórovém systému. Pro transport páry obvykle aplikujeme mechanismy difúze, pro transport kapaliny kapilární vedení. S výjimkou stavebních látek, vystavených dlouhodobě působení vysoké vlhkosti (stěny nádrží a chladicích věží, podzemní části staveb, konstrukce vystavené kolísání teplot apod.), je rozhodující pro studium transportu vlhkosti zkoumat mechanismy difúze vodních par. Místním rozdílem parciálních tlaků vodních par dochází k difúzi vodních par. Vodní pára difunduje každou látkou, jejichž mezimolekulární mezery jsou větší než střední volná dráha molekul vody ($2,78 \cdot 10^{-7}$ mm). Průběh difúze ovlivňuje mj. kapilární kondenzace, která závisí na charakteru, velikosti, tvaru pórů a jejich povrchu stěn.

Vliv vlhkosti, pórozity a chemizmu na pevnost v tlaku a modul pružnosti zdících prvků

Výzkum vlivu vlhkosti na hodnotu pevnosti zdících prvků v tlaku f_b prokázal závažný vliv vlhkosti na pevnost v tlaku a modul pružnosti poréznych stavebních materiálů. Experimentálně stanovené závislosti pevnosti v tlaku f_b modulu pružnosti E pro cihly zjištěné z jádrových vývrtů, odebraných z historického zdiva, na stupni nasycení pórů jsou znázorněny na obr. 3. Diagramy vyjadřující množství, distribuci a velikost pórů pro jednotlivé druhy cihel stanovené pomocí rtuťové pórozimetrie jsou na obr. 4.



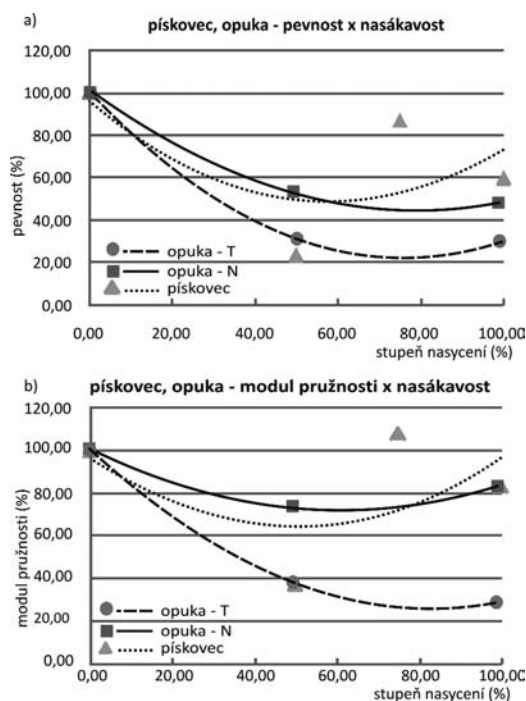
Obr. 3. Závislost pevnosti cihel v tlaku f_b a modulu pružnosti E na stupni nasycení stanovená z jádrových vývrtů \varnothing 35 mm a délky cca 70 mm



Obr. 4. Velikost a rozdělení pórů – cihel stanovené rtuťovou pórozimetrií [5]

Na základě rozboru výsledků experimentálního výzkumu lze, s přihlédnutím k omezenému rozsahu vzorků, konstatovat, že vliv vlhkosti vyjádřený stupněm nasycení pórového systému na pevnost cihel v tlaku f_b a modul pružnosti E

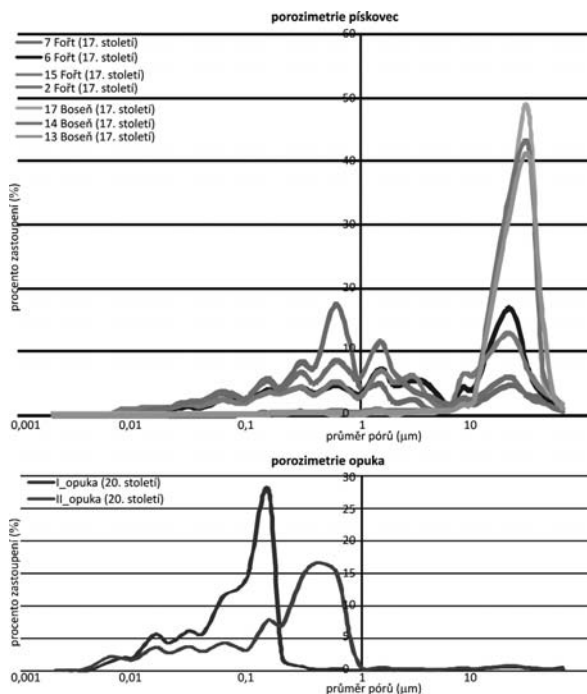
je v intervalu 0-100 % nasycenosti proměnný a kromě stupně nasycenosti závisí také na velikosti a podílu zastoupení jednotlivých pórů. Výsledky výzkumu naznačují, že vliv vlhkosti na zkoumané vlastnosti cihel (f_b , E) je výraznější u cihel s pórovým systémem s významným podílem pórů o velikosti $d \in (0,01-1,00)$ μm v porovnání s cihlami s pórovým systémem obsahujícím významný podíl pórů o velikosti $d \in (1,0-10,0)$ μm . Experimentálně získané grafy závislosti f_b x w a E x w pro pískovec a opuku jsou znázorněny na obr. 5. Distribuce pórů v pískovci a opuce je



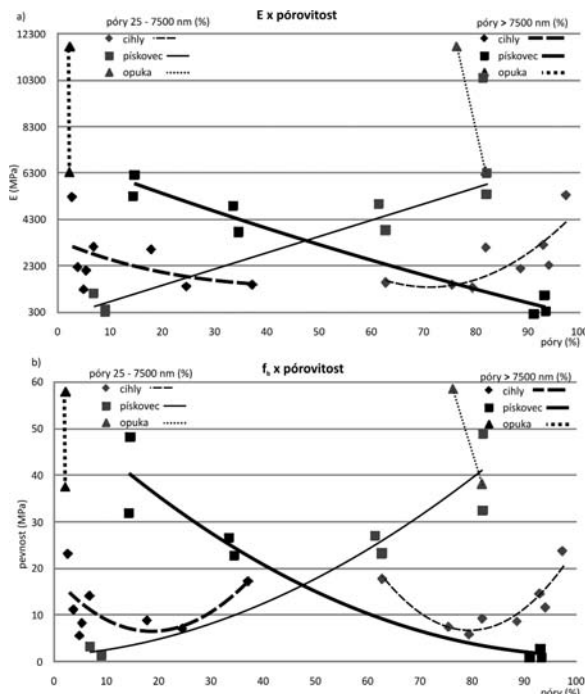
Obr. 5. Závislost pevnosti pískovce a opuky v tlaku f_b a modulu pružnosti E na stupni nasycení stanovená z jádrových vývrtů \varnothing 35 mm a délky cca 70 mm

znázorněna na obr. 6. V případě pískovce je z uvedených závislostí patrné, že pískovec s větším podílem pórů o velikosti $d \in (10-100)$ μm reagují výrazněji, dochází k progresivnějšímu poklesu pevnosti v tlaku f_b a modulu pružnosti E se zvyšujícím se stupněm nasycenosti pórů, v porovnání s pískovcem s větším podílem pórů o velikosti $d \in (0,1-1,0)$ μm . Tento rozdílný vliv stupně nasycenosti pórů kapalnou fází vlhkosti u cihly a pískovce je mj. dán rozdílnou strukturou obou zdících prvků. Zatímco struktura cihly, která je tvořena vypálenou cihlářskou hlinou, je relativně kompaktní, struktura pískovce je vytvořena převážně ze dvou fází – jednotlivými druhy zm, které vytvářejí matici, jejíž mezery vyplňuje pojivo jako druhá fáze. Kapalná fáze vlhkosti vytváří spolu s původní strukturou vícefázovou strukturu (systém), v níž vzájemná interakce jednotlivých fází ovlivňuje výslednou pevnost v tlaku a modul pružnosti (stlačitelnost). Poznání tohoto mechanismu vzájemné interakce vícefázové struktury s náhlou změnou vlastností na rozhraní jednotlivých fází vyžaduje poměrně náročné matematické modelování.

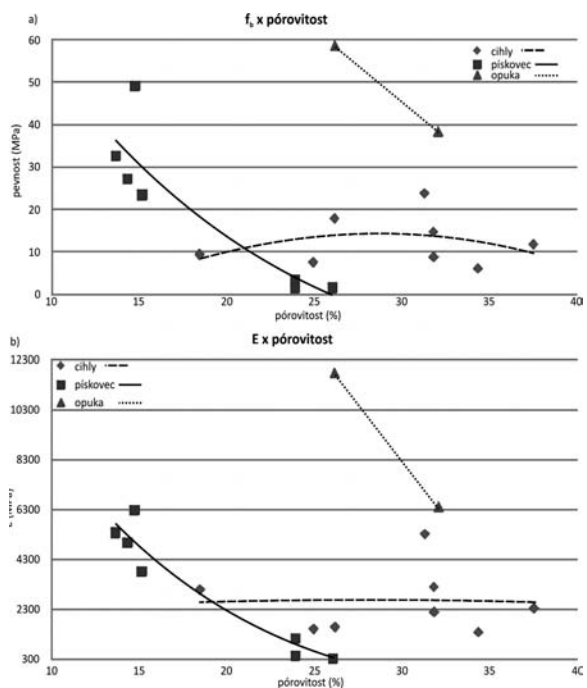
Uvedená konstatování jsou v souladu s výsledky experimentálního a laboratorního výzkumu uskutečněného na materiálech odebraných z historických staveb [2], které jsou znázorněny na obr. 7 a obr. 8, z nichž je patrný, na rozdíl od



Obr. 6. Velikost a rozdělení pórů – pískovec, opuka, stanovené rutovou porozimetrií [5]



Obr. 8. Závislost modulu pružnosti v tlaku E a pevnosti v tlaku f_b na velikosti pórů a jejich podílu na celkové pórovitosti

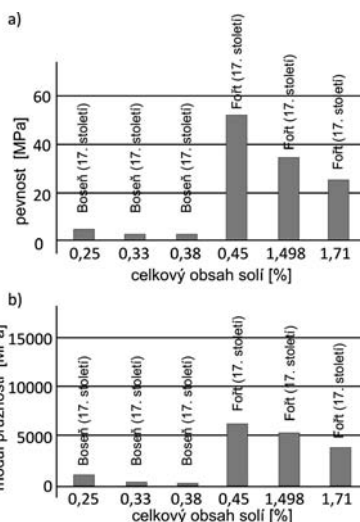


Obr. 7. Závislost modulu pružnosti v tlaku E a pevnosti v tlaku f_b na pórovitosti (cihla, pískovec, opuka)

cihly, výrazný pokles pevnosti v tlaku f_b a modulu pružnosti v tlaku E pískovce se zvyšující se pórovitostí. Obdobný pokles uvedených parametrů byl výsledován také u opuky.

Z průběhu závislosti modulu pružnosti v tlaku E a pevnosti v tlaku f_b na celkovém podílu pórů velikosti v rozsahu 25-7500 nm a pórů větších než 7500 nm jsou patrné rozdíly uvedených závislostí pro cihlu, pískovec a opuku. Z průběhu uvedených závislostí je patrný především výrazný vliv velikosti a podílu makropórů a hrubých pórů na pevnost f_b a modul pružnosti E .

Z dílčích výsledků vlivu salinity (obsahu solí v pórech) je patrné, že soli obsažené v pórovém systému způsobují nejen chemické degradační procesy, v jejichž důsledku dochází v čase ke snížení obsahu pojivové složky, zejména staviva ze sedimentárních hornin, ale že mají i bezprostřední vliv na hodnotu pevnosti f_b a modulu pružnosti v tlaku E (obr. 9).



Obr. 9. Závislost pevnosti v tlaku a modulu pružnosti cihel, pískovce a opuky na celkovém obsahu solí v pórovém systému (podle Wasserbauera)

Shrnutí

Výzkum reziduálních vlastností vybraných druhů zdicích prvků používaných v historických stavbách prokázal potřebu dalšího teoretického a experimentálního výzkumu vlivu vlhkosti, pórovitosti a chemizmu na jejich fyzikální a mechanické vlastnosti. Závažné je zejména zjištění poklesu pevnosti a modulu pružnosti zdicích prvků ze sedimentárních

hornin – zejména pískovce a opuky, tj. zdicích prvků používaných ve značném rozsahu vzhledem k jejich dostupnosti a opracovatelnosti na historické stavby raného středověku (např. bazilika sv. Jiří, chrám sv. Víta, Karlův most). Bez potřebných znalostí v této oblasti nelze zaručit spolehlivost a trvanlivost stavebních opatření realizovaných v rámci opravy, popř. rekonstrukce, zejména památkově chráněných staveb, u nichž byly zděné konstrukce vystaveny dlouhodobému působení vlhkosti.

Příspěvek byl vypracován za podpory projektu č. 103/06/1801 GA ČR „Analýza spolehlivosti vlastností stavebních materiálů a konstrukcí s přihlédnutím k jejich změnám v čase a časově proměnným vlivům“.

Literatura

- [1] Grant GA ČR 103/06/1801 Analýza spolehlivosti vlastností stavebních materiálů a konstrukcí s přihlédnutím k jejich změnám v čase a časově proměnným vlivům, 2006-2008. Hlavní řešitel prof. Ing. Jiří Witzany, DrSc.
- [2] Witzany, J. – Čejka, T. – Zigler, R.: Stanovení zbytkové únosnosti existujících zděných konstrukcí. *Stavební obzor*, 17, 2008, č. 9, s. 257-265. ISSN 1210-4027.
- [3] Witzany, J. – Čejka, T. – Zigler, R.: Vliv vlhkosti na fyzikálně mechanické vlastnosti porézních stavebních materiálů a na únosnost zdiva. *Stavební obzor*, 12, 2003, č. 4, s. 97-104. ISSN 1210-4027.
- [4] Witzany, J. – Čejka, T. – Zigler, R.: Vliv vlhkosti na změny významných fyzikálně mechanických vlastností zdiva a důsledky pro namáhání nosných konstrukcí. *Stavební obzor* 10, 2001, č. 12, s. 15-21. ISSN 1210-4027.
- [5] Weishauptová, Z.: Texturní analýza materiálů podle vysokotlaké rtuťové porozimetrie. [Protokol], AV ČR – Ústav struktury a mechaniky hornin, Praha, 2008.
- [6] Čejka, T.: Vliv vlhkosti na fyzikálně mechanické vlastnosti stavebních materiálů. [Doktorská dizertace], ČVUT, Praha, 2002.

Witzany, J. – Čejka, T.: Research of Physical and Mechanical Characteristics of Porous Masonry Materials

Experimental and laboratory research of residual physical and mechanical characteristics of historical masonry structures [1], [2], in particular determination of residual strength and elasticity modulus in compression, included investigation focused on the effects of moisture content and porosity on the above mentioned properties of masonry elements – bricks, sandstone and arenaceous marl. Partial results published in [2] and in this article have confirmed the need for further research of the effects of porosity, moisture content and chemism on the development of characteristics of building materials used in historical structures in time.

Witzany, J. – Čejka, T.: Untersuchung der physikalisch-mechanischen Eigenschaften poröser Mauerwerksteile

Im Rahmen einer experimentellen und Laboruntersuchung der residualen physikalisch-mechanischen Eigenschaften historischer Mauerwerkskonstruktionen [1], [2], insbesondere der Bestimmung der Restfestigkeit und des Elastizitätsmoduls bei Druckbeanspruchung, wurde eine auf den Einfluss des Feuchtegehalts und der Porosität auf die genannten Eigenschaften von Mauerwerksteilen wie Ziegel, Sandstein- und Mergelbausteine ausgerichtete Untersuchung durchgeführt. Die in [2] und in der vorliegenden Abhandlung publizierten Teilergebnisse belegen die Notwendigkeit der weiteren Untersuchung des Einflusses von Porosität, Feuchtegehalt und Chemismus auf die Entwicklung der Eigenschaften der für historische Bauwerke eingesetzten Baumaterialien in der Zeit.



Nanotechnologie ve stavebnictví

– understanding and modification
of material nano-structure

31. května – 2. června 2009

ČVUT – Fakulta stavební, Praha

- modeling and simulation of nanostructures
- instrumentation, techniques and metrology at nano-scale
- intelligent nano-materials
- R&D frameworks

www.conference.cz/nicom3/

Převod mezi parametry Hoekovy-Brownovy a Mohrovy-Coulombovy podmínky

doc. Ing. Jan PRUŠKA, Ph.D.
Ing. Jan SALÁK, CSc.

ČVUT – Fakulta stavební
Praha

V projekční praxi při statickém posouzení hornin převládá dosud pro popis chování horninového masivu použití Mohrovy-Coulombovy (dále MC) podmínky. Pro klasifikaci horninového masivu a určení jeho předpokládaných vlastností se prosazují indexové (číselné) klasifikace, jejichž indexy jsou použity v Hoekově-Brownově podmínce porušení hornin (dále HB). Proto bylo v minulosti odvozeno několik řešení pro převod mezi parametry m, s HB podmínky porušení hornin a c, φ MC podmínky. Z mnoha řešení jsou podrobně popsána tři nejpoužívanější, je provedeno porovnání jednotlivých řešení pro různé typy hornin, na základě kterého jsou uvedena některá praktická doporučení.

Úvod

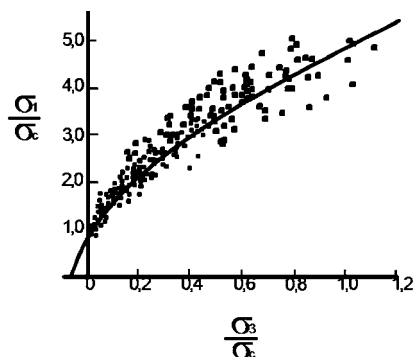
Vzhledem k tomu, že v praxi dosud převládá pro popis chování horninového masivu použití Mohrovy-Coulombovy podmínky, bylo v minulosti odvozeno několik řešení pro převod mezi parametry m, s HB podmínky porušení hornin a c, φ MC podmínky. Z mnoha řešení se nejvíce používají následující tři, a to odvozená:

- Hoekem a Brownem v roce 1990,
- Hoekem, Carranzou-Torresem a Corkumem v roce 2002,
- Sofianem a Halakatevakisem v roce 2003,

která jsou dále podrobněji popsána. Na základě jejich porovnání jsou na závěr článku uvedena některá doporučení.

Hoekova-Brownova podmínka porušení horninového masivu [1]

Původní HB podmínka porušení hornin, publikovaná v roce 1980, umožnila popsat jejich nelineární chování, a to od zdravých skalních až po horniny se střední puklinatostí. Tato podmínka nebyla nová, identické vztahy byly odvozeny již v roce 1936 pro porušení betonu.



Obr. 1. Hoekova-Brownova podmínka porušení horniny

Její význam spočíval v propojení s klasifikacemi hornin, a to nejdříve Bieniawského klasifikací RMR (Rock Mass Rating), později z GSI (Geological Strength Index). Je odvozena na základě měření in-situ (jde tedy o empirickou podmínku – viz obr. 1) a předpokladu, že porušení horninového masivu je řízeno posunem či otočením jednotlivých kusů horniny oddělených mnoha puklinami. U neporušeného masivu je tento předpoklad splněn tím, že se nachází v takovém stavu porušení, že není možné určit řídicí soustavu ploch nespojitosti, a je na něj možné pohlížet jako na izotropní materiál. Objemová přetvoření v pružné oblasti se zde tedy řídí deformačními charakteristikami E a ν , při porušení bude hornina zvětšovat objem a přetvoření jsou počítána podle pravidel teorie plasticity. Podmínka porušení je nelineární a je založena na vztahu mezi větším a menším hlavním napětím

$$\sigma_{1ef} = \sigma_{3ef} + \sigma_c \sqrt{m \sigma_{3ef} / \sigma_c + s}, \quad (1)$$

kde σ_{1ef} je větší hlavní napětí při porušení horniny,
 σ_{3ef} – menší hlavní napětí při porušení horniny,
 σ_c – pevnost horniny v prostém tlaku určená v laboratoři na neporušeném vzorku rozměru 50x100 mm,
 m, s – nelineární parametry závislé na vlastnostech horniny:

– pro porušenou horninu

$$\frac{m}{m_i} = \exp\left(\frac{RMR - 100}{14}\right),$$

$$s = \exp\left(\frac{RMR - 100}{6}\right);$$

– pro neporušenou horninu či horninový masiv s vyklíčenými vrstvami

$$\frac{m}{m_i} = \exp\left(\frac{RMR - 100}{28}\right),$$

$$s = \exp\left(\frac{RMR - 100}{9}\right),$$

kde m_i je pevnostní parametr neporušené horniny pro vrcholové podmínky (tab. 1).

Pevnost horniny v prostém tlaku se vyjádří položením menšího hlavního napětí rovného nule do HB podmínky (1)

$$\sigma_{c\text{mass}} = \sqrt{s \sigma_c}, \quad (2)$$

kde σ_c je pevnost horniny v prostém tlaku, s je nelineární parametr závislé na vlastnostech horniny.

Tab. 1. Přibližné pevnostní parametry neporušené horniny m_i (podle Hoeka)

Horniny	Reprezentant	m_i [-]
vápencové s dobře vyvinutou krystalovou štěpností	dolomit, vápenec, mramor	≈ 7
zpevněné jílovité	jílovec, siltovec, prachovitá břidlice, hlinitá břidlice	≈ 10
písčité s pevnými krystaly a špatně vyvinutou krystalovou štěpností	pískovec, křemenec	≈ 15
jemnozrnné vyvřelé krystalické	andesit, dolerit, diabas, ryolit	≈ 17
hrubozrnné vyvřelé a přeměněné	amfibolit, gabro, rula, žula, křemité diorit	≈ 25

Obdobně položíme větší napětí rovné nule do HB podmínky (1) a řešení získané kvadratické rovnice vede ke vztahu určujícímu pevnost horniny v tahu

$$\sigma_{mass} = \frac{\sigma_c}{2} \left(m - \sqrt{m^2 + 4s} \right),$$

kde σ_c je pevnost horniny v prostém tlaku, m, s jsou nelineární parametry závislé na vlastnostech horniny.

V roce 1988 byla původní HB podmínka pevnosti horniny (1) upravena pro křehký pružnoplastický materiál s reziduálním zpevněním (pokles tuhosti a pevnosti materiálu) pro vrcholové a reziduální podmínky (obr. 2) [4]

$$\sigma_{1p} = \sigma_3 + \sqrt{m_p \sigma_c \sigma_3 + s_p \sigma_c^2},$$

$$\sigma_{1r} = \sigma_3 + \sqrt{m_r \sigma_c \sigma_3 + s_r \sigma_c^2},$$

kde σ_{1p} je maximální hlavní napětí při vrcholových podmínkách,

σ_{1r} – maximální hlavní napětí při reziduálních podmínkách,

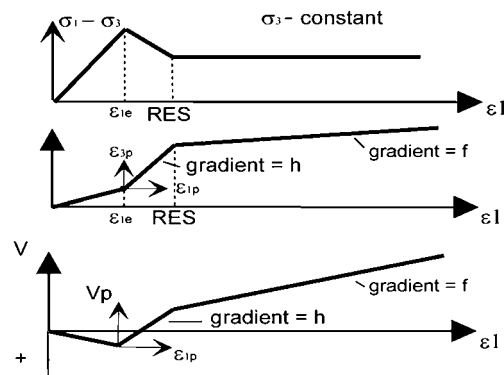
σ_3 – minimální hlavní napětí,

σ_c – pevnost v prostém tlaku horninového vzorku,

m_p, s_p – pevnostní parametry horniny pro vrcholové podmínky (tab. 2),

m_r, s_r – pevnostní parametry horniny pro reziduální podmínky (tab. 2).

Pevnostní parametry horniny se mění z hodnot za vrcholových podmínek na hodnoty při reziduálních podmínkách v přímé závislosti na poklesu maximálního hlavního přetvoření E_1 . Minimální hlavní přetvoření v plastické oblasti se mění úměrně podle maximálního hlavního přetvoření. Z obrázku 2 je patrné, že uvedené chování horniny je možné popsat parametry f, h, α . Chování horniny v plastické oblasti se tedy dá plně definovat parametry $f, h, \alpha, m, s, \sigma_c$.



Obr. 2. Hoekova-Brownova podmínka plasticity pro materiál se zpevněním [4]

Modifikovaná HB podmínka porušení horniny [2] je použitelná i pro horniny se značnou puklinatostí ($RMR \leq 25$). Nejlepší shody bylo dosaženo iterací, při níž byly odvozeny nové parametry a a D pro HB podmínku. Parametr a je exponent, nabývající hodnot 0,50-0,65 (pro původní HB podmínku má hodnotu 0,50), závislý na stupni rozpuštění horniny. Koeficient D zohledňuje porušení horninového masivu vlastní stavbou a jeho hodnota je od 0,0 pro neporušený masiv až po 1,0 pro extrémně rozrušené horniny (tab. 3)

$$\sigma_{1ef} = \sigma_{3ef} + \sigma_c \left(m_b \sigma_{3ef} / \sigma_c + s \right)^a, \quad (3)$$

kde σ_{1ef} je větší hlavní napětí při porušení horniny,
 σ_{3ef} – menší hlavní napětí při porušení horniny,
 σ_c – pevnost horniny v prostém tlaku,
 m_b, s – nelineární parametry závislé na vlastnostech horniny,
 m_i – pevnostní parametry neporušené horniny pro vrcholové podmínky

$$m_b = m_i e^{(GSI - 100 / 28 - 14D)},$$

$$s = e^{(GSI - 100 / 9 - 3D)},$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{(-GSI/15)} - e^{(-20/3)} \right),$$

GSI – hodnota z klasifikace hornin (Geological Strength Index),

D – koeficient porušení horninového masivu (tab. 3).

Z rovnice je patrné, že parametry m_b, s, a jsou závislé na složení horniny a vlastnostech ploch nespojitosti v horninovém masivu (vyjádřených pomocí GSI). Hodnota pevnostního parametru m_i neporušené horniny se určí na základě výsledků experimentů a její typický rozsah je od 4 (pro jílovec) až po 33 (pro granit). Pokud nejsou k dispozici výsledky měření, je možné použít přibližné hodnoty hornin podle Hoeka (tab. 1).

Pevnost horniny v prostém tlaku získáme dosazením menšího hlavního napětí σ_3 s nulovou hodnotou do HB podmínky (3)

$$\sigma_c = \sigma_{ci} \cdot s^a, \quad (4)$$

kde σ_c je pevnost horniny v prostém tlaku,

Tab. 2. Klasifikace hornin podle Hoeka

Klasifikace	Horniny				
	karbonátové s velice dobře vyvinutou štěpností (dolomit, vápenec, mramor)	zpevněné argelické (jílovec, filit, prachovec, břidlice, pelity)	arenitické (psamity, pískovce, kvarzity)	jemně zrnité polyminerálové vyvřelé krystalické (diabas, andesit, dolerit, ariolit)	hrubě zrnité polyminerální vyvřelé a metamorfované (krystalické břidlice, gabro, rula, amfibolit, křemenný diorit)
neporušené horninové vzorky	$m = 7,00$	$m = 10,00$	$m = 15,00$	$m = 17,00$	$m = 25,00$
laboratorní vzorky nemají plochy nespojitosti	$s = 1,00$	$s = 1,00$	$s = 1,00$	$s = 1,00$	$s = 1,00$
$RMR = 100$	$mr = 7,00$	$mr = 10,00$	$mr = 15,00$	$mr = 17,00$	$mr = 25,00$
$Q = 500$	$sr = 1,00$	$sr = 1,00$	$sr = 1,00$	$sr = 1,00$	$sr = 1,00$
horninový masiv velmi dobré kvality	$m = 2,40$	$m = 3,43$	$m = 5,14$	$m = 5,82$	$m = 8,56$
blokově neporušená hornina s nezvětralými puklinami	$s = 0,082$	$s = 0,082$	$s = 0,082$	$s = 0,082$	$s = 0,082$
$RMR = 85$	$mr = 4,10$	$mr = 5,85$	$mr = 8,78$	$mr = 9,95$	$mr = 14,63$
$Q = 100$	$sr = 0,189$	$sr = 0,189$	$sr = 0,189$	$sr = 0,189$	$sr = 0,189$
horninový masiv dobré kvality	$m = 0,575$	$m = 0,821$	$m = 1,231$	$m = 1,395$	$m = 2,052$
nepatrně porušené horniny s nezvětralými puklinami vzdálenými od sebe 1-3 m	$s = 0,00293$	$s = 0,00293$	$s = 0,00293$	$s = 0,00293$	$s = 0,00293$
$RMR = 65$	$mr = 2,006$	$mr = 2,865$	$mr = 4,298$	$mr = 4,871$	$mr = 7,163$
$Q = 10$	$sr = 0,0205$	$sr = 0,0205$	$sr = 0,0205$	$sr = 0,0205$	$sr = 0,0205$
horninový masiv uspokojivé kvality	$m = 0,128$	$m = 0,183$	$m = 0,275$	$m = 0,311$	$m = 0,458$
částečně zvětralé pukliny vzdálené od sebe 0,3-1,0 m	$s = 0,00009$	$s = 0,00009$	$s = 0,00009$	$s = 0,00009$	$s = 0,00009$
$RMR = 44$	$mr = 0,947$	$mr = 1,353$	$mr = 2,030$	$mr = 2,301$	$mr = 3,383$
$Q = 1$	$sr = 0,00198$	$sr = 0,00198$	$sr = 0,00198$	$sr = 0,00198$	$sr = 0,00198$
horninový masiv špatné kvality	$m = 0,029$	$m = 0,041$	$m = 0,061$	$m = 0,069$	$m = 0,102$
četné zvětralé pukliny vzdálené od sebe 30-500 mm	$s = 0,000003$	$s = 0,000003$	$s = 0,000003$	$s = 0,000003$	$s = 0,000003$
$RMR = 23$	$mr = 0,447$	$mr = 0,639$	$mr = 0,959$	$mr = 1,087$	$mr = 1,598$
$Q = 0,1$	$sr = 0,00019$	$sr = 0,00019$	$sr = 0,00019$	$sr = 0,00019$	$sr = 0,00019$

s je nelineární parametr závisící na vlastnostech horniny

$$s = e^{(GSI-100/9-3D)},$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{(-GSI/15)} - e^{(-20/3)} \right),$$

D – koeficient porušení horninového masivu (tab. 3),
 GSI – hodnota z klasifikace hornin GSI,

a pevnost horniny v tahu obdržíme tak, že položíme větší hlavní napětí σ_1 a menší hlavní napětí σ_3 rovné tahové pev-

nosti horniny a dosadíme do HB podmínky (3), což odpovídá dvojosému tahu

$$\sigma_t = -\frac{s\sigma_c}{m_b}, \quad (5)$$

kde σ_c je pevnost neporušené horniny v prostém tlaku a m_b , s jsou nelineární parametry závisící na vlastnostech horniny.

Hoek a Brown odvodili také vztah pro určení hodnoty modulu přetvárnosti horniny. Pro horniny s pevností v pros-

tém tlaku σ_c menší či rovnou 100 MPa platí vztah

$$E_m(GPa) = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \sqrt{\frac{\sigma_c}{100}} \cdot 10^{((GSI-10)/40)}, \quad (6)$$

kde σ_c je pevnost neporušené horniny v prostém tlaku,
 D – koeficient porušení horninového masivu (tab. 3),
 GSI – hodnota z klasifikace hornin,
 a pro horniny s pevností v prostém tlaku σ_c větší než 100 MPa

$$E_m(GPa) = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \cdot 10^{((GSI-10)/40)}, \quad (7)$$

kde D je koeficient porušení horninového masivu (tab. 3) a GSI hodnota z klasifikace hornin.

Tab. 3. Koeficient D zohledňující porušení horninového masivu [2]

Popis	Koeficient D
horninový masiv, zdravá pevná hornina ražba možná pomocí trhaviny či otevřeného TBM	0,0
horninový masiv, méně pevná hornina ražba možná pomocí mechanizace	0,0
horninový masiv, méně pevná hornina ražba pomocí mechanizace, vzhledem k uzavírání díla je nutné provádět výstroj dna či razit horizontálním členěním čelby	0,5
horninový masiv, hornina špatné kvality, často zvětřalá lokální nadvýlomy až 3 m	0,8
skalní svah či výchoz možno provést úpravy řízeným odstřelem	0,7
skalní svah či výchoz úprava trhavinou není možná bez větších porušení horniny	1,0
povrchové doly těžba pomocí trhaviny	1,0
povrchové doly těžba pomocí mechanizace	0,7

Mohrova-Coulombova podmínka

Tato podmínka předpokládá porušení materiálu největším smykovým napětím, při kterém nastává plastické přetvoření materiálu. Smykové napětí roste s velikostí středního normálového napětí, na které má hlavně u zemin velký vliv účinek vnitřního tření. Matematicky se tato podmínka plasticity vyjadřuje výrazem

$$\tau_{\max} = f(\sigma_s), \quad (8)$$

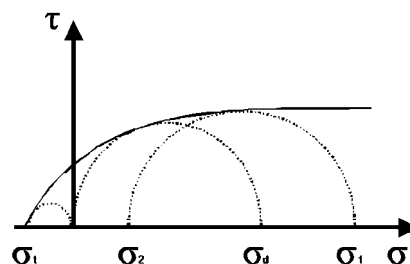
kde τ_{\max} je největší smykové napětí a σ_s střední normálové napětí.

Graficky se MC podmínka vyjadřuje obalovou křivkou Mohrových kružnic, která je symetrická k ose σ a je ve směru osy tlakových napětí otevřená. Její tvar je různý – přímkový, kvadratický či cykloidální, sestrojuje se pomocí několika kružnic napětí. Pro skalní horniny se používá křivka

druhého a vyššího řádu (obr. 3). Pro parabolickou mezní obalovou čáru pevnosti platí vztahy

$$\sigma_1 = \sigma_2 + \sigma_d \cdot \cos 2\alpha_d + \sqrt{2\sigma_d(\sigma_2 + \sigma_t) \cos 2\alpha_d}, \quad (9)$$

kde σ_d je pevnost horniny v tlaku,
 σ_t – pevnost horniny v tahu,
 α_d – úhel smykových ploch,
 σ_1 – větší hlavní napětí,
 σ_2 – menší hlavní napětí.



Obr. 3. Mohrova-Coulombova podmínka plasticity skalních hornin

U hornin poloskalních se používá obalová čára ve tvaru přímky, pro kterou platí vztah

$$\sigma_2 = \sigma_1 \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) - 2c \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right), \quad (10)$$

kde φ je úhel vnitřního tření horniny,
 c – soudržnost horniny,
 σ_1 – větší hlavní napětí,
 σ_2 – menší hlavní napětí.

Pro horniny sypké a úlomkovité má obalová čára přímkový charakter a platí pro ni vztah

$$\sigma_2 = \sigma_1 \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right), \quad (11)$$

kde φ je úhel vnitřního tření horniny, σ_1 větší hlavní napětí, σ_2 menší hlavní napětí.

Řešení Hoeka a Browna [3]

Hoek a Brown odvodili soubor rovnic nutných pro výpočet c , φ pro tři různé podmínky:

- pro známou hodnotu efektivního normálového napětí σ_n , což je typické při řešení stability svahu

$$h = 1 + \frac{16(m\sigma_n + s\sigma_c)}{3m^2\sigma_c},$$

$$\theta = \frac{1}{3} \left(90 + \arctan \frac{1}{\sqrt{h^3 - 1}} \right), \quad (12)$$

$$\phi = \arctan \frac{1}{\sqrt{4h \cos^2 \theta - 1}},$$

$$\tau = (\cot \phi - \cos \phi) \frac{m\sigma_c}{8},$$

$$c = \tau - \sigma_n \tan \phi;$$

■ pro známou hodnotu menšího hlavního napětí σ_3 . Tento přístup je vhodný při řešení napětí okolo podzemních děl

$$\begin{aligned} \sigma_n &= \sigma_3 + \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2(\sigma_1 - \sigma_3) + \frac{1}{2} m \sigma_c}, \\ \tau &= (\sigma_n - \sigma_3) \sqrt{1 + \frac{m \sigma_c}{2(\sigma_1 - \sigma_3)}}, \\ \phi &= 90 - \arcsin\left(\frac{2\tau}{(\sigma_1 - \sigma_3)}\right), \\ c &= \tau - \sigma_n \tan \phi; \end{aligned} \quad (13)$$

■ pro případ, kdy jsou pro obě podmínky (HB a MC) stejné hodnoty pevnosti horniny v tlaku při jednoosém zatížení, což je vhodné, pokud neznáme hodnotu normálového napětí σ_n či menšího hlavního napětí σ_3

$$\begin{aligned} \sigma_n &= \frac{2s\sigma_c}{4\sqrt{s} + m}, \\ \tau &= \sigma_n \sqrt{1 + \frac{m}{2\sqrt{s}}}, \\ \phi &= 90 - \arcsin\left(\frac{2\tau}{\sqrt{s}\sigma_c}\right), \\ c &= \tau - \sigma_n \tan \phi. \end{aligned} \quad (14)$$

Řešení Hoeka, Carranzy-Torrese a Corkuma [2]

Vztahy pro určení ekvivalentního úhlu vnitřního tření ϕ' a ekvivalentní pevnosti v soudržnosti c' pro zadaný rozsah napětí v horninovém masivu nabízí toto řešení. Principem je hledání odpovídajících lineárních vztahů popisující přímky odpovídající nelineární závislosti mezi hlavními napětími podle HB podmínky pro zadaný rozsah napětí $\sigma_1 < \sigma_3 < \sigma_{3max}$ a zavedení konceptu globální pevnosti horninového masivu. Zavedení globální pevnosti horniny umožňuje se oprostít od posuzování čistě numerického překročení pevnosti horniny v daném místě a lépe vystihnout chování celého horninového masivu v okolí podzemního díla (např. vliv pilíře horniny při svislém dělení čelby). Vztah pro určení globální pevnosti horniny σ'_{cm} vychází z MC podmínky

$$\sigma'_{cm} = \frac{2c' \cos \phi'}{1 - \sin \phi'}, \quad (15)$$

kde ϕ' je ekvivalentní úhel vnitřního tření, c' je ekvivalentní soudržnost, a pro uvažovaný rozsah napětí $\sigma_1 < \sigma_3 < \sigma_c/4$ má tvar

$$\sigma'_{cm} = \sigma_c \cdot \frac{(m_b + 4s - a(m_b - 8s))(m_b/4 + s)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)}, \quad (16)$$

kde σ_c je pevnost neporušené horniny v prostém tlaku a m_b, s jsou nelineární parametry závislé na vlastnostech horniny

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{(-GSI/15)} - e^{(-20/3)} \right),$$

přičemž GSI je hodnota z klasifikace hornin.

Naznačený postup vede k následujícím vztahům pro určení ekvivalentního úhlu vnitřního tření ϕ' a ekvivalentní soudržnosti c' pro rozsah napětí v horninovém masivu $\sigma_1 < \sigma_3 < \sigma_c/4$,

$$\begin{aligned} \phi' &= \sin^{-1} \left[\frac{6am_b(s + m_b\sigma'_{3a})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b(s + m_b\sigma'_{3a})^{a-1}} \right], \\ c' &= \frac{\sigma_c [(1+2a)s + (1-a)m_b\sigma'_{3a}](s + m_b\sigma'_{3a})^{a-1}}{(1+a)(2+a)\sqrt{1 + (6am_b(s + m_b\sigma'_{3a})^{a-1})/((1+a)(2+a))}}, \end{aligned} \quad (17)$$

kde σ_c je pevnost neporušené horniny v prostém tlaku; m_b, s jsou nelineární parametry závislé na vlastnostech horniny

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{(-GSI/15)} - e^{(-20/3)} \right),$$

GSI je hodnota z klasifikace hornin.

Maximální hodnota menšího napětí σ_{3max} , určující horní limit mezního napětí (a tím také rozsah platnosti převodních vztahů), musí být určena samostatně pro každý řešený případ. Hoek vyřešil obecný vztah pro hodnotu σ_{3max} pro dvě základní úlohy:

■ pro tunely s vysokým nadložím (napětí v okolním masivu) či tunely s nízkým nadložím (velikost poklesové kotliny), kdy nadloží je menší než tři průměry tunelu

$$\frac{\sigma'_{3max}}{\sigma'_{cm}} = 0,47 \left(\frac{\sigma'_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0,94}, \quad (18)$$

kde σ'_{cm} je globální pevnost horniny, γ objemová tíha horniny, H výška nadloží, v případě, že vodorovné napětí je větší než svislé, tak se zadává místo γH vodorovné napětí;

■ skalní svahy – určení stability svahu a polohy kritické smykové plochy

$$\frac{\sigma'_{3max}}{\sigma'_{cm}} = 0,72 \left(\frac{\sigma'_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0,91}, \quad (19)$$

kde σ'_{cm} je globální pevnost horniny, γ objemová tíha horniny, H výška svahu.

Řešení Sofianose a Halakatevakise [5], [6]

Sofianos a Halakatevakis odvodili vztahy pro určení parametrů c, ϕ MC podmínky na základě předpokladu, že rozsah hodnot c, ϕ je přímo určen pevností horninového masivu a napětí v hornině. V případě osově symetrických podzemních děl se menší hlavní napětí nachází na lici výrubu a je rovno odporu výstroje p_i . Minimální hodnota odporu výstroje p_i může být u nevystrojeného výrubu nulová. Horní limit menšího hlavního napětí se při vytvoření plastické oblasti v okolí výrubu rovná napětí na rozhraní plastické a pružné oblasti

$$\frac{p_e}{\sigma_c} = \frac{p_{eo}}{\sigma_c} - \frac{(p_{eo}/\sigma_c) + (1/2)[m_b(p_{eo}/\sigma_c) + s]^a - \frac{p_o}{\sigma_c}}{1 + (a/2)m_b[m_b(p_{eo}/\sigma_c) + s]^{a-1}}, \quad (20)$$

kde p_{eo} je napětí na vnější hranici plastické oblasti horniny podle původní HB podmínky (1)

$$\frac{p_{eo}}{\sigma_c} = \frac{p_o}{\sigma_c} - \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{m_b}{4}\right)^2 + m_b \frac{p_o}{\sigma_c} + s} - \frac{m_b}{8},$$

- p_o – napětí v hornině od vlastní tíhy,
- σ_c – pevnost neporušené horniny v prostém tlaku,
- m_b, s – nelineární parametry závislé na vlastnostech horniny

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{(-GSI/15)} - e^{(-20/3)} \right)$$

GSI – hodnota z klasifikace hornin.

Parametry c, φ MC podmínky jsou odvozeny pro rozsah napětí (obr. 4)

$$\sigma_1 < \sigma_3 < \sigma_{3max},$$

kde $\frac{\sigma_1}{\sigma_c} = -\frac{s}{m_b},$

$$\frac{\sigma_{3max}}{\sigma_c} = 0,47 \frac{p_o}{\sigma_c} \left(\frac{\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_c}}{\frac{p_o}{\sigma_c}} \right)^{0,06},$$

$$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_c} = \frac{[m_b + 4s - a(m_b - 8s)][(m_b/4) + s]^{a-1}}{2(1+a)(2+a)},$$

- p_o je napětí v hornině od vlastní tíhy,
- σ_c – pevnost neporušené horniny v prostém tlaku,
- m_b, s – nelineární parametry závislé na vlastnostech horniny,

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{(-GSI/15)} - e^{(-20/3)} \right)$$

GSI – hodnota z klasifikace hornin,

pro MC podmínku ve tvaru

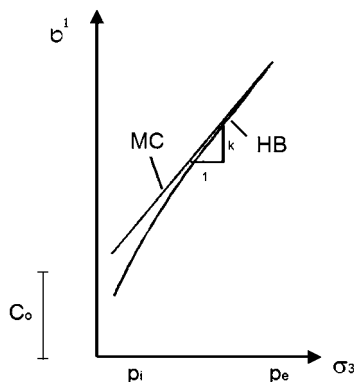
$$\sigma_1 = k\sigma_3 + C_o, \tag{21}$$

$$C_o = \frac{4m_b(p_e^3 - p_i^3) + 6s(p_e^2 - p_i^2)}{(p_e - p_i)^4} \times \frac{(m_b p_e + s)^{a+1} - (m_b p_i + s)^{a+1}}{m_b^2(a+1)} -$$

kde

$$\frac{6(p_e^2 - p_i^2)}{(p_e - p_i)^4} \times \frac{(m_b p_e + s)^{a+2} - (m_b p_i + s)^{a+2}}{m_b^2(a+2)} ;$$

$$k = 1 - \frac{12s + 6m_b(p_e + p_i)}{(p_e - p_i)^3} \times \frac{(m_b p_e + s)^{a+1} - (m_b p_i + s)^{a+1}}{m_b^2(a+1)} + \frac{12}{(p_e - p_i)^3} \times \frac{(m_b p_e + s)^{a+2} - (m_b p_i + s)^{a+2}}{m_b^2(a+2)}.$$



Obr. 4. Nelineární HB a nejlépe odpovídající lineární MC podmínka pro rozsah napětí p_i-p_e

Porovnání řešení

Výsledky přepočtu parametrů MC podmínky z HB podmínky podle tří uvedených postupů pro různé horniny a nevystrojený výrub s nadložím 40 m a napětím v masivu p_o 1 MPa (tj. liší se průměr výrubu) jsou uvedeny v tab. 4.

Tab. 4. Porovnání řešení

Napětí od vlastní tíhy p_o	Odpor výstroje	Pevnost horniny v prostém tlaku	Parametr m_i dle HB	GSI	c	φ	c	φ	c	φ
					HB 1990		HB 2002		Sofian	
[MPa]					[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]
1	0	150	25,0	75	13,0	46,0	3,500	68,0	4,100	65,2
1	0	80	12,0	50	3,50	33,0	0,600	59,0	0,620	61,2
1	0	20	8,0	30	0,60	24,0	0,140	41,0	0,090	46,7
1	0	51	16,3	75	4,30	42,0	1,510	61,5	1,690	60,1
1	0	30	15,6	65	2,00	40,0	0,580	58,1	0,540	61,8
1	0	5	9,6	20	0,09	22,4	0,07	28,4	0,060	28,8
1	0	15	10,0	24	0,34	24,0	0,120	38,4	0,070	43,2
1	0	5	10,0	10	-	-	0,046	24,1	0,042	23,3

Závěr

Z mnoha řešení pro převod mezi parametry MC a HB podmínky dávají největší shodu řešení odvozená v poslední době, tj. po roce 2000. Je dobré si uvědomit, že princip novějších řešení využívá matematickou aproximaci závislosti hlavních napětí a jeho přesnost je daná jednak intervalem uvažovaného napětí a jednak okrajovými podmínkami řešení, nicméně je vždy na straně bezpečné. Určitá nevýhoda novějších řešení je v použití indexové klasifikace (*GSI*). Ta není u nás rozšířena, a protože to není čistá tunelářská klasifikace, umožňuje pouze stanovení geomechanických parametrů horninového masivu a „ignoruje“ vhodnost masivu pro tunelování.

Příspěvek byl zpracován v rámci řešení výzkumného záměru MSM 6840770003 „Rozvoj algoritmů počítačových simulací a jejich aplikace v inženýrství“.

Pruška, J. – Salák, J.: Conversion between Parameters of Hoek-Brown and Mohr-Coulomb Condition

Mohr-Coulomb yield surface is often used for static analysis of rocks in engineering practice, but in classification of rock mass index classifications are widely employed. Indexes of these classification systems can be applied directly to Hoek-Brown yield function. Therefore, several solutions for parameters conversion of these functions were derived. Three of them – Hoek, Brown (1990), Hoek, Carranza (2002) and Sofian, Halakatevakis (2003) are described in detail, results are compared for several rock types and some recommendations for practice are presented.

Pruška, J. – Salák, J.: Überführung zwischen Parametern der Hoek-Brown- und der Mohr-Coulomb-Bedingung

In der Planungspraxis herrscht bei der statischen Beurteilung von Gesteinen für die Beschreibung des Verhaltens eines Gesteinsmassivs bisher die Anwendung der Mohr-Coulomb-Bedingung vor. Für die Klassifizierung eines Gesteinsmassivs und die Bestimmung seiner vorausgesetzten Eigenschaften setzen sich Index- (Ziffern-) Klassifizierungen durch, deren Indizes in der Hoek-Brown-Bedingung der Störung von Gesteinen angewandt werden (im Folgenden "HB"). Deshalb wurden in der Vergangenheit mehrere Lösungen für die Überführung zwischen den Parametern m und s der HB-Bedingung von Gesteinsstörungen sowie c und φ der MC-Bedingung abgeleitet. Von den vielen Lösungen werden die drei am meisten benutzten ausführlich beschrieben. Es wird ein Vergleich der einzelnen Lösungen für verschiedene Gesteinstypen durchgeführt, auf dessen Grundlage einige praktische Empfehlungen angeführt werden.

Literatura

- [1] Hoek, E. – Broen, E. T.: Empirical Strength Criterion for Rock Masses. ASCE, J. Geotech. Eng. 1980, 106 (GT9), 1013–1036.
- [2] Hoek, E. – Carranza-Torres, C. – Corkum, B.: Hoek-Brown Failure Criterion – 2002 Edition. Proceedings of the North American Rock Mechanics Society Meeting, Toronto, July 2002.
- [3] Hoek, E.: Estimating Mohr-Coulomb Friction and Cohesion Values from the Hoek-Brown Failure Criterion. In: Int. Journal Rock Mechanics and Mining Science, 1990, 27 (3), 227–229.
- [4] Hoek, E. – Broen, E. T.: Practical Estimates of Rockmass Strength. Int. Journal Rock Mechanics and Mining Science, 1997, 34(8), 1165–1186.
- [5] Sofianos, A. I.: Tunnelling Mohr-Coulomb Strength Parameters for Rock Masses Satisfying the Generalized Hoek-Brown Criterion. Int. Journal Rock Mechanics and Mining Science, 2003, 40, 435–440
- [6] Sofianos, A. I. – Halakatevakis, N: Equivalent Tunneling Mohr-Coulomb Strength Parameters for Given Hoek-Brown Ones. Int. Journal Rock Mechanics and Mining Science, 2002, 39 (1), 131–137.

● dizertace



Interferometric Stacks in Partially Coherent Areas

Ing. Ivana Hlaváčková

Dizertace se zabývá interferometrickým posouzením a určením poklesů poblíž obce Košťany v poddolovaném území Ervěnického koridoru. Výsledkem je zjištění, že změny výšek nelze do budoucna s určitostí předpovědět.

Pozemkové úpravy vyvolané investičními záměry, jejich navrhování a návaznost na GIS

Ing. Josef Vlasák

V práci se studuje problematika pozemkových úprav vyvolaných zejména výstavbou dálnic a jejími důsledky pro současnou síť polních cest. Jako matematický model se používá teorie grafů.

Inovace měření v lokálních geodetických sítích

Ing. Tomáš Jiřikovský

Práce je zaměřena na inovaci pozorovacích metod v aplikacích při budování malých geodetických sítí. Dotýká se též otázek laserového skenování i vhodnosti měření vysoké přesnosti pro některé problémy.

Modely virtuální reality ve stavebnictví a architektuře

Ing. Jan Dvořák

Dizertace se věnuje problematice teoretických základů virtuální reality a jejich aplikaci ve stavebnictví a architektuře.

Vícekritériální hodnocení variant informačních systémů

Ing. Radek Hnízdil

V dizertaci se navrhuje kritéria umožňující hodnocení rizik při projektování a implementaci informačních systémů. Výsledkem je praktická webová aplikace umožňující výběr informačního systému ve stavebnictví.

Kontrola provedení zemních prací automaticky řízeným dozerem

Ing. Tomáš KŘEMEN
prof. Ing. Jiří POSPÍŠIL, CSc.
ČVUT – Fakulta stavební, Praha

Ing. Terezie VONDRÁČKOVÁ
ČZU – Technická fakulta, Praha

V článku je prezentován experiment s automaticky řízeným dozerem. Důraz je kladen na kontrolní měření provedených zemních prací totální stanicí a terestrickým laserovým skenovacím systémem.

Úvod

V současné době při provádění rozsáhlejších zemních prací, jako je například výstavba dálnic, začínají nacházet uplatnění automaticky řízené zemní stroje. Lze s nimi dosáhnout výrazných úspor času, materiálu, pohonných hmot a v neposlední řadě i pracovníků.

Automatické řídicí systémy lze instalovat na dozery, rypadla, grejdry atd. Obvykle se skládají z řídicí jednotky, hydraulického systému ovládajícího pracovní nástroj a navigačního systému. Na zemních strojích se používají dva typy navigačních systémů – totální stanice umístěná mimo stroj, cílicí na přijímači a vysílací senzor na řízeném stroji, a globální navigační satelitní systém (GNSS), skládající se z referenční stanice umístěné mimo stroj a stanice na řízeném stroji.



Obr. 1. Dozer CAT D6K s GNSS přijímači Trimble MS990 a roverem Trimble SPS851

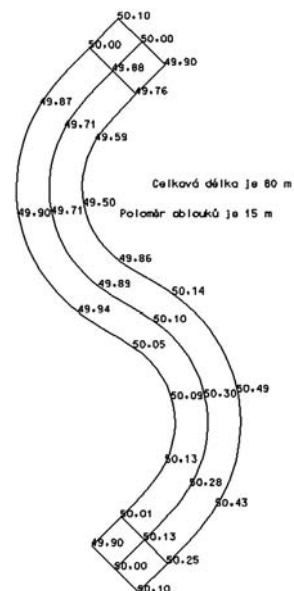
Nejprve se připraví digitální verze projektu zemních prací a uloží se do řídicí jednotky instalované společně s hydraulikou na stroji. Poté se připraví navigační systém. Při použití totální stanice, kterou lze řídit pouze jeden stroj, je nutné zajistit v pracovní oblasti přímou viditelnost. U systému GNSS není přímá viditelnost mezi referenční stanicí a stanicí na stroji nutná. Pomocí jedné referenční stanice lze řídit více strojů. Obsluha pouze pojezdí strojem po upravované lokalitě a systém automatického řízení nastavuje pracovní nástroj do správné polohy.

Kromě standardních geodetických metod se ke kontrole provedení zemních prací začaly používat skenovací systémy. Lokalita se zaměří před terénní úpravou a po ní. Měření před úpravou slouží i jako zdroj dat pro projekt řízení prací.

Automatické řízení strojů podle výrobců přispívá k výrazné úspoře pohonných hmot, materiálu, času a zvyšuje přesnost provedení zemních prací. Konkrétní příklady úspor však neuvádějí, a proto byl v rámci projektu „Vliv použití progresivní techniky na urychlení technologických a měřicích procesů“ č. 103/06/0617 proveden experiment s automaticky řízeným dozerem pomocí GNSS.

Přípravné práce

Pro ověření přesnosti provedení zemních prací byla vybrána lokalita staveniště golfového hřiště v katastru obce Lahovice. První den probíhaly přípravné a zemní práce [1], druhý den jejich kontrola třemi geodetickými metodami. Pro zemní práce byl zvolen automaticky řízený dozer Caterpillar D6K XL s šestisměrnou radlicí vybavený systémem řízení Trimble GCS900 v sestavě Dual GPS, skládající se ze dvou GNSS přijímačů Trimble MS990, ovládací jednotky CB430 a referenční stanice Trimble SPS851 (obr. 1).



Obr. 2. Realizovaná část komunikace s výškovými údaji v metrech

Ověřovala se podkladová vrstva silniční komunikace ve tvaru písmene S délky 144 m s konstantní šířkou 8 m. Převýšení mezi počátečním a koncovým bodem bylo nulové. Trasa komunikace však byla výškově členitá (obr. 2). Bylo realizováno 80 m trasy.

Před zahájením zemních prací byly provedeny přípravné měřické práce a zaměřeny tři body dočasného pole v místním souřadnicovém systému. Na jeden z těchto bodů byla provedena kalibrace projektu (umístění do terénu) [1]. Zaměření zájmového území před zahájením zemních prací bylo podkladem pro vytvoření digitálního modelu terénu před úpravou a bylo provedeno GNSS roverem Trimble SPS851.

Pásový dozer CAT D6K

Šestiválcový řadový motor se zdvihovým objemem 6,6 l dozeru Cat C6.6 je vybaven palivovým systémem Caterpillar „Common Rail“. Řada inovací zabezpečuje elektronické řízení na nejvyšší současné úrovni, přesnou dodávku paliva a přívodu vzduchu do motoru. Motor má vysokou výkonnost a mimořádně nízké emise. Má kompaktní konstrukci s komponenty zesílenými pro těžký provoz. Kombinace zvýšeného nárůstu točivého momentu a maximálního výkonu zlepšuje odezvu motoru na ovládání, zajišťuje vyšší tažnou sílu a kratší časy cyklů hrnutí.

Dozer D6K je vybaven elektronicky řízeným hydrostatickým systémem pohonu se samostatným ovládním a nezávislým řízením výkonu každého pásu, což umožňuje rychlou akceleraci, plynulou změnu rychlosti pojezdu a řazení změny směru pojezdu dopředu/dozadu při plném výkonu motoru. Elektronicky řízený hydrostatický systém pohonu automaticky udržuje otáčky motoru, což odpovídá požadavkům na výkon. Umožňuje plynule měnit rychlost pojezdu od 0 do 10 km/h při pojezdu dopředu i dozadu. To dovoluje obsluhu zvolit optimální rychlost podle terénu a typu práce. Tím nedochází k přerušování přenosu výkonu, běžnému při řazení. Přenos výkonu na pásy i během zatáčení stroje a možnost protichodu pásů zvyšuje manévrovací schopnosti stroje a jeho produktivitu. Při zatáčení dochází ke zpomalení jednoho pásu proti druhému, ale přitom se výkon stále přenáší na oba pásy. Ze stanoviště obsluhy lze hydraulicky nastavit výšku i náklon radlice VPAT a úhel řezu.

Pro měření byl dozer vybaven navigačním systémem AccuGrade GPS, který vypočítává informace o poloze stroje, porovnává polohu radlice se stavebním projektem a předává je posádce na displej instalovaný v kabině. Obsluha je tak informována o výšce radlice, potřebě odhrnout nebo přihnout materiál, má vizuální indikaci polohy radlice nad projektovaným povrchem a vidí grafické znázornění stroje s jeho indikací umístění. AccuGrade GPS tak dodává všechny potřebné informace a výsledkem je ovládní vyšší úrovně. Prostředky pro vertikální a horizontální navádění vizuálně vedou posádku k dosažení požadované výšky a sklonu.

Automatizované funkce umožňují hydraulickému systému ovládat nastavení radlice, aby její poloha odpovídala požadované rovině. Posádka využívá naváděcí prostředky a řídí stroj tak, aby byla průběžně dodržována výška a sklon, což se odrazí ve vyšší produktivitě práce a omezení únavy obsluhy. Pobíhající měření prokázala vysokou produktivitu práce, kdy vytvoření náročného profilu s různými sklony bylo realizováno během tří hodin.

Zemní práce

Kalibrační soubor z GNSS roveru a projekt komunikace byly přes kartu compact flash nahrány do ovládací jednotky CB430, umístěné v kabině dozeru [1]. Strojník na barevném displeji viděl aktuální polohu stroje a detailní polohu radlice vůči projektu. Práce obsluhy spočívala pouze v řízení a směřování stroje tak, aby automaticky pohybující se radlice kopírovala krajnici nebo osu komunikace. Radlice se při

automatickém režimu pohybovala podle potřeby ve směru nahoru/dolů. V situacích, kdy bylo nutné shrnout nebo nahrnout větší množství materiálu, strojník vypnul automatické řízení radlice a činnost provedl standardním způsobem.

Kontrolní měření

Kontrolní zaměření provedení zemních prací bylo rozděleno na dvě části. První den byla upravená oblast zaměřena GNSS roverem, druhý den prostorovou polární metodou a pozemním skenováním. Při kontrolním měření prostorovou polární metodou byla totální stanice Topcon GPT 2006, umístěná přibližně uprostřed zájmové oblasti, připojena metodou volného stanoviska do místního souřadnicového systému pomocí třech bodů stabilizovaných a zaměřených předchozí den. Bylo zaměřeno sto podrobných bodů v patnácti příčných řezech. Celé měření bylo provedeno z jednoho stanoviska.

Pro měření pozemním skenovacím systémem Leica HDS 3000 bylo totální stanici zhuštěno bodové pole o jeden bod na čtyři body. Bodové pole bylo poté signalizováno speciálními terčí a zaměřeno skenovacím systémem pro připojení kontrolního měření do místní souřadnicové soustavy. Skenovací systém byl umístěn přibližně uprostřed zájmové oblasti tak, aby byla vidět co největší část upravovaného povrchu. Celé měření probíhalo z jednoho stanoviska.

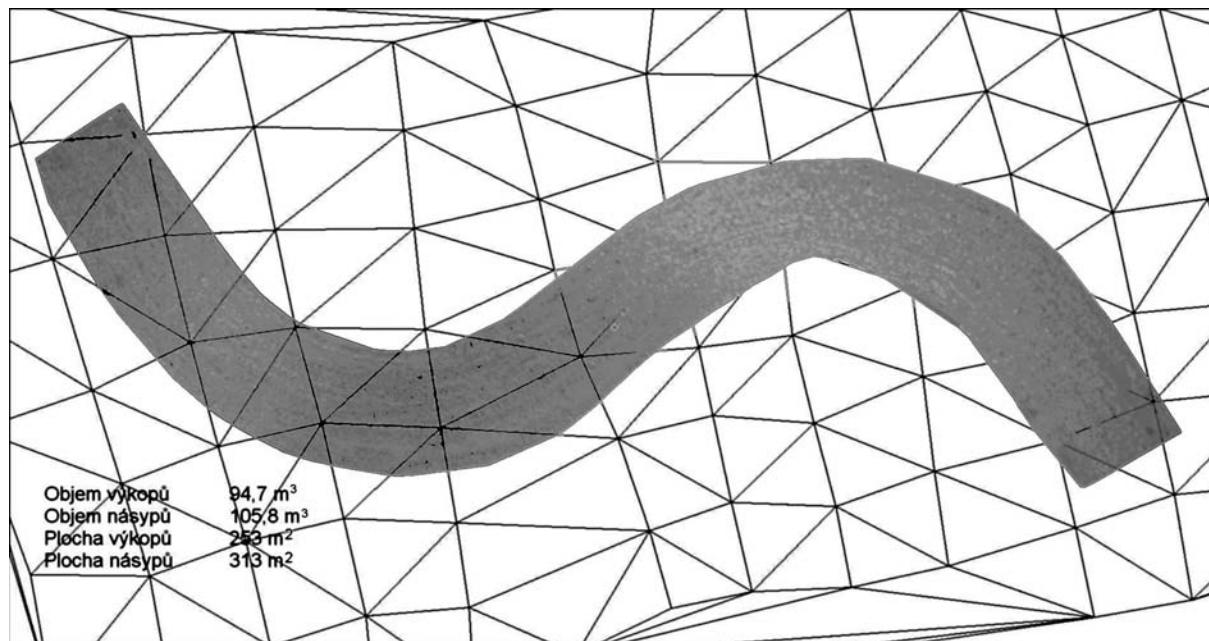
Zpracování měření

Podrobné body, získané před zahájením zemních prací pomocí GNSS, byly použity jako podklad pro řízení dozeru a pro vytvoření digitálního modelu terénu před úpravou. Po skončení prací byla komunikace znovu zaměřena pomocí GNSS a vytvořen model oblasti po úpravě. Oba modely byly vytvořeny v programu Cyclone. Data z totální stanice i skenovacího systému byla zpracována ve stejném programu a byly z nich vytvořeny modely po úpravě. Celkem byl získán jeden digitální model terénu před úpravou a tři modely po úpravě (GNSS, totální stanice a skenovací systém). Pro vyhodnocení byl ještě použit model projektu. Všechny modely byly ve stejném místním souřadnicovém systému.

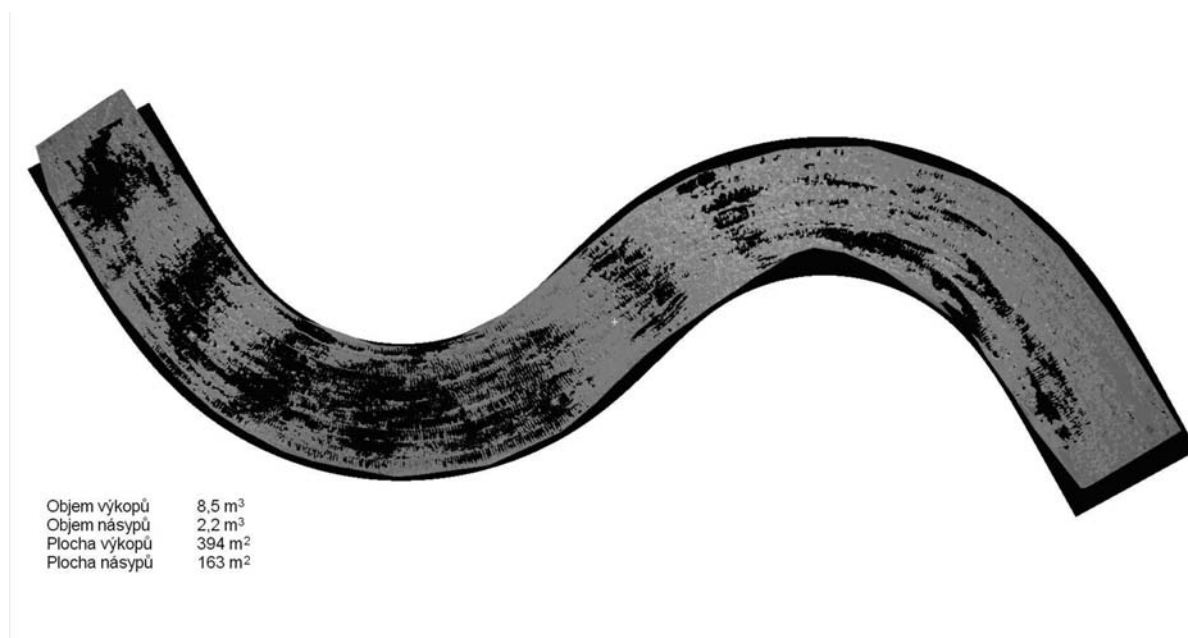
Vyhodnocení

Vyhodnocení naměřených dat proběhlo porovnáním objemu a ploch výkopů a násypů mezi výše zmíněnými digitálními modely terénu (*tab. 1*). V tabulce jsou vždy uvedeny dva modely. Jejich porovnáním se získají údaje o objemu výkopů a násypů spolu s plochou vztaženou k prvnímu modelu, tedy kolik výkopů a násypů a na jaké ploše je potřeba udělat na prvním modelu, aby se získal druhý model. Rozdíl v součtu ploch výkopů a násypů jednotlivých porovnání je způsoben různou velikostí modelů. Pro menší objem dat z měření GNSS a totální stanice je nebylo možné ztotožnit. Digitální modely terénu z měření před úpravou (drátová síť) a z měření skenerem (síť s šedou texturou) jsou na *obr. 3*. Z obrázku i z tabulek je patrné, že projekt byl do terénu umístěn se snahou o vyrovnanou bilanci zemních prací. V levé polovině bylo potřeba zeminu nahrnout, zatímco v pravé polovině ji bylo třeba odstranit.

Z uvedených výsledků vyplývá, že nejlépe se k projektu přimyká model získaný metodou pozemního skenování. Porovnání modelů získaných ze skeneru (šedý) a z projektu (černý) je uvedeno na *obr. 4*. Díky vysoké hustotě podrobných bodů (rozestup bodů přibližně v centimetrech) bylo touto metodou také získáno největší množství informací o zaměřované oblasti proti ostatním metodám (rozestup bodů



Obr. 3. Model získaný ze skeneru a model před úpravou



Obr. 4. Model získaný ze skeneru a model projektu

v metrech). Prostorová polární metoda a metoda GNSS byly zatíženy systematickou chybou mírného zanoření hrotu výtyčky do terénu při podrobném měření. Proto jsou jejich výsledné modely lehce zanořené pod model projektu. Přesnost těchto dvou metod je rovněž ovlivňována hustotou zaměřených podrobných bodů a jejich volbou v terénu.

Tento výsledek potvrzuje výstupy experimentů zabývajících se přesností digitálních modelů terénu získaných různými geodetickými metodami [2]. Při dodržení zásad rozmístění identických bodů a vhodně stanovené hustotě skenování je výsledná přesnost modelu získaného ze skenování vysoká a vyhovuje požadavkům na kontrolní metodu provedení zemních prací.

Závěr

Řešitelskému týmu se podařilo vhodnou kombinací doze-ru vybaveného progresivním navigačním systémem Accu-Grade@Laser a GPS pro ovládání a navádění stroje se stavebním pozičním systémem Trimble (v sestavě referenční stanice GNSS Trimble SPS851, mobilní stanice GNSS Trimble SPS 881 a ovládací jednotka TCU se softwarem SCS900) vytvořit mechatronický systém vynikajících provozních parametrů. Systém v průběhu experimentu vykázal vysokou přesnost práce, rychlost a produktivitu při úspoře pracovních sil geodetických prací, obsluhy stroje a snížení nákladů na realizaci projektu. Z výsledků vyplývá, že provedení zemních prací automaticky řízeným strojem je vzhle-

dem k objektivním podmínkám velmi přesné (tab. 1 – část 1, sloupec 3).

Tab. 1. Porovnání objemu a ploch výkopů a násypů mezi dvěma modely

a) část 1

1. model	Skener			
2. model	GNSS po úpravě	totální stanice	projekt	GNSS před úpravou
objem výkopů [m ³]	21,3	22,5	8,5	94,7
objem násypů [m ³]	0,4	0,4	2,2	105,8
plocha výkopů [m ²]	504,0	532,0	394,0	253,0
plocha násypů [m ²]	36,0	26,0	163,0	313,0

b) část 2

1. model	Projekt	Totální stanice	GNSS po úpravě
2. model	GNSS před úpravou		
objem výkopů [m ³]	106	89	87,0
objem násypů [m ³]	119	141	118,6
plocha výkopů [m ²]	284	269	251,0
plocha násypů [m ²]	356	428	327,0

c) část 3

1. model	Totální stanice	GNSS po úpravě	Totální stanice
2. model	Projekt	Projekt	GNSS po úpravě
objem výkopů [m ³]	1,8	0,7	5,0
objem násypů [m ³]	16,0	16,0	4,6
plocha výkopů [m ²]	57,0	57,0	267,0
plocha násypů [m ²]	537,0	518,0	299,0

Při zemních pracích bylo přesunuto přibližně 200 m³ zeminy na ploše 560 m². Z měření vyplývá, že automaticky řízený dozer pracoval velmi přesně a nejuhodnější kontrolní metodou je pozemní skenování. Z hlediska přesnosti i ekonomiky provozu stroje lze automatické řízení zemních strojů jednoznačně doporučit.

Článek vznikl za podpory projektu č. 103/06/0617 GA ČR.

Literatura

- [1] Projekt Lahovice. [Technická zpráva], Trimble, 2007.
- [2] Křemen, T. – Kašpar, M. – Pospíšil, J.: Operating Quality Control of Ground Machines by Means of the Terrestrial Laser Scanning System. In: Image Engineering and Vision Metrology [CD-ROM]. Dresden: ISPRS, 2006. ISSN 1682-1750.
- [3] Jeřábek, K. – Vondráčková, T.: Koncert pro dozer a GPS. Stavební informace, XV, 2008, č. 1-2. ISSN 1211-2259

Křemen, T. – Pospíšil, J. – Vondráčková, T.: Check of Completion of Earthworks by Automatically Controlled Dozer

This paper presents an experiment employing automatically controlled. Emphasis is on check measurements of the completed earthworks with a total station and a terrestrial laser scanning system.

Křemen, T. – Pospíšil, J. – Vondráčková, T.: Kontrolle der Ausführung von Erdarbeiten mit einem automatisch gesteuerten Dozer

Im Artikel wird ein Versuch mit einem automatisch gesteuerten Dozer vorgestellt. Es wird Nachdruck auf die mit einer Totalstation und einem terrestrischen Laserscannsystem durchgeführten Kontrollmessungen gelegt.

• dizertace



Interakce kapalin a pevných látek při zeměměření

Ing. Jan Vachulka

Práce se zabývá metodami pro seizmické zatížení stavebních a strojních konstrukcí v interakci s kapalinami. Přínos je v rozšíření možnosti použití standardních programů metody konečných prvků pro interakci.

Selected Applications of Eigenparameter Theory to Laminated Structures

Ing. Alexia Elena Yiakoumi

Dizertace je zaměřena na výpočty laminovaných obloukových segmentů s využitím vlastních parametrů. Jsou odvozeny vzorce pro programové zpracování optimálního předpínání a pro šíření vlhkosti v tunelové obehdivce.

Characterization and Reconstruction of Microstructure of Cement Based Composites

Ing. Kateřina Forstová

V práci se studují cementové kompozity na mikroúrovni. Jsou vyvinuty výpočetní nástroje pro popis mikrostruktury z ESEM snímků a je navržen algoritmus rekonstrukce více-fázového média.

Využití metod umělé inteligence pro provoz a řízení ČOV

Ing. Pavla Štefanová

Dizertační práce řeší problematiku řízení čistírenských procesů ve vztahu k účinnosti a ekonomické efektivnosti čištění odpadních vod. Je zpracován metodický pokyn pro využití matematických modelů z oblasti umělé inteligence pro simulaci provozu a řízení aktivačního procesu.

Posuzování zranitelnosti komplexních systémů infrastruktury

prof. Ing. Josef ŘÍHA, DrSc.

ČVUT – Fakulta stavební
Praha

Motto: „Představitost je mnohem důležitější než znalosti.“
Albert Einstein

Článek přispívá k objasnění různých kategorií zranitelnosti, analyzuje možnosti měření a kvantifikace této charakteristiky. Pro analytickou oblast jsou připomenuty požadavky systémového přístupu, podmíněné pravděpodobností pro situaci perturbace, fenomén konvoluce. Teoretická díkce je podpořena analytickými vztahy pro současnou úroveň poznání.

Expozice problematiky

Zranitelnost vyjadřuje podmínky dané fyzikálními a sociálními faktory a faktory životního prostředí nebo procesy, které zvyšují, popř. zmenšují, citlivost společenství na účinky ohrožení. Tento koncept se vztahuje na zranitelnost infrastruktury a systémů životního prostředí. Je to vlastnost systému, kde malá výchylka může způsobit katastrofální důsledek.

Pro smysluplné posouzení zranitelnosti musí být explicitně definovány tři postuláty zranitelnosti, tj. entita (předmět, objekt) zranitelnosti, podnět způsobující zranitelnost, hierarchizovaný soubor (preferenční) kritérií pro posouzení interakce mezi entitou a podnětem. Uvedený požadavek představuje klíčový přístup systémových věd s tím, že po odborné stránce jde o nedokončenou strategii z oblasti managementu rizika.

Zranitelnost (vulnerability) je bytostně komplexní entita systému, dynamická, tzn. nikoli statická veličina. V měřítku času a prostoru (např. průmětu do území) určité aspekty dominují v různém okamžiku a na různém místě. Verbálně to je antonymum pro zavedené pojmy *pevnosti* (robustness) a *pružnosti* (resilience). Obecně označuje *okolnost* (condition) nebo *náchylnost* (predisposition). Aplikuje se pro jedince, skupinu, společnost, ale též např. pro stavební konstrukce a obecně pro životní prostředí. Týká se *ovlivnitelnosti* (susceptibility) a *pružnosti* v podmínkách ohrožení a nebezpečné události. Ovlivnitelnost je dána bezprostřední *blízkostí* (proximity) a *expozicí* (exposure) události mimořádného významu. Je to potenciál, jak jednak způsobit škodu, jednak odvrátit ztrátu. Pružnost vyjadřuje přístup ke zdrojům a kapacitám, které určují schopnost obnovy po dopadu pohromy. V praxi může být systém ovlivnitelný či náchylný k napadení, ale nikoli zranitelný.

Paradigma zranitelnosti dosud postrádá vlastní teorii a vědeckou definici, která by umožnila přesnou kvantifikaci. To se týká zejména nepřímých škod, např. společenské újmy, obchodních ztrát v důsledku destrukce výrobních kapacit, zničení kulturního dědictví (duchovní dimenze) a systémů životního prostředí. Pro komplexní systémy dosud neexistuje metrika, způsob měření, konceptuální standardy a systémové charakteristiky (např. pro citlivost). Fenomén

zranitelnosti umožňuje multiplikativní, synergické nebo kaskádové efekty.

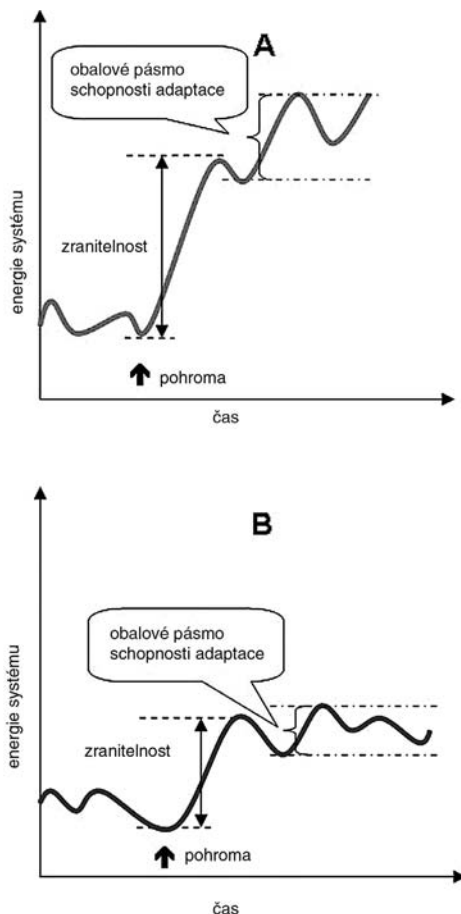
Mlhavý, vágní a nesystémový přístup k problematice zranitelnosti kritizuje řada současných dokumentů, např. [3], [5], [11]. Nicméně jednotlivé obory usilují o definici zranitelnosti z hlediska cílených potřeb. V dokumentu [11] je uveden přehled s více než třiceti různými formulacemi s často opakovanými výrazy. Významně se liší definice v rámci bariér věd přírodních, technickoekonomických (uplatnění matematických vztahů) a společenských. Pro technickoekonomickou oblast je užitečná formalizace zranitelnosti pomocí matematických symbolů na podkladě poznatků systémové teorie [5].

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), pak tento požadavek pro případ soustavy v silně nerovnováženém stavu je nelogický. Řešení spočívá v zajištění pružnosti z hlediska funkce systému, struktury, procesů. Důraz je kladen na možnost volby, generování scénářů, omezení míry nejistoty.

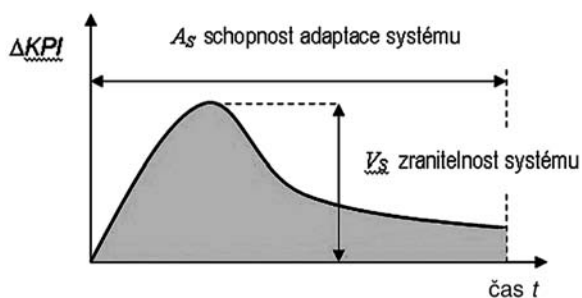
V té souvislosti se zdůrazňuje [12], že nastala doba pro „zásadní konceptuální přehodnocení odolnosti“ ve smyslu standardního posuzování impaktu (Impact Assessment). Řešení problému přibližuje práce [3]. Na *obrázku 1* je schematicky uveden vztah velké (A) a malé (B) zranitelnosti včetně schopnosti adaptace systému v souvislosti s mimořádnou událostí či pohromou. Po jejich vzniku a následném impaktu se u velké zranitelnosti (*obr. 1A*) razantně posune původní stav systému do nové polohy, přičemž na zvládnutí nové situace je spotřebováno relativně mnoho energie, systém má velmi široké obalové pásmo schopnosti adaptace; u malé zranitelnosti (*obr. 1B*) je posun do nové situace menší, spotřeba energie nižší a obalové pásmo schopnosti adaptace je užší.

Razance a délka trvání impaktu na klíčový ukazatel výkonnosti KPI (Key Performance Indicators) systému je mírou jeho *houževnatosti*, když celková odolnost systému je dána plochou vymezeného prostoru pod křivkou $f(t, \Delta KPI)$ a délkou časové řady potřebné pro obnovu, viz schéma na *obr. 2, tab. 1* a podrobnosti [3].

S pojmem zranitelnosti a odolnosti systému souvisí další relevantní pojmy; v návaznosti na mezinárodní terminologii jsou diskutovány v [15], [16]. Z hlediska bezpečnostního rizika vyžaduje zvýšenou pozornost zranitelnost kategorie velkých technických systémů (Large Technical Systems) a objekty kritické infrastruktury [15]. Definice kritické infrastruktury v pojetí Evropské unie zahrnuje „... fyzické prostředky, obsluhovaná a informační technologická zařízení, sítě a objekty (prvky) infrastruktury, jejichž poškození nebo zničení by mohlo mít vážný impakt na zdraví, bezpečnost nebo hospodářskou prosperitu obyvatelstva nebo efektivní funkci vlády ...“ [2].



Obr. 1. Vztah velké (A) a malé (B) zranitelnosti a schopnosti adaptace systému v souvislosti s mimořádnou událostí či pohromou



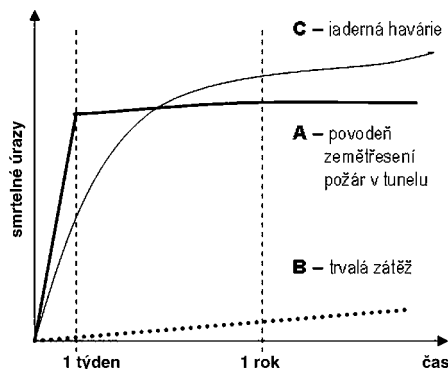
Obr. 2. Razance a délka trvání impaktu na klíčový ukazatel výkonnosti systému

Páteří infrastruktur jsou telekomunikační a informační systémy. Vzhledem k rostoucí integraci je životně důležité připravit se na možnost jejich technického selhání, zajistit bezpečnost informací a chránit se před dezinformacemi. Jinými slovy, následkem silné vzájemné závislosti (Critical Infrastructure Interdependencies) jsou tyto infrastruktury výrazně zranitelné a citlivé k narušení nebo zničení. Uvedená vlastnost vede experty k označení kategorie kritické infrastruktury jako „systém systémů“ (System of Systeme) [14], [17]. Zranitelnost konkrétního systému nebo aktiva vůči určité hrozbě je vyjádřením snadnosti, s jakou může být systém nebo prvek poškozen. Zahrnují jeho slabá místa,

Tab. 1. Hodnocení impaktu na zařízení a kritičnost ztráty funkce pro uživatele [18], [19]

Známka	Ztráta zařízení nebo vyřazení z funkce	Doba obnovy
0	nemá vliv na provoz, výstupy, výrobu nebo služby	méně než 24 hodin
1	zastaví provoz do 1 měsíce nebo sníží o 10 % výstupy, výrobu nebo služby	24 až 72 hodin
2	zastaví provoz do 2 týdnů nebo sníží o 25 % výstupy, výrobu nebo služby	72 hodin až 1 týden
3	zastaví provoz do 1 týdne nebo sníží o 50 % výstupy, výrobu nebo služby	1 týden až 1 měsíc
4	zastaví provoz do 1 dne nebo sníží o 75 % výstupy, výrobu nebo služby	1 až 6 měsíců
5	způsobí okamžité zastavení provozu, výstupy, výrobu nebo služby, uživatel nemůže bez tohoto zařízení pokračovat v aktivitě	více než 6 měsíců

která mohou být hrozbou zneužita a mohou vést k nežádoucím následkům. Zranitelnost systémů bývá prioritně posuzována z hlediska počtu zemřelých. Schéma na obr. 3 zdůrazňuje modelovou představu smrtelných úrazů v závislosti na čase (časová osa x je v logaritmickém měřítku) pro různé typy mimořádných událostí. Nejméně zranitelný je systém C [6].



Obr. 3. Rozdílný průběh smrtelných úrazů v závislosti na typu mimořádné události [7]

Zranitelnost systému musí být posuzována z hlediska aktuální hrozby a typu potenciální mimořádné události. Pomocnou vizualizací časového průběhu smrtelných úrazů popisují tři standardní případy:

- křivka A vyjadřuje události, jejichž efekty a dopady nastávají v relativně krátké době (sekundy, hodiny, dny). Většina smrtelných úrazů, vyskytujících se v průběhu a krátce po mimořádné události, nastává účinkem fyzikální síly. Příkladem jsou důsledky povodně, zemětřesení, požáru v tunelu. Absolutní většina úmrtí nastává v průběhu několika prvních dnů, časem se počet zemřelých mírně zvýší v důsledku např. následného stresu;

- křivka B simuluje trvalou a dlouhodobou zátěž škodlivinami v prostředí, které přispívají ke zvýšené úmrtnosti obyvatelstva. Pro daný případ nelze identifikovat bezprostřední příčinu v podobě mimořádné události;

- křivka C integruje dopady předcházejících typů ve smyslu jejich kombinace, např. jaderné a chemické havárie se vyznačují jednak přímým, jednak nepřímým časově odloženým dopadem na okolí, postupným uvolňováním radioaktivity, jedovatých látek. To může být příčinou dlouhodobého vlivu na zvýšenou úmrtnost obyvatel.

Ve sféře kritické infrastruktury zranitelnost (do určité míry) splývá s pojmem *napadnutelnost*. Pod pojmem hrozby se rozumí „scénář ohrožení“, tzn. hrozba implicitně zahrnuje *znalost, vlastnosti a plán útoku* teroristů. *Zranitelnost* je definována jako pravděpodobnost úspěšného ohrožení včetně uvážení použitých ochranných opatření, takže hrozba a zranitelnost dohromady vyjadřují pravděpodobnost úspěšného teroristického útoku. Z důvodu značně odlišného typu nejistoty teroristického rizika nelze běžným způsobem aplikovat teorii pravděpodobnosti pro bezpečnostní riziko (tab. 2).

Tab. 2. Komparativní analýza rozdílných (imanentně zakódovaných) vlastností teroristického rizika a rizika přírodních pohrom [9]

Hledisko, ukazatel	Teroristické riziko	Riziko přírodních pohrom
historická paměť	Historické údaje nejsou k dispozici. Událost z 11. 9. 2001 představuje první teroristický útok ve světovém měřítku s vysokým počtem obětí a pojištěných škod.	Historické údaje jsou monitorovány. Přehled extrémních událostí je ve světovém měřítku evidován.
riziko události	Existuje silná dynamická nejasnost o možném riziku. Teroristé pružně adaptují strategii (zbraně, cíle, čas) podle aktuální informace o zranitelnosti.	Riziko je podrobně specifikováno. Existují verifikované modely opřené o historickou databázi a expertní odhady.
geografické riziko	Všechny oblasti jsou vystaveny riziku.	Existují vymezené citlivé oblasti pro určité riziko (povodně, zemětřesení).
informace	Informace jsou poskytovány asymetricky. Vláda a státní správa udržuje informace v tajnosti.	Informace jsou sdíleny veřejností celoplošně.
typ události	Vláda může ovlivnit vznik a vývoj teroristického záměru (zahraniční politika, mezinárodní spolupráce, národní bezpečnostní opatření).	V okamžiku vzniku události nelze ovlivnit výskyt extrémní přírodní pohromy (viz přívalový déšť, zemětřesení).
připravenost a prevence	Zbraně a potenciální konfigurace jsou silně rozmanité. Možnosti individuálního pojištění jsou obtížné až nemožné.	Stát a sektor pojištnictví může uplatnit investice do preventivních opatření.
modelování katastrof	První model byl vyvinut v roce 2002.	Simulační modely katastrof jsou známy od poloviny osmdesátých let minulého století.

Lze konstatovat, že vývoj dozrál k holistickému či celostnímu chápání bezpečnostního faktoru. Pro posouzení teroristického rizika musí být použita podmíněná pravděpodobnost. Systém odezvy (zranitelnost) je závislý na iniciační události (hrozbě) a důsledkem závisí na systému odezvy (zranitelnosti). Závislost je v porovnání s bezpečnostním rizikem mnohem složitější; teroristické riziko obsahuje úmyslný záměr teroristy způsobit zkázu. Pravděpodobnost scénáře ohrožení závisí na způsobu vnímání zranitelnosti potenciálních cílů a vnímání typů hodnot dosažitelných důsledků ze strany teroristy.

Měření a možnosti kvantifikace zranitelnosti

Úsilí kvantifikovat zranitelnost je soustředěno na *způsob měření* vlastností pohrom včetně připravenosti společnosti, odolnosti, společenské zranitelnosti a expozice nebezpečí. Selhání systému v důsledku jeho zranitelnosti a způsob *hodnocení pravděpodobnosti poruch* jsou založeny na dvou principiálních přístupech, tj. na zjišťování:

- intenzity poruch (pro elektrické a výrobní systémy);
- strukturální bezporuchovosti (pro budovy, mosty a jiné strukturální stavby).

Ve všech případech se pracuje s informacemi zatíženými neurčitostmi.

Většina prezentovaných modelů pro posuzování zranitelnosti vyjadřuje přibližně shodný algoritmus podle obecné rovnice

$$V = f(H, p, f, V_M), \quad (1)$$

kde V je zranitelnost (vulnerability);

H – hrozba, činitel nebezpečí (hazard, threat);

P – pravděpodobnost výskytu scénáře nebezpečí (probability);

f – četnost (frekvence) iniciující událost závažné nehody (frequencies);

V_M – zranitelnost existujících opatření (vulnerability measures).

Triviální způsob měření nabízí kvalitativní hodnocení zranitelnosti podle podílu ovlivněného obyvatelstva a majetku, např. verbální zranitelnost je malá $< 1\%$; průměrná $1-10\%$; vysoká $> 10\%$.

Analytický pohled na veličinu zranitelnosti naznačuje studii zdůrazňující integrovanou a nedělitelnou jednotu tří veličin systému, tj. hrozby, zranitelnosti a rizika. Podle studie [1] je uvedena analýza možného dopadu a vzniku škody různého rozsahu D ve struktuře systému vedoucí až k úplnému selhání systému F jako následek ohrožení H . Standardní matematický výraz pro *podmíněnou pravděpodobnost* výskytu analyzovaných veličin

$$p(F \star D \star H) = p(F|D \star H) \cdot p(D|H) \cdot p(H), \quad (2)$$

kde D je dopad, důsledek, škoda či újma (damage);

F – selhání (failure);

H – pravděpodobnost (probability);

\star – operátor vyjadřující konvoluci.

Jinými slovy, rovnice vyjadřuje skutečnost, že pravděpodobnost společně se vyskytujících veličin D , F a H se rovná pravděpodobnosti F pro společný výskyt D a H , násobené pravděpodobností D pro výskyt H , násobený pravděpodobností výskytu H .

Poznámka

Operátor “ \star ” vyjadřuje konvoluci, protože selhání, důsledek a hrozba nejsou čísla, ale pravděpodobnostní rozdělení (konvoluce je matematická operace, která kombinuje sloučením dva signály tak, aby vznikl signál třetí).

Pro snadnější pochopení lze základní rovnici zjednodušit pomocí následující úvahy. Předpokládejme, že F logicky zahrnuje D a obdobně veličina D zahrnuje H . To znamená, že D je nezbytná (musí nastat) pro výskyt F . Obdobně H je nezbytná (musí nastat) pro výskyt D . Jinými slovy, omezujeme svůj pohled na veličinu selhání tím způsobem, že tato nemůže nastat bez důsledku (škody, újmy) a tato škoda nemůže vzniknout bez ohrožení (hrozby, nebezpečí). Základní

rovnici je proto možné zjednodušit na tvar

$$p(F \star D \star H) = p(F|D) \cdot p(D|H) \cdot p(H), \quad (3)$$

kde součin $p(F|D) \cdot p(D|H)$ (4)

představuje výraz pro zranitelnost [1].

Platí axiomatické předpoklady:

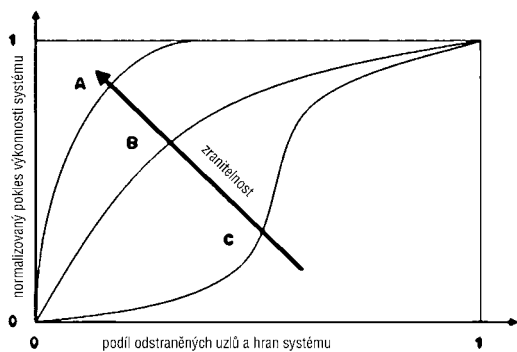
– $F \supset D$, tzn. žádné selhání není možné bez dopadu, vzniklé škody či újmy (dopad je nezbytný pro vznik efektu selhání);

– $D \supset H$, tzn. žádná škoda nevznikne bez ohrožení či hrozby (ohrožení je nutné pro vznik škody).

Uvedená struktura obecného výrazu pro zranitelnost varuje před skutečností, že např. zranitelnost stavebních konstrukcí vykazuje vysokou numerickou hodnotu členu $p(F|D)$ pro velmi malé hodnoty D . Jinými slovy, počáteční malá škoda v důsledku např. slabého zemětřesení nebo teroristického útoku může iniciovat postupný, avšak úplný kolaps statiky konstrukce. V tomto poznatku včetně důkazu spočívá význam analytického pohledu na zranitelnost systémů ve své vnitřní podstatě. Nelze opomenout princip celistvosti (integrity), který vyžaduje holistické pochopení stresové analýzy, chování materiálu, mechaniky selhání a interakce jednotlivých složek systému.

Pro kvantifikaci stupně zranitelnosti stavebních objektů navrhuje [13] verbálně numerickou stupnici jednak z hlediska velikosti destrukce, jednak pravděpodobnosti a atraktivnosti cíle. Výsledky projektu [4] diskutují „strukturální zranitelnost“ obzvláště velkých soustav (Large Complex Critical Infrastructures) na bázi topologické analýzy. Studie [10] analyzuje hledisko udržitelnosti civilních stavebních systémů v podmínkách mimořádných událostí pomocí množiny vynaložených nákladů na jednotlivé varianty a komponenty, které umožňují omezit zranitelnost.

Fundamentální teoretický výklad zranitelnosti je uveden v dizertační práci [6] na podkladě matematického modelování, teorie grafů a operační analýzy. Výsledný úspěch útočné strategie na systém se liší podle toho, kolik *uzlů* a *hran* je poškozeno nebo vyřazeno, čímž se snižuje výkonnost systému, popř. dojde k jeho úplné devastaci. Z grafické vizualizace chování systému na obr. 4 lze usuzovat, pro který scénář je zranitelnost vyšší.



Obr. 4. Systémový pohled na zranitelnost a pokles výkonnosti systému pro tři útočné strategie v důsledku rušivé změny – perturbatione

V této souvislosti je významná otázka, jakým způsobem lze měřit zranitelnost systému, např. narušeného rozvodu elektrické energie. Normalizovaný pokles výkonnosti sítě (systému) je možné nahradit ukazatelem *CECL* (Customer Equivalent Connection Loss), který je funkcí zlomku poško-

zených nebo vyřazených uzlů a hran. Jde o vážený ukazatel z pohledu uživatele energetické sítě, který je postižen újmou z důsledku vyvolané rušivé změny – perturbatione. Ztrátový ekvivalent uživatele je vyjádřen jako podíl ztráty CE_{loss} k plnému výkonu CE_{tot} , tj. vztahem

$$CECL = \frac{CE_{\text{loss}}}{CE_{\text{tot}}}. \quad (5)$$

Uvedený koncept umožňuje stanovit pořadí pro různé scénáře (varianty) bez použití ekonomických nebo technických pomocných nástrojů (Decision Support Systéme). Důsledek odpojení uživatelů od elektrické sítě se diferencuje podle relativní důležitosti odběratele, např. nemocnice logicky má větší váhu než administrativní budova nebo sídliště. Pro tento účel [6] je navržena veličina faktor *CE*, jehož numerická hodnota je různá, např. pro nemocnice 1 000, čistiřnu odpadních vod 400, průmyslový objekt nebo administrativní budovu 200, obytný dům s elektrickým vytápěním 1-2, centrálně vytápěný obytný dům 0,8 apod. Pro celkové skóre scénáře platí lineární závislost (výpočet představuje prosté vynásobení počtu objektů faktorem *CE* a součet). Hodnota těchto faktorů musí být předmětem konsenzu zúčastněných subjektů v dané oblasti (anketa expertů).

Pro úplnost je třeba zmínit, že do problematiky vstupuje paradigma indexové metodologie v podobě různých *indexových metod*; vyčerpávající přehled pro horizont 2004 je v [8]. Zdrucující kritika „posedlého vyznání indikátorům zranitelnosti“ a pokusů „změřit nezměřitelné“ je dostupná na internetu.

Závěr

Zranitelnost je komplexní vlastnost, která odráží slabá místa ve vztahu k možnému narušení funkce, poškození nebo zničení struktury systému. Analýzu komplikuje vágní přístup k obsahu pojmu (mnohotvárnost, víceznačnost), opomíjená práce s podmíněnou pravděpodobností a fenomén konvoluce. Zranitelnost bezprostředně souvisí s odolností a pružností systému, se schopností adaptace. Příspěvek naznačuje problém zranitelnosti infrastruktury následkem rušivé změny (perturbatione) na podkladě teorie systémů a současně úrovně poznání; po odborné stránce jde o nedokončenou strategii.

Článek vznikl za podpory projektu č. IAA711680701 GA ČR „Bezpečnostní rizika v procesu posuzování vlivu na životní prostředí“.

Literatura

- [1] Agarwal, J. – Blockley, D. I.: Structural Integrity: Hazard, Vulnerability and Risk. In: Int. J. Materials and Structural Integrity, Vol. 1, 2007, Nos. 1/2/3, pp. 117-127. www.inderscience.com/storage/f127618521043119.pdf
- [2] CEC : Green Paper on a European Programme for Critical Infrastructure Protection. Commission of the European Communities. Brussels, 17.11.2005. COM(2005) 576 final. www.libertysecurity.org/IMG/pdf/EC_-_Green_Paper_on_CI_-_17.11.2005.pdf
- [3] Dalziel, E. P. – McManus, S. T. : Resilience, Vulnerability, and Adaptive Capacity: Implications for System Performance. Dept of Civil Engineering, University of Canterbury, New Zealand, 2004. www.ifed.ethz.ch/events/Forum04/Erica_paper.pdf
- [4] AIS: Intermediate Report on LCCI Topology and Vulnerability Assessment. Integrated Project IRRIS. 31 July 2006. Fraunhofer-Institute for Intelligent Analysis and Information

- Systems, Sankt Augustin, Germany. www.irriis.org/?lang=en&nav=237
- [5] Ionescu, C. – Klein, R. J. T. – et al.: Towards a Formal Framework of Vulnerability to Climate Change. 22 May 2006. Potsdam Institute for Climate Impact Research.
- [6] Johansson, J.: Risk and Vulnerability Analysis of Large-Scale Technical Infrastructures. Electrical Distribution Systems. Department of Industrial Electrical Engineering and Automation, Faculty of Engineering, Lund University, 2007. www.iea.lth.se/publications/Theses/LTH-IEA-1053_rev2.pdf
- [7] Jonkman, S. N. – Lentz, A.: Propositions for Loss-of-Life Modelling in Risk Assessment. Draft. Delft University of Technology/ Technical University Munich, 2006.
- [8] Klein, R. J. T.: Vulnerability Indices — An Academic perspective. In: Proc. of the Expert Meeting “Developing a Method for Addressing Vulnerability to Climate Change and Climate Change Impact Management: To Index or Not To Index?” Bonn, Germany, 26 January 2004, 17 p. www.pik-potsdam.de/eva/
- [9] Kunreuther, H. – Michel-Kerjan, E. – Porter, B.: Assessing, Managing and Financing Extreme Events: Dealing with Terrorism. The Wharton School, Center for Risk Management, Philadelphia, PA. November 20, 2003.
- [10] Lee, E. E. et al.: Extreme Events and the Sustainability of Civil Infrastructure Systems. Department of Decision Sciences and Engineering Systems, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, New York, 2004.
- [11] NOAA: Vulnerability Assessment Techniques and Applications (VATA). National Oceanic and Atmospheric Administration, Coastal Services Center. Charleston, SC, 2007. www.csc.noaa.gov/vata/links.html
- [12] 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
- [13] Renfroe, N. A. – Smith, J. L.: Threat/Vulnerability Assessments & Risk Analysis. National Institute of Building Sciences, 14. 7. 2003. www.ara.com/federal_security_risk_management.htm
- [14] Rinaldi, S. M.: Modeling and Simulating Critical Infrastructures and Their Interdependencies. In: Proceedings of the 37th Hawaii International Conference on System Science, 2004. Sandia National Laboratories. http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=1265180
- [15] Říha, J.: Kritická infrastruktura a riziko mimořádné události. Urbanismus a územní rozvoj, 10, 2007, č. 4, s. 44-51. ISSN 1212-0855.
- [16] Říha, J.: Odhad rizika teroristického činu. In: 112 – odborný časopis požární ochrany, integrovaného záchranného systému a ochrany obyvatelstva, 7, 2008, č. 3, s. 22-26. ISSN 1213-7057.
- [17] Santos, J. R. – Haimes, Y. Y.: Impact Assessment of Major Economic Disruptions using the Inoperability Input-Output Model (IIM). Center for Risk Management of Engineering Systems University of Virginia, Charlottesville, 2005. www.sanken.keio.ac.jp/papaios/iioa/conf/2005/paper/jsantos.pdf
- [18] US DoD: DoD Security Engineering Facilities Planning Manual. Department of Defense US. DRAFT UFC 4-020-01, 3 March 2006. www.wbdg.org/ndbm/DesignGuid/pdf/FINAL%20DRAFT_UFC_4-020-01.pdf
- [19] US DoD: Unified Facilities Criteria (UFC). DoD Minimum Antiterrorism Standards for Buildings. Department of Defense US. UFC 4-010-01, 22 January 2007. www.wbdg.org/ccb/DOD/UFC/ufc_4_010_01.pdf

Říha, J.: Assessment of Vulnerability of Complex Infrastructure Systems

This article adds to the clarification of various categories of vulnerability; it also analyzes measurement opportunities and quantification of this characteristic. Given the analytical field, requirements for a system approach, conditioned probabilities for the case of perturbation, and the phenomenon of convolution are mentioned. The theoretical diction is supported by analytical relations for the up-to-date level of knowledge.

Říha, J.: Beurteilung der Verletzbarkeit komplexer Infrastruktursysteme

Der Artikel trägt zur Klärung verschiedener Kategorien der Verletzbarkeit bei und analysiert Möglichkeiten der Lösung der Messung und Quantifizierung dieser Charakteristik. Für das analytische Gebiet wird an die Anforderungen eines Systemzugriffs, an die bedingten Wahrscheinlichkeiten für die Situation einer Perturbation und das Phänomen der Konvolution erinnert. Die theoretische Diktion wird durch die analytischen Beziehungen für das gegenwärtige Erkenntnisniveau unterstützt.



Mezinárodní veletrh strojů pro stavební a zemní práce, zařízení pro zpracování a výrobu stavebních hmot a materiálů se koná každé tři roky. Pořadatelem následujícího ročníku, který proběhne na pařížském výstavišti Villepinte **20.–25. dubna 2009**, je Společnost Interemat, jež sdružuje profesní svazy výrobců a dovozců stavební techniky (CISMA – Sdružení zaměřené na zařízení pro stavební práce, infrastrukturu, hutnictví a manipulaci, SEIMAT – Sdružení zahraničních výrobců stavebních strojů a zvedací techniky, stavebních firem, těžařských společností a Comexposium, přední francouzský pořadatel mezinárodních odborných veletrhů).

V současné době vykazuje veletrh nárůst očekávané čisté plochy o 17 % proti roku 2006. Kromě tradičních oborů bude pozornost zaměřena na technická zařízení pro těžbu, průzkum a vrty v hlubinných nebo povrchových dolech a kamenolomech, pro těžbu ropy a zemního plynu, na recyklaci stavebních materiálů a výstavbu silnic. V rámci dvoudenního sympozia budou evropští odborníci a výrobci diskutovat o současných i budoucích postupech výstavby silnic.

Fergusonova kubika jako přechodnice

Ing. Pavla BARTOŠOVÁ
RNDr. Kamil MALEČEK
ČVUT – Fakulta stavební
Praha

V článku se zabýváme přechodnicemi mezi dvěma polopřímkami a mezi polopřímkou a kružnicovým obloukem v rovině. Jako přechodnici uvádíme Fergusonovu kubiku a ukazujeme její souvislost s kubickou parabolou.

1. Fergusonova kubika

Jednou z Hermiteovy reprezentace kubik [3] je kubika, která je parametrizována vektorovou funkcí

$$\mathbf{x}(t) = F_0(t)\mathbf{b}_0 + F_1(t)\mathbf{b}_1 + F_2(t)k\mathbf{t}_2 + F_3(t)l\mathbf{t}_3, \quad t \in [0,1], \quad (1)$$

ve které \mathbf{b}_0 a \mathbf{b}_1 jsou průvodní vektory krajních bodů B_0 a B_1 kubiky pro parametry $t = 0$ a $t = 1$, \mathbf{t}_2 a \mathbf{t}_3 jsou jednotkové směrové vektory tečen kubiky v bodech B_0 a B_1 , k a l jsou kladná reálná čísla a $F_i, i = 0, 1, 2, 3$, jsou kubické funkce

$$\begin{aligned} F_0(t) &= 2t^3 - 3t^2 + 1, \quad F_1(t) = -2t^3 + 3t^2, \\ F_2(t) &= t^3 - 2t^2 + t, \quad F_3(t) = t^3 - t^2. \end{aligned} \quad (2)$$

Autor [2] tuto kubiku nazývá Fergusonova kubika.

Dále se budeme zabývat rovinnou Fergusonovou kubikou. Pravoúhlost soustavy souřadnic $[0, x, y, z]$ v prostoru zvolme tak, aby bod B_0 byl počátek O soustavy souřadnic a kubika ležela v rovině xy . Průvodní vektor \mathbf{b}_0 bodu B_0 je pak nulový vektor a vektorová funkce (1) je

$$\mathbf{x}(t) = F_1(t)\mathbf{b}_1 + F_2(t)k\mathbf{t}_2 + F_3(t)l\mathbf{t}_3, \quad t \in [0,1]. \quad (3)$$

Nechť vektory \mathbf{t}_2 a \mathbf{t}_3 jsou lineárně nezávislé. Vektor \mathbf{b}_1 vyjádříme jako lineární kombinaci vektorů \mathbf{t}_2 a \mathbf{t}_3 ve tvaru

$$\mathbf{b}_1 = p\mathbf{t}_2 + q\mathbf{t}_3. \quad (4)$$

Koeficienty p a q kombinace jsou souřadnice vektoru \mathbf{b}_1 vzhledem k bázi tvořené vektory \mathbf{t}_2 a \mathbf{t}_3 . Spočteme je tak, že (4) vynásobíme skalárně vektory \mathbf{t}_2 a \mathbf{t}_3 . Dostaneme soustavu dvou rovnic, jejíž řešení je

$$p = \frac{\mathbf{b}_1 \cdot \mathbf{t}_2 - (\mathbf{t}_2 \cdot \mathbf{t}_3)(\mathbf{t}_3 \cdot \mathbf{b}_1)}{1 - (\mathbf{t}_2 \cdot \mathbf{t}_3)^2}, \quad q = \frac{\mathbf{b}_1 \cdot \mathbf{t}_3 - (\mathbf{t}_3 \cdot \mathbf{t}_2)(\mathbf{t}_2 \cdot \mathbf{b}_1)}{1 - (\mathbf{t}_2 \cdot \mathbf{t}_3)^2}. \quad (5)$$

Použijeme-li v (3) vyjádření (4) vektoru \mathbf{b}_1 , pak kubika je parametrizována vektorovou funkcí

$$\mathbf{x}(t) = (pF_1(t) + kF_2(t))\mathbf{t}_2 + (qF_1(t) + lF_3(t))\mathbf{t}_3, \quad t \in [0,1]. \quad (6)$$

Po dosazení z (2) a úpravě má (6) tvar

$$\begin{aligned} \mathbf{x}(t) &= [(k-2p)t^3 + (3p-2k)t^2 + kt]\mathbf{t}_2 + [\\ &+ [(l-2q)t^3 + (3q-l)t^2]\mathbf{t}_3, \quad t \in [0,1]. \end{aligned} \quad (7)$$

Konstanty p a q jsou jednoznačně určeny zadáním krajních bodů kubiky a jednotkových směrových vektorů tečen v krajních bodech. Tvar kubiky určujeme volbou kladných čísel k a l , viz [2]. Jak je volit v případě, kdy použijeme kubiku jako přechodnici, uvedeme ve třetím odstavci.

2. Křivost Fergusonovy kubiky

První a druhé derivace vektorové funkce (7) jsou vektorové funkce

$$\begin{aligned} \mathbf{x}'(t) &= [3(k-2p)t^2 + 2(3p-2k)t + k]\mathbf{t}_2 + \\ &+ [3(l-2q)t^2 + 2(3q-l)t]\mathbf{t}_3 \end{aligned}$$

a

$$\begin{aligned} \mathbf{x}''(t) &= [6(k-2p)t + 2(3p-2k)]\mathbf{t}_2 + \\ &+ [6(l-2q)t + 2(3q-l)]\mathbf{t}_3, \quad t \in [0,1]. \end{aligned}$$

V krajních bodech kubiky pro parametry $t = 0$ a $t = 1$ je

$$\mathbf{x}'(0) = k\mathbf{t}_2, \quad \mathbf{x}'(1) = l\mathbf{t}_3, \quad (8)$$

$$\mathbf{x}''(0) = 2(3p-2k)\mathbf{t}_2 + 2(3q-l)\mathbf{t}_3, \quad (9)$$

$$\mathbf{x}''(1) = 2(k-3p)\mathbf{t}_2 + 2(2l-3q)\mathbf{t}_3.$$

Označme α úhel vektorů \mathbf{t}_2 a \mathbf{t}_3 , které necht' tvoří kladně orientovanou bázi, a necht' $0 < \alpha < 180^\circ$. Potom $\|\mathbf{t}_2 \times \mathbf{t}_3\| = \sin \alpha$.

Vektorový součin

$$\mathbf{x}'(0) \times \mathbf{x}''(0) = 2k(3q-l)(\mathbf{t}_2 \times \mathbf{t}_3) = 2k(3q-l)\sin \alpha \mathbf{e}_3 \quad (10)$$

a vektorový součin

$$\mathbf{x}'(1) \times \mathbf{x}''(1) = 2l(3p-k)(\mathbf{t}_2 \times \mathbf{t}_3) = 2l(3p-k)\sin \alpha \mathbf{e}_3, \quad (11)$$

vektor $\mathbf{e}_3 = (0,0,1)$.

Poznámka 1: Jestliže v bodě B_0 , resp. B_1 , je vektor $\mathbf{x}'(0) \times \mathbf{x}''(0)$, resp. $\mathbf{x}'(1) \times \mathbf{x}''(1)$ nulový vektor, pak kubika má v příslušném bodě inflexní bod, a tedy nulovou křivost. Jestliže $\text{sign}(3q-l) = \text{sign}(3p-k)$, pak báze tvořené vektory $\mathbf{t}_2, \mathbf{t}_3, \mathbf{x}'(0) \times \mathbf{x}''(0)$ a $\mathbf{t}_2, \mathbf{t}_3, \mathbf{x}'(1) \times \mathbf{x}''(1)$ mají stejnou orientaci. V případě, že znaménka čísel $3q-l$ a $3p-k$ jsou různá, mají uvedené báze opačnou orientaci.

Křivosti kubiky jsou hodnoty funkce

$$\rho(t) = \frac{\|\mathbf{x}'(t) \times \mathbf{x}''(t)\|}{\|\mathbf{x}'(t)\|^3}, \quad t \in [0,1], \quad (12)$$

viz např. [1], [4].

Dosazením z (8), (9), (10) a (11) do (12) dostaneme křivosti kubiky v bodech B_0 a B_1 . Křivost v bodě B_0 , resp. B_1 je číslo

$$\rho(0) = \frac{2|3q-l|\sin\alpha}{k^2}, \quad \text{resp.} \quad \rho(1) = \frac{2|3p-k|\sin\alpha}{l^2}. \quad (13)$$

Poznámka 2: Pro kubiku jako přechodnici je důležitá orientace směrových vektorů normál v krajních bodech. V bodě B_0 , resp. B_1 je směrový vektor normály vektor

$$\mathbf{N}_0 = 2k(3q-l)\sin\alpha (\mathbf{e}_3 \times \mathbf{t}_2), \quad \text{resp.} \quad \mathbf{N}_1 = 2l(3p-k)\sin\alpha (\mathbf{e}_3 \times \mathbf{t}_3).$$

My budeme v odstavci 3.3 potřebovat orientaci vektoru \mathbf{N}_1 . Pokud číslo $3p-k > 0$, resp. $3p-k < 0$, pak báze tvořená vektory $\mathbf{t}_3, \mathbf{N}_1$ a $2l(3p-k)\sin\alpha \mathbf{e}_3$ je kladně, resp. záporně orientovaná.

3. Fergusonova kubika jako přechodnice

Po přechodnici mezi dvěma danými křivkami požadujeme, aby v bodech přechodu měla přechodnice a daná křivka společnou tečnu a stejnou křivost. Necht' ρ_0 a ρ_1 jsou křivosti a \mathbf{t}_2 a \mathbf{t}_3 jsou jednotkové směrové vektory tečen daných křivek v bodech přechodu B_0 a B_1 . Užijeme-li jako přechodnici Fergusonovu kubiku, pak z podmínky stejné křivosti a z (13) dostáváme pro čísla k a l soustavu rovnic

$$\frac{2|3q-l|\sin\alpha}{k^2} = \rho_0, \quad (14)$$

$$\frac{2|3p-k|\sin\alpha}{l^2} = \rho_1. \quad (15)$$

Je zřejmé, že soustava může mít více řešení. Použít můžeme pouze řešení z množiny kladných reálných čísel.

U Fergusonovy kubiky je důležitá orientace vektorů \mathbf{t}_2 a \mathbf{t}_3 . To ukážeme při vytvoření přechodnic mezi polopřímkami a mezi polopřímkou a kružnicovým obloukem v dalších částech tohoto oddílu.

3.1. Přechodnice mezi různoběžnými polopřímkami

V rovině mějme dány dvě polopřímky. První je dána počátečním bodem B_0 s průvodním vektorem \mathbf{b}_0 a jednotkovým směrovým vektorem \mathbf{t}_0 , druhá počátečním bodem B_1 s průvodním vektorem \mathbf{b}_1 a jednotkovým směrovým vektorem \mathbf{t}_1 . Polopřímky leží na různoběžných přímkách t_0 a t_1 , orientace polopřímek je dána vektory \mathbf{t}_0 a \mathbf{t}_1 . Polopřímky jsou parametrizovány vektorovými funkcemi

$$\mathbf{x}_0(u) = \mathbf{b}_0 + u\mathbf{t}_0, \quad u \in [0, +\infty[$$

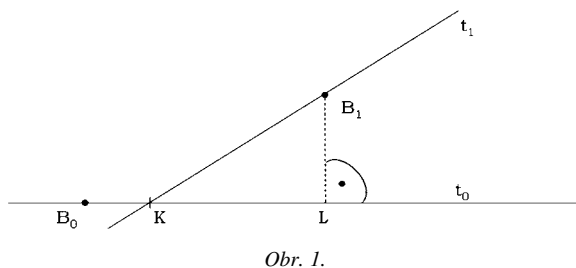
a

$$\mathbf{x}_1(v) = \mathbf{b}_1 + v\mathbf{t}_1, \quad v \in [0, +\infty[.$$

Přechodnice mezi polopřímkami má krajní body B_0 a B_1 a přímky t_0 a t_1 jsou její tečny v bodech B_0 a B_1 .

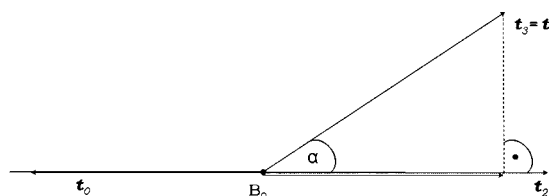
Zavedeme označení

- bod K je průsečík přímek t_0 a t_1 , bod L je pravoúhlý průmět bodu B_1 na přímku t_0 (obr. 1);



Obr. 1.

- vektor $\mathbf{t}_2 = -\mathbf{t}_0$ a vektor $\mathbf{t}_3 = \mathbf{t}_1$ (obr. 2).

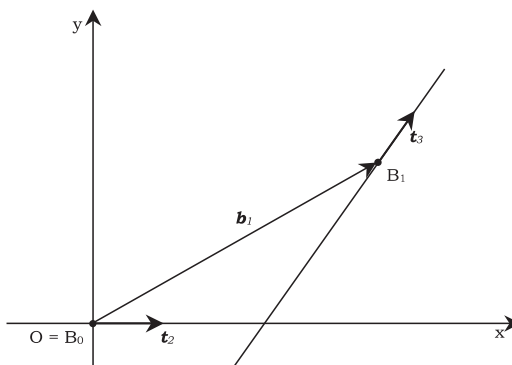


Obr. 2.

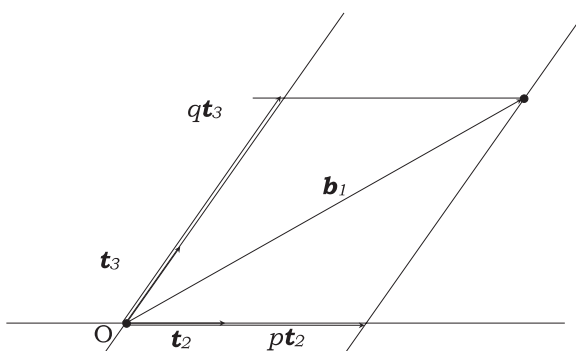
Vzhledem k případnému použití, např. v železničním stavitelství, budeme předpokládat, že

- bod K je vnitřním bodem úsečky B_0L (obr. 1);
- vektor \mathbf{t}_2 a vektor, který je pravoúhlým průmětem vektoru \mathbf{t}_3 do podprostoru generovaného vektorem \mathbf{t}_2 , jsou stejně orientované (obr. 2).

Pravoúhlo soustavu souřadnice zvolme tak, aby bod B_0 byl počátkem O soustavy souřadnic, přímka t_0 byla osou x , přímka t_1 ležela v rovině xy a souřadnice b_1, b_2 bodu B_1 , resp. jeho průvodního vektoru \mathbf{b}_1 byla kladná čísla. Necht' $\mathbf{t}_0 = (-1,0,0)$, a proto $\mathbf{t}_2 = \mathbf{e}_1 = (1,0,0)$. Vektor $\mathbf{t}_3 = (\cos\alpha, \sin\alpha, 0)$, (obr. 2, obr. 3).



Obr. 3.



Obr. 4.

Za výše uvedených předpokladů jsou koeficienty p a q v (4) kladná čísla (obr. 4) a z (5) dostaneme

$$p = \frac{b_1 \sin \alpha - b_2 \cos \alpha}{\sin \alpha}, \quad q = \frac{b_2}{\sin \alpha}. \quad (16)$$

V bodech B_0 a B_1 jsou křivosti ρ_0 a ρ_1 obou polopřímek rovny 0. Z rovnic (14) a (15) je zřejmé, že konstanty k a l jsou čísla $3p$ a $3q$.

Užitím vzorců (16) a po úpravě dostaneme parametrizaci přechodnice vektorovou funkcí

$$x(t) = \left(b_1 t^3 - 3 \frac{b_1 \sin \alpha - b_2 \cos \alpha}{\sin \alpha} (t^2 - t), b_2 t^3, 0 \right), \quad t \in [0,1]. \quad (17)$$

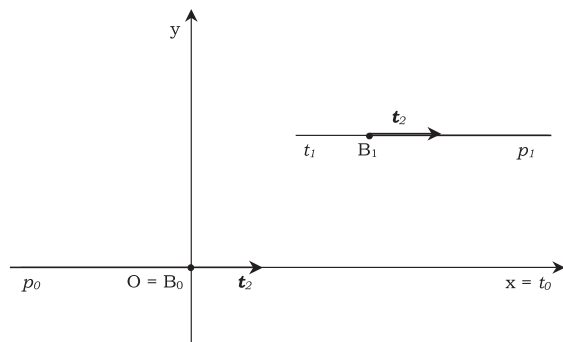
Pro volbu $b_1 = 20, b_2 = 2$ a $\alpha = 30^\circ$ jsme přechodnici znázornili na obr. 5.



Obr. 5.

3.2. Přechodnice mezi rovnoběžnými polopřímkami

Na rovnoběžných přímkách t_0, t_1 mějme dány dvě polopřímky p_0, p_1 počátečními body B_0 a B_1 a jednotkovými opačně orientovanými vektory. Pravouhlou soustavu souřadnic zvolme obdobně jako v odst. 3.1, směrový vektor polopřímky p_1 je vektor $t_2 = e_1 = (1,0,0)$ (obr. 6).



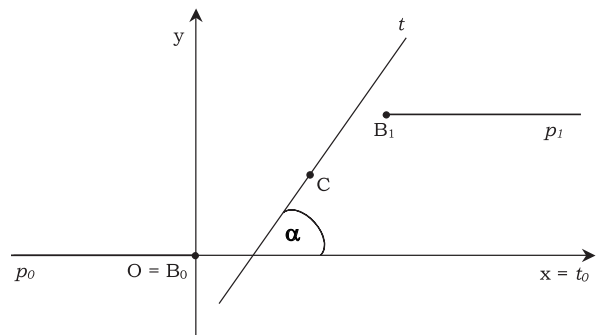
Obr. 6.

Přechodnici mezi polopřímkami, které leží na rovnoběžných přímkách, nelze vytvořit jednou Fergusonovou kubikou. Přechodnici vytvoříme složením dvou Fergusonových

kubik. Bod $C = \left[\frac{b_1}{2}, \frac{b_2}{2}, 0 \right]$ bude koncovým bodem jedné a počátečním bodem druhé kubiky. Přímka t , která prochází bodem C , necht' má spolu s bodem C stejné vlastnosti jako přímka t_1 a bod B_1 v odst. 3.1, úhel α je odchylka osy x a přímky t (obr. 7).

První kubika, která má počáteční bod B_0 , koncový bod C a v něm tečnu t , je podle (17) parametrizována vektorovou funkcí

$$\frac{b_1}{2} t^3 - \frac{3}{2} \frac{b_1 \sin \alpha - b_2 \cos \alpha}{\sin \alpha} (t^2 - t), \frac{b_2}{2} t^3, 0, \quad t \in [0,1].$$



Obr. 7.

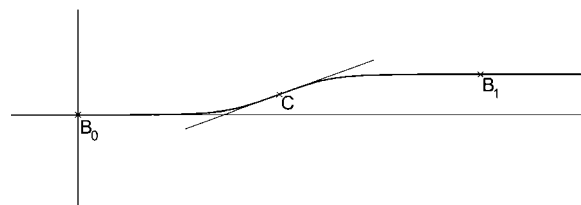
Druhá kubika je s první kubikou souměrná podle středu C . Středová souměrnost se středem v bodě C má analytické vyjádření

$$x' = b_1 - x, \quad y' = b_2 - y,$$

a proto druhá kubika je parametrizována vektorovou funkcí

$$x(t) = \left(b_1 - \frac{b_1}{2} t^3 + \frac{3}{2} \frac{b_1 \sin \alpha - b_2 \cos \alpha}{\sin \alpha} (t^2 - t), b_2 - \frac{b_2}{2} t^3, 0 \right), \quad t \in [0,1].$$

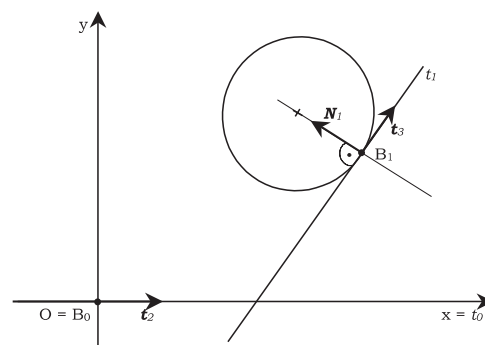
Celou přechodnici jsme při volbě $b_1 = 20, b_2 = 2$ a $\alpha = 30^\circ$ znázornili na obr. 8.



Obr. 8.

3.3. Přechodnice mezi polopřímkou a kružnicovým obloukem

V rovině mějme danou polopřímku s počátečním bodem B_0 , která leží na přímce t_0 a kružnicový oblouk s počátečním bodem B_1 , který leží na kružnici o poloměru R . Tečna kružnice v bodě B_1 je přímka t_1 . Přímky t_0 a t_1 a vektory t_0, t_1, t_2, t_3 necht' mají stejné vlastnosti jako v odst. 3.1. Stejně zvolme i soustavu souřadnic (obr. 9).



Obr. 9.

Soustavu rovnic (14) a (15) tvoří v tomto případě rovnice

$$\frac{2|l - 3q| \sin \alpha}{k^2} = 0, \quad (18)$$

$$\frac{2|k - 3p| \sin \alpha}{l^2} = \frac{1}{R}. \quad (19)$$

Řešení rovnice (18) je $l = 3q$ a z (16) dostaneme

$$l = \frac{3b_2}{\sin \alpha} \tag{20}$$

Rovnice (19) má dvě řešení. Jedno řešení je

$$k = 3p - \frac{9b_2^2}{2R \sin^3 \alpha} \tag{21}$$

a druhé

$$k = 3p + \frac{9b_2^2}{2R \sin^3 \alpha} \tag{22}$$

Po dosazení z (16) má řešení (21) tvar

$$k = 3 \frac{b_1 \sin \alpha - b_2 \cos \alpha}{\sin \alpha} - \frac{9b_2^2}{2R \sin^3 \alpha} \tag{23}$$

a řešení (22) má tvar

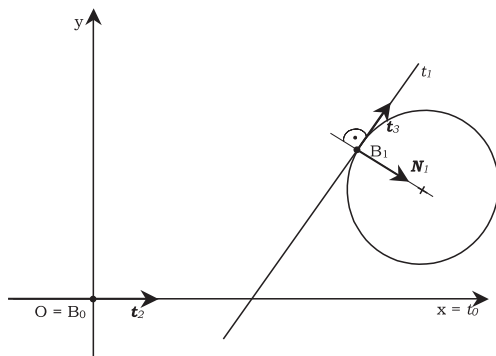
$$k = 3 \frac{b_1 \sin \alpha - b_2 \cos \alpha}{\sin \alpha} + \frac{9b_2^2}{2R \sin^3 \alpha} \tag{24}$$

Protože k má být kladné číslo, tak řešení (23) můžeme použít, jestliže

$$\frac{3}{\sin \alpha} \left(b_1 \sin \alpha - b_2 \cos \alpha - \frac{3b_2^2}{2R \sin^2 \alpha} \right) > 0, \text{ a odtud}$$

$$R > \frac{3b_2^2}{2 \sin^2 \alpha (b_1 \sin \alpha - b_2 \cos \alpha)} \tag{25}$$

Jestliže je splněna nerovnost (25), pak volba (21) čísla k znamená kladnou orientaci báze tvořené vektory t_3, N_1 a $2l(3p - k)\sin \alpha e_3$ (viz *Poznámka 2*), a to je situace znázorněná na *obr. 9*. Volba (22) čísla k znamená opačnou orientaci vektoru a kružnicový oblouk je s obloukem na *obr. 9* souměrný podle tečny t_1 (*obr. 10*).



Obr. 10.

Použijeme-li ve vektorové funkci (7) vzorců (16), (20) a (23), resp. (24), tak dostaneme parametrizaci přechodnice, kterou označme K_1 , vektorovou funkci

$$x(t) = \left(b_1 t^3 - 3 \frac{b_1 \sin \alpha - b_2 \cos \alpha}{\sin \alpha} (t^2 - t) - \frac{9b_2}{2R \sin^3 \alpha} (t^3 - t^2 + t), b_2 t^3 \right), t \in [0,1], \tag{26}$$

resp. parametrizaci přechodnice, kterou označme K_2 , vektorovou funkci

$$x(t) = \left(b_1 t^3 - 3 \frac{b_1 \sin \alpha - b_2 \cos \alpha}{\sin \alpha} (t^2 - t) + \frac{9b_2}{2R \sin^3 \alpha} (t^3 - t^2 + t), b_2 t^3 \right), t \in [0,1]. \tag{27}$$

Kubika K_1 (*obr. 11*) realizuje přechod mezi polopřímkou a kružnicovým obloukem z *obr. 9* a kubika K_2 (*obr. 12*) mezi polopřímkou a obloukem z *obr. 10*. Zvolili jsme $b_1 = 20, b_2 = 3, \alpha = 30^\circ$ a $R = 30$.



Obr. 11.



Obr. 12.

Poznámka 3: Limitním přechodem pro $R \rightarrow +\infty$ přejde kružnicový oblouk v polopřímku a vektorové funkce (26) a (27) přejdou ve vektorovou funkci (17).

4. Kubická parabola

V železničním stavitelství se jako jedna z přechodnic mezi polopřímkou a kružnicovým obloukem užívá část kubické paraboly, která je grafem funkce

$$y = ax^3, a \text{ je kladná konstanta, } x \in [0, b_1]. \tag{28}$$

Krajní body přechodnice jsou počátek $O = B_0$ a $B_1 = [b_1, ab_1^3, 0]$. Jde o přechodnici mezi polopřímkou na tečně kubické paraboly v jejím inflexním bodě O a kružnicovým obloukem na oskulační kružnici v bodě B_1 .

Zadáním souřadnic $b_1, b_2, b_1 > 0, b_2 > 0$, krajního bodu B_1 je určena konstanta a v (28). Přechodnici, která je částí kubické paraboly, můžeme parametrizovat vektorovou funkci

$$x(t) = (b_1 t, b_2 t^3, 0), t \in [0,1]. \tag{29}$$

Jednotkové směrové vektory tečen v bodech B_0 a B_1 jsou

$$t_2 = (1, 0, 0) \quad \text{a} \quad t_3 = \left(\frac{b_1}{\sqrt{b_1^2 + 9b_2^2}}, \frac{b_2}{\sqrt{b_1^2 + 9b_2^2}}, 0 \right). \tag{30}$$

Křivosti jsou hodnoty funkce

$$\rho(t) = \frac{6 b_1 b_2 t}{(b_1^2 + 9b_2^2 t^4)^{3/2}}, t \in [0,1]. \tag{31}$$

Poznámka 4: Přechodnice tvaru kubické paraboly se v železničním stavitelství nazývá Nördlingova, podle německého inženýra W. Nördlinga (1821-1908).

5. Kubická parabola jako Fergusonova kubika

Nechť kubická parabola je dána souřadnicemi $[b_1, b_2, 0]$ bodu B_1 . Potom ze vzorců uvedených v předchozím textu dostaneme:

$$\cos \alpha = \frac{b_1}{\sqrt{b_1^2 + 9b_2^2}}, \quad \sin \alpha = \frac{3b_2}{\sqrt{b_1^2 + 9b_2^2}},$$

$$p = \frac{2}{3}b_1, \quad q = \frac{1}{3}\sqrt{b_1^2 + 9b_2^2},$$

$$\rho(1) = \frac{1}{R(1)} = \frac{6b_1b_2}{(b_1^2 + 9b_2^2)\sqrt{b_1^2 + 9b_2^2}}.$$

Konstanta $l = \sqrt{b_1^2 + 9b_2^2}$ a konstanta $k = b_1$ nebo $k = 3b_1$.

Dosadíme-li do vektorové funkce (7), pak po úpravě dostaneme pro $k = b_1$ vektorovou funkci

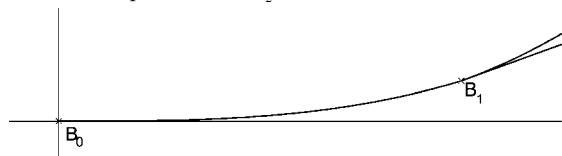
$$x(t) = (b_1t, b_2t^3), \quad t \in [0,1],$$

kteřou je parametrizována část kubické paraboly K_1 (29) a pro $k = 3b_1$ dostaneme vektorovou funkci

$$x(t) = (b_1t + 2b_1(t^3 - t^2 + t), b_2t^3), \quad t \in [0,1],$$

kteřou je parametrizována přechodnice K_2 .

Pro volbu $b_1 = 20, b_2 = 3$ jsme přechodnici K_1 znázornili na obr. 13 a přechodnici K_2 na obr. 14.



Obr. 13.



Obr. 14.

Můžeme konstatovat, že při vhodné volbě parametrů, kterými je zadána Fergusonova kubika, je Fergusonova kubika kubickou parabolou.

6. Závěr

Jak známo, nejlepší přechodnice mezi polopřímku a kružnicovým obloukem, užívaná ve stavebnictví, je klotoida a její 1. aproximace polynomickou funkcí, jejímž grafem je kubická parabola [6]. Ve zvolené soustavě souřadnic, jak jsme uvedli v předchozích odstavcích, je kubická parabola dána dvěma údaji. Například souřadnicemi b_1, b_2 , bodu B_1 nebo souřadnicí b_1 bodu B_1 a poloměrem kružnicového oblouku. K vytvoření přechodnice Fergusonovou kubikou zadáváme jak souřadnice bodu B_1 , tak souřadnice jednotkového směrového vektoru tečny v bodě B_1 , a také poloměr kružnicového oblouku. To je nesporná výhoda Fergusonovy kubiky proti kubické parabolě.

Bylo by vhodné porovnat Fergusonovu kubiku jako přechodnici s dalšími používanými přechodnicemi, jejichž přehled je uveden např. v [5], a zjistit, zda by alespoň v některých případech nebylo její použití možné či výhodné.

Literatura

- [1] Budinský, B. – Kepr, B.: Základy diferenciální geometrie s technickými aplikacemi. Praha, SNTL 1970.
- [2] Drs, L.: Plochy ve výpočetní technice. Praha, SNTL 1964.
- [3] Hoschek, J. – Lasser, D.: Fundamentals of Computer Aided Geometric Design. Wellesley, AK Peters 1993.
- [4] Kreyszig, E.: Differentialgeometrie (2. vydání). Leipzig, Akademische Verlagsgesellschaft. 1968.
- [5] Krejčířková, H.: Optimalizace směrového a výškového vedení trasy. Stavební obzor, 2, 1993, č. 10, s. 301-305.
- [6] Nádeník, Z.: Klotoida a kubická křivka. Práce ČVUT, IV, 1963.

Bartošová, P. – Maleček, K.: Ferguson's Cubical Curve as a Transition Curve

This article deals with the transition curves between two rays and between a ray and a circular arch in the plane. Ferguson's cubical curve is introduced as a circular arch and its connection with a cubical parabola is presented.

Bartošová, P. – Maleček, K.: Fergusonsche Kurve dritter Ordnung als Übergangsbogen

Im Artikel befassen wir uns mit den Übergangsbögen zwischen zwei Halbgeraden und zwischen einer Halbgerade und einem Kreisbogen in der Ebene. Als Übergangsbogen führen wir eine Fergusonsche Kurve dritter Ordnung an und zeigen ihren Zusammenhang mit einer kubischen Parabel.

Veletržní fóra a odborné akce



12. – 17. ledna 2009
Mnichov

K prezentacím vystavovatelů na 18. ročníku mezinárodního odborného veletrhu je nutné připočítat dvě veletržní fóra, určená především pro odborníky. Fórum „Budoucnost stavění“ se bude zabývat přednáškami na téma „Megacities“, „Energie a architektura“, „Bydlení dnes a zítra“, „Solární stavění“, „Dobývání vizí“ a „Emerging Stars“. Fórum „MakroArchitektur“ se soustředí na dialog mezi architektky a průmyslem. Převládají témata věnovaná tvorbě vnitřního prostoru a vnitřní architektury. Na programu jsou přednášky pod tituly „Materiál a výrobek“, „Barva a ornament“, „Povrch a inovace“, „Budova a detail“, „Fasády a jejich funkce“, „Architektura a odpovědnost“. Přednášet budou renomovaní architekti, plánovači a stavební inženýři. Prezentace budou tlumočeny do angličtiny. Další odborné akce bude možné navštívit v rámci speciálních ukázek, např. trvalá stavba, bezbariérové stavění, eurovize oken a dveří, budoucnost stavby ze dřeva, italský design.

www.bau-muenchen.de
www.expocs.cz

Ověření funkčnosti vnitřního zateplení pomocí počítačové simulace

Ing. Miloš JERMAN

Ing. Jiří MADĚRA, Ph.D.

Bc. Pavel KUČA

prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.

ČVUT – Fakulta stavební

Praha

Článek se zabývá návrhem dodatečné vnitřní tepelné izolace a možnostmi ověření funkčnosti počítačovou analýzou současného přenosu tepla a vlhkosti. Výsledky simulovaného průběhu teploty a relativní vlhkosti ukazují, že systém funguje z tepelně vlhkostního hlediska velmi dobře a vlhkost v něm nekondenzuje.

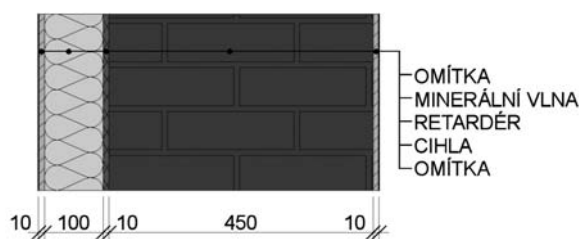
Úvod

Téměř každý majitel domu se zabývá otázkou, jak snížit náklady na jeho provoz. Ve většině případů k největší úspoře dojde snížením spotřeby energie na vytápění. Toho dosáhneme, opatříme-li objekt zateplovacím pláštěm, čímž zvýšíme tepelně izolační vlastnosti jeho obvodových stěn. Pro zateplení domu lze použít buď vnější, nebo vnitřní izolaci. Jako vnější izolace může sloužit provětrávaný nebo kontaktní systém. Vnější systémy s sebou přinášejí z pohledu stavební fyziky několik výhod. Vnější zateplení vytvoří kompaktní izolační plášť po celé ploše budovy. Tím eliminuje tepelné mosty v místě napojení stropních konstrukcí na obvodové zdivo. Zároveň objektu pomůže i z estetického hlediska. Ovšem ne vždy je vhodné takový druh zateplení použít. Typickým příkladem je historický objekt, u něhož je nutné vyhovět požadavkům památkářů na zachování architektonického vzhledu obvodového pláště. Často jsou také vnitřní tepelné izolační systémy aplikovány u budov s výrazně členěným průčelím, u nichž by vytvoření kompaktního tepelného pláště z exteriéru bylo časově a technologicky náročné. Vnitřní zateplení z pohledu stavební fyziky však není ideálním řešením. Kromě výhod má i řadu úskalí. Při návrhu dodatečné vnitřní izolace je nutné předejít několika rizikům. Největší problém činí zabránění prostupu vodní páry z interiéru do vrstvy tepelné izolace, v níž by za určitých teplot mohla zkondenzovat. Prostup vodní páry lze zamezit dvěma způsoby. Rizikem použití parozábrany pod vnitřní omítkou je nebezpečí jejího mechanického porušení, které opět může být příčinou kondenzace páry. Proto se zabýváme návrhem vnitřního tepelně izolačního systému, který by toto riziko eliminoval.

Charakteristika izolace

Základní ideou navrženého vnitřního tepelně izolačního systému je nahrazení klasické skladby zateplené vnější obvodové konstrukce ve složení (ve směru od exteriéru k interiéru): nosná stavební konstrukce, tepelná izolace, parozábrana; vnitřní omítkou se skladbou: nosná konstrukce, retardér pro vodní páru na principu cementového tmelu s vysokým faktorem difúzního odporu, hydrofilní tepelná izolace

na bázi minerální vlny a paropropustná omítkou (obr. 1). Funkčnost nově navrženého systému je možné ověřit ve třech fázích. Nejprve se provede počítačová simulace a na jejím základě se návrh optimalizuje. Pokud analýza funkčnosti potvrdí, je vhodné přistoupit k laboratornímu ověření.



Obr. 1. Schéma navrženého systému

Experiment semi-scale je časově náročný, trvá přibližně půl roku, ale poskytuje poměrně přesné výsledky. K téměř přesným výsledkům vede pokus "full-scale". Jeho nevýhodou je jeho časová a finanční náročnost.

Metodika a vstupní parametry

Hlavní výhodou počítačového ověření tepelně vlhkostní funkčnosti je rychlost zpracování jako jednorozměrný, dvojrozměrný nebo trojrozměrný model. Výsledky analýzy jsou však závislé na kvalitě měření. Vstupní parametry je nutné měřit v závislosti na vlhkosti materiálů, ze kterých se systém skládá, což je náročné jednak na čas, ale i na zkušenosti experimentátora. I přes tyto nepřesnosti však počítačová simulace poskytuje cenné výsledky, na jejichž základě je možné rozhodnout o dalším použití systému.

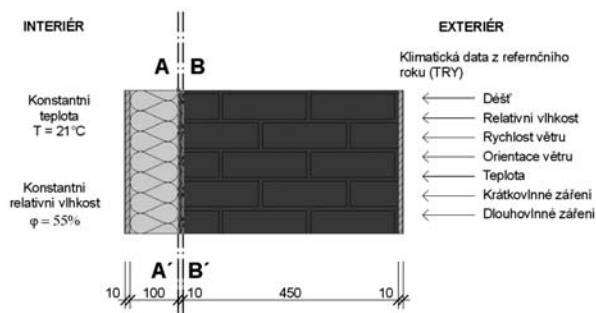
Pro počítačové simulace byl použit numerický program Transmat [1], vyvinutý na Katedře mechaniky Fakulty stavební ČVUT v Praze k řešení současného transportu tepla a vlhkosti v porézních stavebních materiálech, v konstrukčních detailech i pro trojrozměrné problémy. Transport vlhkosti a tepla v konstrukci můžeme vyjádřit jako soustavu parciálních diferenciálních rovnic řešenou metodou konečných prvků programovým balíkem SIFEL, jež je součástí programu Transmat. Základní proměnné, které charakterizují vlhkostně teplotní stav ve stavební konstrukci, mohou být charakterizovány jako funkce času a prostoru. Zvláštní výhodou programu Transmat je možnost řešení variant vztahujících se k různým stavbám, různým materiálům a různým klimatickým podmínkám. Skládá se z několika podpůrných programů, které slouží pro uživatelsky přjemnější a snadnější zadávání vstupních dat a pro zobrazení výstupních dat. Vstupní soubor, potřebný pro řešení v programu SIFEL, může být editován a uživatel má přístup k materiálové a klimatické databázi. Pro dále uváděné výpočty byl použit jeden z úspěšných difúzních modelů, který formuloval německý stavební fyzik Kunzel [2]. Tento difúzní model byl implementován do programu Transmat.

V ověřovaném izolačním systému jsme použili jako tepelnou izolaci hydrofilní minerální vlnu typu Dachrock firmy Rockwool, retardérem vodní páry byla cementová omítka SM-T FLT firmy Mamut-Therm, paropropustná vápenocementová omítka typu SM-T VCJ na vnější i vnitřní straně konstrukce byla od stejné firmy. Nosnou konstrukcí byla cihelná stěna. Vstupní data pro počítačovou simulaci jsou uvedena v tab. 1. Součinitel tepelné vodivosti se měnil v závislosti na vlhkosti, v tabulce je uveden pouze pro vysušený stav a stav plně nasycený vodou. Do programu Transmat byl pro jednotlivé materiály zadán jako funkce v závislosti na hmotnostní nasákavosti. Pro minerální vlnu Dachrock je rovnice tepelné vodivosti $\lambda = 0,0561e^{0,412x}$. Konstrukce je z interiérové strany namáhána konstantní teplotou 21 °C a konstantní relativní 55 %. Pro exteriérové namáhání byla použita klimatická data pro referenční rok pro Prahu (obr. 2).

Tab. 1. Materiálové charakteristiky [3]

Parametr	ρ	c	κ	μ	λ_{dry}	λ_{wet}	θ_{sat}	θ_{hyg}
	[kg/m ³]	[J/kgK]	[m ² /s]	[-]	[W/mK]	[W/mK]	[vol. %]	[vol. %]
omítka	1 490	1 004	8,00E-09	18	0,47	1,53	42	9,5
pálená cihla	1 746	895	3,00E-07	8,5	0,69	1,98	33	1,5
retardér	2 423	801	8,90E-10	22	0,627	1,7	12,2	4,7
Dachrock	1 700	810	5,50E-06	4,3	0,039	0,723	92,5	2

ρ – objemová hmotnost, c – měrná tepelná kapacita, κ – součinitel vlhkostní vodivosti, μ – faktor difúzního odporu vodní páry, λ_{dry} – součinitel tepelné vodivosti v suchém stavu, λ_{wet} – součinitel tepelné vodivosti ve stavu plně nasyceném vodou, θ_{sat} – saturovaná objemová vlhkost, θ_{hyg} – hygroskopická objemová vlhkost

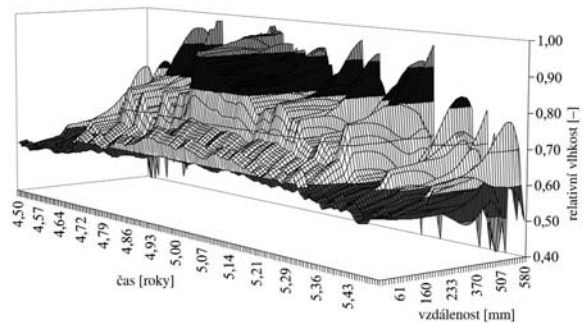


Obr. 2. Schéma navrženého systému, okrajové podmínky

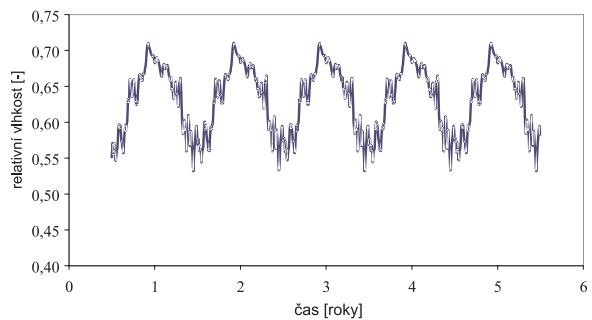
Výsledky počítačové simulace

Dlouhodobý stav tepelné izolace by měl být charakterizován vypočítanou teplotou, relativní vlhkostí vzduchu a obsahem vody. Pro porovnání vhodnosti jednotlivých variant byly vybrány tři charakteristické typy: profil A-A' mezi vnitřní tepelnou izolací a retardérem, profil B-B' mezi retardérem a cihelnou konstrukcí a příčný řez přes celou skladbu systému (obr. 1). V těchto profilech byla vypočítána závislost relativní vlhkosti vzduchu, teploty a obsahu vody na čase nebo na poloze.

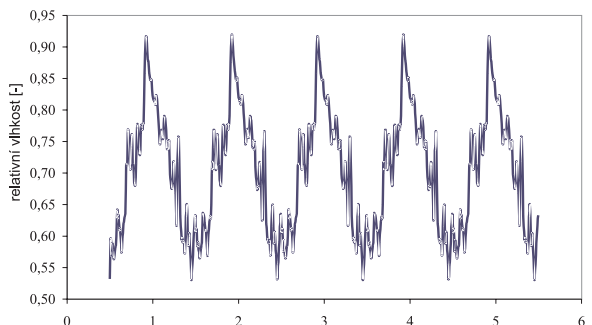
Průběh relativní vlhkosti v celé konstrukci během posledního roku simulace zachycuje obr. 3, z něhož je zřejmé, že vlhkost na omítce v interiéru nepřesáhne 60 %, v tepelné izolaci a v retardéru 70 %. Na exteriérové omítce se relativní vlhkost v některých obdobích blíží 100 %, což je vzhledem ke klimatickým podmínkám logické. Průběh mezi retardérem a tepelnou izolací během pěti let znázorňuje obr. 4. Maximální relativní vlhkost dosahuje 70 %, což je hodnota



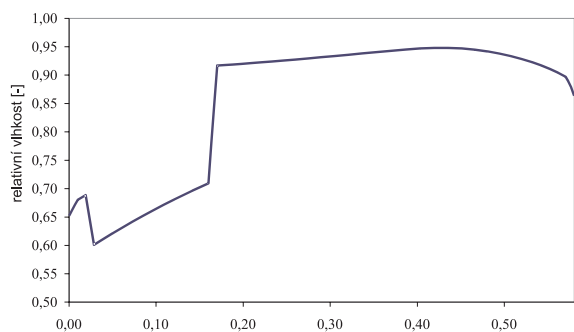
Obr. 3. Průběh relativní vlhkosti pro poslední rok simulace



Obr. 4. Průběh relativní vlhkosti v profilu A-A' (rozhraní mezi retardérem a tepelnou izolací)



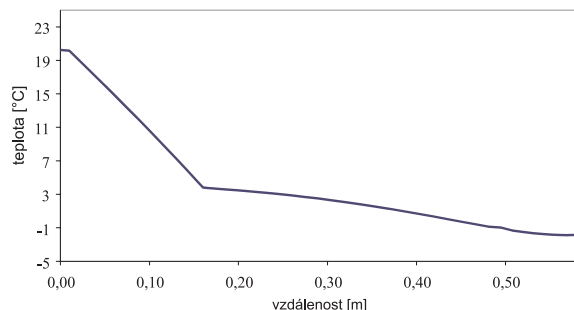
Obr. 5. Průběh relativních vlhkostí v profilu B-B' (rozhraní mezi retardérem a nosnou konstrukcí)



Obr. 6. Průběh relativní vlhkosti v profilu C-C' (podélný profil), 1. prosince v posledním roce simulace

dosti vzdálená nebezpečí kondenzace. Maxima relativní vlhkosti na obr. 5, zobrazující situaci na rozhraní mezi retardérem vodní páry a nosnou konstrukcí, dosahují 93 %, což znamená již určité riziko možné kondenzace, zejména pokud by nastalo extrémně chladné zimní období. Průběh relativní vlhkosti v příčném řezu konstrukce s dodatečným zateple-

ním v zimním období je zřejmý z obr. 6, v tepelné izolaci dosahuje 70 %. V retardéru však dojde k jejímu prudkému nárůstu až na 93 %. Průběh teplot v navrženém systému je zachycen v obr. 7. Největší gradient teploty vzniká logicky v minerální vlně.



Obr. 7. Průběh teploty v profilu C-C' (podélný profil), 1. prosince v posledním roce simulace

Závěr

Hlavním kritériem funkčnosti vnitřní tepelné izolace je výskyt kondenzace vody na rozhraní retardéru a nosné konstrukce a kondenzace vlhkosti v izolačním materiálu. Z tohoto hlediska systém s minerální vlnou Dachrock vyhovuje velmi dobře. Při použití retardéru SM-T FLT dosahuje v zimním období maximální relativní vlhkost na rozhraní

mezi tepelnou izolací a retardérem 70 %, což je hluboko pod kondenzační zónou. Mezi retardérem a nosnou konstrukcí dosahují maxima relativní vlhkosti cca 90 %, což je sice relativně blízko kondenzační mezi, ale vzhledem k velmi vysokým parametrům přenosu kapalné vlhkosti hydrofilní minerální vlny ani takové hodnoty relativní vlhkosti nepředstavují vážné nebezpečí pro konstrukci. Tepelně izolační funkce navržené vnitřní izolace byla při tloušťce 100 mm plně postačující, což je patrné z grafů znázorňujících teplotu ve zkoumaných profilech. Výsledky dosažené počítačovou simulací by však bylo vhodné ověřit v další fázi experimentálně, nejlépe v podmínkách semi-scale.

Článek vznikl za podpory projektu č. FI-IM3/188 MPO ČR.

Literatura

- [1] Maděra, J. – Černý, R.: TRANSMAT – A Computer Simulation Tool for Modeling Coupled Heat and Moisture Transport in Building Materials. Proceeding of Workshop 2005, Part A, B. Pratur, CTU, 2005, pp. 470-471.
- [2] Künzeli, H. M.: Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components. [PhD Thesis]. Stuttgart, IRB Verlag 1995.
- [3] Jerman, M. – Maděra, J. – Černý, R.: Počítačová analýza přenosu tepla a vlhkosti v obvodovém plášti. [Sborník], konference „Construmat 2007“, VŠB-TU Ostrava, 2007, ISBN 978-80-248-1536-7.

Jerman, M. – Maděra, J. – Kuča, P. – Černý, R.: Verification of Performance of Interior Thermal Insulation Using Computer Simulations

This paper describes the design of additional interior thermal insulation and the possibility of its verification using computational analysis of coupled heat and moisture transport. The simulated temperature and relative humidity fields show that the system works very well from the hygro-thermal perspective as no condensed moisture appears.

Jerman, M. – Maděra, J. – Kuča, P. – Černý, R.: Überprüfung der Funktionstüchtigkeit einer inneren Wärmedämmung durch Computersimulation

Der Artikel befasst sich mit dem Entwurf einer nachträglichen inneren Wärmedämmung und den Möglichkeiten der Überprüfung ihrer Funktionstüchtigkeit aufgrund einer Computeranalyse der gleichzeitigen Übertragung von Wärme und Feuchtigkeit. Die Ergebnisse der simulierten Verläufe von Wärme und relativer Feuchtigkeit zeigen, dass das System vom wärme- und feuchtigkeitstechnischen Gesichtspunkt sehr gut funktioniert und dass in ihm keine kondensierte Feuchtigkeit entsteht.

Rekonstruované prostory na Karlově náměstí



Systematická revitalizace areálu ČVUT na Karlově náměstí byla započata v roce 2004 a ukončena počátkem prosince loňského roku. Do



hlavního vestibulu budovy A je možné vejít novými prosklenými vchody nejen z náměstí, ale také přímo ze stanice metra, nová je i vrátnice s turnikety. Rekonstruovány byly halové laboratoře Ústavu materiálového inženýrství Fakulty strojní ČVUT v budově B.

V Zengerově historické posluchárně z roku 1905, kterou v objektu E využívá Elektrotechnická fakulta, byly původní dekorativní a architektonické prvky skloubeny s nejmodernější audiovizuální technikou. Tato památkově chráněná místnost, známá mezi studenty velmi úzkými a tvrdými lavicemi, dostala nové vybavení. Prostory budou sloužit nejen pro výuku, ale také pro slavnostní shromáždění a vědecké konference, které mohou být přenášeny po internetu po celém světě. Další zázemí, výukové a konferenční prostory vznikly rekonstrukcí více než 1 000 m² v půdním prostoru. Nové uživatele tam dopraví prosklený výtah, ze kterého je nádherný pohled na panoráma Prahy. Veškeré spojení v rámci areálu je bezbariérové.

Tisková informace

STAVEBNÍ OBZOR

ročník 17 – 2008



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

- Bajtala, M. – Sokol, Š.:* Problematika kontrolného merania skutočného tvaru slinkového síla, 3/88
- Balata, M.:* Optimální strategie čištění fukoidových pískovců, 7/217
- Bartošová, P. – Maleček, K.:* Fergusonova kubika jako přechodnice, 10/309
- Blažek, R. – Skořepa, Z.:* Měření svislých posunů totální staničí trigonometrickou metodou, 8/249
- Blažek, V. – Kalousková, M. – Šejnoha, M.:* Porovnání dvou metod citlivostní analýzy zemních svahů, 1/11
- Bukovský, J.:* Ekonomická úloha přístavních průmyslových zón, 6/183
- Burgetová, E. – Pazderka, J.:* Betony a krystalizační příměsi a jejich odolnost proti tlakové vodě, 6/168
- Čápová, D. – Hauveisen, M.:* Výstavba cyklostezek v ČR, 5/148
- Čejka, T. – Witzany, J.:* Výzkum fyzikálně mechanických vlastností porézních zdících prvků, 10/289
- Čejka, T. – Zigler, R. – Witzany, J.:* Vliv dynamického zatížení s vysokou frekvencí na snížení tuhosti prefabrikovaných stěnových systémů vícepodlažních budov, 4/97
- Experimentální výzkum zesilování zděných kleneb, 7/201
- Spolehlivost diagnostických metod pro stanovení zbytkové únosnosti stávajících zděných konstrukcí, 9/257
- Černý, R. – Jerman, M. – Maděra, J. – Kuča, P.:* Ověření funkčnosti vnitřního zateplení počítačovou simulací, 10/314
- Černý, R. – Kočí, J. – Maděra, M. – Tesárek, P.:* Počítačová simulace experimentu v reálných podmínkách – obvodový plášť na bázi lité sádry, 8/236
- Černý, R. – Maděra, J. – Tesárek, P.:* Počítačová simulace vlhkostních a teplotních polí v obvodovém plášti na bázi lité sádry, 6/175
- Černý, R. – Ondráček, M. – Sedlmajer, M. – Vejmelková, E.:* Trvanlivost vysokohodnotného betonu obsahujícího alternativní silikátová pojiva, 8/242
- Černý, R. – Pavlík, Z. – Fiala, L. – Pavlíková, M.:* Parametry transportu kapalně vlhkosti a síranů mšenského pískovce, 4/110
- Černý, R. – Pavlík, Z. – Jerman, M.:* Návrh a posouzení vnitřního tepelně izolačního systému na bázi hydrofilní minerální vlny, 5/134
- Černý, R. – Pavlíková, M. – Pernicová, R. – Keppert, M.:* Studium omítek navržených pro sanace historických objektů, 8/230
- Čudejko, M. – Macháček, J.:* Spřažené ocelobetonové příhradové nosníky, 7/193
- Dlask, P. – Šejnoha, J. – Milická, I. – Valenta, R.:* KSIM – efektivní nástroj pro integrované navrhování a projektové řízení – část II, 3/69
- Dlask, P. – Štemberk, P. – Šejnoha, J. – Milická, I.:* KSIM – efektivní nástroj pro integrované navrhování a projektové řízení – část I, 2/45
- Fiala, L. – Pavlíková, M. – Černý, R. – Pavlík, Z.:* Parametry transportu kapalně vlhkosti a síranů mšenského pískovce, 4/110
- Hánek, P. – Schütze, B.:* Příspěvek geodézie k revitalizaci historických objektů, 3/94
- Hodas, S.:* Modelové vyhodnotenie geodetických meraní napojení zhlaví v koľajisku, 3/74
- Jandeková, D. – Klečka, T. – Kolisko, J. – Pecina, K. – Kolář, K. – Konvalinka, P.:* Vliv přídavku metakaolinu na trvanlivost betonu, 6/172
- Jerman, M. – Černý, R. – Pavlík, Z.:* Návrh a posouzení vnitřního tepelně izolačního systému na bázi hydrofilní minerální vlny, 5/134
- Jerman, M. – Maděra, J. – Kuča, P. – Černý, R.:* Ověření funkčnosti vnitřního zateplení počítačovou simulací, 10/314
- Ježek, A. – Vraný, T.:* Výpočty tenkostěnných ocelových konstrukcí přímou pevnostní metodou, 6/161
- Jokl, M.:* Hodnocení tepelného stavu prostředí na základě skutečných pocitů člověka, 5/141
- Ohrožení mikroby v interiéru budov, 7/211
- Optimalizace mikrobiálního mikroklimatu, 8/225
- Kalousková, M. – Šejnoha, M. – Blažek, V.:* Porovnání dvou metod citlivostní analýzy zemních svahů, 1/11
- Keppert, M. – Černý, R. – Pavlíková, M. – Pernicová, R.:* Studium omítek navržených pro sanace historických objektů, 8/230
- Klečka, T. – Kolisko, J. – Pecina, K. – Kolář, K. – Konvalinka, P. – Jandeková, D.:* Vliv přídavku metakaolinu na trvanlivost betonu, 6/172
- Kočí, J. – Maděra, M. – Tesárek, P. – Černý, R.:* Počítačová simulace experimentu v reálných podmínkách – obvodový plášť na bázi lité sádry, 8/236
- Kolář, K. – Konvalinka, P. – Jandeková, D. – Klečka, T. – Kolisko, J. – Pecina, K.:* Vliv přídavku metakaolinu na trvanlivost betonu, 6/172
- Králík, M. – Satrapa, L.:* Rozložení rychlostí v příčném profilu měrného žlabu, 4/114
- Křemen, T. – Pospíšil, J. – Vondráčková, T.:* Kontrola provedení zemních prací automaticky řízeným dozerem, 10/300
- Kuča, P. – Černý, R. – Jerman, M. – Maděra, J.:* Ověření funkčnosti vnitřního zateplení počítačovou simulací, 10/314
- Kuráž, M.:* Variabilita odtokového koeficientu na povodí Uhlířská, 2/55
- Linková, L. – Rotbauerová, V. – Vorel, V.:* Ověřování přesnosti délkového posunu měřeného totální stanicí, 8/246
- Maděra, J. – Kuča, P. – Černý, R. – Jerman, M.:* Ověření funkčnosti vnitřního zateplení počítačovou simulací, 10/314
- Maděra, J. – Tesárek, P. – Černý, R.:* Počítačová simulace vlhkostních a teplotních polí v obvodovém plášti na bázi lité sádry, 6/175

- Maděra, M. – Tesárek, P. – Černý R. – Kočí, J.:* Počítačová simulace experimentu v reálných podmínkách – obvodový plášť na bázi lité sádry, 8/236
- Macháček, J.:* Farkas, J.-Jármaj, K.: Design and Optimization of Metal Structures (rec.), 9/276
- Macháček, J. – Čudejko, M.:* Spřažené ocelobetonové příhradové nosníky, 7/193
- Makovička, D. – Makovička, D. jr.:* Princip dynamického filtru pro snížení přenosu vibrací z podloží do konstrukce, 5/129
- Makovička, D. – Pospíšil, J. – Šmejkal, J.:* Únosnost spřažených desek v montážním stadiu zmonolitnění, 9/266
- Maleček, K. – Bartošová, P.:* Fergusonova kubika jako přechodnice, 10/309
- Marková, K. – Suchá, J. – Štroner, M.:* Další praktické zkušenosti ze zaměřování průběhu nadzemních vedení vysokého napětí, 4/123
- Míča, L. – Šlezinger, M.:* Vegetace a stabilita břehů, 3/79
- Milická, I. – Dlask, P. – Štemberk, P. – Šejnoha, J.:* KSIM – efektivní nástroj pro integrované navrhování a projektové řízení – část I, 2/45
- Milická, I. – Valenta, R. – Dlask, P. – Šejnoha, J.:* KSIM – efektivní nástroj pro integrované navrhování a projektové řízení – část II, 3/69
- Novotná, E. – Milická, I. – Šejnoha, J.:* Uplatnění simulace při řešení technicko-ekonomických rizik, 1/21
- Novotný, M. – Škramlík, J.:* Měření vlhkosti stavebních materiálů absorpční mikrovlnnou metodou, 1/1
- Ondráček, M. – Sedlmajer, M. – Vejmelková, E. – Černý, R.:* Trvanlivost vysokohodnotného betonu obsahujícího alternativní silikátová pojiva, 8/242
- Pacina, J.:* Vymezení hranic elementárních forem georeliéfu, 3/83
- Pavlik, Z. – Fiala, L. – Pavlíková, M. – Černý, R.:* Parametry transportu kapalné vlhkosti a síranů mšenského pískovce, 4/110
- Pavlik, Z. – Jerman, M. – Černý, R.:* Návrh a posouzení vnitřního tepelně izolačního systému na bázi hydrofilní minerální vlny, 5/134
- Pavlíková, M. – Pernicová, R. – Keppert, M. – Černý, R.:* Studium omítek navržených pro sanace historických objektů, 8/230
- Pazderka, J. – Burgetová, E.:* Betony a krystalizační příměsi a jejich odolnost proti tlakové vodě, 6/168
- Pecina, K. – Kolář, K. – Konvalinka, P. – Jandeková, D. – Klečka, T. – Kolísko, J.:* Vliv přísadky metakaolinu na trvanlivost betonu, 6/172
- Pernicová, R. – Keppert, M. – Černý, R. – Pavlíková, M.:* Studium omítek navržených pro sanace historických objektů, 8/230
- Peřínková, M.:* Dlouhodobá účinnost sanačních omítek na historických objektech z pohledu průběhu salinity zdiva, 6/179
- Pešková, Š. – Procházka, P.:* Optimální návrh tvaru vláken s konstantními povrchovými silami, 9/272
- Pospíšil, J. – Vondráčková, T. – Křemen, T.:* Kontrola provedení zemních prací automaticky řízeným dozerem, 10/300
- Pospíšil, J. – Šmejkal, J. – Makovička, D.:* Únosnost spřažených desek v montážním stadiu zmonolitnění, 9/266
- Pospíšil, J. – Štroner, M.:* Zhuštění naskenovaných mračen bodů daty z digitálního snímku, 5/156
- Analýza systematických vad skenování ploch s nenulovou křivostí, 9/280
- Procházka, J. – Štefan, R.:* Rozložení teplot v betonových prvcích vystavených požáru, 2/33
- Procházka, P. – Pešková, Š.:* Optimální návrh tvaru vláken s konstantními povrchovými silami, 9/272
- Pruška, J. – Salák, J.:* Převod mezi parametry Hoekovy-Brownovy a Mohrovy-Coulombovy podmínky, 10/293
- Rotbauerová, V. – Vorel, V. – Línková, L.:* Ověřování přesnosti délkového posunu měřeného totální stanicí, 8/246
- Říha, J.:* Posuzování zranitelnosti komplexních systémů infrastruktury, 10/304
- Salák, J. – Pruška, J.:* Převod mezi parametry Hoekovy-Brownovy a Mohrovy-Coulombovy podmínky, 10/293
- Satrapa, L. – Králík, M.:* Rozložení rychlosti v příčném profilu měrného žlabu, 4/114
- Sedlmajer, M. – Vejmelková, E. – Černý, R. – Ondráček, M.:* Trvanlivost vysokohodnotného betonu obsahujícího alternativní silikátová pojiva, 8/242
- Schütze, B. – Hánek, P.:* Příspěvek geodézie k revitalizaci historických objektů, 3/94
- Skořepa, Z. – Blažek, R.:* Měření svislých posunů totální stanicí trigonometrickou metodou, 8/249
- Sokol, Š. – Bajtala, M.:* Problematika kontrolního merania skutočného tvaru slinkového síla, 3/88
- Suchá, J. – Štroner, M.:* Ověřování souboru totálních stanic Topcon GPT-2006 v praxi, 6/189
- Suchá, J. – Štroner, M. – Marková, K.:* Další praktické zkušenosti ze zaměřování průběhu nadzemních vedení vysokého napětí, 4/123
- Suchá, J. – Štroner, M. – Špačková, L.:* Historické a současné metody zaměření průběhu nadzemních vedení vysokého napětí, 1/26
- Porovnání metod zaměření průběhu nadzemních vedení vysokého napětí, 2/60
- Svoboda, L. – Vimmrová, A.:* Hybridně lehčená sádrová hmota, 1/8
- Příprava pěnové sádrové hmoty pomocí kyselého činidla, 9/277
- Šejnoha, M. – Blažek, V. – Kalousková, M.:* Porovnání dvou metod citlivostní analýzy zemních svahů, 1/11
- Šejnoha, J. – Milická, I. – Dlask, P. – Štemberk, P.:* KSIM – efektivní nástroj pro integrované navrhování a projektové řízení – část I, 2/45
- Šejnoha, J. – Milická, I. – Valenta, R. – Dlask, P.:* KSIM – efektivní nástroj pro integrované navrhování a projektové řízení – část II, 3/69
- Šejnoha, J. – Novotná, E. – Milická, I.:* Uplatnění simulace při řešení technicko-ekonomických rizik, 1/21
- Šilarová, Š.:* Prosklené střechy, 2/40
- Škramlík, J. – Novotný, M.:* Měření vlhkosti stavebních materiálů absorpční mikrovlnnou metodou, 1/1
- Šlezinger, M. – Míča, L.:* Vegetace a stabilita břehů, 3/79
- Šmejkal, J. – Makovička, D. – Pospíšil, J.:* Únosnost spřažených desek v montážním stadiu zmonolitnění, 9/266
- Štefan, R. – Procházka, J.:* Rozložení teplot v betonových prvcích vystavených požáru, 2/33
- Štemberk, P. – Šejnoha, J. – Milická, I. – Valenta, R. – Dlask, P.:* KSIM – efektivní nástroj pro integrované navrhování a projektové řízení
- část I, 2/45
- část II, 3/69
- Štroner, M.:* Určení parametrů řetězovky z dat laserového skenování, 4/119
- Staněk, V.-Mostinová, G.-Kopáček, A.: Geodézie ve stavebnictví (rec.), 6/192
- Štroner, M. – Marková, K. – Suchá, J.:* Další praktické zkušenosti ze zaměřování průběhu nadzemních vedení vysokého napětí, 4/123
- Štroner, M. – Pospíšil, J.:* Zhuštění naskenovaných mračen bodů daty z digitálního snímku, 5/156
- Analýza systematických vad skenování ploch s nenulovou křivostí, 9/280
- Štroner, M. – Suchá, J.:* Ověřování souboru totálních stanic Topcon GPT-2006 v praxi, 6/189
- Štroner, M. – Urban, R.:* Prostorový skenovací systém s virtuálními binárními značkami, 5/151
- Švec, M.:* 100. výročí narození prof. Dr. Ing. V. Krumphanzla, 1/31
- Tesárek, P. – Černý, R. – Kočí, J. – Maděra, M.:* Počítačová simulace experimentu v reálných podmínkách – obvodový plášť na bázi lité sádry, 8/236

- Tesárek, P. – Černý, R. – Maděra, J.:* Počítačová simulace vlhkostních a teplotních polí v obvodovém plášti na bázi lité sádry, 6/175
- Toman, J.:* Dlouhodobé sledování teploty a vlhkosti na rekonstruované budově
- část I, 2/50
 - část II, 3/65
- Měření teplotního spádu uvnitř materiálu, 5/138
- Urban, R. – Štroner, M.:* Prostorový skenovací systém s virtuálními binárními značkami, 5/151
- Valenta, R. – Dlask, P. – Šejnoha, J. – Milická, I.:* KSIM – efektivní nástroj pro integrované navrhování a projektové řízení
- část II, 3/69
- Vejmelková, E. – Černý, R. – Ondráček, M. – Sedlmajer, M.:* Trvanlivost vysokohodnotného betonu obsahujícího alternativní silikátová pojiva, 8/242
- Vimmrová, A. – Svoboda, L.:* Hybridně lehčená sádrová hmota, 1/8
- Příprava pěnové sádrové hmoty pomocí kyselého činidla, 9/277
- Vondráčková, T. – Křemen, T. – Pospíšil, J.:* Kontrola provedení zemních prací automaticky řízeným dozerem, 10/300
- Vorel, V. – Línková, L. – Rotbauerová, V.:* Ověřování přesnosti délkového posunu měřeného totální stanicí, 8/246
- Vraný, T. – Ježek, A.:* Výpočty tenkostěnných ocelových konstrukcí přímou pevnostní metodou, 6/161
- Witzany, J. – Čejka, T.:* Výzkum fyzikálně mechanických vlastností poréznych zdících prvků, 10/289
- Witzany, J. – Čejka, T. – Zigler, R.:* Vliv dynamického zatížení s vysokou frekvencí na snížení tuhosti prefabrikovaných stěnových systémů vícepodlažních budov, 4/97
- Experimentální výzkum zesilování zděných kleneb, 7/201
 - Stanovení zbytkové únosnosti existujících zděných konstrukcí, 9/257
- Zemánková, J.:* Lomová mechanika a hodnocení mechanického chování některých stavebních materiálů, 4/106
- Zigler, R. – Witzany, J. – Čejka, T.:* Vliv dynamického zatížení s vysokou frekvencí na snížení tuhosti prefabrikovaných stěnových systémů vícepodlažních budov, 4/97
- Experimentální výzkum zesilování zděných kleneb, 7/201
 - Spolehlivost diagnostických metod pro stanovení zbytkové únosnosti stávajících zděných konstrukcí, 9/257

VĚCNÝ REJSTŘÍK

■ matematika

- Uplatnění simulace při řešení technicko-ekonomických rizik (*Novotná, E. – Milická, I. – Šejnoha, J.*), 1/21
- Fergusonova kubika jako přechodnice (*Bartošová, P. – Maleček, K.*), 10/309

■ fyzika

- Dlouhodobé sledování teploty a vlhkosti na rekonstruované budově (*Toman, J.*)
- část I, 2/50
 - část II, 3/65

■ technologie staveb

- Měření teplotního spádu uvnitř materiálu (*Toman, J.*), 5/138
- Kontrola provedení zemních prací automaticky řízeným dozerem (*Křemen, T. – Pospíšil, J. – Vondráčková, T.*), 10/300

■ stavební hmoty

- Měření vlhkosti stavebních materiálů absorpční mikrovlnnou metodou (*Škramlík, J. – Novotný, M.*), 1/1
- Hybridně lehčená sádrová hmota (*Vimmrová, A. – Svoboda, L.*), 1/8
- Parametry transportu kapalně vlhkosti a síranů mšenského pískovce (*Pavlík, Z. – Fiala, L. – Pavlíková, M. – Černý, R.*), 4/110

Návrh a posouzení vnitřního tepelně izolačního systému na bázi hydrofilní minerální vlny (*Pavlík, Z. – Jerman, M. – Černý, R.*), 5/134

Betony a krystalizační příměsi a jejich odolnost proti tlakové vodě (*Burgetová, E. – Pazderka, J.*), 6/168

Vliv přísady metakaolinu na trvanlivost betonu (*Kolář, K. – Konvalinka, P. – Jandeková, D. – Klečka, T. – Kolisko, J. – Pecina, K.*), 6/172

Optimální strategie čištění fukoidových pískovců (*Balátka, M.*), 7/217

Studium omítek navržených pro sanace historických objektů (*Pernicová, R. – Keppert, M. – Černý, R. – Pavlíková, M.*), 8/230

Trvanlivost vysokohodnotného betonu obsahujícího alternativní silikátová pojiva (*Vejmelková, E. – Černý, R. – Ondráček, M. – Sedlmajer, M.*), 8/242

Příprava pěnové sádrové hmoty pomocí kyselého činidla (*Svoboda, L. – Vimmrová, A.*), 9/277

■ konstrukce pozemních staveb

Prosklené střechy (*Šilarová, Š.*), 2/40

Počítačová simulace vlhkostních a teplotních polí v obvodovém plášti na bázi lité sádry (*Maděra, J. – Tesárek, P. – Černý, R.*), 6/175

Dlouhodobá účinnost sanačních omítek na historických objektech z pohledu průběhu salinity zdíva (*Peřínková, M.*), 6/179

Experimentální výzkum zesilování zděných kleneb (*Witzany, J. – Čejka, T. – Zigler, R.*), 7/201

Počítačová simulace experimentu v reálných podmínkách – obvodový plášť na bázi lité sádry (*Kočí, J. – Maděra, M. – Tesárek, P. – Černý, R.*), 8/236

Stanovení zbytkové únosnosti existujících zděných konstrukcí (*Witzany, J. – Čejka, T. – Zigler, R.*), 9/257

Výzkum fyzikálně mechanických vlastností poréznych zdících prvků (*Witzany, J. – Čejka, T.*), 10/289

Ověření funkčnosti vnitřního zateplení počítačovou simulací (*Jerman, M. – Maděra, J. – Kuča, P. – Černý, R.*), 10/314

■ technická zařízení budov

Hodnocení tepelného stavu prostředí na základě skutečných pocitů člověka (*Jokl, M.*), 5/141

Ohrožení mikroby v interiéru budov (*Jokl, M.*), 7/211

Optimalizace mikrobiálního mikroklimatu (*Jokl, M.*), 8/225

■ ekonomika a řízení ve stavebnictví

Ekonomická úloha přístavních průmyslových zón (*Bukovský, J.*), 6/183

■ stavební mechanika

Porovnání dvou metod citlivostní analýzy zemních svahů (*Kaloušková, M. – Šejnoha, M. – Blažek, V.*), 1/11

KSIM – efektivní nástroj pro integrované navrhování a projektové řízení (*Milická, I. – Dlask, P. – Štemberk, P. – Šejnoha, J.*)

– část I, 2/45

– část II, 3/69

Princip dynamického filtru pro snížení přenosu vibrací z podlahy do konstrukce (*Makovička, D. – Makovička, D. jr.*), 5/129

Vliv dynamického zatížení s vysokou frekvencí na snížení tuhosti prefabrikovaných stěnových systémů vícepodlažních budov (*Witzany, J. – Čejka, T. – Zigler, R.*), 4/97

Optimální návrh tvaru vláken s konstantními povrchovými silami (*Pešková, Š. – Procházka, P.*), 9/272

■ betonové konstrukce a mosty

Rozložení teplot v betonových prvcích vystavených požáru (*Procházka, J. – Štefan, R.*), 2/33

Únosnost sprážených desek v montážním stadiu zmonolitnění (*Šmejkal, J. – Makovička, D. – Pospíšil, J.*), 9/266

■ ocelové konstrukce

Lomová mechanika a hodnocení mechanického chování některých stavebních materiálů (*Zemánková, J.*), 4/106

Výpočty tenkostěnných ocelových konstrukcí přímou pevnostní metodou (*Ježek, A. – Vraný, T.*), 6/161

Sprážené ocelobetonové příhradové nosníky (Čudejko, M. – Macháček, J.), 7/193

■ geotechnika

Převod mezi parametry Hoekovy-Brownovy a Mohrovy-Coulombovy podmínky (Pruška, J. – Salák, J.), 10/293

■ silniční stavby

Výstavba cyklostezek v ČR (Čápková, D. – Hauveisen, M.), 5/148

■ hydrotechnika

Rozložení rychlostí v příčném profilu měrného žlabu (Satrapa, L. – Králík, M.), 4/114

■ hydromeliorace a krajinné inženýrství

Interakce nádrže na vodním toku a městského odvodnění (Šťastná, G. – Kabelková, I. – Stránský, D.), 1/16

Variabilita odtokového koeficientu na povodí Uhlířská (Kuráz, M.), 2/55

Vegetace a stabilita břehů (Miča, L. – Šlezinger, M.), 3/79

Posuzování zranitelnosti komplexních systémů infrastruktury (Říha, J.), 10/304

■ geodzie a pozemkové úpravy

Historické a současné metody zaměření průběhu nadzemních vedení vysokého napětí (Suchá, J. – Štroner, M. – Špačková, L.), 1/26

Porovnání metod zaměření průběhu nadzemních vedení vysokého napětí (Suchá, J. – Štroner, M. – Špačková, L.), 2/60

Modelové vyhodnocení geodetických meraní napojení zhlaví v kofajisku (Hodas, S.), 3/74

Vymezování hranic elementárních forem georeliéfu (Pacina, J.), 3/83

Problematika kontrolního merania skutočného tvaru slinkového síla (Bajtala, M. – Sokol, Š.), 3/88

Příspěvek geodzie k revitalizaci historických objektů (Schütze, B. – Hánek, P.), 3/94

Určení parametrů řetězovky z dat laserového skenování (Štroner, M.), 4/119

Další praktické zkušenosti ze zaměřování průběhu nadzemních vedení vysokého napětí (Suchá, J. – Štroner, M. – Marková, K.), 4/123

Prostorový skenovací systém s virtuálními binárními značkami (Urban, R. – Štroner, M.), 5/151

Zhuštění naskenovaných mračen bodů daty z digitálního snímku (Štroner, M. – Pospíšil, J.), 5/156

Ověřování souboru totálních stanic TOPCON GPT-2006 v praxi (Štroner, M. – Suchá, J.), 6/189

Ověřování přesnosti délkového posunu měřeného totální stanicí (Vorel, V. – Linková, L. – Rotbauerová, V.), 8/246

Měření svislých posunů totální stanicí trigonometrickou metodou (Blažek, R. – Skořepa, Z.), 8/249

Analýza systematických vad skenování ploch s nenulovou křivostí (Štroner, M. – Pospíšil, J.), 9/280

■ ČVUT

Workshop 2008 (– r –), 1/32

Členství ČVUT v mezinárodní platformě pro geotechniku (– r –), 3/73

Sedm statečných (– r –), 8/256

Rekonstruované prostory na Karlově náměstí (– r –), 10/316

■ dizertace 1/10, 1/32, 2/39, 2/49, 2/59, 3/82, 4/126, 5/137, 5/140, 5/147, 6/167, 7/210, 10/299, 10/303

■ Fakulta stavební ČVUT

Setkání zástupců stavební praxe s pedagogy fakulty (Ladra, J.), 8/255

Česká škola v indickém Himálaji (– r –), 9/288

■ konference

Sanace a rekonstrukce staveb 2008 (– r –), 1/30, 2/54

Nanotechnologie ve stavebnictví (– r –), 8/229

■ literatura

Berglová, E.-Dressel, J.: Němčina pro SPŠ stavební (– r –), 2/64

Bumba, J.: České katastry od 11. do 21. století (– r –), 2/64

Hošek, J. – Losos, L.: Historické omítky (– r –), 3/68

Stavební ročenka (– r –), 3/96

Rommers, K. H.: Velká solární zařízení (– r –), 3/98

Kraus, I.: Fyzika v kulturních dějinách Evropy – Století elektřiny (– r –), 5/155

Pokorný, J.: Odkaz Josefa Hlávky (– r –), 6/188

Bauer, Z.: Stavební stroje firmy Lanna, 7/224

Křenková, J.-Mazanec, M.: Přehled judikatury z oblasti stavebního práva (– r –), 8/229

■ projekty

Zlaté jablko (– r –), 1/32

Arkády Pankrác (– r –), 2/54

Budovu Národního muzea a budovu bývalého Federálního shromáždění spojí tunel (– r –), 3/87

Galerie Fénix (– r –), 4/126

Nordica Ostrava (– r –), 4/127

Nejvyšší budova v ČR (– r –), 4/128

Iglavia Park (– r –), 5/155

Explora Business Centre (– r –), 6/174

Palác Archa (– r –), 6/174

Západní město, 7/223

Budova Filadelfie (– r –), 8/245

■ recenze

Staněk, V.-Mostinová, G.-Kopáček, A.: Geodzie ve stavebnictve (Štroner, J.), 6/192

Farkas, J.-Jármai, K.: Design and Optimization of Metal Structures (Macháček, J.), 9/276

■ rekonstrukce

Historická budova Českého rozhlasu (– r –), 2/44

Bývalá tiskárna se promění na hotel (– r –), 5/150

Oprava historického mostu (– r –), 5/159

Hotel Jalta (– r –), 5/160

■ soutěže

Fine (– r –), 2/64

Dekhome (– r –), 4/126

Diplomová práce roku (– r –), 5/160

■ sympozia

Sanace 2008 (– r –), 4/128

■ technologie

V zimě hřeje, v létě chladí (– r –), 3/78

Do kanálu s robotem (– r –), 3/93

Zemní vruty (– r –), 8/254

■ veletrhy

Ekologické veletrhy (– r –), 2/64

Stavební veletrhy 2008 (– r –), 4/127

glasstec (– r –), 8/229

Intermat (– r –), 10/308

Bau 2009 (– r –), 10/313

■ výročí

100. výročí narození prof. Dr. Ing. V. Krumphanzla (Švec, M.), 1/31

100. výročí úmrtí mecenáše Josefa Hlávky (– r –), 7/200

■ výstava

Stoletý odkaz mecenáše Josefa Hlávky, 5/147

■ zprávy

Nové mostní svodidlo (– r –), 1/31

Na Islandu byl proražen první „český“ tunel (– r –), 6/182

Nové prostory pro odborná setkání (– r –), 9/279