

STAVEBNÍ OBZOR

ROČNÍK 18 ČÍSLO 1/2009

Navigace v dokumentu

OBSAH

Mohelníková, J. Hodnocení osvětlenosti tubusovými světlovody	1
Vejmelková, E. – Černý, R. – Ondráček, M. – Sedlmajer, M. Reologické, mechanické a tepelné vlastnosti betonu s alternativními silikátovými pojivy	6
Kuča, P. – Tesárek, P. – Maděra, J. – Černý, R. Posouzení dlouhodobého tepelně vlhkostního chování objektu s vnitřním zateplením	9
Fuciman, O. – Škramlík, J. Vliv kondenzace vodních par na změny tepelné vodivosti stavebních hmot	14
Štibinger, J. Odhad drenážních odtoků a jejich vliv na odtokové poměry v krajině	18
Kadeřábková, B. – Jašová, E. Analýza hospodářského cyklu z pohledu trhu práce v ČR a stavebnictví	24
Švec, M. – Vorel, V. Měření vodorovných posunů stavebních objektů metodou záměrné přímký – část 1	29

OBSAH

Mohelníková, J. Hodnocení osvětlenosti tubusovými světlovody	1
Vejmelková, E. – Černý, R. – Ondráček, M. – Sedlmajer, M. Reologické, mechanické a tepelné vlastnosti betonu s alternativními silikátovými pojivy	6
Kuča, P. – Tesárek, P. – Maděra, J. – Černý, R. Posouzení dlouhodobého tepelně vlhkostního chování objektu s vnitřním zateplením	9
Fuciman, O. – Škramlík, J. Vliv kondenzace vodních par na změny tepelné vodivosti stavebních hmot	14
Štibinger, J. Odhad drenážních odtoků a jejich vliv na odtokové poměry v krajině	18
Kadeřábková, B. – Jašová, E. Analýza hospodářského cyklu z pohledu trhu práce v ČR a stavebnictví	24
Švec, M. – Vorel, V. Měření vodorovných posunů stavebních objektů metodou záměrné přímky – část 1	29

CONTENS

Mohelníková, J. Evaluation of Illuminance by Tubular Light Guides	1
Vejmelková, E. – Černý, R. – Ondráček, M. – Sedlmajer, M. Effect of Alternative Silicate Binders on the Parameters Determining the Durability of High Performance Concrete	6
Kuča, P. – Tesárek, P. – Maděra, J. – Černý, R. Assessment of Long-Term Hygrothermal Behaviour of Buildings with Interior Thermal Insulation	9
Fuciman, O. – Škramlík, J. Effects of Water Vapour Condensation on Changes of Thermal Conductivity of Building Materials	14
Štibinger, J. Approximation of Drainage Discharges in Landscape and their Impact on Run-off Conditions	18
Kadeřábková, B. – Jašová, E. Analysis of Economic Cycle Given Job Market in CR and Construction Industry	24
Švec, M. – Vorel, V. Measurement of Horizontal Shifts of Building Structures by Method of Line of Sight – Part I	29

INHALT

Mohelníková, J. Bewertung der Beleuchtungsstärke durch Hohllichtleiter	1
Vejmelková, E. – Černý, R. – Ondráček, M. – Sedlmajer, M. Dauerhaftigkeitseigenschaften hochwertigen Betons, der alternative Silikatbindemittel enthält	6
Kuča, P. – Tesárek, P. – Maděra, J. – Černý, R. Beurteilung des langfristigen Wärme- und Feuchtigkeitsverhaltens eines Objektes mit innerer Wärmedämmung	9
Fuciman, O. – Škramlík, J. Der Einfluss der Kondensation von Wasserdämpfen auf die Veränderungen der Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen	14
Štibinger, J. Schätzung von Drainageabflüssen und ihr Einfluss auf die Abflussverhältnisse in der Landschaft	18
Kadeřábková, B. – Jašová, E. Analyse des Wirtschaftszyklus aus der Sicht des Arbeitsmarktes in Tschechien und das Bauwesen	24
Švec, M. – Vorel, V. Messung der horizontalen Verschiebungen von Bauwerken mit der Visierlinienmethode – Teil 1	29

REDAKČNÍ RADA

Předseda:

prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.

Místopředseda:

doc. Ing. Alois MATERNA, CSc.

Členové:

doc. Ing. Jiří BROŽOVSKÝ, Ph.D.

prof. Ing. Milena CÍSLEROVÁ, CSc.

prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.

prof. Ing. Rostislav DROCHYTKA, CSc.

doc. Ing. Vladislav HORÁK, CSc.

prof. Ing. Milan JIRÁSEK, DrSc.

doc. Ing. Marcela KARMAZÍNOVÁ, CSc.

doc. Ing. Jana KORYTÁROVÁ, Ph.D.

doc. Ing. Jan KRŇANSKÝ, CSc.

Ing. Karel KUBEČKA, Ph.D.

prof. Ing. arch. Alois NOVÝ, CSc.

prof. Ing. Jiří POSPÍŠIL, CSc.

prof. Ing. Jaromír ŘÍHA, CSc.

prof. RNDr. Ing. Petr ŠTĚPÁNEK, CSc.

prof. Ing. arch. Petr URLICH, CSc.

Ing. Renata ZDARILOVÁ, Ph.D.

STAVEBNÍ OBZOR, odborný lektorovaný měsíčník, vydává Fakulta stavební ČVUT Praha společně s Fakultou stavební VUT Brno, Fakultou stavební VŠB TU Ostrava a Českou komorou autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě. Řídí redakční rada, vedoucí redaktorka Marcela Klímová. Adresa redakce: Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel.: 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 9. 12. 2008. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

Hodnocení osvětlenosti tubusovými světlovedy

Ing. Jitka MOHELNÍKOVÁ, Ph.D.

VUT – Fakulta stavební
Brno

Světlovedy jsou trubicové systémy, které opticky spojují venkovní prostředí s interiérem. Jejich funkce je založena na principu dopravy světla na velké vzdálenosti pomocí mnohonásobných odrazů od vysoce reflexního povrchu. Instalace světlovedů přináší zlepšení zrakové pohody v budovách.

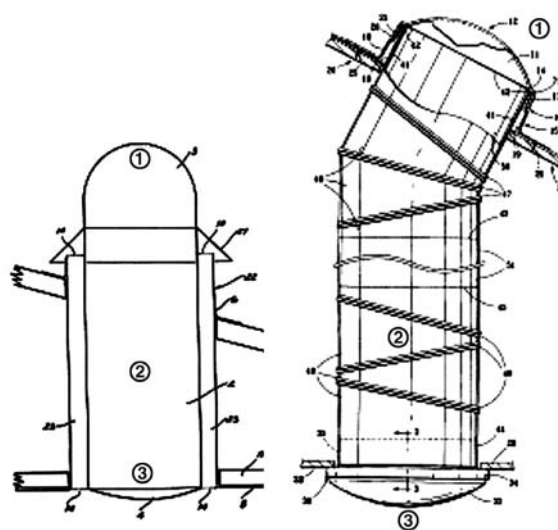
Úvod

V souvislosti s energeticky úspornými opatřeními a vyššími požadavky na zrakovou pohodu člověka je problematika denního osvětlení budov velmi aktuální. Technicky již existují možnosti, jak přivést denní světlo nestandardním způsobem i do obtížně osvětlitelných prostor. I když nelze světlovedné systémy [1] jednoznačně považovat za systémy denního osvětlení, jejich využití umožňuje zlepšení světelných podmínek v budovách a přispívá k úsporám elektrické energie.

Způsoby vedení světla do vnitřních částí budov jsou známy již od starověku, vývoj současných tubusových světlovedů lze sledovat od druhé poloviny dvacátého století. Roku 1986 patentoval v Austrálii systém jednoduchého tubusového světélku Sutton [2] a v roce 1992 jej ještě zdokonalil [3]. Světélku sestával z nástřešní kopule, reflexního tubusu a stropního krytu – difuzoru. Patent Bixbyho [4], vydaný v roce 1996, umožnil natáčení světlovedného tubusu a jeho instalaci v šikmých střeších. Oba vzory našly praktické uplatnění nejen v Austrálii, ale i v Severní Americe a brzy se rozšířily i do Evropy (obr. 1).

Tubusové světlovedy se jako zdánlivě jednoduché osvětlovací prvky začaly používat bez návrhových pravidel a požadavků. Je tedy jasné, že s prvními instalacemi se dostavily problémy, spočívající především v nedostatečné osvětlenosti za podmínek zatažené oblohy, nebo naopak s oslňováním za slunečných dnů. Proto vyvstala potřeba se o světlovedy více zajímat a vytvořit pro jejich navrhování a využívání v budovách pravidla.

V posledních dvaceti letech vznikaly matematické modely i experimentální studie pro vyhodnocení denní osvětlenosti vnitřních prostor. Vzhledem k různým metodám a přístupům k vyhodnocení a ve snaze sjednotit návrhová kritéria byla při mezinárodní komisi pro osvětlování CIE [5] ustavena skupina Technical Committee TC 3-30 Hollow Light Guides. Mezinárodní tým specialistů pak na základě dostupné literatury, výsledků současného výzkumu a zkušeností ze světlovedných instalací připravil podklady pro návrh a posuzování světlovedů [6].



Obr. 1. Tubusové světlovedy

a – patent Suttona [1], [2]; b – patent Bixbyho [3]

1 – nástřešní kopule, 2 – světlovedný tubus s vysoce reflexním povrchem, 3 – stropní difuzér

Metoda hodnocení

Funkci světlovedů lze ověřit světelné technickým měřením. Většinou se měří osvětlenost na pracovní rovině pod světlovedem a vyžaduje se soubor opakovaných měření ve stejném čase v interiéru i exteriéru. Podle požadavků normy [7] jsou směrodatná pouze měření při rovnoměrně zatažené obloze.

V praxi není často možné z časových nebo prostorových omezení provádět dlouhodobá měření, zvláště při obtížné přístupnosti do pracovních prostor a na střeche. Proto byla stanovena jednoduchá metoda pro vyhodnocení příspěvků osvětlenosti od světlovedu na libovolné pracovní rovině. Vnitřní odražená složka v prostoru pod tubusem, vznikající odrazem světla od vnitřních povrchů stěn, podlahy, stropu, nábytku a jiného interiérového vybavení [8], není do výpočtu pro přehlednost zahrnuta. Lze ji ovšem do výsledného posouzení začlenit určením celkové osvětlenosti, vyhodnocené metodou superpozice dílčích světelných příspěvků od prostupu světla světlovedem a světelných příspěvků od vnitřní odražené složky.

Postup pro vyhodnocení osvětlenosti je rozdělen do dvou kroků. V prvním kroku se stanoví jas stropního krytu světlovedu (difuzoru). Ten závisí na velikosti světelného toku, který prochází světlovedem, a tedy na vnějších světelných

podmínkách. Obecně lze jas difuzoru L_d [cd m⁻²] vyjádřit vztahem [9]

$$L_d = \frac{\Phi}{A \omega \cos \theta}, \quad (1)$$

kde Φ je světelný tok vystupující ze světlovodu [lm];

A – plocha difuzoru [m²];

ω – prostorový úhel, ve kterém se světlo ze světlovodu dostává do posuzovaného místa na pracovní rovině [sr];

θ – úhel mezi normálou plochy difuzoru a směrem světelného paprsku od středu difuzoru do posuzovaného místa [°].

Jas difuzoru byl monitorován jasovou kamerou pro klimatické podmínky odpovídající obloze jasně, oblačně až rovnoměrně zataženě.

Druhý krok hodnocení sestává z výpočtu osvětlenosti na zvolené pracovní rovině pod světlovodem. Vyhodnocuje se tedy světlo, které prochází přímo ze světlovodu. Osvětlenost v libovolném bodě na pracovní rovině v místnosti se stanoví na základě průměrných hodnot jasu difuzoru pro dané vnější světelné podmínky. Pracovní rovina je umístěna v libovolné výšce pod světlovodem a může být nejen vodorovná, ale také šikmá, např. při hodnocení osvětlenosti ve schodišťovém prostoru.

Osvětlenost E_i [lx] na pracovní rovině kolmé ke směru dopadu světelného paprsku (obr. 2) se vypočítá podle vzorce

$$E_i = \int L_d d\omega_i = L_d \frac{A_i}{\left(\frac{V}{\cos \theta_i}\right)^2}, \quad (2)$$

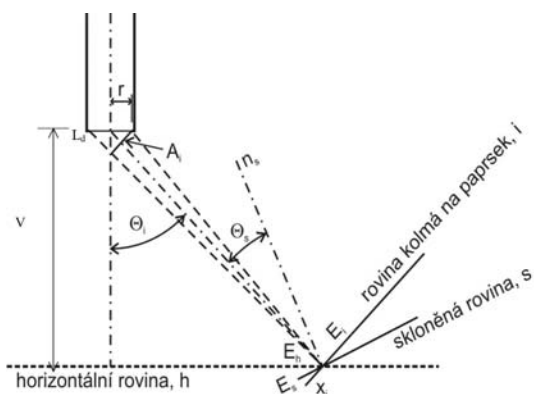
kde L_d je střední hodnota jasu stropního difuzoru [cd m⁻²];

V – svislá vzdálenost od středu difuzoru na pracovní rovinu [m];

$d\omega_i$ – prostorový úhel ve směru paprsku, ve kterém světlo z difuzoru světlovodu dopadá na posuzovaný bod na pracovní rovině [sr];

θ_i – úhel mezi svislou osou světlovodu a spojnicí středu difuzoru a posuzovaného bodu na pracovní rovině [°];

A_i – plocha kolmého průmětu stropního difuzoru ve směru spojnice mezi středem difuzoru a posuzovaným bodem na pracovní rovině [m²].



Obr. 2. Schéma základních vztahů pro výpočet osvětlenosti na různých rovinách

Plocha difuzoru A_i se stanoví jako

$$A_i = \pi r^2 \cos \theta_i, \quad (3)$$

kde r je poloměr difuzoru [m]. Vztah (2) pro výpočet osvětlenosti E_i lze pomocí rovnice (3) přepsat

$$E_i = \frac{\pi L_d r^2}{V^2} (\cos \theta_i)^3. \quad (4)$$

V případě, že se uvažuje průmět do roviny, která není kolmá k ose prostorového úhlu, se vztah (4) koriguje na průmět do příslušné roviny s (obr. 2)

$$E_s = \frac{\pi L_d r^2}{V^2} (\cos \theta_i)^3 \cos \theta_s, \quad (5)$$

kde θ_s je úhel, který svírá rovina dopadu s osou prostorového úhlu, ve kterém dopadá světlo ze stropního difuzoru, tedy spojnice středu difuzoru a posuzovaného místa v místě dopadu na skloněnou rovinu. Pokud jde o rovinu rovnoběžnou se stropním difuzorem, potom se uvedený vztah (5) zjednoduší na tvar

$$E_h = \frac{\pi L_d r^2}{V^2} (\cos \theta_i)^4. \quad (6)$$

Příklad

Pro vyhodnocení osvětlenosti podle uvedené metody byl použit světlovod \varnothing 0,52 m, celkové délky 4,8 m, instalovaný v prostoru chodby v centrální části školní budovy (obr. 3, obr. 4). Jas stropního difuzoru byl stanoven ze snímků pořízených analyzátozem LMK Vario pro různé venkovní podmínky – pro jasnou, polojasnou a rovnoměrně zataženou oblohu (obr. 5, tab. 1).

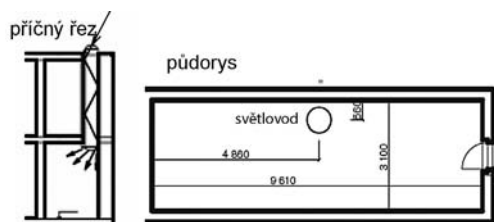
Tab. 1. Jas stropního difuzoru*

Obloha	Řez	Jas stropního difuzoru L_d [cd m ⁻²]			
		minimální	maximální	střední	standardní odchylka
zatažená	I	1 094,0	1 917,0	1 541,0	114,0
	II	988,6	2 016,0	1 589,0	153,6
	III	866,4	1 903,0	1 562,0	141,2
	průměr	983,0	1 945,3	1 564,0	136,3
polojasná	I	2 540,0	4 512,0	3 485,0	364,0
	II	306,7	4 574,0	3 568,0	340,0
	III	2 025,0	4 700,0	3 489,0	438,4
	průměr	1 623,9	4 595,3	3 514,0	380,8
jasná, slunečná	I	5 679,0	17 130,0	13 790,0	1 622,0
	II	6 515,0	17 220,0	13 910,0	1 549,0
	III	6 762,0	17 690,0	14 310,0	1 387,0
	průměr	63 18,7	17 346,7	14 003,3	1 519,3

* Hodnoty jasu stanovené pro řezy I, II a III na obr. 5.

Průměrný jas oblohy nad světlovodem se měřil multimetrem CEM DT-8823. Porovnání hodnot osvětlenosti na pracovní rovině 2 m pod světlovodem běžně používaných průměrů 0,25; 0,50 a 0,75 m pro zadané hodnoty jasů stropních difuzorů pro hodnoty 1 000, 4 000 a 14 000 cd m⁻² je uvedeno v tab. 2. Vypočtené hodnoty osvětlenosti byly porovná-

ny s hodnotami ze světelných měření pro podmínky jasné, polojasné a zatažené oblohy. Osvětlenost se vyhodnocovala na pracovní rovině 850 mm nad podlahou (2 m pod stropním difuzorem). K měření sloužil luxmetr Lutron LX.



Obr. 3. Schéma řezu a půdorysu místnosti se světlovodem

Tab. 2. Vnitřní osvětlenost [lx]

Vzdálenost (úhel θ)	Jas difuzoru L_d [cd m ⁻²]	Průměr tubusu světlovodu d [m]		
		0,25	0,5	0,75
0 ($\theta_0 = 0,0^\circ$)	1 000	49,1	12,3	110,4
	4 000	196,4	49,2	441,6
	14 000	687,4	172,2	1545,6
1 ($\theta_1 = 26,6^\circ$)	1 000	35,1	8,8	79
	4 000	140,5	35,2	316
	14 000	491,4	123,2	1106
2 ($\theta_2 = 45,0^\circ$)	1 000	17,4	4,3	39
	4 000	69,4	17,4	156,1
	14 000	243,6	60,2	546
3 ($\theta_3 = 56,3^\circ$)	1 000	8,4	2,1	18,8
	4 000	33,5	8,4	75,4
	14 000	117,6	29,4	263,2

Poznámka: Vzdálenosti 0-3 m jsou vodorovné vzdálenosti na pracovní rovině od svislé osy světlovodu. Úhly θ_0 - θ_3 svírá spojnice středu difuzoru s posuzovaným bodem na pracovní rovině a se svislou osou světlovodu.

Z obrázku 3 je patrné, že světlovod je posunutý směrem k okraji místnosti. Zde by výsledky měření byly jistě ovlivněny odrazem světla od blízké stěny. Pro omezení vlivu vnitřní odrazné složky byla stěna po dobu měření zakryta černým plátnem, čímž byly zabezpečeny podmínky pro zjištění světelného příspěvku pod světlovodem. Porovnání na-

měřených a vypočtených hodnot je uvedeno v tab. 3. Chyba ve výpočtu 7,5-7,6 % je pro polojasnou a zataženou oblohu, pro jasnou slunečnou oblohu se rozdíl mezi vypočtenými a naměřenými hodnotami zvětšuje až na 42,8 %. To je způsobeno tím, že ve výpočtu byla zadána hodnota stropního difuzoru pro jasnou oblohu, která odpovídá průměrné hodnotě. Ve skutečnosti výsledky měření ovlivnila místní a časová proměnlivost a dynamika denního světla, která je během jasného dne výrazná.

Tab. 3. Porovnání získaných hodnot (v ose světlovodu, 2 m pod difuzorem)

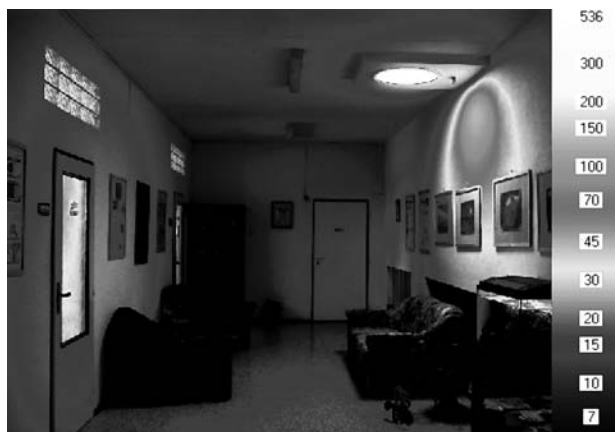
Obloha	Zdroj	Osvětlenost E [lx]	Rozdíl [%]
zatažená	výpočet	53,1	7,6
	měření	57,5	
polojasná	výpočet	185,1	7,5
	měření	200,0	
jasná	výpočet	732,3	42,8

Měření byla provedena podle požadavku pro denní osvětlení – rovnoměrně zatažená obloha, venkovní osvětlenost na nezastíněné vodorovné rovině 3 800 až 5 000 lx [7], [10]. Naměřené a vypočítané hodnoty osvětlenosti na pracovní rovině v ose světlovodu a ve vzdálenosti 0,5; 1,0; 1,5 a 2,0 m od osy jsou porovnány v tab. 4.

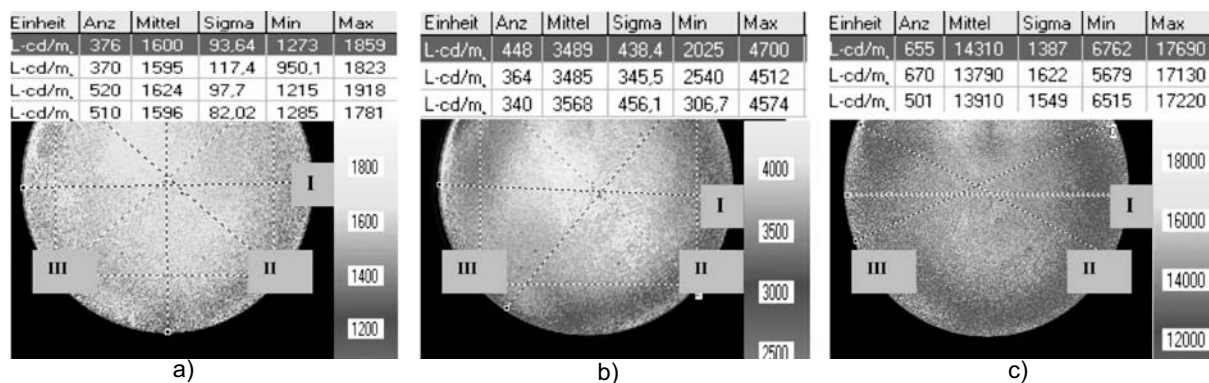
Tab. 4. Porovnání osvětlenosti pod světlovodem při rovnoměrně zatažené obloze

Vzdálenost [m] od svislé osy x	0	0,5	1	1,5	2
osvětlenost [lx]					
měřená	57,5	44,5	29,7	16,3	4,5
vypočítaná	53,1	51,9	38	15,6	4,8
rozdíl [lx]	4,4	7,4	8,3	0,7	0,3
rozdíl [%]	7,6	14,2	21,8	1,2	5,3

Rozdíl mezi vypočtenými a naměřenými daty, uvedenými v tab. 3, je způsoben rozdílnými vstupními údaji použitými pro výpočet. Přímá složka osvětlenosti, vznikající prostřednictvím mnohonásobných odrazů světlovodem, byla uvažována při výpočtu. Výsledky z měření vnitřní osvětlenosti



Obr. 4. Fotografie a jasový snímek místnosti se světlovodem

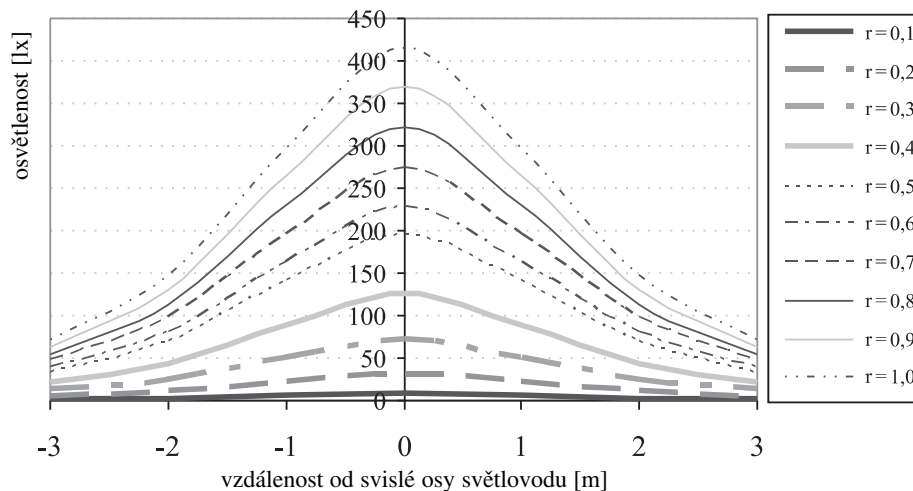


a)

b)

c)

Obr. 5. Jasové snímky stropního difuzoru

a – zatažená obloha (jas 4 825 cd m⁻²), b – polojasná (jas 9 292 cd m⁻²), c – jasná (jas 31 820 cd m⁻²)

Obr. 6. Grafické znázornění rozložení vnitřní osvětlenosti na srovnávací rovině

jsou však ovlivněny vnitřní odraženou složkou od podlahy a podhledu v posuzované místnosti. Pro výpočet byl předpokládán ideálně rozptýlný difuzor, reálný difuzor však propouští nejvíce světla přímo ve směru svislé osy světlovodu. Výpočty založené na předpokladu ideálního rozptýlení světla stropním difuzorem však dávají vyšší hodnoty osvětlenosti ve vzdálenějších místech od svislé osy světlovodu v porovnání s naměřenými údaji.

Z porovnání vyplývá, že popisovanou metodu hodnocení osvětlenosti pod tubusovými světlovody lze použít zvláště pro podmínky zatažené a polojasně oblohy. Pro ukázkou byl proveden výpočet osvětlenosti na pracovní rovině 2 m pod světlovody různých rozměrů (poloměr $r = 0,1-1,0$ m), výpočet byl proveden pro jas difuzoru $L_d = 1\,000$ cd m⁻² při zatažené obloze (obr. 6).

Závěr

Osvětlenost v prostoru pod světlovodem se může výrazně měnit v závislosti na venkovních podmínkách. Jak je zřejmé z výsledků výpočtů i měření, osvětlenost na pracovní rovině 2 m pod difuzorem se mění v rozsahu 53 až 1 280 lx. Dosažené výsledky se shodují se závěry obdobných posouzení, uvedených v odborné literatuře [11]-[14]. Z vyhodnocení je patrné, že světlovody sice nemohou denní osvětlení okny nahradit, lze je však využít jako doplňkový zdroj světla, a především tam, kde instalace klasických osvětlovacích otvorů není možná, např. v chodbách, halách, vestibulech a prostorách pod úrovní terénu.

Tubusové světlovody tedy představují osvětlovací systém, který otevřel možnosti k zajištění hygienických požadavků

na osvětlení s minimálními energetickými a provozními náklady v těch částech budov, kde se až donedávna mohlo svítit pouze elektrinou. Hlavním přínosem je umožnění přístupu přirozeného denního světla včetně dynamických změn v závislosti na venkovních světelných podmínkách. Dynamický účinek s měnící se barvou a intenzitou denního osvětlení je nezbytný pro zajištění zrakové pohody. Zvláště v provozech, kde převažuje monotónní činnost, je dynamika denního světla silně motivující. I když světlovody nelze považovat za systémy denního osvětlení, je možné jejich prostřednictvím dynamiku denního světla získávat. V tomto směru mohou světlovody najít široké uplatnění s ohledem na jejich aplikovatelnost téměř u všech typů budov.

Hodnocení světlovodů probíhalo za podpory projektů MŠMT Kontakt CZ-102 “Výzkum reálných celoročních podmínek osvětlenosti pro efektivní využití světlovodů v klimatických podmínkách ČR a SR” a MŠMT Kontakt MEB 080804 “Směrové charakteristiky difuzorů pro systémy světlovodů”.

Literatura

- [1] Bracale, G. – Mongozzi, A. – Bottigliani, S.: Performance and Daylighting Applications of Solatube, the Tubular Skylight. Proc. 9th European Lighting Conference Lux Europa 2001, Reykjavík, 2001, pp. 360-384.
- [2] Sutton, S.: Australian Patent # 586359, 1986.
- [3] Sutton, S.: USA patent 5,099,622, Tubular Skylight, 1992.
- [4] Bixby, B.: USA patent 6363667 (5,546,712). Tubular Skylight Systems, 1996.

- [5] <http://www.cie.co.at>
- [6] CIE 173: 2006, Tubular Daylight Guidance System. Technical Report. CIE, Vienna.
- [7] ČSN 36 0011-2 Měření osvětlení vnitřních prostorů. Část 2: Měření denního osvětlení. ČSN, 2006.
- [8] ČSN 73 0580-1 Denní osvětlení budov. Část 1 – Základní požadavky. ČSN, 2007.
- [9] Habel, J. a kol.: Světelná technika a osvětlování. Praha, FCC Public 1995, s. 20.
- [10] Suchánek, P.: Modelování světelného pole budov se světlovody. [Dizertační práce], VUT Brno, 2007.
- [11] Carter, D. J.: The Measured and Predicted Performance of Passive Solar Light Pipe Systems, Lighting Research & Technology, 2002, Vol. 33, No. 1, pp. 39-52.
- [12] Shao, L. – Riffat, S. B. – Hick, W. – Yohannes, I.: A Study of Performance of Light Pipes Under Cloudy and Sunny Conditions in the UK. Right Light, 1997, Vol. 1, No. 4.
- [13] Jenkins, D. – Muneer, T. – Kubie, J.: A Design Tool for Predicting the Performance of Light Pipes. Energy and Buildings, 37, 2005, pp. 485-492.
- [14] Oakley, G. – Riffat, S. B. – Shao, L.: Daylight Performance of Lightpipes. , Vol. 69, No. 2, 2000, pp. 89-98.

Mohelníková, J.: Evaluation of Illuminance by Tubular Light Guides

Light guides are special tubular systems, which optically connect outdoors with indoors. Their function is based on the principle of light transport to a distant place due to multi-reflections on highly reflective surface. Practical applications of tubular light guides have brought possibility of improvement of visual comfort in buildings. The article presents a method of the evaluation of illuminance under the light guide.

Mohelníková, J.: Bewertung der Beleuchtungsstärke durch Lichtleiter

Hohllichtleiter sind röhrenförmige Systeme, die die Außenwelt mit dem Gebäudeinnern verbinden. Ihre Funktion basiert auf dem Prinzip des Lichttransports über große Entfernungen mit Hilfe vielfacher Reflexionen an einer Reflexionsoberfläche. Die Installation von Lichtleitern bewirkt die Möglichkeit einer Verbesserung der optischen Behaglichkeit in Gebäuden. Der Artikel beschreibt die Art und Weise der Auswertung der Beleuchtungsstärke unter dem Hohllichtleiter.

● projekty

Kancelářský areál PARK

Areál PARK je jeden z největších svého druhu v České republice. Tvoří ho 12 budov o rozloze více než 190 000 m² a díky své poloze a unikátním architektonickým prvkům je velmi dobře vidět již z dálky. Organická stěna (Datum Wall) po celé přední části areálu slouží jako protihluková bariéra, a zároveň je to skvělý příklad využití ekologických technologií snižujících emise uhlíku, které při provozu areálu vznikají. Všechny objekty jsou obklopeny velkým množstvím prakticky řešených ploch zeleně, pečlivě vybraných druhů stromů, rostlin a travin. Přírodní atmosféru dotvářejí všudypřítomné potoky, fontány a jezírka. Zahradní nádvoří a vestibuly spojují budovy s okolním areálem, a vytvářejí tak ojedinelý koncept kancelářského pracoviště. V noci jsou budovy osvětleny barevnými reflektory, což vytváří zajímavý estetický efekt. Příjemné pracovní prostředí pak dotvářejí originálně řešené interiérové i venkovní zahrady a parky. Parkové plochy v okolí projektu jsou první veřejné parky, které v České republice vznikly od roku 1938.



Komplex se nachází v nejrychleji se rozvíjející pražské obchodní lokalitě hlavního města se skvělou dopravní dostupností. Stanice metra Chodov je vzdálena pouhých 50 m, v těsné blízkosti areálu vede dálnice Praha – Budapešť – Vídeň. Přilehlé nákupní a zábavní centrum Chodov spoluvytváří novou dynamickou čtvrť.

Architektonický koncept tohoto projektu měli na starost Jakub Cigler a Vincent Marani z architektonického studia Cigler Marani Architects. Společnost v současnosti zaměstnává přes šedesát lidí a má na kontě velké množství významných projektů v České republice včetně nové budovy Rádia Svobodná Evropa a vítězného návrhu na přestavbu Václavského náměstí.

Tisková informace



IHM PROFI

11.–15. března 2009

Mnichov

Nosným tématem veletrhu, určeného malým a středním podnikatelům, je v letošním roce přestavba nebo dodatečně vybavení užitkových vozidel. Návštěvníci zde mohou získat informace o vozidlech nové generace, o možnostech přestavby automobilů na zemní plyn, různých technologiích čističů motorové nafty, a to vše v souvislosti s požadavky Evropské unie na ochranu životního prostředí. Náradí a stroje automobilové dílny zaujmají třetinu celkové plochy. Expozice věnované restaurování historických i současných vozidel přehlídku završují.

www.ihm.de

Reologické, mechanické a tepelné vlastnosti 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 prezentovány výsledky měření materiálových parametrů vysokohodnotných betonů s obsahem alternativních silikátových pojiv, konkrétně strusky, popílku a metakaolinu. Reologické, mechanické a tepelné vlastnosti jsou porovnány s vlastnostmi referenčního betonu bez obsahu těchto pojiv.

Úvod

V posledních letech se pozornost výrobců cementu a betonu obrací k náhradě energeticky náročného pojiva alternativními materiály. V případě cementu nejde jen o vysokou spotřebu tepla při jeho výrobě, ale také o emise oxidu uhličitého, který vzniká nejen při spalování organických látek používaných jako palivo, ale také při rozkladu vápence, jenž je hlavní surovinou pro výrobu portlandského cementu. Při výrobě 1 t cementu je emitována do ovzduší cca 1 t CO₂. Jako alternativní materiály, které se chovají při vytváření pevné struktury betonu jako pucolánová, resp. hydraulická pojiva, lze použít popílek nebo strusky, které vznikají jako odpad v jiných průmyslových odvětvích. Dalším materiálem je metakaolin, který se vyrábí odvodněním kaolinu při teplotě okolo 700 °C, což je teplota téměř o 800 °C nižší než teplota výpalu cementu [1]-[3].

Cílem tohoto článku, zaměřeného na prezentaci reologických, mechanických a tepelných vlastností vysokohodnotných betonů, ve kterých byla část portlandského cementu nahrazena elektrárenským vysokoteplotním popílkem, jemně mletou vysokopecní granulovanou struskou a metakaolinem, je rozšířit poznání o možnostech použití alternativních silikátových pojiv. Experimentální měření byla prováděna v laboratorních podmínkách při teplotě 22 ± 1 °C.

Materiály

Vysokohodnotné betony byly vyrobeny ve čtyřech modifikacích. Jako náhrada cementového pojiva byla použita jemně mletá vysokopecní struska, elektrárenský popílek a metakaolin MEFISTO K 05. Měřené parametry byly porovnány s vlastnostmi referenčního betonu, který neobsahoval žádnou z těchto přísad.

Ve směsi pro výrobu vysokohodnotného betonu bylo nahrazeno 9,1 % cementu alternativními silikátovými materiály. Vlastnosti získaných směsí byly porovnány s vlastnostmi referenčního betonu (tab. 1). Množství záměsově vody bylo pro všechny receptury zvoleno tak, aby bylo dosaženo konzistence S3 [4], a tím zajištěna zpracovatelnost čerstvého betonu.

Tab. 1. Složení směsí vysokohodnotného betonu

Složení	Množství [kgm ⁻³]			
	BM	BP	BS	BR
cement CEM I 42,5	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	5,3	5,3	5,3	5,3
metakaolin Mefisto	44	–	–	–
popílek	–	44	–	–
struska	–	–	44	–
voda	142	137	146	148

Vysvětlivky:

BS – jemně mletá vysokopecní struska (Kotouč, Štramberk), BP – elektrárenský vysokoteplotní popílek (ČEZ, Elektrárna Dětmarovice), BM – metakaolin MEFISTO K 05 (ČLUZ, Nové Strašecí), BR – referenční beton, HPC – High Performance Concrete

Měření a výsledky

Konzistence čerstvého betonu

Objemová hmotnost čerstvých záměsů a po 28 dnech uložení v normovém prostředí je uvedena v tab. 2. Nejnižších hodnot dosahovala referenční záměs, nejvyšších s příměsí strusky. U vytvrzených betonů dosahovala nejvyšších hodnot opět záměs se struskou, nejnižších s metakaolinem. Rozdíly nebyly výrazné a lze předpokládat, že jsou pouze v rozmezí chyby měření.

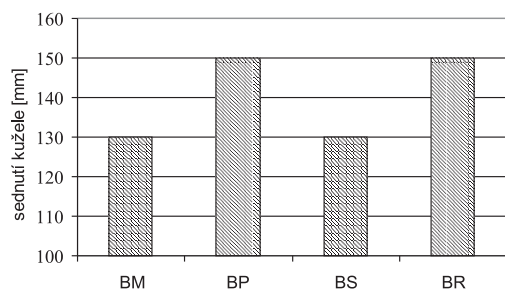
Tab. 2. Objemová hmotnost vysokohodnotných betonů

Objemová hmotnost [kgm ⁻³]	BM	BP	BS	BR
čerstvá záměs	2 470	2 440	2 470	2 420
po 28 dnech	2 430	2 460	2 470	2 470

Konzistence se sledovala podle sednutí kužele (obr. 1), u čerstvých betonů s přidávkou strusky a metakaolinu bylo 130 mm, s použitím popílku 150 mm, což bylo identické s referenční směsí. Dávkování komponent betonu bylo stejné pro všechny vzorky, měnil se pouze druh příměsí. Rozdíly v konzistenci lze tedy přisuzovat odlišným vlastnostem a velikosti částic pojiv.

Mechanické parametry

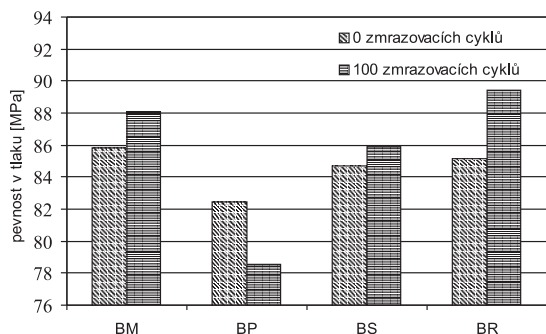
Zkoušky v tahu za ohybu a tlaková zkouška probíhaly na elektromechanickém zkušebním lisu VEB WPM Leipzig 3 000 kN s možností řízení posunem příčnicku, silou nebo z měřené deformace tělesa. Nejvyšší možná síla v tahu i v tla-



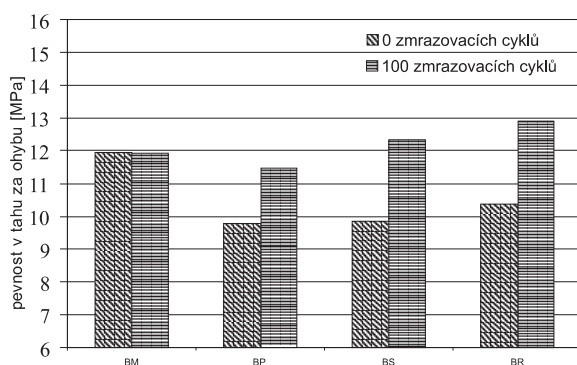
Obr. 1. Konzistence čerstvého betonu, zkouška sednutí kužele

ku je 3 000 kN. Pro tahovou zkoušku jsou součástí stroje ploché tahové čelisti, jimiž je možné prizmatické těleso upnout a zkoušet je v tahu. Rychlost zatěžování v tahu byla 0,2-0,1 MPa/s.

Pro stanovení pevnosti v tahu za ohybu byla připravena zkušební tělesa $100 \times 100 \times 400$ mm, pro stanovení pevnosti v tlaku tělesa $150 \times 150 \times 150$ mm. Pro každé měření byla použita tři tělesa. Po 28 dnech normového uložení byla vystavena působení zmrazovacích cyklů. Po stu cyklech byla stanovena pevnost v tahu za ohybu trojbodovým ohybem a pevnost v tlaku. Ve stejnou dobu byla stanovena pevnost těles uložených v normovém prostředí (obr. 2, obr. 3). Beton při normálním zrání na všech tělesech vykazoval pevnost v tahu za ohybu rovnou nebo vyšší než beton po stu zmrazovacích cyklů, a to kolem 12 MPa. Maximální hodnota byla zjištěna na nezmrzovaném referenčním vzorku. Po zmrazování vykazoval nejvyšší pevnost vzorek s příměsí metakaolinu, u něhož byla totožná pevnost před zmrazováním i po něm. Nejnižší pevnosti v obou případech bylo dosaženo u betonu s příměsí popílku.



Obr. 2. Průměrná pevnost v tlaku HPC při normálním zrání a po stu zmrazovacích cyklů



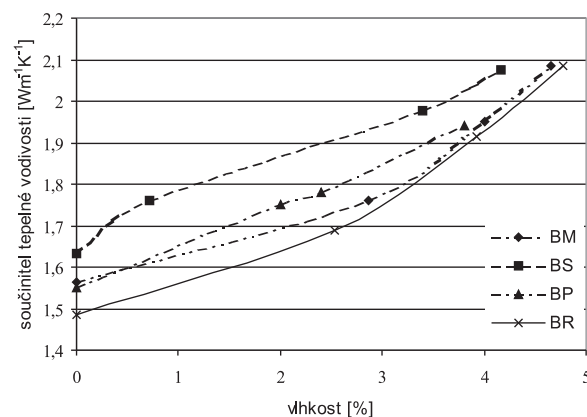
Obr. 3. Průměrná pevnost v tahu za ohybu HPC při normálním zrání a po stu zmrazovacích cyklů

Podobně jako pevnost v tahu za ohybu byla vyhodnocena i pevnost v tlaku po 28 dnech. U všech vysokohodnotných betonů byla překročena pevnost 80 MPa. Nebyl zaznamenán výrazný rozdíl mezi zmrazovanými betony a těmi, které zraly v normovém prostředí. Nejvyšší pevnosti dosáhl opět referenční vzorek bez náhrady pojiva a vzorek s metakaolinem. Nejnižší pevnost v tlaku vykazují betony s aplikací popílku.

Tepelné parametry

K základním veličinám, popisujícím chování materiálů, patří součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$], měrná tepelná kapacita c [$\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$] a součinitel teplotní vodivosti a [m^2s^{-1}]. K měření byl použit přístroj ISOMET 2104 (Applied Precision) [5], mikroprocesorem řízený přenosný přístroj pro přímé měření tepelně fyzikálních vlastností pevných a kapalných materiálů. Je vybaven vyměnitelnými sondami, jehlovou pro sypké materiály a plošnou pro pevné materiály. V zabudované paměti jsou uloženy kalibrační konstanty. Přístroj umožňuje jednoduchou interaktivní komunikaci s uživatelem, optimalizuje podmínky měření z hlediska minimální spotřeby energie a doby měření. Má zabudovanou paměť pro 500 měření, je napájen akumulátorem (kapacita cca 5 h) nebo síťovým adaptérem (7-9 V/500 mA).

Měření je založeno na analýze průběhu časové závislosti teplotní odezvy na impulsy tepelného toku do materiálu. Tepelný tok se vytváří rozptýleným elektrickým výkonem v rezistoru sondy vodivě spojené s materiálem. Teplota je zaznamenávána jako funkce času přímo vyhodnocena polynomiální regresí. Získané koeficienty slouží k výpočtu měřených veličin.

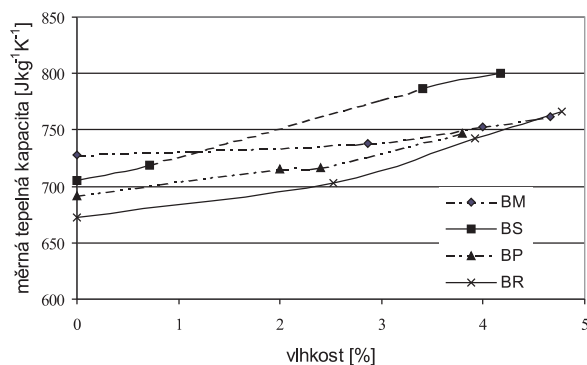


Obr. 4. Součinitel tepelné vodivosti HPC v závislosti na vlhkosti

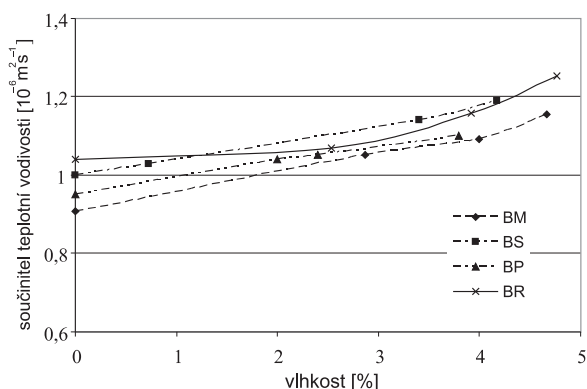
Při měření se zároveň sledoval vliv vlhkosti. Hmotnostní vlhkost byla určena vážením vzorků před měřením i po něm. Její rozložení bylo určeno tak, abychom mohli zmapovat celé rozmezí mezi stavem vzorku s nulovou vlhkostí až po stav, kdy byl vzorek uložen ve vodním prostředí po dobu týdne. Pro dosažení konstantního rozložení vlhkosti v celém objemu byl vzorek umístěn na dobu minimálně 4 dnů do neprodyšného igelitového sáčku a po této době provedeno měření přístrojem ISOMET.

Tab. 3. Tepelné parametry HPC ve vysušeném stavu

HPC	w [%]	λ [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]	c [$\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$]	a [$10^{-6}\text{m}^2\text{s}^{-1}$]
BM	0	1,565	728	0,908
BP	0	1,55	692	0,951
BS	0	1,632	705	1,001
BR	0	1,486	672	1,04



Obr. 5. Měrná tepelná kapacita HPC v závislosti na vlhkosti



Obr. 6. Součinitel teplotní vodivosti HPC v závislosti na vlhkosti

Z výsledků uvedených v tab. 3 je patrné, že materiál s obsahem strusky dosahoval systematicky vyšších hodnot součinitele tepelné vodivosti než ostatní materiály jak ve vysušeném stavu, tak v celém rozsahu vlhkostí, dosažené rozdíly však nebyly větší než 10 %. Nejvyšší měrná tepelná kapacita u vzorků v suchém stavu byla zjištěna u betonu s obsahem metakaolinu. Se vzrůstající vlhkostí narůstala i měrná tepelná kapacita, nejvyšších hodnot v celé oblasti dosahoval materiál obsahující strusku.

Průběh hodnot součinitele teplotní vodivosti v podstatě kopíroval změny součinitele tepelné vodivosti a měrné tepelné kapacity. Výjimkou byl jen součinitel teplotní vodivosti u referenčního materiálu, který i přes nejnižší hodnotu součinitele tepelné vodivosti a měrné tepelné kapacity dosahoval nejvyšší hodnoty.

Naměřená data ukazují, že tepelné parametry nebyly přidavkem silikátových pojiv významně ovlivněny, rozdíly mezi jednotlivými měřeními byly na hranici experimentální chyby, která pro impulsní metodu činí cca 10 %, ale jistý systematický nárůst těchto hodnot u materiálů s přidavkem strusky, popílku a metakaolinu byl zaznamenán.

Závěr

Na základě prezentovaných výsledků lze učinit závěr, že všechny vzorky vysokohodnotného betonu dosáhly dostatečné pevnosti, a to jak v tlaku, tak v tahu za ohybu. Bez problémů byla překročena hranice 80 MPa a nebyl zaznamenán výrazný rozdíl mechanických vlastností v závislosti na použitých surovinách. Stejně tak objemová hmotnost ztvrdlého betonu se výrazně nelišila, protože náhradní pojivová složka byla jen druhotnou surovinou a její obsah byl nižší než 10 % hmotnosti cementu. Z hlediska tepelných vlastností došlo u vzorků s obsahem alternativních pojiv k mírnému zhoršení tepelné izolační schopnosti, tedy ke zvýšení hodnot jednotlivých parametrů vzhledem k referenčnímu betonu.

Pokud bychom měli hodnotit použité suroviny, je patrné, že zvolené příměsi splnily požadavky kladené na vysokohodnotné betony. Náhrada cementu k výraznému zhoršení vlastností nevedla. Jako nevhodnější se jeví metakaolin, s nímž bylo dosaženo obdobných vlastností jako u referenčního betonu.

Článek vznikl za podpory projektu č. 103/07/0034 GA ČR.

Literatura

- [1] Khatib, J. M. – Hibbert, J. J.: Selected Engineering Properties of Concrete Incorporating Slag and Metakaolin. *Constr. Build. Mat.*, Vol. 19, 2005, pp. 460-472.
- [2] Roy, D. M. – Arjunan, P. – Silsbee, M. R.: Effect of Silica Fume, Metakaolin, and Low-Calcium Fly Ash on Chemical Resistance of Concrete. *Cem. Concr., Res.* Vol. 31, 2001, pp. 1809-1813.
- [3] Shvarzman, A. et al.: The Effect of Dehydroxylation/Amorphization Degree on Pozzolanic Activity of Kaolinite. *Cem. Concr. Res.*, Vol. 33, 2003, pp. 405-416.
- [4] EN 206-1: 2001 Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. ČSN, 2001.
- [5] Applied Precision – ISOMET. [Uživatelská příručka]. Bratislava, 1999.

Vejmelková, E. – Černý, R. – Ondráček, M. – Sedlmajer, M.: Effect of Alternative Silicate Binders on the Parameters Determining the 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 hochwertiger 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.

Posouzení dlouhodobého tepelně vlhkostního chování objektu s vnitřním zateplením

Bc. Pavel KUČA
 Ing. Pavel TESÁREK, Ph.D.
 Ing. Jiří MADĚRA, Ph.D.
 prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.
 ČVUT – Fakulta stavební
 Praha

Článek popisuje predikci tepelně vlhkostních poměrů v obvodovém plášti historické budovy pomocí počítačové simulace. Budova byla rekonstruována a uvnitř dodatečně zateplena systémem na bázi hydrofilní minerální vlny.

Úvod

Posuzování tepelně vlhkostního chování stavebních konstrukcí ve stavební praxi vychází z ustanovení norem. Jde o jednoduché výpočtové metody založené na zkušenosti a obecně uznávaných znalostech. Výpočty obvykle vedou ke správným návrhům na straně bezpečnosti, avšak působením mnoha zdrojů chyb je tato výpočtová metoda pro určité stavební konstrukce a klimatické podmínky méně vhodná. Například zanedbání šíření vlhkosti v kapalně fázi obvykle vede k přeceňování rizika kondenzace uvnitř konstrukce. Problematika je podrobněji rozvedena v ČSN EN ISO 13 788 [1].

Pro přesnější výpočty jsou vhodnější dokonalejší numerické počítačové modely, založené obvykle na metodě konečných prvků. Na rozdíl od normového výpočtu, ke kterému stačí kalkulačka, je tento výpočet velmi náročný na výpočetní techniku a softwarové vybavení. Dalším problémem je, že nejsou často dostatečně známy vstupní údaje, jako jsou vlastnosti materiálů či klimatické podmínky. S některými materiálovými charakteristikami norma ani nepočítá (např. součinitelem vlhkostní vodivosti κ), a výrobci materiálů je proto neuvádějí. Dále by měla být většina materiálových vlastností vyjádřena funkční závislostí, např. na obsahu vlhkosti nebo teplotě, což je často obtížně měřitelné a časově

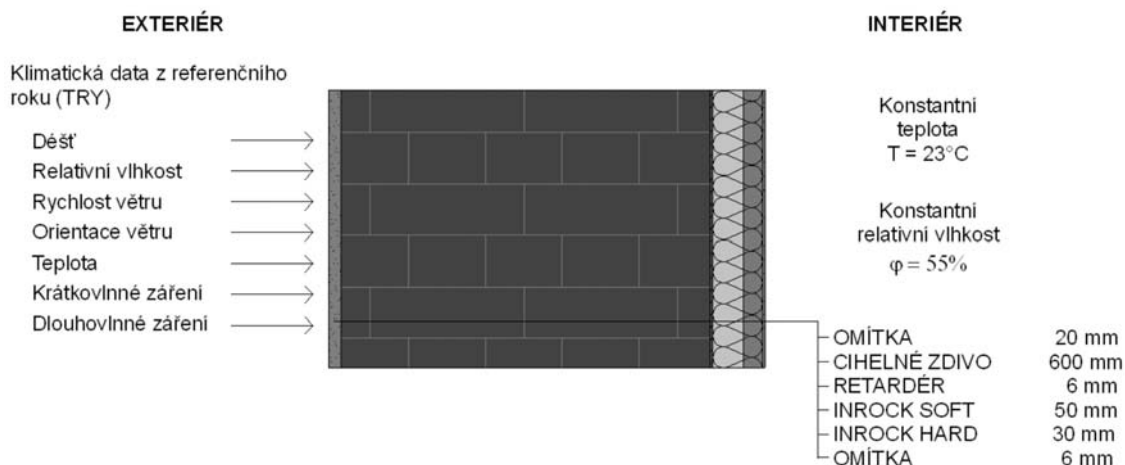
náročné. Při použití nepřesných vstupních parametrů může dojít ke značným chybám ve výsledku. Především proto se tyto metody v běžné stavební praxi používají jen omezeně.

Článek popisuje posouzení dlouhodobého tepelně vlhkostního chování obvodového pláště rekonstruované historické budovy, na kterou byl aplikován nový druh systému vnitřního zateplení, navržený ve spolupráci s firmou Rockwool. Návrh byl proveden počítačovou simulací v programu Delphin, při níž byla specifikována skladba materiálů včetně materiálových charakteristik [2]. Poté byla vyrobena minerální vlna a retardér vodní páry definovaných vlastností a přešlo se k ověřování [3] a následnému vyhodnocení funkčnosti navrženého pláště ve skutečných podmínkách na historické budově [4]. Podobná skladba byla řešena v Německu na univerzitě v Drážďanech, avšak s použitím kalcium silikátu jako tepelné izolace [5], [6].

V článku je posouzena tepelně vlhkostní funkce obvodového pláště s vnitřní tepelnou izolací pomocí Künzelova matematického modelu současného přenosu tepla a vlhkosti v programu Transmat [7].

Popis konstrukce

Budovu z konce devatenáctého století v současnosti využívá mateřská školka. V roce 2002 zde proběhla rekonstrukce, při které byla zateplena experimentálně navrženým systémem vnitřního zateplení z dvouvrstvé hydrofilní izolace na bázi minerální vlny a retardéru vodních par, který reguluje transport vodní páry, umístěným mezi stávající stěnu a tepelnou izolací (obr. 1). Monitorování teplot a relativní vlhkosti v daném profilu probíhalo od října 2002 do června 2006. Jako teplotní čidla byly použity články chromel-alumel (hlavně pro bodové měření teplot) a niklové odporové teploměry firmy Comet (přesnost $\pm 0,1$ K). Relativní vlhkost



Obr. 1. Skladba konstrukce včetně klimatických okrajových podmínek

vzduchu sledovaly sondy stejné firmy (přesnost $\pm 2,5\%$ v rozsahu 5-95 % při referenční teplotě 23 °C).

Součástí navržené skladby jsou dvě kompaktně spojené vrstvy minerální vlny rozdílné objemové hmotnosti. Tepelně izolační desky mají výraznou hydrofilní úpravu, tudíž dobře rozvádějí vlhkost a snadno a rychle odvádějí přebytečnou vlhkost. Vrstva se zvýšenou objemovou hmotností tl. 30 mm je uložena směrem k interiéru pod konečnou povrchovou úpravou stěny, která chrání měkčí vrstvy a retardér vodní páry. Je dostatečně tvrdá, např. pro pověšení obrazu či zrcadla, čímž odpadá problémy s lokálním porušením a následným zhoršením či znehodnocením funkce retardéru. Měkčí vrstva tl. 50 mm slouží jako hlavní tepelná izolace. Součinitel prostupu tepla této izolace (obou vrstev) $U = 0,7 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ [10].

Desky jsou přikotveny talířovými hmoždinkami (jedna uprostřed desky) a celoplošně přilepeny stěrkou, která zároveň slouží jako retardér vodní páry. Jako vnitřní povrchová úprava stěn je použita stěrka tl. 6 mm. Parametry použité k výpočtu (tab. 1) byly naměřeny v Laboratoři transportních procesů v materiálech [8] na Fakultě stavební ČVUT v Praze. Závislost součinitele tepelné vodivosti λ na vlhkosti byla změřena pro tři vlhkostní stavy, a to při úplném vysušení vzorku λ_{dry} , hygroskopické vlhkosti λ_{hyg} (udává poměr maximální vlhkosti, které je možné dosáhnout v materiálu při relativní vlhkosti vzduchu 97 %, k celkovému objemu materiálu) a při plném nasycení vzorku vodou λ_{sat} .

Metodika řešení

K simulaci tepelně vlhkostních poměrů se využívá Künzeľův matematický model [9] současného přenosu tepla a vlhkosti. Finální bilance vlhkosti je formulována ve tvaru

$$\frac{d\rho_v}{d\varphi} \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div} [D_\varphi \text{grad} \varphi + \delta_p \text{grad} (\varphi p_s)], \quad (1)$$

kde T je teplota, t čas, φ relativní vlhkost, D_φ difúzní koeficient, p_s tlak nasycené vodní páry, δ_p permeabilita vodní páry, ρ_s parciální hustota vodní páry.

Tab. 1. Tepelně vlhkostní charakteristiky materiálů

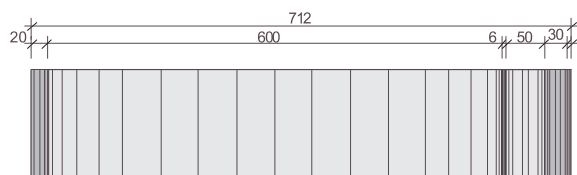
Parametr	Jednotka	Cihla	Inrock		Stěrka	
			HARD	SOFT	KAM	FFP
objemová hmotnost ρ	kg/m ³	1 776	178	96	1 321	1 580
pórovitost	%	31,8	93,1	96,3	46,8	46,3
saturovaná vlhkost	%	31,5	92,6	95,8	46,3	45,8
hygroskopická vlhkost	m ³ /m ³	0,0965	0,0021	0,0016	0,301	0,0419
faktor difúzního odporu vodní páry μ	–	8,1	2,2	2,2	11,9	6,1
součinitel vlhkostní vodivosti κ	m ² /s	1,52E-07	1,51E-05	1,90E-06	1,43E-09	1,76E-07
měrná tepelná kapacita c	J/kgK	840	840	840	790	790
součinitel tepelné vodivosti λ	W/mK	$\lambda_{\text{dry}} = 0,692$	$\lambda_{\text{dry}} = 0,044$	$\lambda_{\text{dry}} = 0,040$	$\lambda_{\text{dry}} = 0,524$	$\lambda_{\text{dry}} = 0,577$
		$\lambda_{\text{hyg}} = 0,830$	$\lambda_{\text{hyg}} = 0,052$	$\lambda_{\text{hyg}} = 0,044$	$\lambda_{\text{hyg}} = 0,588$	$\lambda_{\text{hyg}} = 0,692$
		$\lambda_{\text{sat}} = 2,761$	$\lambda_{\text{sat}} = 1,200$	$\lambda_{\text{sat}} = 1,130$	$\lambda_{\text{sat}} = 2,119$	$\lambda_{\text{sat}} = 2,354$

Bilance tepla je formulována

$$\frac{dH}{dT} \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div} (\lambda \text{grad} T) + L_v \text{div} [\delta_p \text{grad} (\varphi p_s)], \quad (2)$$

kde H je hustota entalpie, λ součinitel tepelné vodivosti, L_v latentní výparné teplo.

Diferenciální rovnice jsou řešeny metodou konečných prvků v programu Transmat. Konstrukce byla převedena na jednorozměrný model, který pro tento případ plně postačuje. Jeho diskretizace je patrná z obr. 2.



Obr. 2. Rozdělení modelu na jednotlivé prvky

Před predikcí životnosti konstrukce pomocí počítačové simulace se musí „upravit“ některé materiálové parametry tak, aby průběh teplot a vlhkosti odpovídal hodnotám naměřeným „in-situ“. I když matematický model poměrně přesně popisuje skutečnost a materiálové charakteristiky se měří v laboratoři, v prvotní simulaci (bez úpravy naměřených charakteristik) téměř vždy dochází k určitým chybám. Mohou být způsobeny tím, že charakteristiky jsou měřeny pro cihlu, nikoli pro celé zdivo včetně spár, do součinitele tepelné vodivosti izolace nejsou započteny kovové hmoždinky, nejsou známy součinitele přestupu tepla a vlhkosti mezi jednotlivými materiály atd. Teprve poté, co nově simulované výsledky s upravenými materiálovými parametry odpovídají skutečnosti, lze přesně simulovat dlouhodobé chování konstrukce v určitých podmínkách.

Počáteční teplota a relativní vlhkost v zateplené konstrukci se měřila na površích konstrukce a na povrchu retardéru. Průběh mezi body byl odhadnut z prvních výsledků simulace.

Výsledky simulací

Pro přehlednost jsou uvedena data pouze z určitého období (6.11.2004-1.4.2005). Množství naměřených údajů je tak velké, že by se při jejich chronologickém sledování ztrácela orientace a přehlednost. Bylo zvoleno tak, aby zahrnovalo část podzimu, zimu a začátek jara, tedy období, kdy jsou největší výkyvy teplot v konstrukci a je největší riziko kondenzace vodní páry.

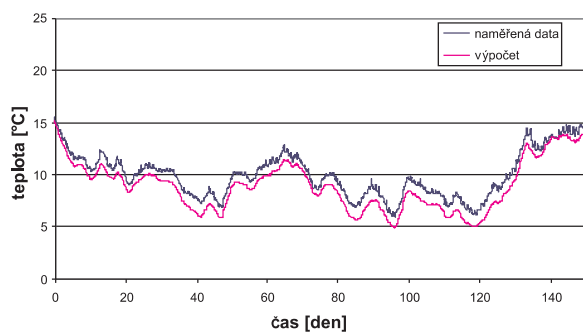
■ Bez úpravy materiálových charakteristik

Ve výpočtu byly použity laboratorně naměřené materiálové charakteristiky (tab. 1). Pro koeficienty přestupu tepla a vlhkosti mezi povrchem stěny a interiérem, resp. exteriérem, byly použity normou [10] doporučené hodnoty (tab. 2).

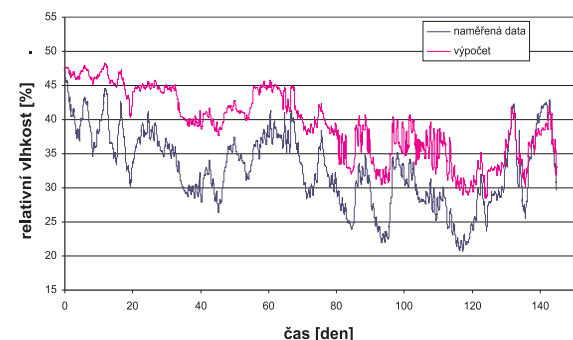
Tab. 2. Koeficienty přestupu tepla a vlhkosti [10]

Přestup	Parametr	Exteriér	Interiér
tepla α	W/m ² K	25	8
vlhkosti β	s/m	5,88E-08	1,84E-07

Porovnání průběhu relativní vlhkosti a teploty na povrchu retardéru a teploty na vnitřním povrchu stěny je zřejmé z obr. 3 a obr. 4. Z průběhu lze odvodit, že počítačová simulace byla poměrně přesná, rozdíl naměřených dat a výsledků u relativní vlhkosti nepřekročil 10 %, teploty byly nižší přibližně o 1 °C.



Obr. 3. Průběh teploty na povrchu retardéru v období 6.11.2004-1.4.2005 (neupravené materiálové charakteristiky)



Obr. 4. Průběh relativní vlhkosti na povrchu retardéru v období 6.11.2004-1.4.2005 (neupravené materiálové charakteristiky)

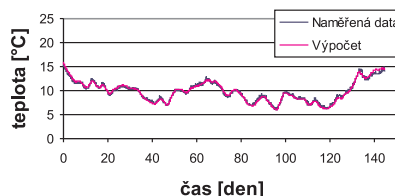
■ Po modifikaci materiálových charakteristik

Ve výpočtu byly hodnoty upraveny tak, aby výsledek odpovídal realitě. Diskretizace modelu zůstala stejná jako v před-

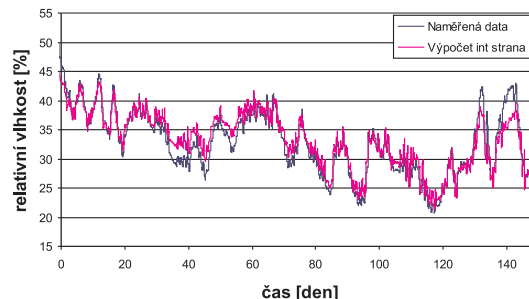
chozím výpočtu (obr. 2), jednotlivé parametry byly postupně měněny na hodnoty uvedené v tab. 3. Největší vliv na průběh relativní vlhkosti v konstrukci má cihla a retardér vodní páry. V této simulaci stačilo k přiblížení výpočtu naměřeným hodnotám změnit pouze součinitel vlhkostní vodivosti κ u cihly a retardéru vodní páry a hodnotu koeficientu přestupu vlhkosti β v interiéru. Dále byl navýšen součinitel tepelné vodivosti λ u tepelné izolace, a to zhruba o 20 %. K vyhlazení povrchové teploty v interiéru stačilo navýšit koeficient přestupu tepla v interiéru α .

Tab. 3. Upravené materiálové charakteristiky

Charakteristika	Parametr	Hodnota	
		původní	změněná
cihla κ	m ² /s	1,52E-07	3,52E-07
stěrka KAM κ		1,43E-09	1,43E-10
Inrock HARD	W/mK	0,044	0,054
λ_{dry}		0,052	0,066
λ_{hyg}		1,2	1,2
Inrock SOFT	W/mK	0,04	0,046
λ_{dry}		0,044	0,052
λ_{sat}		1,13	1,13
interiér – koeficient přestupu tepla α	W/m ² K	8	12
vlhkosti β	s/m	5,88E-08	9,88E-08



Obr. 5. Průběh teploty na povrchu retardéru v období 6.11.2004-1.4.2005 (upravené materiálové charakteristiky)



Obr. 6. Průběh relativní vlhkosti na povrchu retardéru v období 6.11.2004-1.4.2005 (upravené materiálové charakteristiky)

Porovnání výsledků počítačové simulace s naměřenými daty na povrchu retardéru je na obr. 5 a obr. 6. Je patrné, že simulace celkem věrně vystihuje skutečně naměřená data, rozdíly nejsou větší než chyba měření dat.

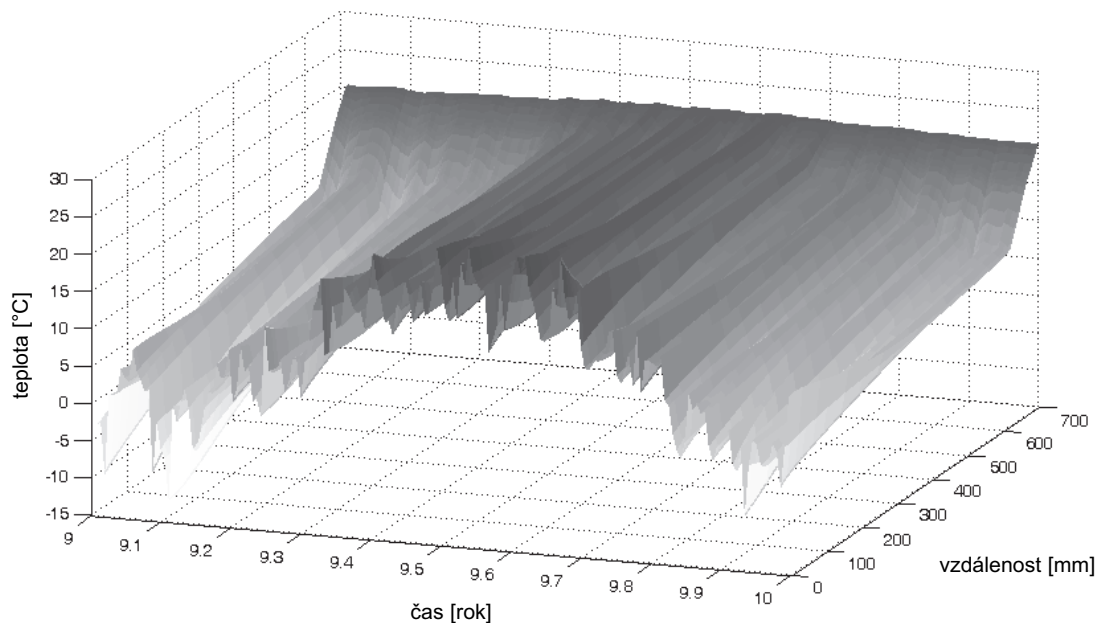
■ Predikce tepelně vlhkošního chování

Při predikci tepelně vlhkošního chování obvodového pláště byly použity upravené materiálové charakteristiky, uvedené v *tab. 3*. Pokud výsledky počítačové simulace s těmito charakteristikami odpovídají naměřeným hodnotám, předpokládá se, že při změně okrajových klimatických podmínek bude výpočet za daných podmínek téměř identický se skutečností, lze tedy provést předpověď dlouhodobého chování konstrukce.

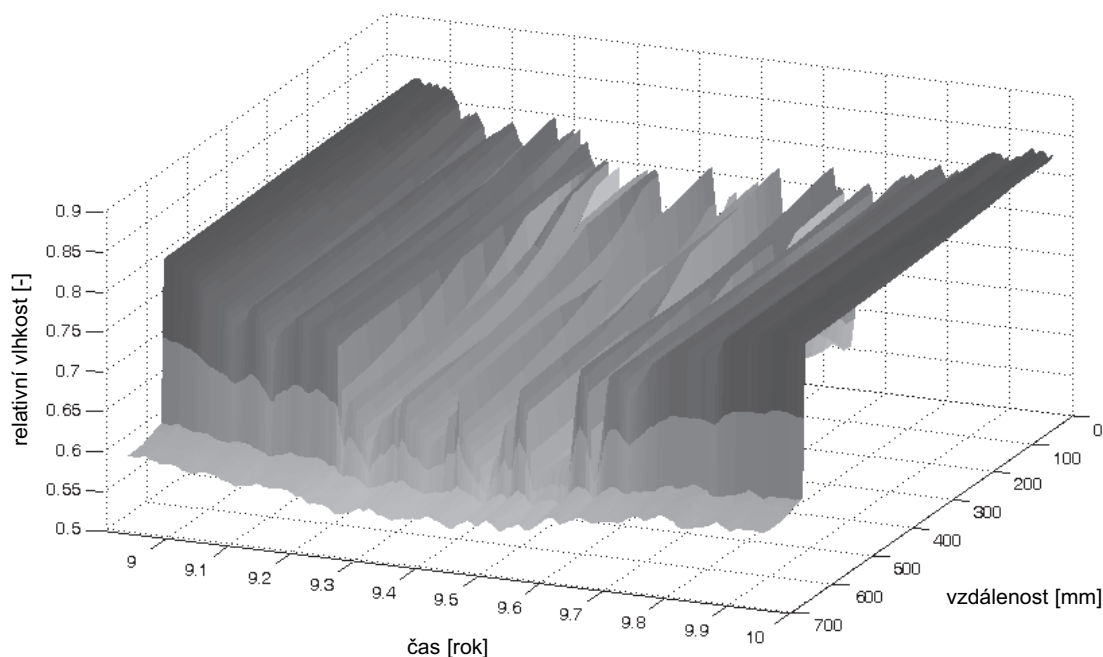
K výpočtu byla použita klimatická data z referenčního roku pro Prahu, což je soubor dat naměřených v hodinových intervalech v místě dané lokality po delší časový úsek

(např. třicet let), a následně statisticky zpracována do jednoho roku. Vnitřní okrajové podmínky byly zvoleny podle normy [10], konkrétně 23 °C a 55 % (učebny mateřské školky). Tyto hodnoty byly uvažovány jako celoročně konstantní a byly vyšší (na straně bezpečnosti) než hodnoty naměřené v době monitorování. Doba simulace byla nastavena na deset let.

Výsledky v posledním roce simulace jsou patrné z *obr. 7* a *obr. 8*. Pro přehlednost je průběh teploty zobrazen směrem z exteriéru do interiéru, relativní vlhkost opačně. V konstrukci po celých deset let nedochází ke kondenzaci vody, relativní vlhkost po celé období nepřekračuje 85 %. Konstrukce bez problému vyhovuje současným požadavkům.



Obr. 7. Průběh teploty v konstrukci během posledního roku simulace



Obr. 8. Průběh relativní vlhkosti v konstrukci během posledního roku simulace

Závěr

Ověřování tepelně vlhkostního chování konstrukce s vnitřním tepelně izolačním systémem na bázi hydrofilní minerální vlny prokázalo dobrou funkci zateplené obvodové konstrukce i přes méně příznivé okrajové podmínky, než jaké byly ve skutečnosti naměřeny na reálné konstrukci. V posuzované skladbě během sledovaného období ke kondenzaci vodní páry nedocházelo. Porovnání výsledků počítačové simulace a reálně naměřených dat ukázalo správnost procesu, který byl použit při návrhu vnitřního zateplení pro specifické podmínky historické budovy. Z prezentovaných výsledků je patrné, že při návrhu vnitřního tepelně izolačního systému „na míru“ lze plně funkčnost konstrukce zachovat. Dále se potvrdilo, že vhodným matematickým modelem a přesnými materiálovými charakteristikami lze poměrně přesně popsat tepelně vlhkostní chování konstrukce a dosáhnout výrazně lepších výsledků než při běžném posuzování podle norem [10], [11].

Článek vznikl za podpory projektu MPO ČR FI-IM3/188.

Literatura

- [1] ČSN EN ISO 13 788 Tepelně vlhkostní chování stavebních dílců a stavebních prvků – Vnitřní povrchová teplota pro vyloučení kritické povrchové vlhkosti a kondenzace uvnitř konstrukce – Výpočtové metody. ČSN, 2002.
- [2] Maděra, J.: Počítačová analýza optimálních tepelných a vlhkostních vlastností materiálů a systémů pro vnitřní tepelnou izolaci historických budov. [Doktorská dizertace], ČVUT Praha, 2003.
- [3] Pavlík, Z. – Jiříčková, M. – Černý, R.: Ověření funkčnosti vnitřního tepelně izolačního systému na bázi kapilárně aktivní minerální vlny. Stavební obzor, 12, 2003, č. 1, s. 6-9.
- [4] Toman, J.: Dlouhodobé sledování teploty a relativní vlhkosti na rekonstruované budově. Stavební obzor, 17, 2008, č. 2, s. 50-54; č. 3, s. 65-68.
- [5] Scheffler, G. – Grunewald, J. – Häupl, P.: Beurteilung des hygrothermischen Verhaltens kapillaraktiver Innendämmung auf Calciumsilikatbasis durch numerische Simulation, Tagungsband zum 11. Bauklimatisches Symposium an der TU Dresden, Sept. 2002, pp. 671-681.
- [6] Häupl, P. – Fechner, H. – Petzold, H. – Jurk, C.: Sanierung historischer Gebäude mit Calciumsilikatinnendämmung, Tagungsband zum 11. Bauklimatisches Symposium an der TU Dresden, Sept. 2002, pp. 770-780.
- [7] Maděra, J. – Černý, R.: TRANSMAT – A Computer Simulation Tool for Modeling Coupled Heat and Moisture Transport in Building Materials – Part A, B. [Proceedings of Workshop], CTU Prague, 2005, pp. 470-471.
- [8] Jiříčková, M.: Application of TDR Microprobes, Minisensometry and Minihygrometry to the Determination of Moisture Transport and Moisture Storage Parameters of Building Materials. CTU Prague, 2004, 102 p. ISBN 80-01-02954-9.
- [9] Künzel, H. M.: Simulation Heat and Moisture Transport in Buildings Components. [PhD Thesis], Stuttgart, Verlag1995.
- [10] ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov. ČSN, 2005.
- [11] Kuča, P.: Simulace teplotně vlhkostních poměrů v objektu s vnitřním zateplením. [Bakalářská práce], ČVUT Praha, 2007.

Kuča, P. – Tesárek, P. – Maděra, J. – Černý, R.: Assessment of Long-Term Hygrothermal Behaviour of Buildings with Interior Thermal Insulation

This paper describes the prediction of hygrothermal conditions in the envelope of a historical building using computer simulation. The building was reconstructed and provided with an additional interior thermal insulation system on the basis of hydrophilic mineral wool.

Kuča, P. – Tesárek, P. – Maděra, J. – Černý, R.: Beurteilung des langfristigen Wärme- und Feuchtigkeitsverhaltens eines Objektes mit innerer Wärmedämmung

Der Artikel beschreibt die Prädiktion der Wärme-Feuchtigkeits-Verhältnisse in den Außenwänden eines historischen Gebäudes mit Hilfe einer Computersimulation. Das Gebäude wurde repariert und von innen mit einem System auf Basis hydrophiler Mineralwolle gedämmt.



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/

Vliv kondenzace vodních par na změny tepelné vodivosti stavebních hmot

Ing. Ondřej FUCIMAN, Ph.D.

Ing. Jan ŠKRAMLÍK, Ph.D.

VUT – Fakulta stavební
Brno

Ve stavební praxi se často setkáváme s pronikáním vlhkosti do struktury materiálů stavebních konstrukcí a se zvýšeným obsahem kapalné vlhkosti. V některých případech je vlhkost příčinou degradace jejich tepelně izolačních schopností, v mnoha případech nepříznivě ovlivňuje fyzikální vlastnosti, a tím i užívání stavby, hrozí destrukce stavební konstrukce nebo změna tepelně technických vlastností.

Úvod

U některých stavebních konstrukcí nelze hromadění vlhkosti připustit, a naopak jsou případy, kdy zvýšení vlhkosti v průběhu určitého časového úseku není příčinou znehodnocení izolace ani podstatného zvýšení tepelné vodivosti. V mnoha případech vlhkost ovlivňuje zhoršení některých fyzikálních vlastností, bez nichž nelze tuto hmotu dále použít, aniž by hrozilo nebezpečí zborcení, ztráta tepelně technických vlastností apod.

Ustanovení ČSN 73 0540 se zabývá pouze hromaděním difundované vlhkosti v konstrukcích. Jde o dovolené hromadění vlhkosti v zimním období za podmínky, že se alespoň stejně množství v letním období vypaří. Nesleduje se, jak silná vrstva byla kondenzací zachycena a zda zvýšení vlhkosti nezpůsobí ztrátu tepelně izolačních schopností, popř. úplné znehodnocení tepelně izolační vrstvy.

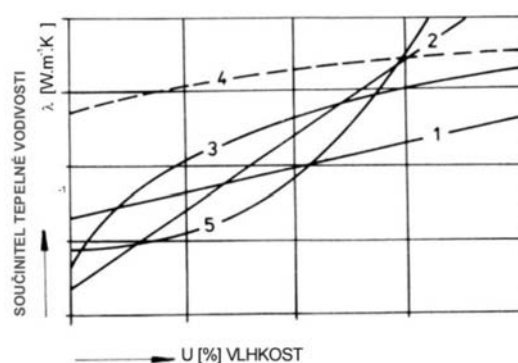
Vliv vlhkosti na tepelnou vodivost

Vlhkost má na tepelnou vodivost materiálů velký vliv a je různý podle teploty a způsobu navlhčení materiálu. Zatímco u suchých materiálů není v běžných teplotních rozsazích teplota a tlak rozhodující, ukázalo se, že u vlhkých materiálů při jistých teplotách a tlacích převládá nad molekulární tepelnou vodivostí vzduchu ve vzduchových kanálcích „difúzní tepelná vodivost“, která nepříznivě ovlivňuje výslednou hodnotu. Ve skutečnosti je tedy tepelná vodivost nestálá hodnota, která se mění u téhož materiálu s vlhkostí, teplotou a tlakem.

Jedním z velmi zajímavých poznatků je skutečnost, že v průběhu difúzního procesu lze silně navlhčit hmotu či materiál, který normálně vodu nepřijímá. A jestliže ano, pak jen v omezené míře na povrchu do otevřených pórů a dutin. Vystavíme-li kvalitní polystyren s uzavřenými póry působení vlhkosti, vznikne pouze do otevřených dutin na povrchu a ve volném prostoru bez účinku odchází. Je však hodně případů, kdy po odebrání vzorku polystyrenu na stavbě bylo zjištěno více než pětinasobné zvýšení jeho hmotnosti. Příčina spočívá v průchodu vodních par, které molekulární mříží polystyrenu procházejí.

Nedostatkem výpočtů uváděných v normě je, že množství kondenzátu je chápáno pouze ve své kvantitě, aniž by

byla zmínka o tom, jaké kvalitativní změny materiálu může v zimním období způsobit. Změny kvality nemusejí být vždy zanedbatelné, i když bilance kondenzované vlhkosti bude vyhovovat normě. Tyto výpočty je proto nutné chápat pouze jako relativní. Podle skladby obvodové konstrukce a střechy může být zvýšení tepelné vodivosti pro některé materiály zanedbatelné, avšak je-li intenzita difúzního toku značná, je třeba s ním počítat.



Obr. 1. Průběh součinitele tepelné vodivosti v závislosti na vlhkosti (funkční závislosti)

Tepelná vodivost vody ve všech skupenstvích závisí na její teplotě. Teplota ovlivňuje součinitel tepelné vodivosti i suchých materiálů, a to tak, že při stoupající teplotě se její hodnota zvyšuje v oblasti kladných, ale i záporných teplot. Znalost závislosti vlhkosti a součinitele tepelné vodivosti umožňuje využít vlhkost pro výpočet součinitele tepelné vodivosti. Naměřené závislosti se vyhodnocují graficko-matematickou metodou. Nejjednodušší závislost bývá lineární (čára 1 a 2 na obr. 1). Vyjadřuje se rovnicí přímky

$$\lambda_u = \lambda_s + A \cdot u \quad (1)$$

nebo ve tvaru

$$\lambda_w = \lambda_s + \left(1 + \frac{\gamma_\lambda \cdot u}{100}\right), \quad (2)$$

kde λ_w je součinitel tepelné vodivosti vlhkého materiálu [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$],

λ_s – součinitel tepelné vodivosti suchého materiálu [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$],

u – objemová vlhkost materiálu [% obj.],

γ_λ – vlhkoštní součinitel tepelné vodivosti vyjadřující zvýšení tepelné vodivosti v suchém stavu v procentech na každé procento vlhkosti [-],

A – lineární konstanta získaná graficko-matematickým vztahem z naměřené závislosti $\lambda = f(w)$.

Ostatní křivky na obr. 1 jsou buď exponenciální, nebo parabolické funkce. Mohou mít však i tvar mocninového

mnohočlenu

$$\lambda_u = \lambda_s \pm A \cdot u \pm B \cdot u^2 \pm C \cdot u^3 \pm \dots \quad (3)$$

Kromě funkcí (1), (2) a (3) se zavedly i další tvary funkčních závislostí $\lambda_u = f(u)$:

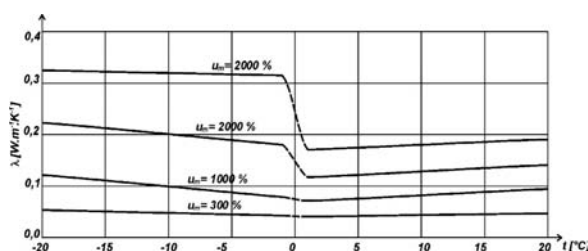
$$\lambda_u = \lambda_s + \frac{A}{u}, \quad (4)$$

$$\lambda_u = \lambda_s + A^u, \quad (5)$$

$$\lambda_u = \lambda_s + A \cdot \sqrt{u}. \quad (6)$$

Teplná vodivost se mění se změnou teploty. Platí to pro oblast kladných i záporných teplot. Změna tepelné vodivosti se však většinou projevuje až při vyšších teplotách, což se ve stavební tepelné technice v praxi neuplatňuje. Teplota materiálů obvodových konstrukcí a střech málokdy překročí 70-100 °C.

V případě záporných teplot je tomu jinak. Tepelná vodivost ledu je asi čtyřikrát větší než tepelná vodivost vody. Pokud jsou všechny póry materiálu zaplněny ledem, součinitel tepelné vodivosti zmrzlého materiálu musí být mezi tepelnou vodivostí ledu ($\lambda_v = 2,3 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$) a tuhé části. Pod bodem mrazu, když se voda s tepelnou vodivostí $\lambda_v = 0,59 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ mění na led, musí součinitel tepelné vodivosti zmíněného materiálu původní hodnotu prudce zvýšit. Čím je vlhkost vyšší, tím více vody se mění na led, a tím více stoupne hodnota tepelné vodivosti látky. Měření tuto úvahu potvrdila. Změna tepelné vodivosti polystyrenu je znázorněna na obr. 2.



Obr. 2. Součinitel tepelné vodivosti pěnového polystyrenu v závislosti na vlhkosti a teplotě

Vývoj materiálové základny je poměrně rychlý a stavební výzkum nestačí s předstihem zpracovávat všechny požadavky projekce a nových technologií. Proto se mají dosažené výsledky zobecnit do takové míry, aby výpočtové vztahy dostatečně charakterizovaly chování materiálu při změnách objemové hmotnosti, vlhkosti a teploty.

A. Polanský zpracoval obecné závislosti součinitele tepelné vodivosti a objemové vlhkosti pro stavební materiály a vyjadřuje je ve tvaru:

- pro $u_v = 0 \%$ (suchý materiál)

$$\lambda_s = 0,0508 \cdot \exp(1,385 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_s); \quad (7)$$

- pro $u_v = 5 \%$

$$\lambda_u = 0,0849 \cdot \exp(1,26 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_s); \quad (8)$$

- pro $u_v = 10 \%$

$$\lambda_u = 0,121 \cdot \exp(1,19 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_s); \quad (9)$$

- pro $u_v = 15 \%$

$$\lambda_u = 0,158 \cdot \exp(1,14 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_s). \quad (10)$$

Úpravou těchto vztahů můžeme zapsat výslednou rovnici tepelné vodivosti v závislosti na vlhkosti a objemové hmotnosti

$$\lambda_{u,p} = 0,05047 + 0,005989 \cdot u_v^{1,069} \cdot \exp[\rho_s \cdot (1,38 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-4} \cdot u_v)]. \quad (11)$$

J. S. Cammerer vyjádřil závislost součinitele tepelné vodivosti a vlhkosti pomocí vlhkostního součinitele tepelné vodivosti γ_λ z rovnice (2)

$$\lambda_u = \lambda_s \cdot \left(1 + \frac{\gamma_\lambda \cdot u}{100}\right). \quad (12)$$

Hodnoty λ_s , γ_λ se dosazují z norem, popř. z údajů předkládaných výrobci.

Rozbor vlhkostního součinitele tepelné vodivosti

Přenos tepla se ve vlhkých materiálech s kladnými teplotami realizuje třemi způsoby:

- v tuhé látce λ_c ,
- v kapalině λ_v ,
- ve směsi vzduchu a páry λ_a .

Hodnota vlhkostního součinitele tepelné vodivosti γ_λ vyjadřuje zvýšení měrné tepelné vodivosti v suchém stavu v procentech na každé procento hmotnostní (objemové) vlhkosti.

Problematika je zaměřena na základní výzkum, který předpokládá aplikaci základních zákonitostí, a je podkladem pro další postup, jenž je v současné době předmětem dalšího zkoumání. Záměrně je proto následující analýza zjednodušena pro vytvoření podkladu k následnému modelování vlhkostních procesů, které se dají v konkrétních podmínkách stavby předpokládat. Ve skutečnosti jde o jednorozměrný případ sloužící k vytvoření podkladu pro další stupeň zkoumání transportu vlhkosti – v nestacionárním stavu. Současné poznatky budou následně publikovány.

Tepelná vodivost suchého materiálu

Přenos tepla v suchém materiálu probíhá v jeho tuhé složce a ve směsi vzduchu a páry v pórech

$$\lambda_s \cdot V = \lambda_a \cdot V_a + \lambda_c \cdot V_c, \quad (13)$$

kde λ_s je součinitel tepelné vodivosti suchého materiálu $[\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}]$,

V – celkový objem látky $[\text{m}^3]$,

λ_a – součinitel tepelné vodivosti směsi vzduchu a páry $[\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}]$,

V_a – objem směsi vzduchu a páry $[\text{m}^3]$,

λ_c – součinitel tepelné vodivosti tuhé složky $[\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}]$,

V_c – objem tuhé složky $[\text{m}^3]$.

Zavedeme-li pórovitost látky p [-]

$$\frac{V_a}{V} = p; \quad \frac{V_c}{V} = 1 - p, \quad (14)$$

$$\boxed{\lambda_s = \lambda_a \cdot p + \lambda_c \cdot (1 - p)}. \quad (15)$$

Tepelná vodivost vlhkého materiálu

Na rozdíl od suchého materiálu probíhá přenos tepla v materiálu vlhkém prostřednictvím nejen jeho tuhé složky a směsi vzduchu a páry v pórech, ale také prostřednictvím vody (případně ledu) v pórech látky.

$$\lambda_w \cdot V = \lambda_c \cdot V_c + \lambda_a \cdot (V_a - V_v) + \lambda_v \cdot V_v, \quad (16)$$

kde λ_w je součinitel tepelné vodivosti vlhkého materiálu [W m⁻¹ K⁻¹],

V – celkový objem vlhké látky [m³],

λ_a – součinitel tepelné vodivosti směsi vzduchu a páry [W m⁻¹ K⁻¹],

V_a – objem směsi vzduchu a páry [m³],

λ_c – součinitel tepelné vodivosti tuhé složky [W m⁻¹ K⁻¹],

V_c – objem tuhé složky [m³],

λ_v – součinitel tepelné vodivosti vody (ledu) [W m⁻¹ K⁻¹],

V_v – objem tuhé vody (ledu) [m³],

$(V_a - V_v)$

– objem směsi vzduchu a páry v pórech zmenšený o objem vody (ledu) [m³].

$$\lambda_w = \lambda_c \cdot \frac{V_c}{V} + \lambda_a \cdot \frac{V_a - V_v}{V} + \lambda_v \cdot \frac{V_v}{V}. \quad (17)$$

Dosažením (14) do rovnice (17) a úpravou dostaneme

$$\lambda_w = \lambda_c \cdot (1 - p) + \lambda_a \cdot p + \frac{V_v}{V} \cdot (\lambda_v - \lambda_a). \quad (18)$$

Z definice hmotnostní a objemové vlhkosti

$$w = \frac{\rho_v \cdot V_v}{\rho_s \cdot V} \Rightarrow \frac{V_v}{V} = \frac{w \cdot \rho_s}{\rho_v}, \quad (19)$$

$$u = \frac{V_v}{V}, \quad (20)$$

kde w je hmotnostní vlhkost [%],

u – objemová vlhkost [%],

ρ_s – objemová hmotnost suchého materiálu [W m⁻¹ K⁻¹],

ρ_v – objemová hmotnost vody (ledu) [W m⁻¹ K⁻¹].

Dosažením (19) a (20) do rovnice (18) dostaneme

$$\lambda_w = \lambda_c \cdot (1 - p) + \lambda_a \cdot p + \frac{w \cdot \rho_s}{\rho_v} \cdot (\lambda_v - \lambda_a), \quad (21)$$

$$\lambda_w = \lambda_c \cdot (1 - p) + \lambda_a \cdot p + u \cdot (\lambda_v - \lambda_a). \quad (22)$$

Dosažením (15) do rovnic (21) a (22) dostaneme

$$\boxed{\lambda_w = \lambda_s + \frac{w \cdot \rho_s}{\rho_v} \cdot (\lambda_v - \lambda_a)}, \quad (23)$$

$$\boxed{\lambda_w = \lambda_s + u \cdot (\lambda_v - \lambda_a)}. \quad (24)$$

Porovnání s vlhkostním součinitelem tepelné vodivosti

J. S. Cammerer vyjádřil závislost součinitele tepelné vodivosti a vlhkosti pomocí vlhkostního součinitele tepelné vodivosti γ_λ . Porovnání lze provést pomocí jak hmotnostní, tak objemové vlhkosti, a to aplikací rovnice (2)

$$\lambda_w = \lambda_s (1 + \gamma_{\lambda w} \cdot w), \quad \lambda_u = \lambda_s (1 + \gamma_{\lambda u} \cdot u). \quad (25)$$

Dosažením (23) a (24) dostaneme

$$\lambda_s + \frac{w \cdot \rho_s}{\rho_v} \cdot (\lambda_v - \lambda_a) = \lambda_s \cdot (1 + \gamma_{\lambda w} \cdot w), \quad (26)$$

$$\lambda_s + u \cdot (\lambda_v - \lambda_a) = \lambda_s \cdot (1 + \gamma_{\lambda u} \cdot u),$$

$$\gamma_{\lambda w} \cdot w = \frac{w \cdot \rho_s}{\lambda_s \cdot \rho_v} \cdot (\lambda_v - \lambda_a), \quad \gamma_{\lambda u} \cdot u = \frac{u}{\lambda_s} \cdot (\lambda_v - \lambda_a), \quad (27)$$

$$\boxed{\gamma_{\lambda w} = \frac{\rho_s}{\lambda_s \cdot \rho_v} \cdot (\lambda_v - \lambda_a)}, \quad \boxed{\gamma_{\lambda u} = \frac{(\lambda_v - \lambda_a)}{\lambda_s}}. \quad (28)$$

Vliv kondenzace vodních par na tepelnou vodivost

Názory na kondenzaci vlhkosti ve stavebních konstrukcích vlivem difúze vodních par se různí. Převládá však správně názor, že není nutné bránit jakékoli kondenzaci, ale je nutné ji udržovat v určitých mezích.

U jednoplášťových plochých střeš s klasickým pořadím vrstev se v podstatě nedá zajistit, aby vlhkost procházející konstrukcí ve formě páry nekondenzovala. Vysoký difúzní odpor krytiny způsobuje kondenzaci těsně pod ní, kde se ve většině případů nalézá tepelná izolace. Vodní pára prochází molekulární mříží i jinak nenasákavé látky. Tato pára pak v uzavřených pórech může kondenzovat a vlhkost tepelné izolace roste, aniž bychom to očekávali.

Výpočty podle normy [1] se zabývají pouze kvantitativním hodnocením vlhkosti. Kvalitativní vliv vlhkosti, který ovlivňuje tepelné izolační vlastnosti materiálů, může způsobit neřízený růst vlhkosti, neboť se změnou tepelné izolačních vlastností se v čase mění teplotní, a tím i difúzní schéma konstrukce, snižuje se tepelný odpor.

Na vzorku vláknité tepelné izolace tl. 100 mm s teplotním spádem 35 °C v kladném rozsahu teplot se výsledky teoretického výpočtu se započítáním působení vlhkostního součinitele tepelné vodivosti γ_λ liší od klasického výpočtu uvedeného v normě až o 7 % ve smyslu nárůstu množství kondenzátu, a to pouze za krátký úsek sedmi dnů. Tepelný odpor tohoto vzorku klesl o 8 %.

Při teplotách nižších než 0 °C dochází k mnohem větším rozdílům. Je to způsobeno tím, že hodnota součinitele tepelné vodivosti látek λ závisí mimo jiné i na teplotě. Teplota sice nemá zásadní vliv, ale dojde-li k fázové změně látky, pak se tepelná vodivost prudce zvýší, a to v mnoha případech řádově až o stovky procent.

V praxi nastává kondenzace vodní páry u jednoplášťových plochých střeš s klasickým pořadím vrstev v zimním období těsně pod krytinou, kde je téměř vždy teplota nižší než 0 °C. Kondenzát se tedy nevyklučuje ve formě vody, ale ledu.

Literatura

- [1] Mrlík, F.: Vlhkost ve stavebních hmotách, konstrukcích a budovách. ČVUT Praha, 1972.
 [2] Mrlík, F.: Vlhkostné problémy stavebních materiálů a konstrukcí. Bratislava, Alfa 1985.
 [3] Mrlík, F.: Stavební tepelná technika a akustika. VUT Brno, 1984.
 [4] Halahyja, M. – Chmúrny, I. – Sternová, Z. Stavební tepelná technika. Bratislava, JAGA 1998.
 [5] ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov. ČSN, 2002.
 [6] ČSN 73 1901 Navrhování střech. ČSN, 1998.

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.

Fuciman, O. – Škramlík, J.: Effects of Water Vapour Condensation on Changes of Thermal Conductivity of Building Materials

In the construction practice, moisture oftentimes penetrates into the structure of materials of building constructions, leading to liquid moisture content growth. In some cases, moisture causes degradation of their thermal insulating properties. It frequently has adverse effects on physical properties and, consequently, use of constructions. Building constructions are in danger of destruction, and thermotechnical characteristics may change.

Fuciman, O. – Škramlík, J.: Der Einfluss der Kondensation von Wasserdämpfen auf die Veränderungen der Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen

In der Baupraxis haben wir es oft mit dem Durchdringen von Feuchtigkeit in die Struktur der Materialien von Baukonstruktionen und einem erhöhten Gehalt von Feuchtigkeit in flüssiger Form zu tun. In einigen Fällen ist die Feuchtigkeit die Ursache für den Verfall der wärmedämmenden Fähigkeiten dieser Baustoffe. In vielen Fällen beeinträchtigt sie die physikalischen Eigenschaften und damit auch die Nutzung des Bauwerks, es droht eine Zerstörung der Baukonstruktion oder eine Veränderung der wärmetechnischen Eigenschaften.

Všechna čísla časopisu

STAVEBNÍ OBZOR

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

● dizertace



Modeling of Concrete Exposed to Fire

Ing. Jiří Surovec

Autor navrhuje dva přístupy k modelování betonu zatíženého působením požáru. Jednodušší metoda byla ověřena simulací experimentů mezinárodního programu UPTUN a sofistikovanější metoda, uvažující i proudění a fázové přeměny vody v betonu, porovnáním s jinými výzkumy. Modely jsou nyní součástí komerčního programu ATENA.

Transport látek v nenasycené zóně s důrazem na modelování preferenčního proudění

Ing. Jaromír Dušek

Práce je souborem publikovaných prací opatřených integrujícím textem. Čtyři práce byly publikovány v prestižních impaktovaných zahraničních časopisech.

Analýza a zpracování nivelačních měření

Ing. Petr Souček

Dizertace se zabývá výškovými základy ČR, tj. nivelační sítí obsahující desetitisíce bodů. Je vytvořeno softwarové řešení kompletního zpracování této sítě a je navržen datový model při vytváření databáze údajů o výškových bodech včetně vizualizace v prostředí Google Earth.

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 víceřadového média.

Kalibrace digitálních kamer pro blízkou fotogrammetrii

Ing. Eva Štefanová

Dizertace se zabývá kalibrací digitálních kamer pro velmi blízkou fotogrammetrii. Jde o tzv. neměřické komory, kde je nutno zjišťovat prvky vnitřní orientace, které jsou pro každou kameru individuální. Cílem je ověřit obecný postup kalibrace pro různé kamery pomocí kalibračního pole.

Application of Digital Photogrammetry for Monument Preservation

Ing. Veronika Králová

Práce je zaměřena na vytvoření prostorového informačního systému historicky cenného památkového objektu pomocí digitální fotogrammetrie s aplikací na citadelu In Irbil v Iráku.

Odhad drenážních odtoků a jejich vliv na odtokové poměry v krajině

Ing. **Jakub ŠTIBINGER, CSc.**
 ČZU – Fakulta životního prostředí
 Praha

Článek popisuje způsob odhadu časových řad drenážních odtoků v krajině na vybraných lokalitách v povodí Němčického potoka, které byly vytvořeny podle teorie De Zeeuwa-Hellingy. Zároveň jsou zde prezentovány výsledky analýz a porovnání těchto drenážních odtoků s hydrogramy povrchových odtoků, generovaných pomocí hydrologického modelu KINFIL.

Úvod

Nedílnou součástí odtokových poměrů v krajině může tvořit dynamika drenážního odtoku, vyvolaná existencí potenciální podzemní systematické trubkové drenáže. Prognóza a odhady kvantitativního vlivu drenážního odtoku na odtokové poměry vybrané experimentální plochy v povodí Němčického potoka byly řešeny v rámci projektu Ministerstva zemědělství ČR [3]. Cílem rozboru bylo nejen odhadnout hodnoty hypotetických drenážních odtoků, určených na základě teorie De Zeeuwa-Hellingy [6], ale zároveň porovnat tyto veličiny s povrchovými odtoky stanovenými modelem KINFIL [3]. Za modelové území byla vybrána oblast situovaná mezi obcemi Němčice a Žďár v okrese Blansko.

Při simulaci povrchových a drenážních odtoků se vycházelo z rozborů hydrologických a hydropedologických ukazatelů a dat zpracovaných přímo pro tuto oblast [2]. Porovnávané odtoky, modelované pro danou lokalitu, byly generovány působením přívalové srážky s dobou opakování $N = 10$ a trváním 30 minut. Infiltrační schopnosti povrchových vrstev zemědělských ploch jsou v této zájmové lokalitě relativně omezené. Jejich stanovení a vyhodnocení i simulace povrchového odtoku pomocí modelu KINFIL probíhalo v předcházejících etapách výzkumu [2], v nichž byl model zároveň implementován na experimentální plochu v povodí Němčického potoka.

Vzhledem k tomu, že problematika drenážních odtoků v podmínkách neustáleného transientního nasyceného proudění podzemní vody k horizontálně uloženým drenážním systémům nebyla dosud v této oblasti řešena, bylo jedním z hlavních cílů kvantifikovat vliv případných drenážních odtoků z podzemních horizontálně uložených odvodňovacích systémů na vodní režim krajiny. Proto je v článku věnován relativně větší prostor teoretickému rozboru drenážních procesů, metodické postupy pro použití modelu KINFIL s cílem generovat hodnoty hydrogramů povrchových odtoků byly popsány v dokumentu [2].

Při odhadu drenážních odtoků vyvolaných působením podzemních horizontálně uložených drenážních systémů se vycházelo z obecného popisu pohybu vody v pórovitém nasyceném prostředí, který je nezbytný pro formování výchozích rovnic daného řešení konkrétní úlohy či problému

[1], [4], [10], [7]. Při řešení transientních drenážních procesů se vycházelo z drenážní teorie De Zeeuwa-Hellingy [6].

Drenážní teorie De Zeeuwa-Hellingy

Předpokládáme, že v průběhu neustáleného nasyceného drenážního proudění nad přibližně vodorovným, velmi málo propustným podložím, které je vyvolané existencí podzemního, horizontálně uloženého drenážního systému, nebude docházet k infiltraci (resp. výparu) do (resp. z) hladiny podzemní vody. Tato situace nastává zejména v období po povodních, záplavách, po jarním tání. Po odtoku povrchových vod zpravidla zůstává vysoko položená hladina podzemní vody a plně nasycené půdní prostředí. Vlivem přítomnosti podzemních horizontálně uložených drenážních systémů se bude úroveň hladiny podzemní vody i intenzita drenážního odtoku s časem t postupně snižovat.

Časová řada drenážního procesu bude neperiodická, monotónní, sestupná, dotace $r(t)$, resp. výpar $e(t)$, do (resp. z) hladiny podzemní vody bude zanedbatelná, zřejmě bude platit $r(t) = e(t) = 0$. V případě nenulové efektivní dotace (infiltrace, přítoku) $r(t)$ a nenulového výparu $e(t)$ bude platit rovnice (1) pro dotaci, resp. rovnice (2) pro výpar. Rovnice (1), (2) jsou známy jako Boussinesquovy linearizované rovnice, používané pro řešení nasyceného neustáleného proudění podzemních vod, a to jak ve výzkumné a vědecké sféře, tak v inženýrské vodohospodářské praxi.

$$K \cdot H \frac{d^2 h(x,t)}{dx^2} - r(t) = Pd \frac{h(x,t)}{dt}, \quad (1)$$

resp.

$$K \cdot H \frac{d^2 h(x,t)}{dx^2} + e(t) = Pd \frac{h(x,t)}{dt}, \quad (2)$$

kde K je hydraulická vodivost [M/T],
 Pd – efektivní drenážní pórovitost [-],
 H – průměrná mocnost zvodnělé vrstvy [M],
 $h(x, t)$ – výška hladiny podzemní vody (HPV) ve vzdálenosti x od počátku ve zvoleném čase t [M],
 x – vodorovná osa dvourozměrného ortogonálního souřadnicového systému h, x [M],
 t – čas [T],
 $r(t)$ – efektivní dotace (infiltrace, přítok) do HPV [M/T],
 $e(t)$ – efektivní výpar [M/T].

Symbol M , resp. T , charakterizuje délkovou, resp. časovou jednotku.

Předpokládá se, že průběh dotací, infiltračí či přítoků do hladiny vody nad drény je dán funkcí $r(t)$ a bude proměnný pouze v čase t , v případě výparu půjde o funkci $e(t)$. Pohyb hladiny vody nad drény pak může být rozkolísaný, nepravidelný transientní a bude se měnit s hodnotami $r(t)$, resp. $e(t)$. Nepravidelný transientní průběh bude vykazovat také

časová řada intenzity drenážního odtoku. V těchto podmínkách je možné pro analýzu výše popisovaného procesu použít teorii, ve které De Zeeuw a Hellinga [6] prokázali, že v určitém konečném ohraničeném časovém intervalu dt za předpokladu konstantní dotace, tj. infiltrace, přítoku R v tomto intervalu, platí:

- změna intenzity drenážního odtoku v čase dq/dt je přímo úměrná rozdílu mezi dotací R a drenážním odtokem q , tj. hodnotě $(R-q)$;
- výše definovaný jev lze vyjádřit rovnicí $dq/dt = a \cdot (R-q)$, kde a jako faktor intenzity drenážního odtoku zde představuje koeficient (konstantu) přímé úměrnosti.

Vyjádření De Zeeuwa-Hellingy ve tvaru

$$\frac{dq}{dt} = a(R - q) \quad (3)$$

tvoří obyčejná diferenciální rovnice se známými konstantami a , R , kde neznámou představuje intenzita drenážního odtoku q jako funkce proměnné t .

Analytické řešení výše uvedené rovnice s vhodně zvoleným časovým intervalem dt a s využitím dalších předpokladů umožní popsat fluktuaci hladiny vody nad drény i změny drenážních odtoků v průběhu celého hodnoceného procesu. Obecně lze rovnici typu (3) řešit separací proměnných [5]. Substitucí

$$y = q - R \quad (4)$$

dostaneme

$$\frac{dy}{dt} = \frac{dq}{dt} \quad (5)$$

Dosažením rovnice (4) do rovnice (3) a s využitím vztahu (5) pak získáme výraz

$$\frac{dy}{dt} = -a \cdot y \quad (6)$$

Obecné řešení rovnice (6) lze vyjádřit funkcí

$$\ln y = -a \cdot t + c, \quad (7)$$

kde c je libovolné reálné číslo. Po úpravách platí

$$y = N \cdot e^{-at} \quad \text{nebo} \quad y(t) = N \cdot e^{-at}, \quad (8)$$

kde N je libovolné kladné číslo. Rovnici (4) je možné interpretovat jako

$$y(t) = q(t) - R; \quad (9)$$

dosažením rovnice (8) pak dostaneme

$$q(t) = N \cdot e^{-at} + R. \quad (10)$$

Nechť je dt libovolná konstanta, která v tomto případě představuje časový interval dt . Substitucí $t = t - dt$ v rovnici (10) dostaneme výraz

$$q(t - dt) = N \cdot e^{-a(t-dt)} + R. \quad (11)$$

Eliminací konstanty N v rovnicích (10) a (11) pak získáme výsledný vztah pro vyjádření hledané funkce $q(t)$ intenzity drenážního odtoku v souladu s teorií De Zeeuwa a Hellingy ve tvaru

$$q(t) = q(t-dt) \cdot e^{-a \cdot dt} + R(1 - e^{-a \cdot dt}) \quad (12)$$

nebo

$$q_t = q_{t-1} \cdot e^{-a \cdot dt} + R(1 - e^{-a \cdot dt}). \quad (13)$$

Faktor intenzity drenážního odtoku (T^{-1}) bývá někdy nazýván De Zeeuowým-Hellingovým faktorem (koeficientem) drenážní intenzity (účinnosti) a lze jej vyjádřit vztahem

$$a = \frac{\pi^2 \cdot K \cdot H}{P_D \cdot L^2}, \quad (14)$$

kde L je rozchod horizontálně uložených trubkových drénů [M],

q – intenzita drenážního odtoku [M/T],

∂q – změna intenzity drenážního odtoku [M/T],

$qt, q_{t-1}, q(t), q(t-1)$ – drenážní odtok v časovém intervalu $t, t-1$ [M/T],

$\partial t = t - (t-1)$ – časový interval [T],

R – efektivní dotace (infiltrace) do drenážního systému, konstantní ve zvoleném (vybraném) časovém intervalu [M],

a – De Zeeuowův-Hellingův drenážní faktor [T⁻¹],

t – čas [T].

Použitelnost De Zeeuow-Hellingovy teorie byla ověřena analýzou a porovnáním modelovaných a naměřených hodnot drenážních odtoků vnitřních vod ze skládky TKO Osečná, okres Liberec [9], dále pak analýzou a porovnáním modelovaných a naměřených hodnot drenážních odtoků v krajině [7], [8] z experimentální plochy o rozloze 40,5 ha v povodí Cerhovického potoka.

Oba případy byly hydraulicky zcela odlišné a u obou byla potvrzena velmi dobrá shoda mezi daty generovanými pomocí De Zeeuowa-Hellingova modelu a skutečnými údaji naměřenými v terénu. Výsledky této části výzkumu pak byly, mimo jiné, konzultovány a prezentovány na pracovních seminářích nizozemské univerzity WUR Wageningen v červnu 2006.

Charakteristika zájmových lokalit

Za modelové území byla vybrána oblast v povodí Němčického potoka, situovaná mezi obcemi Němčice a Žďár pod vrchem Brusná s nadmořskou výškou 607,3 m, kde se v budoucnosti předpokládá výstavba protipovodňových a protierozních opatření. Němčický potok se vlévá do říčky Luhy, která v Moravskoslezském krasu pokračuje jako Punkva a v Blansku vtéká do Svitavy. Klimaticky patří zájmové území do oblasti mírně teplé, okrsku mírně vlhkého. Průměrná roční teplota se pohybuje kolem 6 °C, průměrný dlouhodobý roční srážkový úhrn dosahuje 652 mm.

Geologické podloží tvoří staré kulmské zvrásněné sedimenty. Hlavní horninou jsou zde drobová souvrství zpevněných sedimentů, spojených tmelem. Tyto horniny pak zvětvávají na středně těžké půdy různé hloubky, od mělkých až po hluboké, většinou s obsahem skeletu, kterého směrem do hloubky přibývá. Jsou to půdy propustné, místy středně až málo propustné. Pleistocén je zastoupen svahovinami převážně kyselých materiálů.

Půdní pokryv tvoří převážně kambizemě, modální eubazické až mezobazické na horninách kulmu, místy slabě oglejené, převážně středně těžké a středně skeletovité. V horních partiích svahů jsou půdní horizonty erodované. Nacházejí se zde mělké kambizemě litické, středně těžké nebo lehčí. V západní části povodí se vytvořily hnědozemě luvické, oglejené na svahových hlínách, středně těžké, ve spodině těžší. Údolí potoka vyplňují gleje modální na svahovinách, středně těžké až těžké. Na svazích na méně propustných svahovinách se vyvinuly pseudogleje modální středně těžké, ve spodině těžší.

Pro porovnání odtokových procesů povrchového odtoku a podzemního drenážního odtoku byly vybrány lokality situované v údolní nivě Němčického potoka mezi obcemi Němčice a Žďár, každá o typizované rozloze 1 km², pojmenované jako „kukuřičné pole“, „úhor“ a „u hráze“, na kterých byly v souvislosti s dílčí částí výzkumného úkolu „Modelování povrchového odtoku z experimentálních ploch“ (aktivita A 02/06, [2]) simulovány návrhové hydrogramy povrchových odtoků pomocí modelu KINFIL.

V době hydroopedologických průzkumů a terénních experimentů, prováděných v rámci další dílčí části výzkumného úkolu s názvem „Stanovení infiltračních vlastností povrchových vrstev“ (aktivita A 01/06, [2]), byla lokalita „kukuřičné pole“ oseta kukuřicí, s hydraulickou vodivostí povrchových vrstev $8,4 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, efektivní drenážní pórovitost byla 1 % objemu. Lokalita označená jako „úhor“ nebyla v té době seta, hydraulickou vodivost povrchových vrstev reprezentovala hodnota $3 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, efektivní drenážní pórovitost měla hodnotu 2,0 % objemu.

Do hráze bývalého rybníka, resp. do hráze bývalého suchého poldru, byla situována lokalita „u hráze“ s hydraulickou vodivostí povrchových vrstev $1,45 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a efektivní drenážní pórovitostí 2 % objemu.

Hydrologická, hydrotechnická a hydraulická vstupní data

Výsledky hydraulických a hydrotechnických výpočtů numerických experimentů by měly upřesnit představy a informace o velikosti případných drenážních odtoků z tohoto území, a zejména ve vztahu k povrchovým odtokům, resp. k povodňové vlně [3]. Výše uvedený postup je jedním ze způsobů, jak lze z hydraulického hlediska objektivně posoudit a vyhodnotit vliv případného podzemního horizontálně uloženého drenážního systému v lokalitě říční krajiny v údolní nivě Němčického potoka. Vzhledem k tomu, že se dosud o takových drenážních systémech na prověřovaných lokalitách neuvažovalo, bylo třeba především definovat jejich základní návrhové parametry. Přitom se vycházelo z hydraulických vlastností a infiltračních schopností půdního prostředí těchto lokalit, které byly stanoveny terénním měřením a ověřeny laboratorně [2].

Vzhledem k tomu, že pórovité půdní prostředí všech ověřovaných lokalit je možné označit za velmi málo propustné, byla zvolena průměrná hloubka uložení sběrných drénů $hd = 0,75 \text{ m}$ stejná pro všechny lokality. Tímto byl vytvořen typický mělký půdní profil [7], kde sběrné drény systému jsou uloženy na velmi málo propustné půdní vrstvě, hydraulické vlastnosti pórovitého prostředí nad drény včetně jejich infiltračních poměrností jsou známy. Rozchod drénů L byl vzhledem k relativně méně propustnému půdnímu prostředí v horních vrstvách navržen 8 m, vnitřní průměr sběrných drénů $2r_0 = 100 \text{ mm}$.

Hydraulická vodivost K a efektivní drenážní pórovitost P_D pro prověřované lokality byly určeny na základě rozboru výsledků experimentálních terénních infiltračních měření,

jež byla součástí citované dílčí části výzkumného úkolu (aktivita A 01/06, [2]). Simulovaná mělká hladina podzemní vody (HPV), kolem 6 až 8 cm pod terénem (tj. $h_0 = 0,70$ až $0,65 \text{ m}$), umožnila poměrně včasnou reakci drenážního systému na efektivní dotaci (infiltraci) do HPV, která byla vyvolána návrhovou srážkou s dobou opakování $N = 10$ let, trváním $T = 30$ minut a srážkovým úhrnem $H = 28,3 \text{ mm}$, přestože půdní prostředí nad sběrnými drény lze charakterizovat jako méně propustné.

Návrhová srážka pak byla použita jak pro odhad podzemních drenážních odtoků stanovených podle teorie De Zeeuwa-Hellingy [3], tak pro odhad návrhových hydrogramů povrchových odtoků vytvořených pomocí modelu KINFIL [2]. Intenzita dotace R , tj. intenzita efektivní infiltrace do hladiny podzemní vody v lokalitě „kukuřičné pole“, „úhor“ a „u hráze“, bude přibližně rovna hodnotám jejich hydraulické nasycené vodivosti. Doba T_i dosažení čela zvlhčení efektivní infiltrace hladiny podzemní vody nad drény, tj. doba od počátku návrhové srážky k dosažení hladiny podzemní vody nad drény efektivní infiltrací, byla odhadnuta ze vztahu

$$z \cdot dW = r \cdot T_x + \int_0^{T_i} v(t) dt - \int_0^{T_x} v(t) dt \quad (15)$$

Čas T_x byl určen z výrazu $r = v(T_x)$, kde r je intenzita návrhové srážky, pro kterou platí $r = H / T$. Symbol $v(t)$ reprezentuje intenzitu, rychlost infiltrace v čase t . Použije-li se zkrácená infiltrační rovnice podle [4], je možné vyjádřit intenzitu infiltrace ve tvaru

$$v(t) = 0,5 \cdot S \cdot t^{-0,5} + A, \quad (16)$$

kde S je sorptivita [$\text{M} \cdot \text{T}^{-0,5}$] a A charakteristika s rozměrem rychlosti [$\text{M} \cdot \text{T}^{-1}$], která je velmi blízká hydraulické vodivosti.

Hydroopedologické ukazatele z [2] zde pak byly použity jako vstupní data pro řešení rovnice (15). Hodnota sorptivity u lokality „kukuřičné pole“ je $S = 1,310^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1/2}$, hodnota charakteristiky $A = 4,2 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. V lokalitě „úhor“ byla sorptivita $S = 5,2 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1/2}$, charakteristika $A = 1,35 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. V lokalitě „u hráze“ byla naměřena sorptivita $S = 6,8 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1/2}$ a charakteristika $A = 7,3 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Parametr dW v rovnici (15) představuje rozdíl mezi počáteční vlhkostí a vlhkostí při plném nasycení pórovitého prostředí. Hodnoty dW byly stanoveny při hydroopedologickém průzkumu zájmových lokalit. Pro lokalitu „kukuřičné pole“ platí $dW = 30,2 \%$ obj., pro lokalitu „úhor“ $dW = 33,5 \%$ obj. a pro lokalitu „u hráze“ $dW = 19,7 \%$ obj. Symbol z reprezentuje úroveň hladiny podzemní vody pod terénem, v tomto případě platí pro všechny lokality $z = 6-8 \text{ cm}$. Symbol r reprezentuje v rovnici (15) intenzitu návrhové srážky s dobou opakování $N = 10$ let, trváním $T = 30$ minut a srážkovým úhrnem $H = 28,3 \text{ mm}$. Pro všechny lokality platí $r = 0,94 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

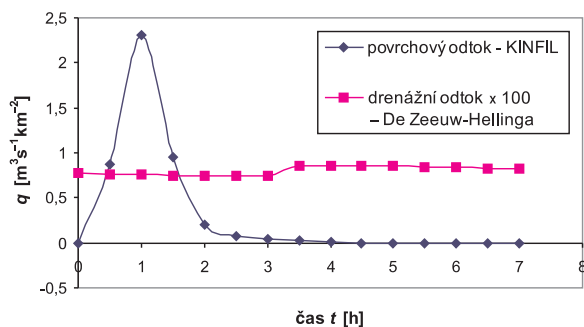
Doba trvání efektivní dotace, resp. efektivní infiltrace do hladiny podzemní vody, byla odhadnuta jako rozdíl doby trvání návrhového hydrogramu (průtoku), stanoveného pomocí modelu KINFIL, a času T_i . Pro jednotlivé lokality byly pomocí rovnice (15) vypočteny časy T_i , pro lokalitu „kukuřičné pole“ platí $T_i = 3 \text{ h}$. Pro lokalitu „úhor“ stejně jako pro lokalitu „u hráze“ byl odhadnut čas $T_i = 3,5 \text{ h}$. Časový interval $dt = 30$ minut, tj. trvání efektivní dotace (infiltrace), činil 30 minut a byl přibližně stejný pro všechny lokality.

Vytvoření časových řad drenážních a povrchových odtoků

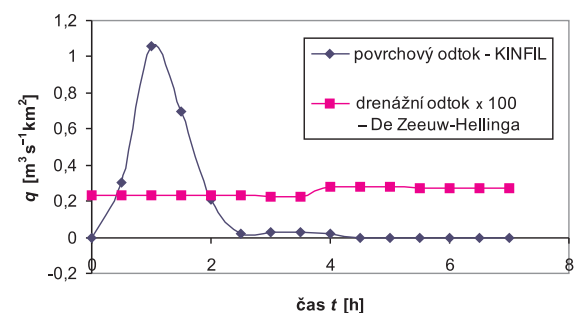
Využitím vstupních dat, hydrologických, hydratechnických a hydraulických výpočtů byly pro jednotlivé lokality vytvořeny časové řady drenážních odtoků podle teorie De Zeeuwa-Hellingy [3]. Časem T_k byla označena doba trvání drenážních procesů, které byly vyvolány návrhovou srážkou se srážkovým úhrnem $H = 28,3$ mm, trváním $T = 30$ minut a dobou opakování $N = 10$ let. Na prověřovaných lokalitách byl odhadnut čas na základě analýzy předpokládaného neustáleného nasyceného drenážního proudění s použitím rovnice (17), která tyto drenážní procesy popisuje [6].

$$h_t = h_0 \cdot \exp(-a \cdot T_k), \quad (17)$$

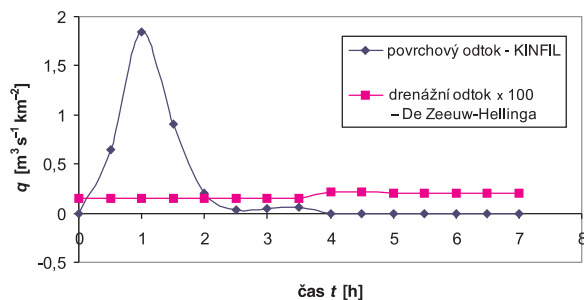
kde h_t [m] je hladina vody nad drény v čase T_k [dny], její hodnota musí být stejná jako před začátkem návrhové srážky, tedy $ht = 0,65$ m. Parametr $h_0 = 0,75$ m reprezentuje plné nasycení půdního profilu nad drény, ke kterému došlo působením návrhové srážky. Hodnoty parametrů $h_t = 0,65$ m a $h_0 = 0,75$ m budou pro všechny lokality stejné.



Obr. 1. Modelované hydrogramy povrchového a drenážního odtoku, experimentální plocha „kukuřičné pole“, údolí Němčického potoka (Ždár-Němčice, okres Blansko)



Obr. 2. Modelované hydrogramy povrchového a drenážního odtoku, experimentální plocha „úhor“, údolí Němčického potoka (Ždár-Němčice, okres Blansko)



Obr. 3. Modelované hydrogramy povrchového a drenážního odtoku, experimentální plocha „u hráze“, údolí Němčického potoka (Ždár-Němčice, okres Blansko)

Pro lokalitu „kukuřičné pole“ byl vypočten čas $T_k = 1$ den a 14,4 hodiny, pro lokalitu „úhor“ $T_k = 1$ den a 7,2 hodiny a pro lokalitu „u hráze“ $T_k = 22,8$ hodiny. Dále byly pomocí rovnic (13) a (14), tedy podle teorie De Zeeuwa-Hellingy, vytvořeny časové řady drenážních odtoků postupně pro jednotlivé lokality, které pak byly porovnány s průběhem návrhových hydrogramů povrchových odtoků, jenž byly pro tyto lokality generovány modelem KINFIL. Výsledky jsou znázorněny graficky na obr. 1 pro lokalitu „kukuřičné pole“, na obr. 2 pro lokalitu „úhor“ a na obr. 3 pro lokalitu „u hráze“.

Diskuze výsledků

Z analýzy a porovnání hodnot drenážních odtoků vypočtených podle teorie De Zeeuwa-Hellingy a hydrogramů povrchových odtoků generovaných modelem KINFIL vyplývají následující skutečnosti. Vzhledem k tomu, že hladina vody nad drény $h_0 = 0,65$ m, je pro všechny lokality v čase $t = 0$ určitá nenulová hodnota, stejná pro všechny lokality, bude drenážní odtok v čase $t = 0$ také nenulový. Ve všech lokalitách bude tedy drenážní odtok probíhat ještě před působením efektivní dotace do hladiny vody nad drény. Tím se zásadně liší od povrchového odtoku, který bude v čase $t = 0$ ve všech lokalitách nulový.

Intenzita drenážního odtoku od času $t = 0$ klesá až do doby 3-3,5 h po začátku návrhové srážky, kdy se projeví vliv efektivní dotace, resp. infiltrace do hladiny vody nad drény, což je důsledek působení návrhové srážky. A tak se odezva návrhové srážky bude promítat do drenážního odtoku přibližně až za 3-3,5 h od počátku návrhové srážky. Reakce povrchového odtoku na srážku však bude téměř okamžitá. Doba výtopy je totiž u všech prověřovaných lokalit relativně velmi krátká [3].

Maximálních hodnot specifického povrchového odtoku, vytvořených modelem KINFIL, bylo dosaženo v lokalitě „kukuřičné pole“, $q = 2,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$, která má v porovnání s ostatními („úhor“, „u hráze“) nejnižší hydraulickou vodivost povrchové vrstvy $K = 8,4 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, a také zřejmě nejméně příznivé infiltrační schopnosti.

Následuje maximum specifického povrchového odtoku (KINFIL) z lokality „u hráze“, $q = 1,84 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. Hydraulická vodivost povrchových vrstev této lokality $K = 1,45 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ je evidentně vyšší než nasycená vodivost lokality „kukuřičné pole“, ale prokazatelně nižší než hydraulická vodivost v lokalitě „úhor“, kde $K = 3 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Nejnižší maximum specifického povrchového odtoku (KINFIL) bylo stanoveno v lokalitě „úhor“, kde $q = 1,07 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. Hydraulická vodivost povrchových vrstev lokality „úhor“ činí $K = 3 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a je v porovnání s lokalitami „kukuřičné pole“ a „u hráze“ nejvyšší. Lze předpokládat, že rovněž její infiltrační schopnosti budou v porovnání s ostatními lokalitami nejpříznivější.

Uvedená fakta a zjištění potvrdila obecně známou skutečnost, že nejvyšší povrchové odtoky budou generovány na plochách s málo příznivými infiltračními a hydraulickými schopnostmi ve smyslu infiltračním, a naopak nižší hodnoty povrchových odtoků budou korespondovat s příznivějšími vsakovacími vlastnostmi povrchových vrstev krajiny. Naprosto odlišná situace nastane v případě hodnocení maxima předpokládaných drenážních odtoků, generovaných přítomností podzemního horizontálně uloženého drenážního systému.

Maximálního specifického drenážního odtoku, stanoveného podle teorie De Zeeuwa-Hellingy, bylo dosaženo v lokalitě „úhor“, $q = 0,0278 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ ($0,28 \text{ l s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$), která má v porovnání s ostatními nejvyšší hydraulickou vodivost povrchové vrstvy $K = 3 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a také její infiltrační vlastnosti a schopnosti budou zřejmě z hlediska vsakování nejpříznivější. Následuje maximum specifického drenážního odtoku (De Zeeuw-Hellinga) z lokality „u hráze“, $q = 0,021 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ ($0,21 \text{ l s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$). Hydraulická vodivost povrchových vrstev zde má hodnotu $K = 1,45 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a je nižší než hydraulická vodivost povrchových vrstev lokality „úhor“, ale vyšší než vodivost povrchové vrstvy v lokalitě „kukuřičné pole“, kde $K = 8,4 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Nejnižší maximum specifického drenážního odtoku (De Zeeuw-Hellinga) bylo stanoveno v lokalitě „kukuřičné pole“, kde $q = 0,0086 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ ($0,086 \text{ l s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$). Hydraulická vodivost povrchových vrstev lokality „kukuřičné pole“ činí $K = 8,4 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a je v porovnání s ostatními lokalitami nejmenší. Proto lze předpokládat, že také její infiltrační schopnosti budou nejméně příznivé.

Je tedy zřejmé, a také fyzikálně opodstatněné, že velikost drenážních odtoků, modelovaných podle De Zeeuwovy a Hellingovy teorie, je přímo úměrná infiltračním a hydraulickým vlastnostem půdního pórovitého prostředí, ve kterém drenážní procesy probíhají. Čím vhodnější a příznivější, ve smyslu hydraulické propustnosti pro vodu budou, tím vyšší budou hodnoty intenzity drenážních odtoků. Zároveň platí nepřímá úměra pro trvání drenážních procesů, čím vhodnější a příznivější budou infiltrační a hydraulické vlastnosti půdního prostředí, čím větší bude hodnota hydraulické nasycené vodivosti, tím kratší bude trvání drenážního procesu v tomto prostředí.

Zcela opačný jev nastane v případě hodnocení vztahu hydrogramů povrchových odtoků pomocí modelu KINFIL a hydraulických vlastností povrchových vrstev lokalit. Bude zde platit nepřímá úměra, která je rovněž fyzikálně vysvětlitelná a opodstatněná. Čím méně vhodné a méně příznivé, z hlediska hydraulické propustnosti pro vodu, budou infiltrační a hydraulické vlastnosti povrchových vrstev půdního prostředí, tím vyšší budou hodnoty povrchových odtoků, odhadovaných pomocí tohoto modelu.

Dále je možné konstatovat, že vrcholy, tj. maxima drenážních odtoků modelovaných podle rovnice De Zeeuwa-Hellingy, nejsou ani zdaleka tak výrazné jako vrcholy odtoků povrchových, vytvořených modelem KINFIL. Tento fakt je pravděpodobně podmíněn charakterem vlastního drenážního procesu, a zřejmě také relativně méně propustným pórovitým půdním prostředím, kde se reakce na efektivní dotace do hladiny vody nad drény nebudou tak výrazně projevovat. Časový posun, časová „vzdálenost“ vrcholů povrchového odtoku a drenážního odtoku v lokalitě „kukuřičné pole“ je 2,5 h. V lokalitách „úhor“ a „u hráze“ je časový posun vrcholů povrchového a drenážního odtoku přibližně stejný a činí 3 h.

Maximální hodnota specifického drenážního odtoku, vypočteného podle De Zeeuwa-Hellingy, v lokalitě „kukuřičné pole“ je $q = 0,0086 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ ($0,086 \text{ l s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$), což je 0,374 % maximálního povrchového odtoku v této lokalitě, která byla odhadnuta pomocí modelu KINFIL a činila $q = 2,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$.

Maximální hodnota specifického drenážního odtoku vypočtená v lokalitě „úhor“, $q = 0,0278 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ ($0,28 \text{ l s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$), představuje 2,54 % maximální hodnoty povrchového odtoku z této lokality, jež měla hodnotu $q = 1,07 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ a maximální hodnota specifického drenážního odtoku z lokality „u hráze“ činila $q = 0,021 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ ($0,21 \text{ l s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$),

což reprezentuje 1,14 % maximální hodnoty povrchového odtoku z této lokality, která byla $q = 1,84 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$.

Závěr

Na základě analýzy numerických experimentů při odhadech hodnot drenážních odtoků, modelovaných podle teorie De Zeeuwa-Hellingy a hodnot povrchových odtoků vytvořených pomocí modelu KINFIL, je možné formulovat hypotézu, že v relativně méně propustném prostředí budou zřejmě drenážní odtoky, vyvolané působením krátkodobé přívalové srážky a přítomností podzemního trubkového drenážního systému, v porovnání s odtoky povrchovými, výrazně menší. Tato hypotéza byla nepřímo potvrzena dlouhodobým měřením a vyhodnocením na experimentálních plochách v terénu [7], [8], [9], [3]. Podle rozboru výsledků budou zřejmě maxima drenážních odtoků kolísat kolem 1 % odtoků povrchových.

Experimenty dále prokázaly, že i v méně propustném prostředí jsou patrné rozdíly mezi hodnotami drenážních odtoků, které korespondují s hydraulickými vlastnostmi pórovitého prostředí na plochách, kde byly drenážní procesy modelovány. Zdá se, že jak výsledky terénních měření, tak analýzy numerických experimentů nasvědčují tomu, že v relativně méně propustném pórovitém půdním prostředí bude intenzita drenážního odtoku v porovnání s povrchovým odtokem velmi malá, možná zanedbatelná. V žádném případě zde nemůže být vlivem drenážních procesů ohrožována vodohospodářská bilance ve smyslu narušení či vytváření nerovnováhy hydrologického cyklu, které by mohlo negativně působit na vodní režim krajiny, zejména v souvislosti s možným vlivem současné dynamiky klimatu. Naopak, jakkoli relativně malé drenážní odtoky mohou snížením úrovně hladiny vody, která způsobuje nežádoucí nadměrné zamokření, vytvořit určité, třebaže relativně „malé“, retenční kapacity a prostory v povrchových vrstvách krajiny, jež by mohly sehrát rozhodující úlohu při zmírňování negativních dopadů záplav a povodňových jevů.

Článek byl zpracován v rámci projektu NPV-Mze 2005 VRK1/TP3-DP6 (IG 577040) Ministerstva zemědělství ČR „Metodika návrhu a výstavby optimální varianty protipovodňových a protierozních opatření pro zmírnění extrémních hydrologických jevů – povodní a sucha v krajině“.

Literatura

- [1] Boussinesq, J.: Recherches théoriques sur l'écoulement des nappes d'eau infiltrées dans le sol et sur le débit des sources. Journal de mathématiques pures et appliquées, 1904, No. 10, Part 5, pp. 5-78.
- [2] Kovář, P. – Štibinger, J. a kol.: Metodika návrhu a výstavby optimální varianty protipovodňových a protierozních opatření (PPPO) pro zmírnění extrémních hydrologických jevů – povodní a sucha v krajině. Projekt NPV-Mze 2005. VRK1/TP3-DP6 (IG 577040). [Výroční zpráva], ČZU Praha, 2006. ISBN 978-80-213-1600-3.
- [3] Kovář, P. – Štibinger, J. a kol.: Metodika návrhu a výstavby optimální varianty protipovodňových a protierozních opatření (PPPO) pro zmírnění extrémních hydrologických jevů – povodní a sucha v krajině. Projekt NPV-Mze 2005. VRK1/TP3-DP6 (IG 577040). [Výroční zpráva], ČZU Praha, 2008. ISBN 978-80-213-1743-7.

- [4] Kutílek, M. – Nielsen, D. R.: Soil Hydrology. Geo-Ecology Textbook. Cremlingen Destedt, Catena Verlag 1994, pp. 98-102. ISBN 3-923381-26-3.
- [5] Mls, J.: Analytické řešení obyčejné diferenciální rovnice se známými konstantami. [Nepublikované materiály]. UK Praha, 2005.
- [6] Ritzema, H. P.: Subsurface Flows to Drains. In: H. P. Ritzema (Ed.) Drainage Principles and Applications (pp. 283-294). Wageningen, ILRI Publ. 16, 1994.
- [7] Štibinger, J.: Analytical Approximation of Subsurface Total Drainage Quantity in Non-Steady State Drainage Flow and Its Verifications in Heavy Soils. The Journal of Irrigation and Drainage Systems 17: 341-365, 2003.
- [8] Štibinger, J.: An Estimation of Subsurface Total Drainage Quantity in Non-Steady State Drainage Flow, and its Verification in Loamy Soils. Plant, Soil and Environment 12, 2005, Vol. 51: 562-571, 2005.
- [9] Štibinger, J.: Approximation of Landfill Drainage Discharge by De Zeeuw-Hellinga Model. [Proceedings], Waste Management the Waste Conference Limited. The Barclay Centre University of Warwick Science Park Coventry, 2006, pp. 555-555.
- [10] Youngs, E. G.: Non-Steady Flow to Drains. In: R. W. Skaggs & J. Schilfgaard van, Agricultural Drainage American Society of Agronomy, Madison, 1999, pp. 265-295.

Štibinger, J.: Approximation of Drainage Discharges in Landscape and their Impact on Run-off Conditions

This paper describes the way of the approximation of the time series of drainage discharges in the landscape on the selected localities situated at the watershed of Nemčický brook, which were estimated by De Zeeuw-Hellinga's method. In this paper are also presented the results of the comparison of those drainage discharges with the surface runoff hydrographs, generated by the KINFIL hydrological model.

Štibinger, J.: Schätzung von Drainageabflüssen und ihr Einfluss auf die Abflussverhältnisse in der Landschaft

Der Artikel beschreibt die Art und Weise der Schätzung der Zeitreihen von Drainageabflüssen in der Landschaft an ausgewählten Orten im Einzugsgebiet des Baches Nēmčický potok, die nach der Theorie von De Zeeuw-Hellinga gebildet wurden. Gleichzeitig werden hier die Analyseergebnisse und Vergleiche dieser Drainageabflüsse mit Hydrogrammen von Oberflächenabflüssen mit Hilfe des hydrologischen Modells KINFIL vorgestellt.

Tensitet
techtex

● dizertace



Využití webových služeb v katastru nemovitosti

Ing. Radek Chromý

Cílem práce je vytvoření programového přístupu k výstupům a službám v aplikaci „nahlížení do katastru“. Tyto výstupy jsou dnes ve formátu HTML, který není vhodný pro další počítačové zpracování. V dizertaci navržený alternativní postup tento nedostatek odstraňuje.

Analýza spolehlivosti krystalizačních hydroizolací a jejich uplatnění v oblasti pozemních staveb

Ing. Jiří Pazderka

Dizertace doplňuje, na základě vlastních experimentů autora, dosud neznámé technické a fyzikální vlastnosti krystalizačních hydroizolací, které jsou použitelné při realizaci vodotěsných systémů.

Hydro-Thermal Performance of Earth-to-Air Heat Exchangers

Ing. Pavel Kopecký

Práce se týká navrhování zemních výměníků tepla a obsahuje teoretický popis a matematický model, který je ověřen rozsáhlými experimenty. Téma souvisí s energetickou náročností provozu budov.

Analysis of Mechanical Properties of Soils Using Critical State Models

Ing. Tomáš Janda

Dizertace se zabývá numerickým modelováním kolapsibilních zemin a zpětnou analýzou modifikovaného Cam-Clay modelu z výsledků izotropní konsolidace v triaxiálním přístroji prostřednictvím genetických algoritmů. Výsledky jsou zpracovány do numerického kódu GEO 5 pro konečné prvky.

Multi-Scale Approach to Nonlinear Uncoupled Analysis of Masonry Structures

Ing. Jan Novák

Práce je zaměřena na víceúrovňové modelování zděných konstrukcí se zaměřením na historické stavby. Analýza již byla využita při posuzování Karlova mostu. Přínosem je také implementace numerické metody BPM vhodné při řešení problémů spojených s heterogenní strukturou materiálu.

Analýza pružnoplastického chování zesíleného dřevěného nosníku

Ing. Vladimír Smudek

Práce se zabývá dřevěnými nosníky zesílenými tyčovými prvky vysoké pevnosti. Analytický a numerický model jsou verifikovány rozsáhlými experimenty autora. Byla ověřena technologie vlepování oceli do dřeva.

Analýza hospodářského cyklu z pohledu trhu práce v ČR a stavebnictví

doc. Ing. Božena KADEŘÁBKOVÁ, CSc.

ČVUT – Fakulta stavební

Ing. Emilie JAŠOVÁ

VŠE – Národohospodářská fakulta

Ekonomický vývoj ukazuje na důležitost zkoumání vývoje odvětví a oborů ekonomiky, neboť mohou prohlubovat či mírnit volatilitu hospodářského cyklu. Článek se zabývá analýzou příspěvku stavebnictví k této volatilitě z pohledu metod analyzujících vztah nezaměstnanosti a inflace a zahrnuje pro porovnání průmysl a celé národní hospodářství.

Úvod

Ekonomická stabilita se stává stále častěji skloňovaným tématem v médiích i v odborném světě. Východiskem pro celkovou ekonomickou stabilitu je měnová stabilita. Významná je proto měnová politika centrálních bank. Nynější otřesy na finančních trzích mohou poškodit, a pravděpodobně se tak již děje, jak globální, tak lokální ekonomický růst. Posilující koruna v kombinaci se slábnoucí poptávkou v západní Evropě zesiluje tlak na pokles inflace, a tím růst nezaměstnanosti v intencích krátkodobého trade off. Za zřejmý signál změny trendu na makroúrovni lze považovat růst volatilitu a změny ve vývoji vybraných indikátorů na úrovni jednotlivých odvětví. Svědčí o tom i vývoj na české ekonomické scéně. Ke snížení meziroční dynamiky růstu hrubého domácího produktu došlo již v prvním čtvrtletí loňského roku (–1,3 p. b.). To samé se opakovalo i v další části letošního roku, i když s menší intenzitou (–0,8 p. b.). Podle posledních informací z vybraných odvětví národního hospodářství bylo možné očekávat zpomalení růstu ekonomiky i v příštím období. V srpnu průmyslová produkce meziročně poklesla o 2,6 % a tržby z průmyslové činnosti dokonce o 2,8 %. Ve stavebnictví byl ve stejném měsíci zaznamenán meziroční pokles stavební produkce o 1,2 %. Trh práce i přes zhoršování výkonu ekonomiky prokazoval setrvačnost, která se projevila pomalejším přibýváním počtu nezaměstnaných, ale i pomalejším úbytkem nezaměstnaných při téměř 151 tisíci volných pracovních míst. Zpomalování poklesu nezaměstnanosti z prvního pololetí pokračovalo i v prvních měsících druhého pololetí. Míra nezaměstnanosti ke konci prvního pololetí 2008 meziročně poklesla o 1,3 p. b. na 5,0 %. V červenci a v srpnu činila 5,3 % a meziročně se snížila již jen o 1,1 p. b. Vývoj zaměstnanosti na úrovni odvětví indikuje mnohem zásadnější změny na trhu práce. Například v průmyslu počet zaměstnaných osob v červenci a srpnu meziročně vzrostl pouze o 0,4 %, což představuje snížení proti druhému čtvrtletí o 1,7 p. b. Ve stavebnictví bylo v tomto období zaznamenáno další prohloubení meziročního úbytku počtu zaměstnaných osob o 0,5 p. b.

Teoretický předpoklad krátkodobé substituce mezi nezaměstnaností a cenovým indikátorem podporuje také vývoj míry inflace, která v prvním pololetí 2008 již dosáhla vr-

cholu a postupně se pozvolna snižovala (červenec +6,9 % a září +6,6 %). Na mezoúrovni lze obdobný vývoj sledovat v odvětví stavebnictví, kde v červenci činil index cen stavebních prací 4,8 % a v srpnu 4,7 %. Potvrzení krátkodobé existence substituce mezi nezaměstnaností a inflací lze s výjimkou několika období vysledovat i v delším časovém horizontu. K detekci nepozorovatelné veličiny NAIRU (míra nezaměstnanosti, která neakceleruje inflaci) byla v další části předložena soustava metod, které byly aplikovány na celé národní hospodářství a lze je aplikovat i na odvětví stavebnictví a průmyslu.

Vývoj koncepčního rámce a modelových přístupů

Zásadní význam pro zmapování vztahu mezi nezaměstnaností a inflací měl pokus A. W. Phillipse [9]. Ve studii z roku 1958 předpokládal, že (nominální) mzdovou úroveň v jakémkoli období je možné vysvětlit předchozími hodnotami míry nezaměstnanosti. Schematické znázornění tohoto inverzního vztahu se od té doby označuje jako Phillipsova křivka (dále PC). V sedmdesátých letech M. Friedman [2] a E. Phelps [8] zavedli do analýzy tradiční PC dva klíčové koncepty, a to inflační očekávání a přirozenou míru nezaměstnanosti. V důsledku toho se nyní všeobecně předpokládá, že míra inflace závisí na inflačních očekáváních a na odchylce nezaměstnanosti od přirozené míry nezaměstnanosti. Dle jejich názoru neexistuje jen jedna stabilní PC, jak naznačovaly podmínky do sedmdesátých let minulého století, ale nekonečné množství PC křivek, každá pro určitou očekávanou úroveň inflace. Další definování úrovně nezaměstnanosti neakcelerující inflaci, tzv. NAIRU, provedl J. Tobin [11]. Jde o míru nezaměstnanosti, která přetrvává, přestože trh práce je v rovnováze. V případě České republiky se problematikou trade off mezi nezaměstnaností a inflací zabývali např. V. Izák [6], M. Hájek a V. Bezděk [5], P. Sedláček [10], V. Flek [1] a R. Pavelka [7].

V důsledku neexistence dokonale konkurenčního trhu práce odpovídá NAIRU nebo přirozená míra nezaměstnanosti řadě kombinací frikční a strukturální nezaměstnanosti, i když jsou poptávka po práci a nabídka práce v rovnováze.

Metody odhadu NAIRU lze rozdělit do tří hlavních kategorií:

- strukturální metody,
- čistě statistické (přímé) metody,
- přístup redukované formy.

První skupina odhaduje NAIRU jako rovnovážný výstup strukturálního modelu představujícího chování agregátní ceny a mzdy. Měření NAIRU se odvozuje analýzou časových řad nezaměstnanosti, inflace a dalších proměnných. Mezi strukturální metody patří metoda jedné rovnice, tzv. Gordon's Triangle Model [3], který postuluje závislost na trojici faktorů, a to na inflačním očekávání, na poptávkových podmínkách, představovaných mezerou nezaměstna-

nosti, a na nabídkových šocích. Do strukturálních metod zařazujeme i mzdově cenový model (The Bargaining Model). Strukturální metody kvantifikují NAIRU pomocí odhadu rovnice vysvětlujících cenové a mzdové chování.

Druhá skupina metod k odhadu NAIRU využívá různé čistě statistické metody, které přímo rozdělí skutečnou míru nezaměstnanosti na cyklické a trendové komponenty, přičemž ty druhé jsou označeny jako NAIRU. Čistě statistické (přímé) metody jsou obecně snadněji implementovatelné než strukturální metody, protože se nezaměřují na podrobnou specifikaci a analýzu základního chování ekonomických faktorů. V příspěvku užíváme metodu Hodrick-Prescottova filtru. Třetí skupina je kompromisem mezi oběma zmíněnými přístupy.

Empirické testování

Jednou z potíží empirického výzkumu trade off mezi inflací a nezaměstnaností je nedostatek přesných měr inflace. Při měření inflace na úrovni celého národního hospodářství upřednostňujeme deflátor spotřeby domácností podle národních účtů. Na úrovni sektorů používáme deflátor vybraných odvětví (zpracovatelský průmysl a stavebnictví) a indexy cen. Jednotlivé odhady respektují časovou logiku NAIRU (konstantní NAIRU, NAIRU pohyblivé v intervalu, NAIRU pohyblivé v celém sledovaném období a dlouhodobé NAIRU).

Na odlišnosti ve vývoji v mezinárodním srovnání, ale také na rozdíly na agregované úrovni a v sektorech, upozorňuje již R. Gordon [4]. Pode něho odlišnosti ve vývoji ukazují, že se musí zkoumat aspekty jednotlivých odvětví. Proto se příspěvek zabývá odhadem NAIRU v sektorech, neboť takové sledování pomůže dokreslit a vysvětlit národohospodářský vývoj této nepozorovatelné veličiny. Dále jejím porovnáním se skutečnou mírou nezaměstnanosti lze vyčísřit a zhodnotit hospodářský cyklus z pohledu trhu práce, a to na úrovni národního hospodářství a ve vybraných sektorech, a tím odhalit, jak daný sektor přispívá k tvorbě amplitudy výkyvu jednotlivých fází cyklu.

Stavebnictví – deflátor

V případě stavebnictví je substituce mezi inflací a mírou nezaměstnanosti odhadnuta ve dvou variantách, které se liší cenovým indikátorem. První varianta využívá deflátor stavebnictví a druhá index cen stavebních prací. Stejně pro oba případy je užítí dovozních cen, cenových očekávání, mezd a produktivity práce.

Při zkoumání využijeme nejprve grafickou analýzu bez exogenní veličiny. V této variantě se nepodařilo získat klasický záporný sklon PC. Odhadnuté NAIRU činí 4,9 %, což je v rozporu s podstatně vyšší hodnotou průměrné míry nezaměstnanosti v celém sledovaném období (7,4 %). V další části analýzy je vzata v úvahu exogenní veličina, tj. dovozní ceny. Zkoumané období je 2000/2 až 2007/2 a metodou je postup s jednou rovnicí, tj. Gordon's Triangle Model. Zjištěné NAIRU je ve výši 6,1 %, což přesahuje prvotní odhad grafickou metodou o 1,2 p. b. Dle další metody odhadu, tj. nové keynesiánské PC, NAIRU pro období 2001/2 až 2006/3 činí 6,3 % a potvrzuje podhodnocení odhadu grafickou metodou. Tyto metody dávají odhad konstantního NAIRU

pro celé sledované období. Rozdíly v odhadech plynou ze skutečnosti, že grafická metoda vyjadřuje vztah mezi nezaměstnaností a inflací. Metoda s jednou rovnicí vyjadřuje tentýž vztah včetně časového zpoždění obou proměnných a měnového kurzu. Odhad novou keynesiánskou metodou zahrnuje kromě uvedených proměnných i inflační očekávání na finančních trzích.

K vyjádření NAIRU proměnlivého v intervalu použijeme jednak arbitrární metodu, jednak Break Model a novou keynesiánskou PC. Arbitrární metoda vymezila pět období, další dvě metody jen čtyři období. Arbitrární metoda poskytuje dvě nestandardní období, kdy NAIRU vykazuje kladný sklon PC. Arbitrární metoda dále ukazuje i sklon PC, a to v jednom období v hodnotě cca -30, můžeme ji tedy využít k vyhledání nestandardního vývoje v určitých obdobích. Pro hospodářskou politiku to znamená možnost vysoké substituovatelnosti inflace nezaměstnaností. Kladný sklon znamená, že v ekonomice existují stagflační tlaky, tedy roste inflace i nezaměstnanost (konkrétně jde o období 2001/3 až 2002/2 a období 2004/3-2005/4).

NAIRU proměnlivé v čase odvozujeme pomocí Hodrick-Prescottova filtru (dále HP filtr), Kalmanova filtru a novou keynesiánskou PC. HP filtr pracuje jen s časovou řadou míry nezaměstnanosti, Kalmanův filtr připojuje zpoždění hodnot nezaměstnanosti a dovozních cen, nová keynesiánská PC zahrnuje i inflační očekávání finančních trhů. Všechny metody poskytují NAIRU se záporným sklonem, tedy možnost substituce mezi nezaměstnaností a inflací. Kalmanův filtr vykazuje NAIRU pohyblivý se v nejširším intervalu (-1,0 až 6,0 %).

Pro odhad dlouhodobého NAIRU jsme použily Bargaining Model se dvěma rovnicemi. Hodnota dlouhodobého NAIRU je rovna 5,6 %. Tato hodnota se nevymyká odhadům grafické analýzy, metody jedné rovnice a nové keynesiánské PC.

Stavebnictví – index cen

Tato varianta využívá index cen stavebních prací. Zkoumané období, exogenní faktor, cenová očekávání, mzdy a produktivita práce jsou stejné jako u první varianty. Při odhadu konstantního NAIRU grafickou analýzou se podařilo odhadnout klasický záporný sklon PC (-0,4), na rozdíl od grafické metody s deflátořem. Odhadnuté NAIRU činí 4,2 %. Výsledkem metody s jednou rovnicí je NAIRU ve výši 6,1 %, což přesahuje prvotní odhad grafickou metodou o 1,9 p. b. Nová keynesiánská křivka, kde NAIRU činí 6,1 %, potvrzuje podhodnocení odhadu prvotní grafickou metodou. Užítí metod pro odhad konstantního NAIRU dává podobné výsledky jak co do sklonu PC, tak odhadované hodnoty NAIRU.

NAIRU v časovém intervalu se při užítí indexu cen stavebních prací liší od varianty s deflátořem. Pro stavebnictví kromě arbitrární metody odhadl pět období i Break Model. Přitom v arbitrární metodě byl odhadnut větší počet období s kladným sklonem. Hodnota NAIRU vykazuje největší volatilitu a pohybuje se v intervalu 3,8-7,2 % (v případě užítí deflátořu byly hodnoty 5,3-7,0 %).

NAIRU pohyblivé v čase, získané prostřednictvím HP filtru, se nachází v úzkém intervalu 5,0-6,3 %. V kvalitativním průběhu NAIRU pro obě vyhlazení klasického Kalmanova filtru (0,6 a 1,0) se projevují v určitých okamžicích podstatné rozdíly. NAIRU odvozené Kalmanovým filtrem podle nové keynesiánské PC se již nepohybuje v tak širokém intervalu. Zatímco ve variantě s deflátořem se NAIRU podle klasického Kalmanova filtru nachází v intervalu -1,6

Tab. 1. Metoda odhadu NAIRU

Časový horizont a metody odhadu NAIRU	Období	Hodnota v %	Sklon
1. Konstantní NAIRU :			
1.1 Grafická analýza	2001/1-2007/2	4,9	0,5
1.2 Metoda jedné rovnice	2000/2-2007/2	6,1	-1,8
1.3 Nová keynesiánská PK	2001/2-2006/3	6,3	-0,6
2. NAIRU v časovém intervalu :			
2.1 Arbitrární metoda :			
1. Období	2001/3-2002/2	5,3	9,3
2. Období	2002/3-2003/3	5,4	-29,7
3. Období	2003/4-2004/2	6,5	-2,0
4. Období	2004/3-2005/4	5,3	1,4
5. Období	2006/1-2007/2	5,4	-2,6
2.2 Break model :			
1. Období	2001/2-2002/3	6,7	-13,9
2. Období	2002/4-2003/3	5,3	-8,6
3. Období	2003/4-2004/4	6,4	-1,8
4. Období	2005/1-2007/2	6,0	-1,5
2.3 Nová keynesiánská PK :			
1. Období	2001/3-2002/2	7,0	-8,8
2. Období	2002/3-2003/4	6,0	-12,6
3. Období	2004/1-2005/2	6,7	-0,9
4. Období	2005/3-2006/2	6,3	-2,3
3. Časově proměnlivé NAIRU :			
3.1 HP - filtr			
3.1.1 HP - filtr	1994/1-2007/2	od 4,60 do 10,0	-1,9
3.1.2 Nová keynesiánská HP-filtrem	2001/2-2006/2	od 5,0 do 6,4	-1,5
3.2 Kalmanův filtr :			
3.2.1 Kalmanův filtr :			
Vyhazení (0,6)	2002/2-2007/2	od -0,1 do 5,9	-0,2
Vyhazení (1)	2002/2-2007/2	od -1,6 do 6,4	-0,2
3.2.2 Nová keynesiánská PK TV :			
Vyhazení (1)	2002/2-2006/3	od 5,0 do 6,4	-0,2
4. Dlouhodobé NAIRU :			
4.1 Bargaining model	1999/2-2007/2	5,6	-2,2

až 6,4 %, v případě druhé metody jde již o interval -21,4 až 22,9 %. Kalmanův filtr podle nové keynesiánské PK ve variantě s indexem cen stavebních prací se nachází v intervalu -2,3 až 17,9 % (dle varianty s deflátorem interval činí 5,0 až 6,4 %). Hodnoty sklonu NAIRU pohyblivého v čase jsou pro obě varianty shodně velice nízké. Hodnota dlouhodobého NAIRU ve výši 5,7 % se nevymyká závěrům předělané varianty (5,6 %).

Vymezení hospodářského cyklu z pohledu trhu práce

Přirozeným závěrem analýzy NAIRU je vymezení hospodářského cyklu ze strany trhu práce. Za nejobvyklejší metodu lze považovat HP filtr. Pohled prostřednictvím arbitrární metody nabízí po částech konstantní NAIRU, které poskytuje výpověď odlišnou od HP filtru. Kalmanův filtr pro dozadu hledící očekávání je s těmito metodami ještě porovnatelný a jeho hodnotu pro méně vyhlazenou variantu 1,0 může-

Tab. 2. Metoda odhadu NAIRU

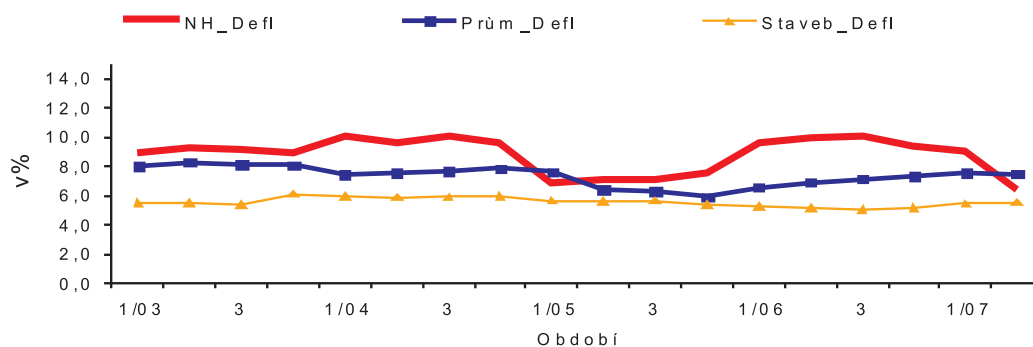
Časový horizont a metody odhadu NAIRU	Období	Hodnota [%]	Sklon
1. Konstantní NAIRU			
1.1 Grafická analýza	1998/4-2007/2	4,2	-0,4
1.2 Metoda jedné rovnice	2002/3-2007/2	6,1	-0,5
1.3 Nová keynesiánská PK	2000/1-2006/3	6,1	-0,2
2. NAIRU v časovém intervalu			
2.1 Arbitrární metoda :			
1. Období	1999/1-2000/1	5,3	-3,8
2. Období	2000/2-2001/1	6,2	2,2
3. Období	2001/2-2004/1	7,2	0,6
4. Období	2004/2-2005/3	5,0	1,2
5. Období	2005/4-2007/2	4,9	-0,8
2.2 Break model			
1. Období	1994/2-2000/1	3,8	-0,1
2. Období	2000/2-2001/3	6,5	-1,6
3. Období	2001/4-2004/3	7,6	-0,4
4. Období	2004/4-2006/1	5,5	-0,9
5. Období	2006/2-2007/1	4,8	-2,3
2.3 Nová keynesiánská PK			
1. Období	2000/1-2001/3	5,1	-3,3
2. Období	2001/4-2004/1	6,0	-1,2
3. Období	2004/2-2005/2	5,7	-4,3
4. Období	2005/3-2006/3	4,8	-0,4
3. Časově proměnlivé NAIRU			
3.1 HP - filtr			
3.1.1 HP - filtr	1994/1-2007/2	4,6-10,0	-0,4
3.1.2 Nová keynesiánská HP-filtrem	2002/2-2006/2	5,0-6,3	-0,4
3.2 Kalmanův filtr			
3.2.1 Kalmanův filtr			
Vyhazení (0,6)	1998/1-2007/2	-21,4-22,9	-0,1
Vyhazení (1)	1998/1-2007/2	-11,0-18,3	-0,1
3.2.2 Nová keynesiánská PK TV :			
Vyhazení (1)	1999/4-2006/3	-2,3-17,9	-0,1
4. Dlouhodobé NAIRU :			
4.1 Bargaining model	1999/2-2007/2	5,7	-0,7

me také použit k detekci fáze cyklu. Vytvořené průměrné hodnoty NAIRU pro celé národní hospodářství (dále NH) a vybraná odvětví (zpracovatelský průmysl a stavebnictví) dále vzájemně porovnáme se zřetelem na použitý cenový indikátor (obr. 1). Jednotlivé křivky v grafu jsou průměrné hodnoty dosažené ze tří vybraných metod odhadu NAIRU, a to arbitrární metody, HP filtr a Kalmanův filtr. Je patrný srovnatelný klesající trend všech tří časových řad, nicméně jsou patrné rozdíly v poloze a v průběhu sledovaných NAIRU. Průměrné NAIRU pro celé NH se nachází výše než odvětvová NAIRU po celé období (s výjimkou průmyslu ve dvou čtvrtletích). Dále lze vysledovat, že vývoj NAIRU pro celé NH se skládá z pravidelně se střídajících vyšších a nižších hodnot. V případě průměrného NAIRU v odvětví stavebnictví dochází po vysokých hodnotách v roce 2004 k jejich poklesu až na hodnotu 5,1 % v období 3/2006.

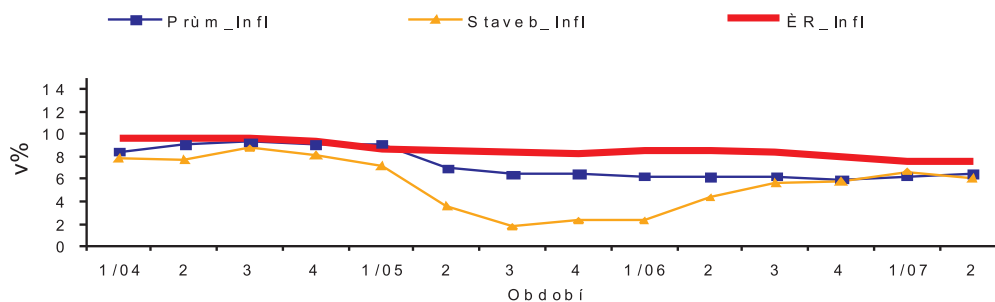
Porovnáním průměrných hodnot NAIRU, propočtených s využitím indexů cen (obr. 2), získáme nepatrně jiný pohled. Lze konstatovat, že klesající trend nemá stejnou

intenzitu. Největší snížení hodnoty NAIRU v průběhu sledovaného období zaznamenalo odvětví průmyslu, a naopak nejmenší celé NH. Průměrné NAIRU pro celé NH se opět nachází výše než odvětvová NAIRU po celé období (s výjimkou průmyslu, které převyšuje NH v 1/2005). V této variantě se protínají také NAIRU odvětvová. Dá se říci, že všechna tři průměrná NAIRU nejdříve vykazala snížení jeho hodnoty od roku 2005. Hodnota NAIRU pro NH se potom od 4/2006 dále snižovala až do konce sledovaného období. Ve stavebnictví zvýšení hodnot NAIRU po přechodném snížení v roce 2005 nastalo již počátkem roku 2006 a pokračovalo až do konce sledovaného období.

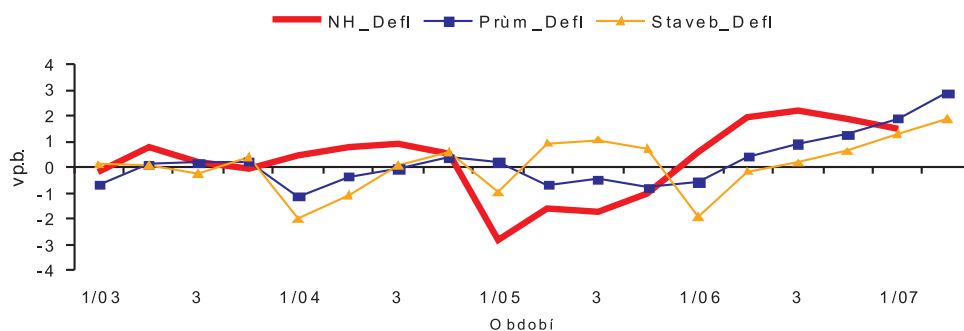
V další části analýzy je od výše propočtených průměrných hodnot NAIRU pro NH a odvětví odečtena skutečná míra nezaměstnanosti, a tak jsou získány mezery nezaměstnanosti. Graf na obr. 3 začíná v období 2003/1, kdy celé NH a odvětví stavebnictví dosahovalo přibližně nulové hodnoty mezery nezaměstnanosti. Poté až do 2004/4 zažívalo celé NH mělkou konjunkturu. Ve stavebnictví je patrné přeruše-



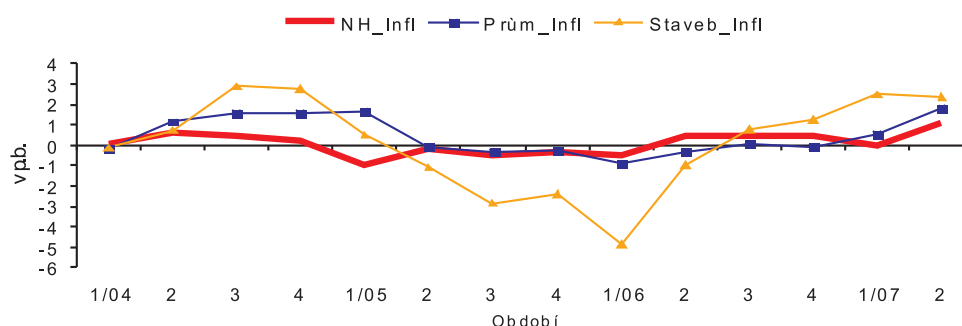
Obr. 1. Průměrné hodnoty NAIRU na úrovni NH a odvětví při použití deflátorů



Obr. 2. Průměrné hodnoty NAIRU na úrovni NH a odvětví s využitím cen



Obr. 3. Mezery nezaměstnanosti implikované průměrem metod v případě deflátorů



Obr. 4. Mezery nezaměstnanosti implikované průměrem metod v případě inflace

ní konjunktury ve třetím čtvrtletí 2003 a v prvních dvou čtvrtletích 2004. Ve stavebnictví recese trvala v roce 2005 pouze jedno čtvrtletí (1/2005).

Porovnání skutečné míry nezaměstnanosti s průměrnou hodnotou NAIRU, které byly propočteny s využitím indexu cen – v této části přibližně nulové hodnoty mezery nezaměstnanosti, dosahovalo jak celé NH, tak obě vybraná odvětví v období 1/2004. V případě obou odvětví byla zaznamenána velice solidní konjunktura ještě v prvním čtvrtletí 2005. V dalších pěti čtvrtletích se trend v NH a stavebnictví obrátil (obr. 4).

Závěry analýzy

Aplikace metodologie pro detekci vztahu mezi nezaměstnaností a inflací poskytuje rozdílný pohled na NAIRU a PC na úrovni celého NH a jednotlivých vybraných odvětví. Odlišnosti způsobuje také volba cenového indikátoru. V případě varianty s deflátořmi je patrný srovnatelný klesající trend všech tří časových řad. Průměrná NAIRU pro celé NH se nachází výše než odvětvová NAIRU po celé období. V případě varianty s cenovými indexy klesající trend nemá stejnou intenzitu. Největší snížení hodnoty NAIRU v průběhu sledovaného období zaznamenalo odvětví průmyslu, a naopak nejmenší celé NH. Všechna tři průměrná NAIRU nejdříve vykazovala snížení jeho hodnoty od roku 2005. Hodnota NAIRU pro NH potom dále klesala až do konce období. Ve stavebnictví již počátkem roku 2006 nastalo zvýšení hodnot NAIRU, které pokračovalo až do konce sledovaného období. Arbitrární metoda vykazuje období s nezvykle vysokým sklonem PC (-29,7). Tuto metodu lze využít k vyhledání nestandardního vývoje v určitých obdobích. Pro hospodářskou politiku to znamená možnost vysoké substituovatelnosti inflace nezaměstnaností. Kladný sklon zase indikuje existenci stagflačních tlaků v ekonomice, tedy růst inflace i nezaměstnanosti. Jmenovitě jde o intervaly 2001/3-2002/2 a 2004/3-2005/4.

Analýzou mezer nezaměstnanosti lze vysledovat, že v případě varianty s deflátořmi dosahovalo celé NH a odvětví stavebnictví přibližně nulové hodnoty v období 2003/1. Poté až do 2004/4 zažívalo celé NH mělkou konjunkturu. Ve stavebnictví je patrné přerušování konjunktury ve třetím čtvrtletí 2003 a v prvních dvou čtvrtletích 2004. Ve stavebnictví recese trvala v roce 2005 pouze jedno čtvrtletí (1/2005). Při využití indexů cen přibližně nulové hodnoty mezery nezaměstnanosti dosahovalo celé NH a obě vybraná odvětví v období 1/2004. V případě obou odvětví byla zaznamenána velice solidní konjunktura ještě v prvním čtvrtletí 2005.

Literatura

- [1] Flek, V.: Anatomy of the Czech Labour Market: From Over-Employment to Under-Employment in Ten Years? WP ČNB, 7/2004.
- [2] Friedman, M.: The Role of Monetary Policy. The American Economic Review, 3/1968.
- [3] Gordon, R. J.: The Time-Varying NAIRU and its Implications for Economic Policy. National Bureau of Economic Research. Cambridge, 8/1996.
- [4] Gordon, R. J.: Problems in the Measurement and Performance of Service-Sector Productivity in the United States. National Bureau of Economic Research, 3/1996.
- [5] Hájek, M. – Bezděk, V.: Odhad potenciálního produktu a produkční mezery v ČR. WP ČNB, 2000.
- [6] Izák, V.: Dezinflace a hrubý domácí produkt. VP, 2000, č. 16.
- [7] Pavelka, R.: Inflace a zdanění. Národohospodářská škola Boskovice, 11/2005.
- [8] Phelps, E. S.: Phillips Curves, Expectations of Inflation and Optimal Unemployment Over Time. *Economica*, 8/1967.
- [9] Philips, A. W.: The Relationship between Unemployment and the Rate of Change of Money Wages in the United Kingdom 1861-1957. *Economica*, 1958.
- [10] Sedláček, P.: Co způsobilo posun České NAIRU. ČNB, 2005.
- [11] Tobin, J.: Stabilization Policy Ten Years after. *Brookings Papers on Economic Activity*. 1980, No. 1, pp. 19-71.

Kadeřábková, B. – Jašová, E.: Analysis of Economic Cycle Given Job Market in CR and Construction Industry

Economic development stresses the importance of investigation into development of branches and fields of economy as they can deepen or mitigate volatility of the business cycle. This article analyses contribution of the building industry to this volatility from the perspective of the methods following the relationship of unemployment and inflation. It contains data concerning both industry and the entire national economy for comparison.

Kadeřábková, B. – Jašová, E.: Analyse des Wirtschaftszyklus aus der Sicht des Arbeitsmarktes in Tschechien und das Bauwesen

Die wirtschaftliche Entwicklung verweist auf die Wichtigkeit der Erforschung der Entwicklung der Zweige und Branchen der Wirtschaft, denn sie können die Volatilität des Wirtschaftszyklus vertiefen oder dämpfen. Der Artikel befasst sich mit einer Analyse des Beitrags des Bauwesens zu dieser Volatilität aus der Sicht der die Beziehung zwischen Arbeitslosigkeit und Inflation beobachtenden Methoden und beinhaltet zum Vergleich Angaben für die Industrie und die gesamte Volkswirtschaft.

Měření vodorovných posunů stavebních objektů metodou záměrné přímky – část 1

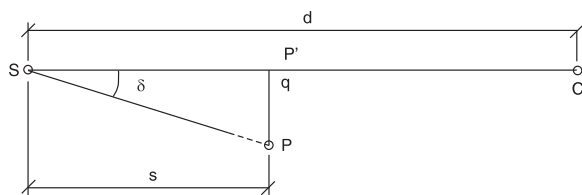
doc. Ing. Mojmír ŠVEC, CSc.
doc. Ing. Vladimír VOREL, CSc.

ČVUT – Fakulta stavební
Praha

Príspevek se zabývá metodou záměrné přímky při geodetickém monitorování přehrad. Jeho první část popisuje podstatu metody, stabilizaci vztažných a pozorovaných bodů, dostředění přístroje, cílového znaku a záměrného měřítka. Dále se stanoví přesnost metody, a to při použití měřítka a při měření paralaktického úhlu. Při tom se vychází z experimentálního materiálu získaného při monitorování vodních děl Orlik a Slapy.

Úvod

Metoda záměrné přímky je nejjednodušší z klasických geodetických metod měření vodorovných posunů stavebních objektů. Její princip je patrný z *obr. 1*.



Obr. 1. Princip metody záměrné přímky

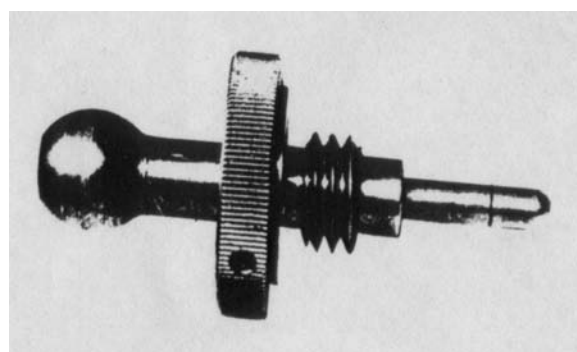
Měřením se určuje v jednotlivých etapách příčná výchylka q pozorovaného bodu P od záměrné přímky, dané spojnicí stanoviště přístroje S a cílové značky C . Výchylka q pozorovaného bodu P od záměrné přímky $S-C$ se čte buď přímo na měřítce s posuvným terčem, dostředěném na pozorovaný bod P kolmo na záměrnou přímku (metoda záměrného měřítka), nebo se počítá ze známé vzdálenosti s pozorovaného bodu P od stanoviště úhломěrného přístroje S a měřeného vodorovného úhlu δ (metoda malého úhlu).

Koncové body záměrné přímky S a C se zpravidla stabilizují na betonových pilířích a pozorované body jsou stabilizovány v tělese stavebního objektu. Způsoby stabilizace jsou různé a musí zaručit nucené dostředění přístroje i terče nebo měřítka s vysokou přesností. Způsob mechanického dostředění přístroje pomocí kulového čepu a terče zasunutého dřívkem do zděře centrační hlavice je patrný z *obr. 2*.

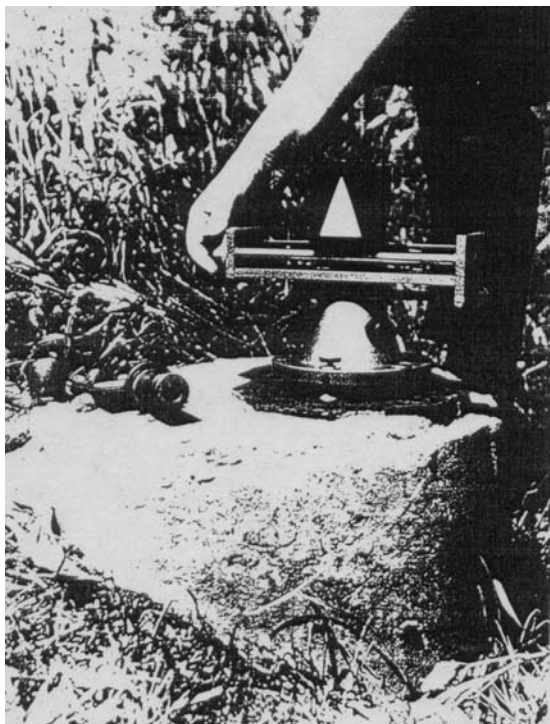
Při dobrém spojení trojnožky přístroje s podkladní deskou zaručuje tento způsob nuceného dostředění totožné postavení přístroje i cílových znaků s přesností kolem 0,05 mm.

K pozorování výchylek q pozorovaných bodů P od svislé roviny, proložené záměrnou přímkou, se používá zpravidla teodolit s dobrým dalekohledem a citlivou alhidádovou libelou. Při přímém čtení výchylek q se používá záměrné měřítko s posuvným terčem (*obr. 3*).

Koncový bod záměrné přímky C , popř. pozorovaný bod P , se obvykle signalizují terčem se soustřednými kruhy, nejlépe černožlutými.



Obr. 2. Mechanické dostředění přístroje



Obr. 3. Záměrné měřítko s posuvným terčem

Úvaha o přesnosti metody (rozbor před měřením)

Metoda záměrného měřítka

Jde o určení příčné výchyly q bodu P od svislé roviny, proložené záměrnou přímkou $S-C$. Ta se čte přímo na stupnici měřítka s posuvným terčem. Uvažované chyby měření:

- směrodatná odchylka σ_z v zacílení na terč, označující koncový bod záměrné přímky C ,
- směrodatná odchylka σ_z v zacílení při navedení terče záměrného měřítka do svislé roviny proložené záměrnou přímkou $S-C$.

Obě směrodatné odchylky v zacílení na vzdálenější i bližší terč se uvažují stejné – σ_z . Celková délka d záměrné přímky prakticky nepřekročí 500 m, a potom je tento předpoklad při vhodném tvaru a velikosti použitých terčů oprávněn.

Chybu pohybového mechanismu měřítka a náhodnou chybu ve čtení stupnice měřítka lze při dobrém stavu měřítka proti chybám ze zacílení zanedbat, neboť je menší než 0,1 mm. Stejně lze zanedbat chyby v dostředění přístroje na stanovišti S a terče na koncovém bodu záměrné přímky C i chybu v dostředění záměrného měřítka na pozorovaném bodu P , protože přístroje i terče jsou dostředovány mechanicky. Jako poslední do skupiny chyb, které se prakticky neprojeví, patří chyby z urovnání přístroje na bodě S , terče na koncovém bodě záměrné přímky C (je zasunut dřívkem do zděže centrační hlavice, nebo pevně osazen do boku pilíře) a záměrného měřítka na pozorovaném bodu P .

Úvahy o přesnosti metody byly provedeny pro vteřinový teodolit Wild T3 (v. č. 33199), který byl k měření posunut používán. Směrodatná odchylka jednoho zacílení činí pro tento přístroj při třicetinásobném zvětšení dalekohledu $\sigma_{oz} = 0,3$ mgon. Tato hodnota je stanovena na základě směrodatné odchylky směru, měřeného v jedné řadě s jedním cílením a čtením kruhu $\sigma_{oa} = 0,32$ mgon, určené ze stanovis-

kového vyrovnání měřených směrů v trigonometrických mikrositích přehrad Orlik a Žermanice. Vzhledem k tomu, že hodnota výběrové směrodatné odchylky měřeného směru byla vypočtena ze směrových osnov (v průměru o 15 směrech), měřených v 540 skupinách, lze výběrovou směrodatnou odchylku považovat za základní směrodatnou odchylku měření směru ve skupinách uvedeným přístrojem s použitím uvedených terčů. Při stanovení jednotkové směrodatné odchylky σ_{oz} byla uvažována jednotková směrodatná odchylka ve čtení kruhu $\sigma_{oc} = 0,1$ mgon, určená opět empiricky ze 100 měřických dvojic. Největší rozdíl čtení ve dvojici přitom byl $d_{max} = 0,26$ mgon. Za předpokladu, že na přesnost měřeného směru mají vliv pouze náhodné chyby v zacílení a ve čtení kruhu, dostaneme podle zákona přenašení chyb

$$\sigma_{oz} = \sqrt{\sigma_{oa}^2 - \sigma_{oc}^2} = 0,3 \text{ mgon.} \quad (1)$$

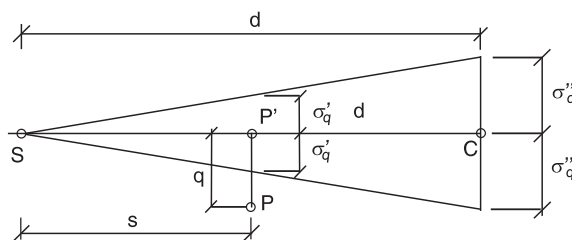
Směrodatná úhlová odchylka v zacílení na koncový bod záměrné přímky C se projeví v tomto bodě příčnou směrodatnou odchylkou σ_q'' , viz obr. 4.

$$\sigma_q'' = \frac{d \cdot \sigma_z}{\rho}, \quad (2)$$

kde d je délka záměrné přímky,

σ_z – směrodatná odchylka v zacílení,

ρ – radián.

Obr. 4. Směrodatná úhlová odchylka v zacílení na koncový bod záměrné přímky C

V pozorovaném bodu P se směrodatná odchylka v zacílení σ_z projeví úměrně menší příčnou směrodatnou odchylkou σ_q' , odpovídající nejistotě v zacílení na terč měřítka v tomto bodu

$$\sigma_q' = \frac{s \cdot \sigma_z}{\rho}, \quad (3)$$

kde s je vzdálenost pozorovaného bodu P od stanoviště S .

Výchyly q pozorovaného bodu P od svislé roviny proložené záměrnou přímkou $S-C$ bude tedy určena při jednom zařazení terče měřítka se směrodatnou odchylkou

$$\sigma_q = \sqrt{\sigma_q'^2 + \sigma_q''^2}. \quad (4)$$

Při zařazení terče měřítka do svislé roviny proložené záměrnou přímkou v obou polohách dalekohledu (v jedné sérii) bude směrodatná odchylka v zařazení terče měřítka příbližně

$$\sigma_{oq} = \frac{\sigma_q}{\sqrt{2}} \approx \sigma_q'. \quad (5)$$

Pro vzdálenosti s pozorovaného bodu P od stanoviska S do 400 m jsou příčné směrodatné odchylky σ_{0q} sestaveny v tab. 1.

Tab. 1. Příčné směrodatné odchylky určené metodou záměrného měřítka v jedné sérii

Vzdálenost s [m]	Směrodatná odchylka σ_{0q} [mm]
100	0,5
200	0,9
300	1,4
400	1,9

Metoda malého úhlu

Jde o určení příčné výchylky q pozorovaného bodu P od svislé roviny proložené záměrnou přímkou $S-C$, viz obr. 1. Ta se vypočte z měřeného paralaktického úhlu δ a známé vzdálenosti s . Za předpokladu, že úhel σ je malý, bude

$$q = \frac{s \cdot \delta}{\rho}, \quad (6)$$

kde s je vzdálenost pozorovaného bodu P od stanoviska S ,
 δ – měřený úhel,
 ρ – radián.

Uvažované chyby měření:

- směrodatná odchylka v zaměření koncového bodu záměrné přímky $C-\sigma_{\alpha(C)}$;
- směrodatná odchylka v zaměření směru na pozorovaný bod $P-\sigma_{\alpha(P)}$;
- směrodatné odchylky v zaměření směru na pozorovaný bod P i koncový bod záměrné přímky C lze uvažovat stejně σ_{α} , protože délka záměrné přímky málokdy překročí 500 m, a potom je tento předpoklad oprávněn;
- směrodatné odchylky v dostředění teodolitu i terčů, signalizujících koncový i pozorovaný bod záměrné přímky lze zanedbat, stejně jako chyby z urovnání teodolitu i terčů;
- teodolit Wild T3 je urovnáván alhidádovou libelou o citlivosti $f \approx 2,1$ mgon. Výška točné osy dalekohledu nad hlavici centračního čepu je 32 cm. Chyba z urovnání o jeden dílek libely tedy způsobí excentricitu záměrné přímky 0,01 mm. Terče se zasunují dílkem do zděže centrační hlavice, takže chyba z urovnání odpadá.

Předpokládáme-li, že na směrodatné odchylce měřeného směru se podílejí pouze náhodné chyby ze zacílení a čtení děleného kruhu, platí pro směry měřené v jedné řadě

$$\sigma_{\alpha}^2 = \sigma_z^2 + \sigma_{\epsilon}^2, \quad (7)$$

kde σ_z je směrodatná odchylka v zacílení na terč a σ_{ϵ} směrodatná odchylka ve čtení kruhu.

Bude-li paralaktický úhel δ měřen v jedné poloze dalekohledu s jedním cílením a čtením, bude určen se směrodatnou odchylkou

$$\sigma_{\delta} = \sigma_{\alpha} \cdot \sqrt{2}. \quad (8)$$

Pro uvažovaný teodolit Wild T3 je $\sigma_{\alpha} = 0,32$ mgon (viz předchozí odstavec). Po dosazení této hodnoty bude

$$\sigma_{\delta} = 0,45 \text{ mgon.}$$

Příčná směrodatná odchylka bude

$$\sigma_q = \frac{s \cdot \sigma_{\delta}}{\rho}. \quad (9)$$

Paralaktické úhly δ se měří obvykle v laboratorních jednotkách s dvojitým cílením a čtením v obou polohách dalekohledu. V jedné laboratorní jednotce je úhel δ měřen tedy čtyřikrát v každé poloze dalekohledu. Příčná směrodatná odchylka při měření v jedné laboratorní jednotce tedy bude

$$\sigma_{q0} = \frac{s \cdot \sigma_{\delta}}{\rho \cdot \sqrt{8}}. \quad (10)$$

Pro vzdálenosti pozorovaného bodu P od stanoviska S do 400 m jsou příčné směrodatné odchylky při měření paralaktického úhlu δ v jedné laboratorní jednotce sestaveny v tab. 2.

Tab. 2. Příčné směrodatné odchylky při měření úhlu v jedné laboratorní jednotce

Vzdálenost s [m]	Směrodatná odchylka σ_{0q} [mm]
100	0,2
200	0,5
300	0,7
400	1,0

Porovnání přesnosti metody záměrného měřítka a malého úhlu

Z porovnání směrodatných odchylek příčných výchylek q pozorovaného bodu v tab. 1 a tab. 2 je vidět, že hodnoty odpovídající metodě malého úhlu dosahují asi poloviny hodnot odpovídajících metodě záměrného měřítka. Příčné směrodatné odchylky σ_{0q} v obou tabulkách nelze ovšem porovnávat, protože počet cílení při použití obou metod se liší. Při měření příčné výchylky q v jedné sérii s použitím záměrného měřítka je cíleno jednou v obou polohách dalekohledu, zatímco malý úhel δ je v jedné laboratorní jednotce měřen čtyřikrát v obou polohách dalekohledu. Porovnejme tedy směrodatné odchylky příčné výchylky q , měřené ve čtyřech sériích (metoda záměrného měřítka) a v jedné laboratorní jednotce (metoda malého úhlu). Odpovídající hodnoty jsou v tab. 3.

Tab. 3. Příčné směrodatné odchylky

Vzdálenost s [m]	σ_q [mm]	
	příčná výchylka q měřená metodou	
	záměrného měřítka ve čtyřech sériích	malého úhlu v jedné laboratorní jednotce
100	0,2	0,2
200	0,4	0,5
300	0,7	0,7
400	1,0	1,0

Z tabulky je patrné, že při stejném počtu cílení je očekávaná přesnost určení příčné výchylky q pozorovaného bodu oběma metodami prakticky stejná. Seriózní vyhodnocení přesnosti obou metod si vyžádalo pracné experimentální měření.

Příspěvek je věnován výzkumnému záměru MSM 684 077 0001, dílčí část „Geodetické monitorování při zajištění spolehlivosti staveb“.

Literatura

[1] Vorel, V.: Geodetické monitorování staveb, jeho východiska a souvislosti. Geodetický a kartografický obzor, **52**, 2006, č. 7, s. 127-129.

[2] Vorel, V.: Zajišťování bezpečnosti staveb. Část: Specifikace při geodetickém měření posunů. In: Spolehlivost, optimalizace a trvanlivost stavebních materiálů a konstrukcí. [Sborník], Výzkumný záměr MSM 684 077 0001, ČVUT Praha, 2007, s. 333-335.

[3] Švec, M.: Studium mikrotriangulace pro měření vodorovných posunů přehrad. [Dizertační práce], ČVUT Praha, 1973.

[4] Michalčák, O. – Vosika, O. – Veselý, M. – Novák, Z.: Inžinierska geodézia I. Praha/Bratislava, SNTL/Alfa 1985.

Švec, V. – Vorel, V.: Measurement of Horizontal Shifts of Building Structures by Method of Line of Sight – Part I

This paper examines the method of line of sight used in geodetical monitoring of dams. Its first section describes the essence of the method, stabilization of reference and monitored points, centring of the device, the target mark and sight scale. Further, it specifies the method accuracy of the use of the scale, as well as of the measurement of the paralactic angle. The examination is based on experimental data gathered in the monitoring of Orlík and Slapy water dams.

Švec, V. – Vorel, V.: Messung der horizontalen Verschiebungen von Bauwerken mit der Visierlinienmethode – Teil 1

Der Beitrag befasst sich mit der Visierlinien beim geodätischen Monitoring von Talsperren. Sein erster Teil beschreibt das Wesen der Methode, die Stabilisierung der Bezugs- und Beobachtungspunkte, die Zentrierung des Geräts, der Zielmarke und des Zielmaßstabs. Des Weiteren wird die Genauigkeit der Methode bestimmt, und zwar bei Anwendung eines Maßstabs und bei der Messung des parallaktischen Winkels. Dabei wird von dem beim Monitoring der Talsperren Orlík und Slapy gewonnenen Versuchsmaterial ausgegangen.

•recenze

Martin Štroner – Jiří Pospíšil **Terestrické skenovací systémy**

Česká technika – Nakladatelství ČVUT, Praha, 2008, 187 s., 115 obr., 31 tab., ISBN 978-80-04141-3

Laserové skenování je moderním multidisciplinárním oborem, který se velmi rychle rozvíjí. Proto je vítané, že touto publikací dostávají čtenáři do ruky klíč k bližšímu seznámení s tímto oborem. V monografii jsou popsány i postupy a vzorce, které na první pohled se skenováním nesoúvisejí, avšak při podrobnějším rozboru se projeví, že bez nich není vlastní měření a zpracování naskenovaných dat možné. Do této oblasti patří hlavně problémy řešené v matematice, geodézii, fotogrammetrii, elektrotechnice, počítačové grafice i v dalších oborech. Uživatel by měl mít určitý přehled, aby chápal, co ho při práci se skenerem může potkat, a efektivněji daný systém využívat. Monografie upozorňuje na případná úskalí.

Pozemní systémy pro trojrozměrné skenování se uplatňují v širokém spektru oborů, jako je stavebnictví, architektura, topografické mapování na povrchu i v podzemí, archeologie, dokumentace památek, filmový průmysl, medicína i kriminalistika. Jejich největší výhodou je zaměření prostorově členitých objektů s povrchem složeným z matematicky obtížně definovaných ploch, kde by použití jiné geodetické metody bylo složité či nemožné.

Monografie popisuje principy činnosti terestrických skenovacích systémů a vlivy působící na měření. Důraz je kladen na měření a následně zpracování získaných dat, na porovnání s jinými metodami měření a na praktické využití.

Nechybí ani popis způsobů ověřování skenovacích systémů a jimi dosahované přesnosti měření. Autoři uvádějí nejnovější dostupné typy skenerů, ale upozorňují, že vývoj přístrojové techniky postupuje kupředu tak rychle, že upustili od detailního přehledu přístrojů a programů dostupných na trhu. Zájemce odkazují na firemní literaturu a předkládají rámcový přehled o možnostech využití přístrojů pro skenování.

Perspektivní je nový trend konvergence motorizovaných totálních stanic ke skenování. Na trhu jsou přístroje s rychlostí skenování až dvacet bodů za sekundu. To se v porovnání s desítkami až statisíci body u běžných skenerů jeví jako malý počet, ale jde o zásadní posun kupředu. Rovněž mobilní mapovací systémy představují vysoký stupeň automatizace při získávání a zpracování dat. Velmi zajímavý je příklad skenovacích systémů vyvíjených v Laboratoři laserového skenování při Katedře speciální geodézie Fakulty stavební ČVUT v Praze v rámci výzkumného programu.

Knihu s velkým počtem názorných obrázků, fotografií, tabulek a obsáhlou literaturou lze doporučit jak studentům, tak absolventům nejen fakult stavebních a architektury, ale i dalších příbuzných oborů technických i univerzitních směrů v oblastech, kde lze tuto progresivní měřickou techniku výhodně využívat.

Milan Kašpar

STAVEBNÍ OBZOR

ROČNÍK 18 ČÍSLO 2/2009

Navigace v dokumentu

OBSAH

Fajman, P. – Máca, J. – Beran, P. Rozložení sil v klenbě Vladislavského sálu	33
Kočí, V. – Maděra, J. – Černý, R. – Rovnaníková, P. Experimentální a počítačová analýza omítek pro renovaci historických budov	38
Janda, Z. – Zeman, J. – Šejnoha, J. Zjednodušené modely interakce volného předpínacího kabelu s konstrukcí	44
Jokl, M. Mikroklima a architektura	50
Švec, M. – Vorel, V. Měření vodorovných posunů stavebních objektů metodou záměrné přímký – část 2	53
Štroner, M. – Pospíšil, J. Modelování vlivu atmosféry na geodetická měření při požární zkoušce v Mokrsku	60

OBSAH

Fajman, P. – Máca, J. – Beran, P.

**Rozložení sil
v klenbě Vladislavského
sálu 33**Kočí, V. – Maděra, J. – Černý, R.
– Rovnaníková, P.**Experimentální
a počítačová
analýza omítek
pro renovaci
historických budov 38**

Janda, Z. – Zeman, J. – Šejnoha, J.

**Zjednodušené modely
interakce volného
předpínacího kabelu
s konstrukcí 44**

Jokl, M.

**Mikroklima
a architektura 50**

Švec, M. – Vorel, V.

**Měření vodorovných posunů
stavebních objektů
metodou
záměrné přímky
– část 2 53**

Štroner, M. – Pospíšil, J.

**Modelování vlivu
atmosféry na geodetická
měření při požární
zkoušce v Mokrsku 60****CONTENT**

Fajman, P. – Máca, J. – Beran, P.

**Distribution of Forces
in the Vladislav Hall Vault
at the Prague Castle 33**Kočí, V. – Maděra, J. – Černý, R.
– Rovnaníková, P.**Experimental
and Computer
Analysis
of Historical
Buildings 38**

Janda, Z. – Zeman, J. – Šejnoha, J.

**Simplified Methods of
Interaction of Unbounded
Prestressing Tendon with
the Structure 44**

Jokl, M.

**Microclimate
and Architecture 50**

Švec, M. – Vorel, V.

**Measurement of Horizontal
Displacements of Building
Structures Using Line
of Sight Method
– Part 2 53**

Štroner, M. – Pospíšil, J.

**Modelling of Atmospheric
Effects on Geodetical
Measurements as part of Fire
Safety Test in Mokrsko ... 60****INHALT**

Fajman, P. – Máca, J. – Beran, P.

**Kräfteverteilung
im Gewölbe
des Vladislav-Saals 33**Kočí, V. – Maděra, J. – Černý, R.
– Rovnaníková, P.**Experimentelle und
Computeranalyse
von Putzen für die
Renovierung historischer
Gebäude 38**

Janda, Z. – Zeman, J. – Šejnoha, J.

**Vereinfachte Modelle
der Interaktion eines losen
Spannglieds mit der
Konstruktion 44**

Jokl, M.

**Mikroklima
und Architektur 50**

Švec, M. – Vorel, V.

**Messung der horizontalen
Verschiebungen von
Bauwerken mit der
Visierlinienmethode
– Teil 2 53**

Štroner, M. – Pospíšil, J.

**Modellierung des Einflusses
der Atmosphäre auf geodätische
Messungen bei einem Brand-
versuch in Mokrsko 60****REDAKČNÍ RADA****Předseda:**

prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.

Místopředseda:

doc. Ing. Alois MATERNA, CSc., MBA

Členové:

doc. Ing. Jiří BROŽOVSKÝ, Ph.D.

prof. Ing. Milena CÍSLEROVÁ, CSc.

prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.

prof. Ing. Rostislav DROCHYTKA, CSc.

doc. Ing. Vladislav HORÁK, CSc.

prof. Ing. Milan JIRÁSEK, DrSc.

doc. Ing. Marcela KARMAZÍNOVÁ, CSc.

doc. Ing. Jana KORYTÁROVÁ, Ph.D.

doc. Ing. Jan KRŇANSKÝ, CSc.

Ing. Karel KUBEČKA, Ph.D.

prof. Ing. arch. Alois NOVÝ, CSc.

prof. Ing. Jiří POSPÍŠIL, CSc.

prof. Ing. Jaromír ŘÍHA, CSc.

prof. RNDr. Ing. Petr ŠTĚPÁNEK, CSc.

prof. Ing. arch. Petr URLICH, CSc.

Ing. Renata ZDARÍLOVÁ, Ph.D.

STAVEBNÍ OBZOR, odborný lektorovaný měsíčník, vydává Fakulta stavební ČVUT Praha společně s Fakultou stavební VUT Brno, Fakultou stavební VŠB TU Ostrava a Českou komorou autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě. Řídí redakční rada, vedoucí redaktorka Marcela Klímová. Adresa redakce: Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel.: 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 19. 1. 2008. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

Rozložení sil v klenbě Vladislavského sálu

doc. Ing. Petr FAJMAN, CSc.
prof. Ing. Jiří MÁČA, CSc.
Ing. Pavel BERAN
ČVUT – Fakulta stavební
Praha

Klenba Vladislavského sálu je historicky cenná a konstrukčně zajímavá. Rozložení sil mezi klenbou a žebry není známo, protože nebylo doposud řešeno a žádný výpočet z doby stavby nebo rekonstrukce se nedochoval. Dalším zajímavým problémem je odezva na změnu teplot s ohledem na skutečné působení. Nové výzkumy ukazují, že teplotní a vlhkostní změny jsou častou příčinou poruch.

Úvod

Začátek stavby Vladislavského sálu je datován do roku 1493. Práce byly ukončeny kolem roku 1502. Benedikt Ried navrhl klenbu, která se pravděpodobně při stavbě částečně zřítíla. Usuzujeme tak z dopisu pozdějšího stavitele zaklenutí malého sálu, kterému klenba také spadla a svůj neúspěch dává do souvislosti s pádem klenby Rieda. Jde o gotickou stavbu s prvky renesančních oken.

Ve středověku se sál používal pro rytířské souboje, pro reprezentativní účely a později pro konání trhů a obchodních schůzek. V roce 1541 velký oheň zničil střechu, jejíž část se zřítíla na klenbu. Klenba vydržela, ale byla poškozena hlavně na styku žeber a cihelné klenby. Horní zdi jsou dodnes zabarveny do červena od velkého žáru.

Popis sálu

Klenba je složena z pěti polí o celkové délce 62 m a šířce 16 m. Výška sálu je 13 m. Půdorys s přidruženými částmi je na obr. 1a, zjednodušené schéma půdorysu na obr. 1b. Každé pole je zaklenuto žebrovou klenbou přibližně kulového tvaru. Žebra jsou kamenná a zřejmě byla vztyčena nejdříve, a do nich se pak klenula cihelná klenba. Rozměry jednotlivých polí se mírně liší. Klenba byla několikrát opravována různými způsoby. Část jednoho pole je vyvěšena na cihelných pasech, jiné jsou pokryty zpevňující maltou, a navíc je většina polí zpevněna dodatečnými táhly. Zajímavé je to, že vrchní část klenby není spojena se stěnou (obr. 2b). Cihelná stěna vynáší zatížení krovu rovnou do sloupů, a zároveň je tím potlačeno momentové zatížení ve vrcholu klenby.

Popis konstrukce

Tloušťka konstrukce klenby je proměnná a na většině plochy není známa. Podle odhadu odborníků, kteří se nejvíce podílejí na průzkumu, vychází průměrná tloušťka klenby 250 mm. Tloušťka podporujících zdí je 900 mm, v místech sloupů dosahuje 1 500 mm. Zdi jsou vylehčené okny a dveřmi. Založení sloupů je rozdílné – na jižní straně jsou postaveny na románské zdi, v severní části jsou protažené arkádami, stěny končí na klenbách arkád. Klenby jsou staženy táhly v několika úrovních, ale není jasné, kdy byly do stavby vloženy. Nejspíše jde o táhla z různých období. Nejúčinnější, a zřejmě nejstarší, je spodní železné táhlo o rozměrech 30/60 mm, jdoucí klenbou do pilířů. Propojení klenby se žebry je vykresleno v obr. 3 a popsáno v [5].

Materiálové charakteristiky byly zvoleny s ohledem na normu a na doporučení [3]:

- pískovec s tečným modulem pružnosti $E = 12$ GPa, Poisson's $\nu = 0,2$, koeficient teplotní roztažnosti $\alpha = 0,00001$, objemová tíha $\gamma = 22$ kN/m³;
- cihelné zdivo s tečným modulem pružnosti $E = 3,15$ GPa, Poisson's $\nu = 0,2$, koeficient teplotní roztažnosti $\alpha = 0,00001$, objemová tíha $\gamma = 19$ kN/m³;
- ocel s tečným modulem pružnosti $E = 210$ GPa, Poisson's $\nu = 0,25$, koeficient teplotní roztažnosti $\alpha = 0,000012$, objemová tíha $\gamma = 78$ kN/m³.

Vlastní tíha cihelné klenby je 1 250 kN, kamenných žeber 400 kN a stěn přibližně 4 050 kN. Plocha žebra je 0,055 m². Propojení žebra a klenby železnou kotvou je ukázáno na obr. 3.

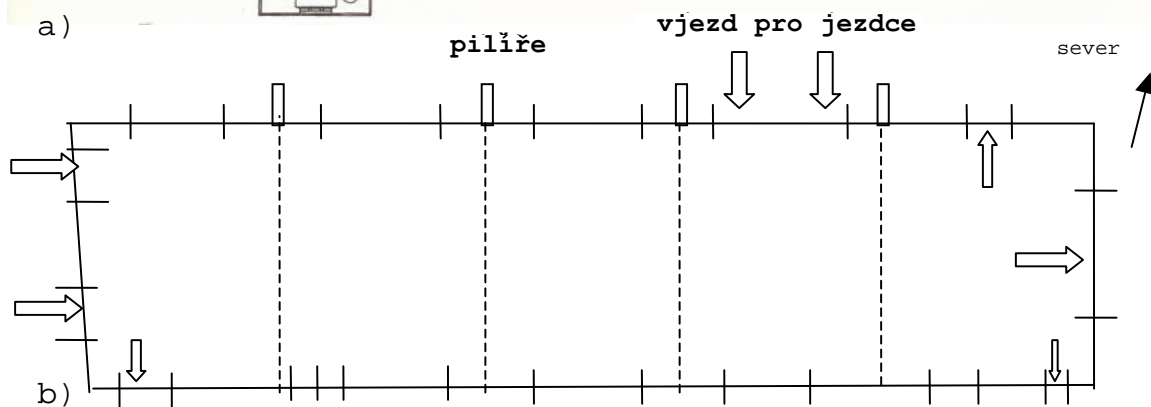
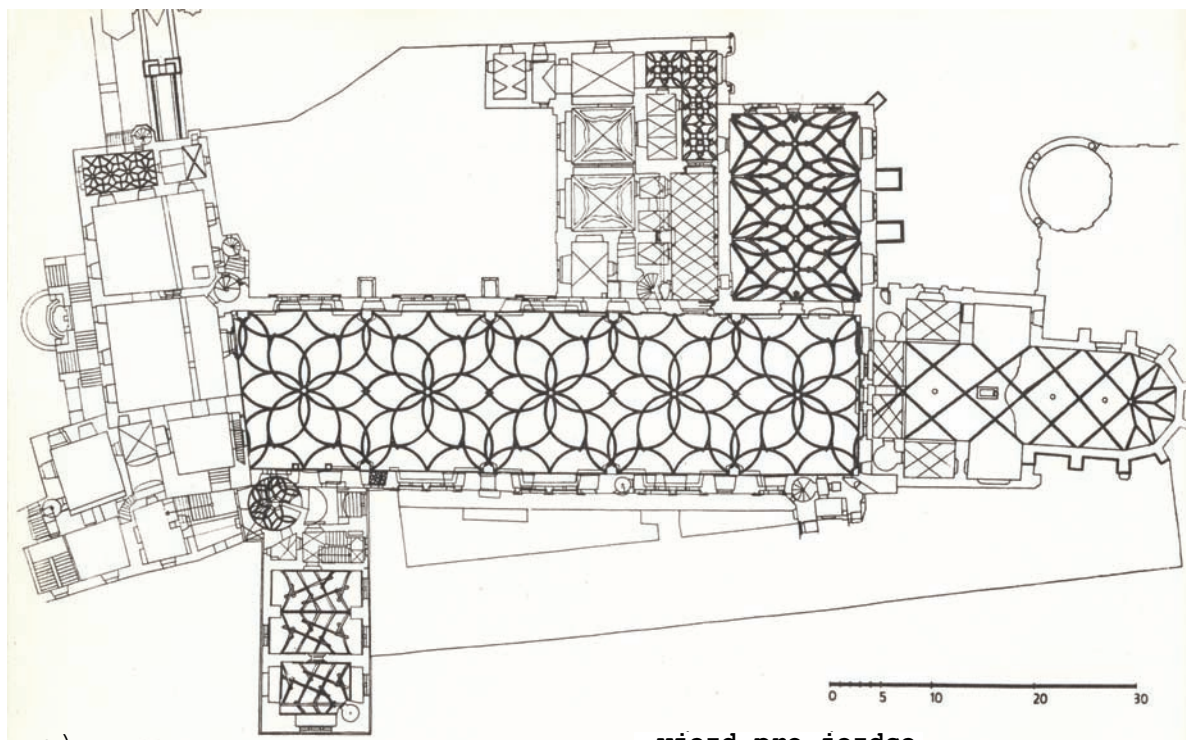
Cíle

Pro efektivní popis konstrukce je nutné znát rozdělení sil na jednotlivé části – žebro, klenbu a táhlo. Nejvíce nás zajímalo, jak je táhlo účinné a zda jsou žebra nosná a nesou klenbu, nebo naopak, jestli jsou jen pro ozdobu.

Další problém vznikl v souvislosti s konáním slavnostních schůzí sněmoven v zimních měsících a vytápěním. Při rychlém ohřátí docházelo k nerovnoměrnému ohřívání konstrukce a následným poruchám kleneb. Nové výzkumy se zaměřují na teplotní změny, které jsou častou příčinou poruch historických konstrukcí [2].

Model

Pro získání rozložení sil v klenbě byl vytvořen prostorový model jednoho pole. Pole je ukončeno rovinami symetrie.



Obr. 1. Půdorys Vladislavského sálu
a – včetně přidružených částí, b – půdorysné schéma

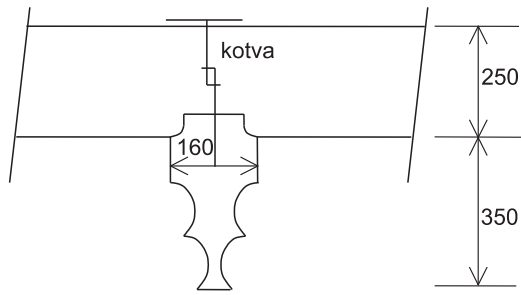
a)



Obr. 2. Vladislavský sál
a – vnitřek, b – rub klenby

b)

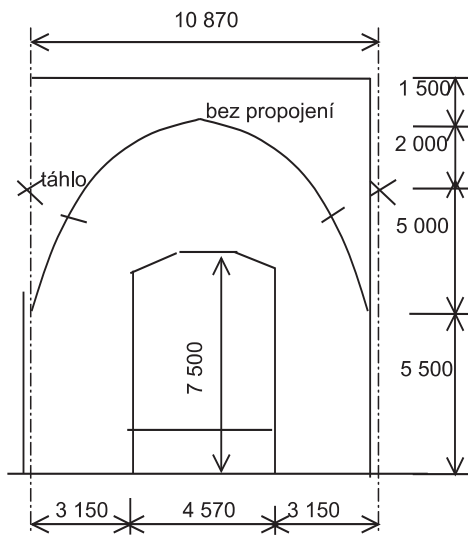




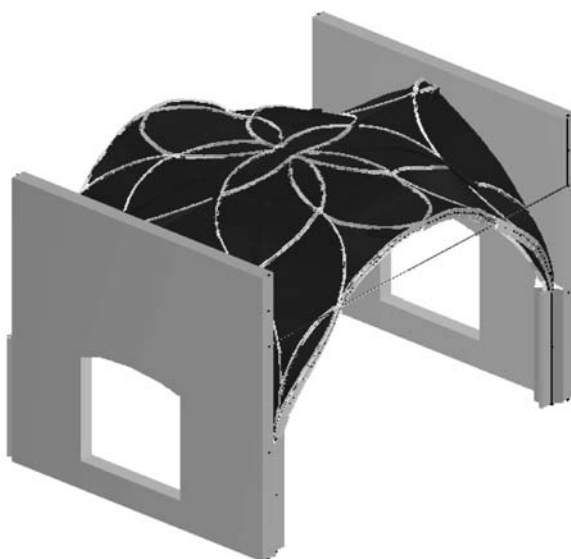
Obr. 3. Spojení žebra a klenby

Skutečnost je trochu rozdílná, ale dá se předpokládat, že podmínky symetrie vyhovují středním polím. V krajních polích vyjde namáhání jiné, ale rozložení sil mezi žebra a klenbou bude obdobné jako u středních polí. Tvar je vykreslen na obr. 4 a obr. 5. Základní podmínky modelu:

- stěna je modelována deskostěnovými prvky a v patě je pružně podepřena;



Obr. 4. Schéma pole klenby



Obr. 5. Trojrozměrný tvar pole klenby

- pilíře jsou přesunuty dovnitř, což je stabilizuje proti vodorovným silám;
- žebra jsou vyosena z klenby směrem do sálu a jsou na tuho spojena s klenbou;
- vrch klenby není spojen se stěnou.

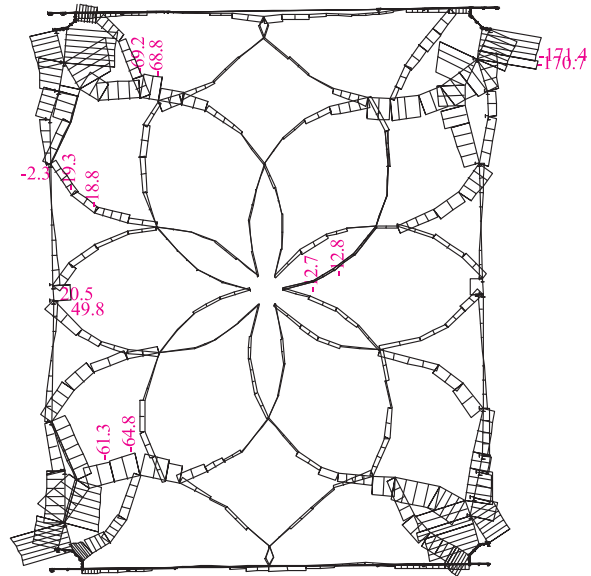
Pro získání odpovědi na první otázku byly vytvořeny tři výpočetní modely:

- pouze klenba bez žeber,
- klenba s vyosenými žebry,
- klenba s vyosenými žebry a s táhlem.

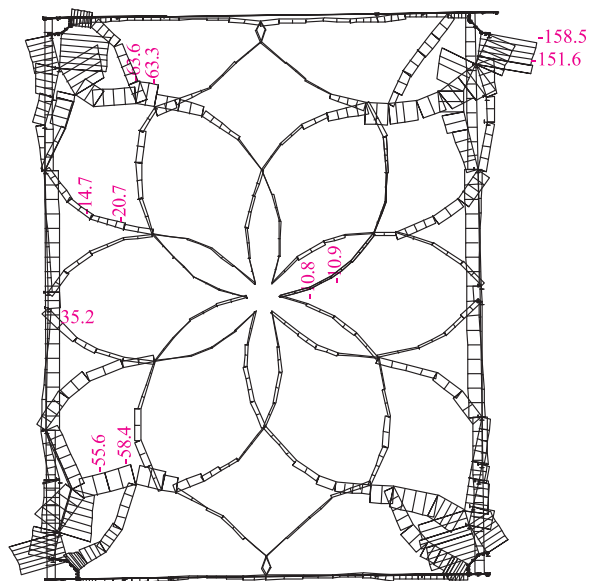
Výpočet byl proveden za podmínek teorie druhého řádu (geometrická nelinearita) programem Feat. Jsou použity stěnové prvky s rotacemi, které se doplňují s deskovými a prutovými prvky [4].

Pro ověření nepříznivých účinků teploty byly uvažovány dva zatěžovací stavy:

- teplota žeber je jiná než teplota klenby. To simuluje rychlé ohřátí jen spodní části klenby;



Obr. 6. Normálové síly v žebrech (model 2)

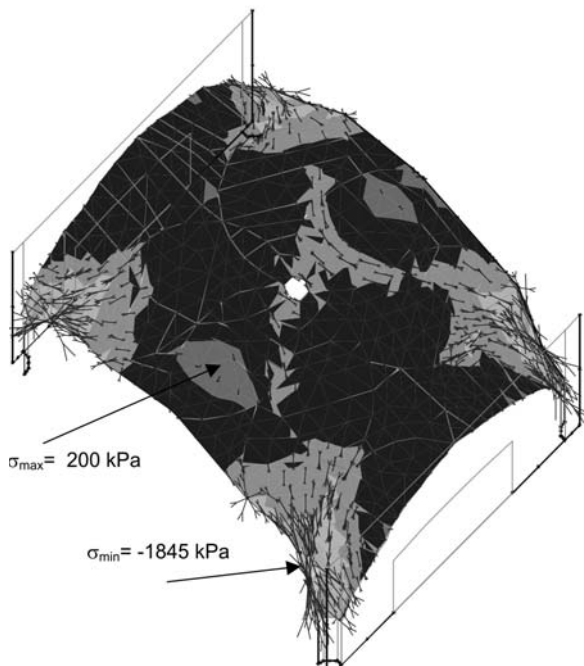


Obr. 7. Normálové síly v žebrech (model 3)

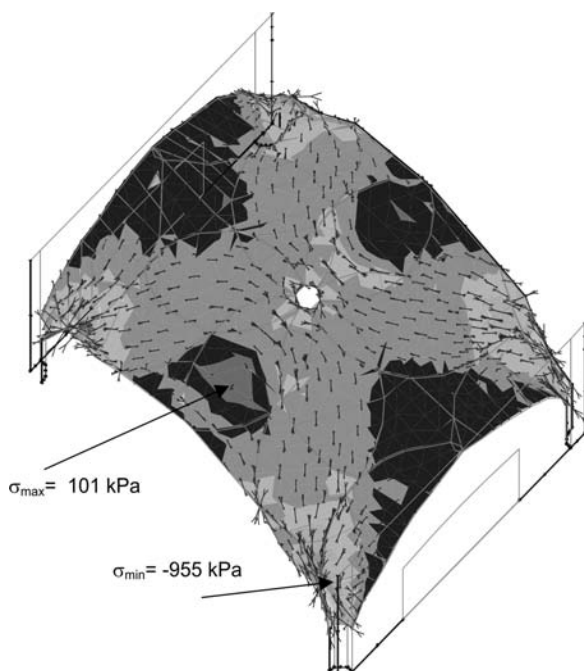
- teplota se mění rovnoměrně po celé tloušťce. To je stav v letních měsících, kdy je konstrukce prohřívána z prostoru krovu.

Vliv žebér a táhel na únosnost konstrukce při zatížení vlastní tíhou

Účinnost žebér a táhel je získána porovnáním výsledků jednotlivých modelů. Jde o hodnoty normálových sil v žebrech a táhlech a o velikost normálových napětí v klenbách. Velikost normálových sil N v žebrech v modelu 2 je zřejmá z obr. 6, modelu 3 (s táhlem) z obr. 7. Z uvedeného vyplývá, že táhlo poměrně málo redukuje síly v žebrech.

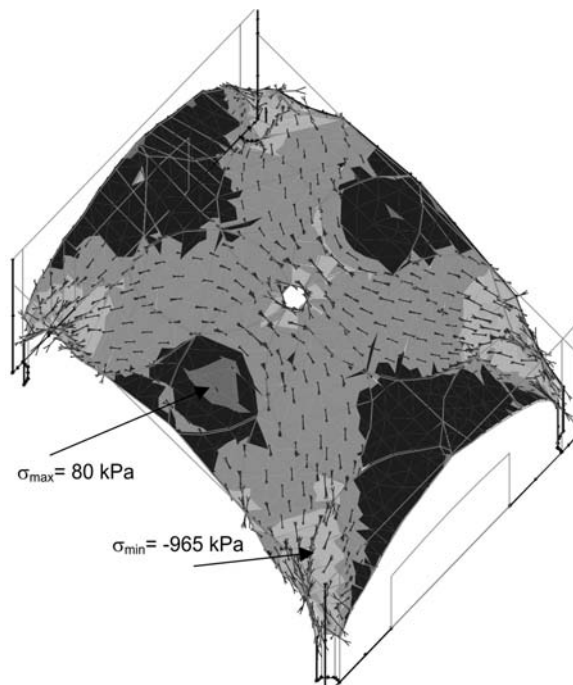


Obr. 8. Normálové napětí v klenbě (model 1)



Obr. 9. Normálové napětí v klenbě (model 2)

Hlavní napětí v klenbě je ukázáno v obr. 8 až obr. 10. V samotné klenbě bez žebér (model 1, obr. 8) vzniká téměř dvakrát větší napětí než v klenbě s vyosenými žebry (model 2, obr. 9). Táhlo (model 3, obr. 10) redukuje napětí v klenbě výrazně méně. Hodnoty vybraných veličin jsou uvedeny v tab. 1.



Obr. 10. Normálové napětí v klenbě (model 3)

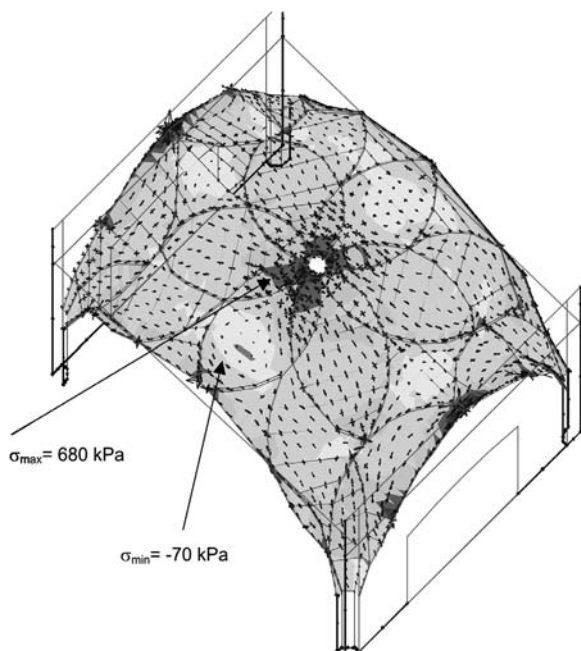
Tab. 1. Hodnoty vybraných veličin

Model	Vlastní tíha [kN]	w	u	Reakce F_u [kN]	V žebrech	V táhle
		max. [mm]			N [kN]	
klenba	5 320	6,95	3,57	105	–	–
klenba s žebry	5 720	4,83	2,55	80	-174	–
klenba s žebry a táhlem	5 720	4,31	2,23	70	-158	80

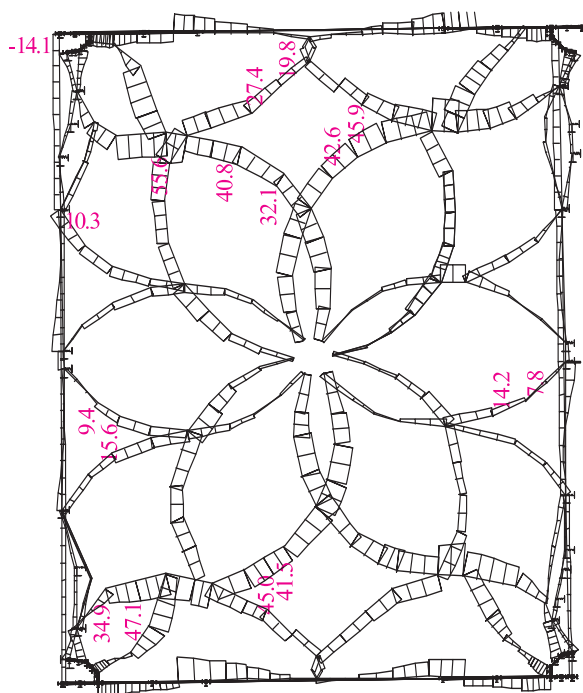
Namáhání konstrukce od změny teploty

První stav (teplota 1) odpovídá jednorázovému vyhřátí sálu v zimním období, kdy se pouze ohřeje žebra, klenbová deska méně. Z průběhu hlavních napětí v obr. 11 vyplývá, že téměř v celé klenbě vznikají tahová napětí, kladná dosahují 680 kPa. Pokud vezmeme v úvahu, že skutečná teplota se při teplovzdušném vytápění pohybovala kolem 50 °C, vznik trhlin byl nevyhnutelný. Dalším zatěžovacím stavem je letní prohřívání klenby shora (teplota 2). Z obrázku 12 je vidět, že malá změna teploty vyvolává poměrně velké tahové normálové síly v žebrech.

Teplotní zatížení vyvolává i ohybový moment v klenbě (tab. 2). V horním řádku jsou hodnoty u vrcholu klenby, v dolním řádku hodnoty u paty klenby.



Obr. 11. Normálové napětí v klenbě (model 3) od teploty 1



Obr. 12. Normálové síly v žebrech (model 3) od teploty 2

Tab. 2. Ohybový moment v klenbě

Model	Moment v klenbě	Napětí v klenbě	M v žebrech	N [kN]	
				v žebrech	v táhle
vlastní tíha	-3 nahore	-400/115	1	-23	37
	7 dole	-750	8	-165	
teplota 1	5	680/ -70	1	-40	-20
	-2	300/ 250	5	-40	
teplota 2	-4	-100/ 0	0,5	40	26
	3	-400/ 300	1	5	

Závěry

Výsledky výpočtů ukazují, že žebra mají nosnou funkci a na přenášení zatížení se podílejí polovinou. Zapojení táhel do lineárního působení klenby je poměrně malé. Pokud bychom vzali do úvahy dotvarování klenby a podpor se zvětšeným vodorovným posunem pilířů, jejich úloha značně vzroste.

Výpočet od zatížení změnou teploty, charakterizujícím rychlé ohřátí vnitřku sálu, ukázal, že v klenbě vznikají výrazná tahová napětí. Teplotní zatížení letního ohřívání klenby z horního prostoru vede naopak ke vzniku tahových napětí v žebrech. Teplotní zatížení vyvolává výrazné tahové napětí v jednotlivých částech konstrukce. Jeho zmenšení je závislé na tuhosti spoje žebra a klenby. Čím je měkkší, tím se síly redukují.

Výsledky byly získány za podpory projektu č. 103/07/1522 GA ČR “Stability Slope and Temperature Effect on Prague Castle”.

Literatura

- [1] Fajman, P. – Vinař, J. – Kott, J.: Zajištění opěrného systému chrámu sv. Barbory v Kutné Hoře. Stavitel, 2005, č. 6, s. 50-52.
- [2] Beran, P. – Máca, J.: The Saint Vitus Cathedral – Temperature Influence on the Deformations of the Columns of the Nave. [Structural Repair of Building], Edinburgh, 2006.
- [3] Doležel, T. – Konvalinka, P.: Development of Experimental Methods for Evaluation of Functional Properties of Buildings II. Prague: CTU, Vol. II, 2005, pp. 49-57.
- [4] Fajman, P.: New Triangular Plane Element with Drilling Degrees of Freedom. Journal of Engineering Mechanics, Vol. 128, No. 4, 2002, pp. 413-418.
- [5] Chotěbor, P. – Měchura, P.: Poznámky ke klenbě Vladislavského sálu. Svorník, 2007, č. 5, s. 119-126.

Fajman, P. – Máca, J. – Beran, P.: Distribution of Forces in the Vladislav Hall Vault at the Prague Castle

The static action of the famous Czech vault at the Prague Castle has been investigated. The first topic is the distribution of forces among the vault, the ribs and the pulls. The next topic is the influence of temperature loading with respect to possible defects. The new results have shown that the changes of temperature and humidity fall within the most frequent causes of defects.

Fajman, P. – Máca, J. – Beran, P.: Kräfteverteilung im Gewölbe des Vladislav-Saals

Das Gewölbe des Vladislav-Saals ist historisch wertvoll und konstruktiv interessant. Die Kräfteverteilung zwischen dem Gewölbe und den Rippen ist nicht bekannt, weil sie bisher nicht behandelt wurde und keine Berechnung aus der Zeit des Baus oder der Rekonstruktion erhalten ist. Ein weiteres interessantes Problem ist die Reaktion auf Temperaturänderungen mit Hinblick auf die tatsächliche Wirkung. Die neuen Untersuchungen zeigen, dass Änderungen der Temperatur und Feuchtigkeit häufige Ursachen von Schäden sind.

Experimentální a počítačová analýza omítek pro renovaci historických budov

Bc. Václav KOČÍ

Ing. Jiří MADĚRA, Ph.D.

prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.

ČVUT – Fakulta stavební, Praha

prof. RNDr. Pavla ROVNANÍKOVÁ, CSc.

VUT – Fakulta stavební, Brno

Článek se zabývá trvanlivostí nově navržených exteriérových omítek pro historické budovy. V experimentální části je nejprve posouzena odolnost proti působení mrazu. Programem TRANSMAT je poté zjištěn počet zmrazovacích cyklů v jednom referenčním roce. Výpočty jsou provedeny pro tři vápenné omítky s přísadami aplikovanými na třech charakteristických materiálech nosné konstrukce. Na základě experimentálních a počítačových dat je odhadnuta životnost povrchových vrstev.

Predikce vlhkostních a teplotních polí v obvodových pláštích historických budov v dostatečném časovém rozmezí umožní nejen seriózní analýzu trvanlivosti povrchových vrstev na základě dostatečného množství vstupních parametrů, ale i návrh časového sledu opakovaných rekonstrukcí. Pracovníkům dohlížecích orgánů umožní nabídnout variantní řešení trvanlivosti a finanční náročnosti opravy. Základem úspěšné počítačové predikce je získání základních informací o reálném chování a vlastnostech materiálů v experimentálních podmínkách. Počet zmrazovacích cyklů, které studované omítky vydrží do poruchy, byl určen v rámci experimentu.

Úvod

Oprava poškozených povrchových vrstev historických budov je v současné době víceméně založena na metodě analogie. Při rekonstrukci se používá materiál a způsob aplikace, který je podle mínění dohlížecích orgánů kompatibilní s dobovými metodami stavitelství a který se již osvědčil. Trvanlivost nových povrchových vrstev se odhaduje na základě zkušeností, protože pro seriózní odhad je málo ověřených parametrů. Zvolený materiál pro rekonstrukci bývá často méně vhodný vzhledem k obsahu vlhkosti a obsahu solí ve zdivu, což následně ovlivní životnost povrchové úpravy.

Simulováním podmínek životního cyklu opravované stavby je možné získat obraz o chování povrchové úpravy za daných vlhkostních a teplotních podmínek. Podstatou je efektivní využití moderních metod opravy historických budov, k nimž patří zejména modelování přenosu vlhkosti v konstrukcích historických budov v reálných podmínkách, v širokých časových intervalech a na základě reprezentativního souboru vstupních dat. Současně můžeme modelovat i přenos tepla. Vhodnou kombinací vlhkostních a teplotních parametrů konstrukce mohou vzniknout podmínky pro fázový přechod vody obsažené v konstrukci v led a jeho následnou přeměnu zpět do kapalného stavu. Tento jev, označovaný jako zmrazovací cyklus, je doprovázen poměrně velkým nárůstem objemu, což je podstatou tohoto typu degradace. Během jednoho roku může těchto cyklů v konstrukci proběhnout i několik.

Experimentální část

Složení omítek a výroba zkušebních těles

Pro ověření odolnosti omítek proti zmrazovacím cyklům byla vyrobena zkušební tělesa velikosti 40×40×160 mm (tab. 1). Po vyjmutí z formy byla uložena do otevřených boxů – v jednom byla jednou za den vlhčena vodou z rozprašovače, ve druhém uložena bez vlhčení. V laboratoři byla udržována teplota 21±1 °C a relativní vlhkost vzduchu 45±5 %. Po 28 dnech od výroby byla u těles stanovena pevnost v tahu za ohybu a tlaku (tab. 2).

Vysvětlivky: VO – vápenná omítka, VOM – vápenná omítka modifikovaná metakaolinem, VOMH – vápenná omítka modifikovaná metakaolinem a stearanem zinečnatým

Tab. 1. Složení směsí

Složka [kg]	VO	VOM	VOMH
vápenný hydrát CL 90 Mokrý	4,8	4,0	4,0000
písek 0/4 mm	14,4	14,4	14,4000
metakaolin Mefisto K 05	–	0,8	0,8000
stearan zinečnatý	–	–	0,0192
voda	4,8	4,2	4,2000

Tab. 2. Pevnost těles v tahu za ohybu a tlaku

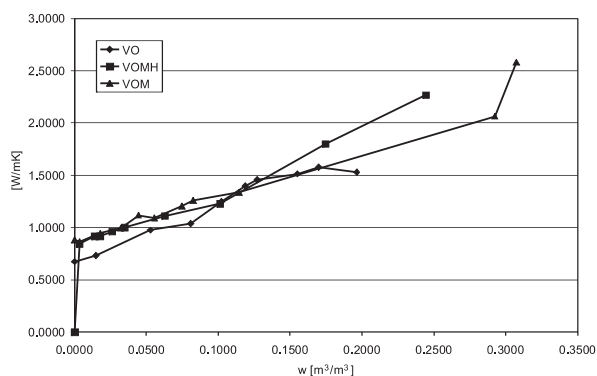
Pevnost [MPa]	VO		VOM		VOMH	
	nevlhčené	vlhčené	nevlhčené	vlhčené	nevlhčené	vlhčené
v tahu za ohybu	0,4	0,5	0,9	1,5	1,4	1,4
v tlaku	1,1	1,4	4,4	6,3	5,5	6,1

Materiálové parametry

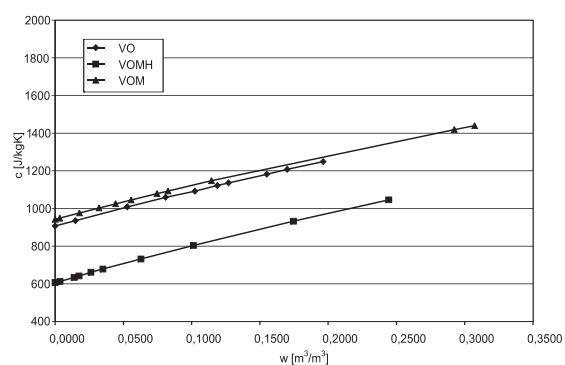
Základní materiálové charakteristiky analyzovaných omítek, tj. ρ – objemová hmotnost, ρ_{mat} – hustota matrice, ψ – porovitost, c – měrná tepelná kapacita, μ – faktor difúzního odporu vodní páry, w – objemová vlhkost, RH – relativní vlhkost vzduchu, λ – součinitel tepelné vodivosti, κ – průměrná hodnota součinitele vlhkostní vodivosti [1], jsou uvedeny v tab. 3 a obr. 1 až obr. 3.

Tab. 3. Základní materiálové charakteristiky omítek

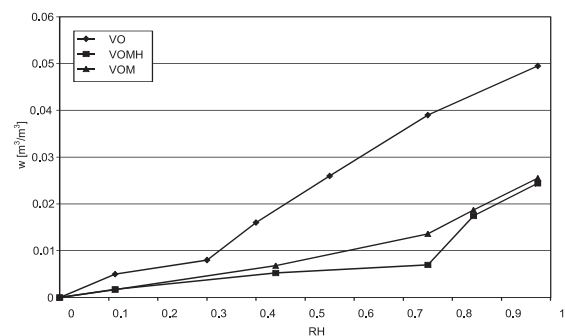
Parametr	Jednotka	VO	VOM	VOMH
ρ	kg m^{-3}	1 650	1 695	1 745
ρ_{mat}	kg m^{-3}	2 575	2 580	2 625
ψ	%	36,0	34,0	33,0
κ	$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$	4,4E-07	4,3E-07	3,9E-08
$\mu_{97-45\%}$	–	8,9	13,0	14,9
$\mu_{45-0\%}$	–	5,1	4,0	5,3



Obr. 1. Součinitel tepelné vodivosti omítek



Obr. 2. Měrná tepelná kapacita omítek



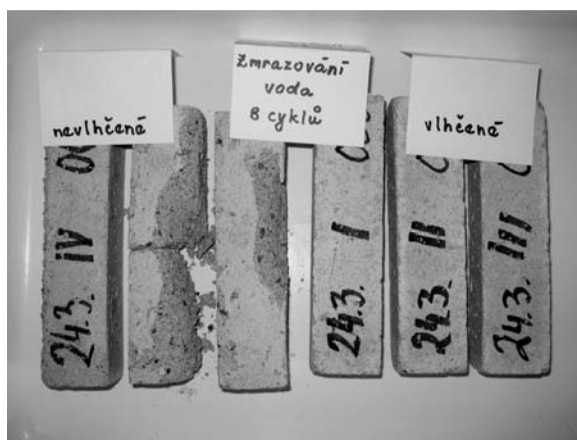
Obr. 3. Sorpční izoterma omítek

Zmrazovací zkoušky

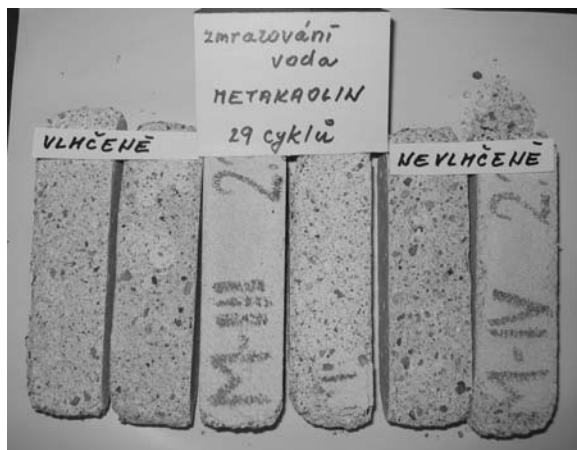
Pro zkoušku odolnosti proti mrazu byla navržena metoda, při které byla zkušební tělesa střídavě zmrazována a rozmrazována ve stavu nasyceném vodou do projevu známek poškození. Tři zkušební tělesa byla vložena do pitné vody 20 ± 1 °C do plného nasycení. Poté byla vyjmuta z lázně, ořetna papírovou utěrkou a vložena do polyetylenového sáčku. Zabalené vzorky byly na 6 h vloženy do mrazicího boxu. Po vyjmutí byly ponechány v laboratoři při teplotě 20 ± 1 °C po dobu 2 h, a následně na 16 h vloženy do vodní lázně. Tento proces byl opakován do viditelného poškození (tab. 4). Dokumentace poškození je zřejmá z obr. 4 až obr. 6.

Tab. 4. Počet zmrazovacích cyklů způsobujících poškození omítky

Počet zmrazovacích cyklů	VO	VOM	VOMH
	8	29	40



Obr. 4. Vápenná omítka po 8 zmrazovacích cyklech



Obr. 5. Vápenná omítka s metakaolinem po 29 zmrazovacích cyklech

Výsledky experimentů ukazují, že zpočátku jsou vlhčená tělesa při stejném počtu zmrazovacích cyklů poškozena méně, nebo se poškodí při vyšším počtu zmrazovacích cyklů než tělesa nevlhčená. Větší odolnost proti zmrazování a rozmrazování souvisí s vyšší pevností zkušebních těles vlhčených vzorků. U vápenné malty bez příměsí se vlivem vlhkosti postupně rozpouští hydroxid vápenatý, který pak snáze karbonatuje a vytváří pevnou strukturu. U zkušebních těles s příměsí metakaolinu si konkurují v závislosti na podmínkách dvě reakce – karbonatační a pucolánová. Je-li při-

tomna vlhkost, bude upřednostňována reakce pucolánová, která vede k produktům s vyšší pevností.



Obr. 6. Vápenná omítka s metakaolinem a stearamem zinečnatým po 40 zmrazovacích cyklech

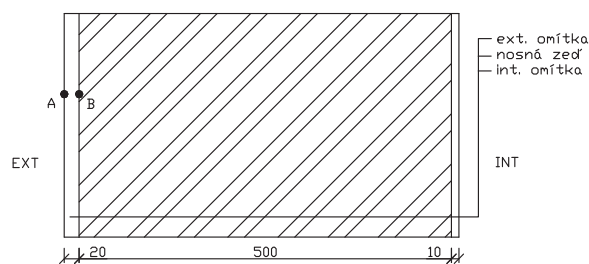
Počítačová simulace

Konstrukce, počítačový model a vstupní parametry

Pro simulaci byla uvažována nosná zeď tl. 500 mm s omítkou tl. 20 mm na straně exteriéru a tl. 10 mm na straně interiéru. Jako nosný materiál bylo uvažováno zdivo cihelné, pískovcové a opukové. Materiálové charakteristiky zdiva, tj. λ_{dry} – součinitel tepelné vodivosti materiálu v suchém stavu, λ_{sat} – součinitel tepelné vodivosti materiálu ve vodou nasyceném stavu, jsou shrnuty v tab. 5 [2]. V konstrukci jsme sledovali objemovou vlhkost a teplotu v charakteristických bodech A a B. Bod A byl zvolen na vnější straně exteriérové omítky, bod B na rozhraní mezi nosným zdivem a omítkou. Celá skladba včetně vyznačených bodů je patrná z obr. 7.

Tab. 5. Základní materiálové charakteristiky nosného zdiva

Parametr	Jednotka	Cihla	Pískovec	Opuka
ρ	kg m^{-3}	1 746	1 890	1 400
ρ_{mat}	kg m^{-3}	2 686	2 632	2 233
ψ	%	35,0	32,0	39,4
c	$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	960	850	837
μ	–	22,5	7,5	5,0
κ	$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$	3,00E-07	2,50E-06	8,40E-08
λ_{dry}	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	0,763	0,48	0,71
λ_{sat}	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	1,98	0,65	0,89



Obr. 7. Schéma obvodového pláště

Výpočty byly provedeny programem TRANSMAT 7.1 [2]. Při matematické formulaci přenosu vlhkosti a tepla vzniká soustava parciálních diferenciálních rovnic, která se řeší nejčastěji metodou konečných prvků. Tato metoda je základem programového balíku SIFEL, vyvíjeného na Katedře mechaniky Fakulty stavební ČVUT v Praze, který byl využit i pro řešení přenosu vlhkosti a tepla v tomto článku.

Při formulaci bilančních rovnic vlhkosti a tepla byl využit Künzelův model [3]

$$\frac{d\rho_v}{d\varphi} \frac{\partial\varphi}{\partial t} = \text{div}[D_\varphi \text{grad}\varphi + \delta_p \text{grad}(\varphi p_s)], \quad (1)$$

$$\frac{dH}{dT} \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div}(\lambda \text{grad}T) + L_v \text{div}[\delta_p \text{grad}(\varphi p_s)], \quad (2)$$

kde ρ_v je parciální hustota vlhkosti, φ – relativní vlhkost, δ_p – permeabilita vodní páry, p_s – tlak nasycené páry, 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.

Počáteční a okrajové podmínky modelu by měly odpovídat skutečnosti, přičemž okrajové pro exteriérovou stranu by měly být co nejpřesnější. Toho bylo dosaženo využitím meteorologických dat, v našem případě dat pro Prahu. Z hlediska dlouhodobé spolehlivosti se nejčastěji používá referenční rok. V interiéru byly zvoleny konstantní podmínky – relativní vlhkost 55 % a teplota 21 °C, začátek simulace 1. července. Trvání simulace bylo zvoleno tři roky. Výsledné grafy jsou vztaženy ke druhé zimě, jelikož nebyly patrné rozdíly mezi zimou první, druhou ani třetí.

Výsledky simulace

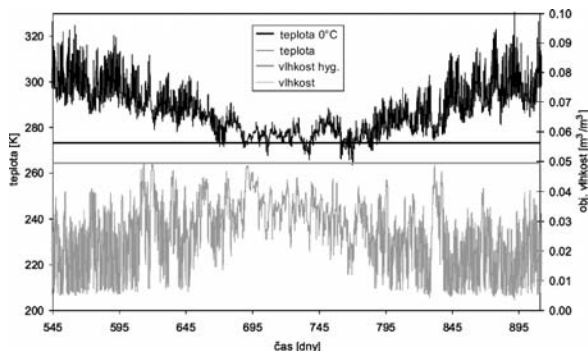
Výsledky simulace jsou shrnuty v grafech na obr. 8 až obr. 16. Jde o časovou závislost objemové vlhkosti a teploty v daném bodě při dané materiálové skladbě. Pro velké množství dat byly vybrány jen charakteristické případy. V grafech je vodorovnou čarou vyznačena jak teplotní mez, odpovídající teplotě 273,15 K (0 °C), tak vlhkostní mez odpovídající nadhygroskopickému obsahu vlhkosti dané omítky, při jejichž současném překročení dochází k vytvoření podmínek pro vznik zmrazovacího cyklu.

■ Cihelné zdivo

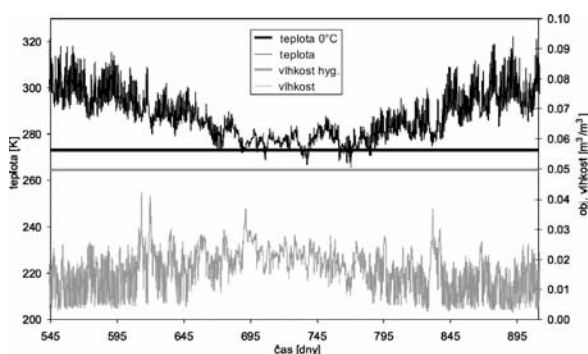
U cihelného zdiva jako materiálu nosné konstrukce dochází během referenčního roku ke vzniku zmrazovacích cyklů jen zřídka. Příčinou je obtížné dosažení nadhygroskopického obsahu vlhkosti v omítce. U vápenné omítky se většímu než hygroskopickému obsahu vlhkosti nejvíce blíží pouze bod na povrchu omítky, směrem do konstrukce pak obsah vlhkosti klesá. Patrné je to z porovnání grafů na obr. 8 a obr. 9.

V hydrofobizované vápenné omítce na cihelném zdivu dochází působením klimatických vlivů ke specifickému chování vlhkosti. Zatímco vlhkost na rozhraní cihelného zdiva a omítky je vzhledem k hygroskopickému obsahu relativně nízká a stejně jako u klasické vápenné omítky ke zmrazovacím cyklům nedochází, na povrchu dochází působením deště a hydrofobizační úpravy k velkým výkyvům, které vznik zmrazovacího cyklu umožní. Podle výsledků

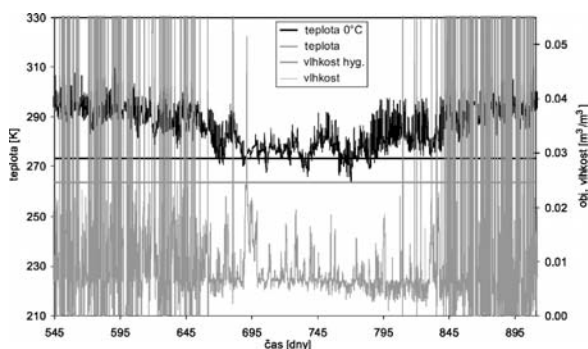
simulace proběhl na povrchu omítky jeden zmrazovací cyklus v 691. dni v trvání 13 h (obr. 10).



Obr. 8. Průběh teploty a vlhkosti – cihla, vápenná omítka, bod A



Obr. 9. Průběh teploty a vlhkosti – cihla, vápenná omítka, bod B



Obr. 10. Průběh teploty a vlhkosti – cihla, vápenná omítka modifikovaná metakaolinem a stearanem zinečnatým, bod A

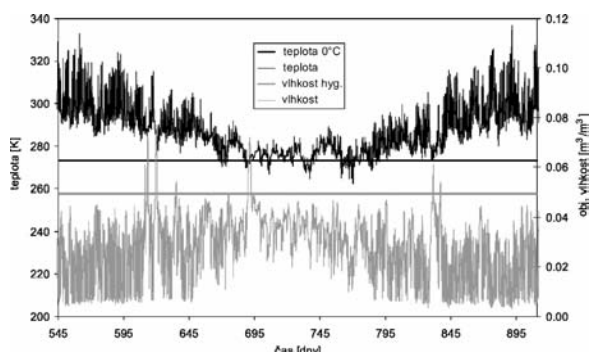
Podmínky pro vznik zmrazovacích cyklů ve vápenné omítce s obsahem metakaolinu v kombinaci s cihelným zdívem jsou velice podobné jako u klasické vápenné omítky, ke zmrazování tudíž nedochází.

■ Zdivo pískovcové

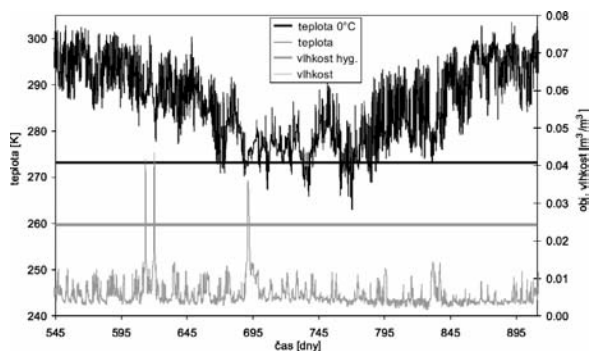
V pískovcovém zdivu v kombinaci s vápennou omítkou dochází ke zmrazovacím cyklům pouze na povrchu omítky. Naměřeny byly dva cykly bezprostředně po sobě, s krátkou prodlevou díky teplotnímu výkyvu. Cykly proběhly v 691. a v 692. dni a doba zmrazování trvala 12 h, resp. 22 h (obr. 11). Na rozhraní pískovce a omítky díky nízkému obsahu vlhkosti se podmínky příhodné pro vznik zmrazovacího cyklu nevytvoří, průběh vlhkosti a teploty je velice podobný obr. 9.

Při aplikaci vápenné hydrofobizované omítky dochází opět vlivem deště a hydrofobizační úpravy k velkým vlhkostním výkyvům na povrchu, což vedlo ke vzniku tří zmrazovacích cyklů. První proběhl v 690. dni a trval 16 h, následně byl vlivem nárůstu teploty na dvě hodiny přerušen, a druhý cyklus, který proběhl v 691. dni, trval 22 h. Třetí cyklus proběhl po dvoudenní přestávce a trval 4 h. Ke zmrazovacímu cyklu však došlo také na rozhraní pískovce a omítky. Podle počítačové simulace to bylo v 691. dni a cyklus trval 10 h (obr. 12).

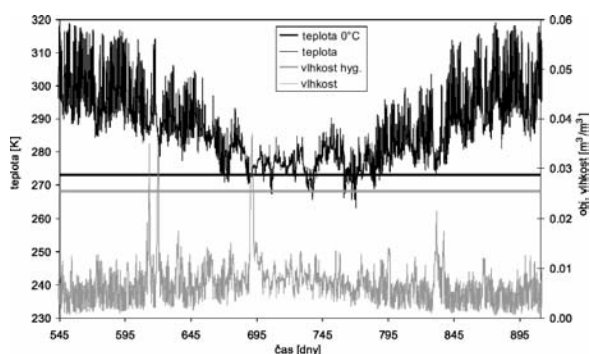
U vápenné omítky s metakaolinem dochází na povrchu ke vzniku dvou zmrazovacích cyklů v 690. a 691. dni simulace, v celkovém trvání 13 h a 22 h. Oba cykly jsou odděleny hodinovou prodlevou. Díky vysoké vlhkosti také na rozhraní pískovce a omítky dochází ke vzniku dvou cyklů, oba jsou však kratší, trvají 7 h a 17 h, odděleny prodlevou v trvání 5 h (obr. 13), což však může mít větší destrukční účinek než při prodlevě krátké.



Obr. 11. Průběh teploty a vlhkosti – pískovec, vápenná omítka, bod A



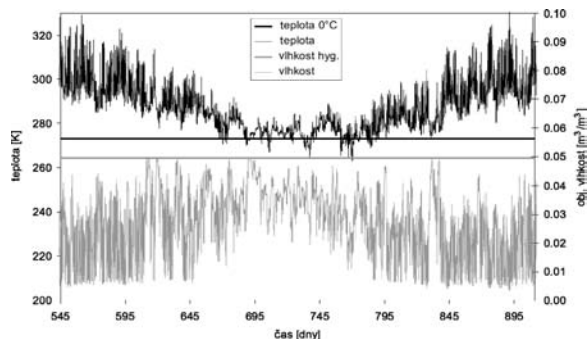
Obr. 12. Průběh teploty a vlhkosti – pískovec, vápenná omítka modifikovaná metakaolinem a stearanem zinečnatým, bod B



Obr. 13. Průběh teploty a vlhkosti – pískovec, vápenná omítka s metakaolinem, bod B

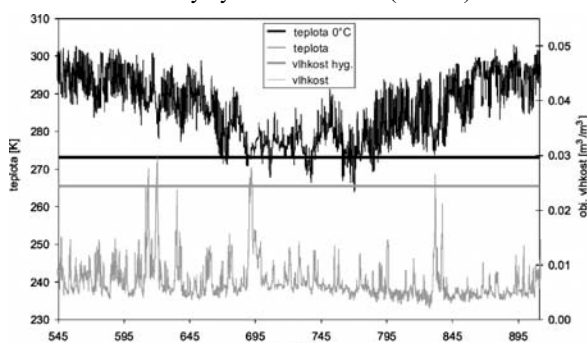
■ Opukové zdivo

Vápenná omítka na opukovém zdivu neposkytuje v průběhu referenčního roku podmínky pro vznik zmrazovacích cyklů. To je dáno především její nízkou objemovou vlhkostí. Ke zmrazovacím cyklům nedochází ani na rozhraní materiálů, ani na povrchu omítky (obr. 14).



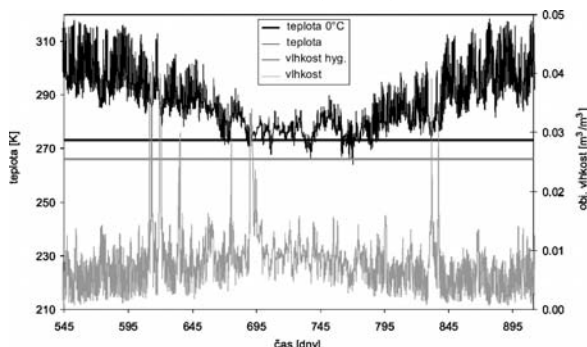
Obr. 14. Průběh teploty a vlhkosti – opuka, vápenná omítka, bod A

U hydrofobizované omítky dochází stejně jako v předchozích případech k vysokým výkyvům vlhkosti působením povětrnostních vlivů na jejím povrchu. To má za následek vznik zmrazovacích cyklů v 690. a 691. dni, které trvají 13 h, resp. 19 h, a jsou odděleny čtyřhodinovou prodlevou. Na rozhraní opukového zdiva a omítky dochází také ke zmrazovacím cyklům, a to hned třikrát. V 690. dni nastávají na jednu hodinu podmínky pro mrznutí vody, další cyklus následuje po 5 h a trvá čtyři hodiny, poté následuje prodleva 7 h a dvouhodinový cyklus v 691. dni (obr. 15).



Obr. 15. Průběh teploty a vlhkosti – opuka, vápenná omítka s metakaolinem a stearem zinečnatým, bod B

Při aplikaci vápenné omítky s metakaolinem na opukové zdivo dochází k paradoxu, který lze ovšem vysvětlit pomocí materiálových charakteristik opuky. Zatímco na povrchu omítky díky nízkému obsahu vlhkosti k žádnému zmrazovacímu cyklu nedochází, na rozhraní opuky a omítky ano, a to v 691. dni simulace na 13 h (obr. 16).



Obr. 16. Průběh teploty a vlhkosti – opuka, vápenná omítka s metakaolinem, bod B

Diskuze

Při posuzování účinků zmrazovacích cyklů na trvanlivost omítek historických budov nestačí vycházet pouze z mrazovzdornosti uváděné výrobcem. Je důležité si uvědomit, že počet zmrazovacích cyklů se podle výsledků počítačové simulace liší v závislosti na kombinaci materiálu nosného zdiva a omítky, a nezávisí tedy pouze na materiálových parametrech samotné omítky. Zásadní je také délka zmrazovacího cyklu, resp. délka prodlevy mezi dvěma cykly. V případě, že podmínky příznivé pro mrznutí vody v omítce trvají příliš krátce, nemusí dojít k úplné přeměně vody v led a k nárůstu objemu. Máme-li dva cykly následující po krátké prodlevě, nedojde k úplnému roztátí ledu a k opětovnému zmrznutí, a takovéto dva cykly lze pak považovat za jeden. Důležité je, v jakém místě konstrukce k mrznutí vody dochází. V případě, že se tak děje uvnitř, např. na rozhraní omítky a zdiva, není o destrukčních účincích pochyb. V případě, že se tak děje na jejím povrchu, což je typické pro omítky s hydrofobizační úpravou, lze o destrukčním účinku diskutovat. Pokud by mrzla voda pouze na povrchu, omítka by nečinila překážku objemovému nárůstu mrznoucí vody, a tudíž by vůbec k destrukci nedocházelo. Při počítačové simulaci jsme uvažovali přísun kapalné vlhkosti pouze v podobě deště. Na objektu se však mohou vyskytovat místa, která jsou vlhkostí namáhána podstatně více, především soklová část staveb nebo místa se špatně řešenými konstrukčními detaily, kde by mohlo zatékat. V těchto případech by pak vznikalo zmrazovacích cyklů během roku podstatně více.

U **cihelného zdiva** se jako optimální varianta jeví aplikace vápenné omítky nebo vápenné omítky s příměsí metakaolinu. Aplikace s hydrofobizační úpravou je také možná, jelikož k mrznutí vody docházelo pouze na povrchu. Obecně lze tedy říci, že omítky na historické budovy z cihelného zdiva je nutné vybírat spíše podle faktorů ovlivňujících jejich trvanlivost (mechanickou pevnost, chemickou odolnost vůči agresivnímu prostředí apod.)

Na **pískovcové zdivo** se ukázala jako nejvhodnější omítka vápenná. Při této materiálové kombinaci mrzla voda pouze na povrchu, což lze považovat za nepříliš limitující. Jak u omítek s hydrofobizační úpravou, tak u omítek s metakaolinem při zmrazovacích cyklech mrzne voda jak na povrchu, tak na rozhraní materiálů, což znamená, že omítky promrzají v celé tloušťce. U hydrofobizované omítky byly výpočtem zjištěny tři cykly na povrchu a jeden na rozhraní s pískovcem. Jelikož na povrchu následovaly dva cykly bezprostředně po sobě, lze je považovat za dva. Lze tedy říci, že během referenčního roku proběhnou v omítce jeden až dva cykly, a vycházíme-li z tab. 4, pohybuje se životnost této materiálové kombinace okolo 30 let, uvažujeme-li pouze vliv zmrazovacích cyklů. Kombinace pískovce a vápenné omítky s metakaolinem vede též ke vzniku jednoho až dvou zmrazovacích cyklů v průběhu referenčního roku. Dva cykly, které nastaly na povrchu omítky, lze opět uvažovat díky krátké prodlevě za jediný. Dva cykly na rozhraní s pískovcem jsou však časově dostatečně odděleny, proto je nelze při úvahách sloučit. Vycházíme-li tedy z tab. 4, můžeme životnost této materiálové skladby odhadnout přibližně na 15 let.

Opukové zdivo díky relativně vysoké nasákovosti a nízkému součiniteli vlhkostní vodivosti podstatně déle drží vodu, což vede k tomu, že omítka má přísun vlhkosti během roku jednak z exteriéru, jednak ze zdiva. To lze považovat za vysvětlení určitého paradoxu, kdy nízký obsah vlhkosti na povrchu omítky neumožňuje mrznutí vody, zatímco na rozhraní opuky a omítky je vlhkost dostatečně vysoká a

voda mrznout může. Tento jev nastal při kombinaci s vápennou omítkou s příměsí metakaolinu, životnost této materiálové kombinace se tak pohybuje okolo 15 let. Vápenná omítka s hydrofobizační úpravou poskytuje na rozhraní s pískovcem tři příležitosti k mrznutí vody. Jeden z cyklů však není dostatečně dlouhý, a proto ho můžeme zanedbat. Na povrchu omítky vznikají dva dostatečně dlouhé cykly, a lze tedy říci, že omítka promrzá dvakrát do roka v celé tloušťce. Její životnost vlivem zmrazovacích cyklů je tedy přibližně 20 let. Nejlépe ze simulace vyšla opět omítka čistě vápenná, která podmínky pro mrznutí obsažené vody neposkytla.

Závěr

Prezentované počítačové simulace ukázaly, že pro opravy historických staveb je z hlediska zmrazovacích cyklů nejvhodnější omítka vápenná bez dalších příměsí či modifikací, protože aplikace na cihelné, pískovcové i opukové zdivo v našich podmínkách prakticky nevede ke vzniku ledu v omítce ani na jejím rozhraní se zdivem. Nízká pevnost v tlaku i v tahu za ohybu však nedává záruky dlouhé životnosti povrchové vrstvy, která může být porušena např. vlivem objemových změn vyvolaných změnami teploty či vlhkosti či běž-

ným mechanickým opotřebením. Vhodnější pro praktické použití se tedy jeví vápenná omítka s metakaolinem, která sice v pískovcovém a opukovém zdivu umožňuje zmrznutí vody, odhadovaná životnost je přibližně 15 let. Hydrofobizovaná vápenná omítka s metakaolinem díky vyšší trvanlivosti je pak z hlediska zmrazovacích cyklů zřejmě optimálním řešením. Odhadovaná životnost 20 let, resp. 30 let, povrchové vrstvy je zcela vyhovující.

Článek byl vytvořen za podpory projektu č. 103/09/0780 GA ČR.

Literatura

- [1] Pernicová, R. – Pavlíková, M. – Pavlík, Z. – Černý, R.: Vliv metakaolinu na mechanické, tepelné a vlhkostní vlastnosti vápenných omítek. In: Metakaolin 2007. VUT Brno, 2007, s. 70-77. ISBN 978-80-214-3339-7.
- [2] 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, Prague: CTU, 2005, pp. 470-471.
- [3] Künzel, H. M.: Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components. [Ph.D. Thesis], Stuttgart, IRB Verlag 1995, p. 135.

Kočí, V. – Maděra, J. – Černý, R. – Rovnaníková, P.: Experimental and Computer Analysis of Historical Buildings

This paper deals with durability of exterior plasters of historical buildings. In the experimental part the resistance of the plasters to frost cycles is assessed at first. Then, the computational analysis using the TRANSMAT computer code is used for the determination of the number of frost cycles in a reference year. The calculations are performed for three different lime plasters with additives and three different materials of the load bearing structure. On the basis of the experimental and computational data, the service life of the particular surface layers is estimated.

Kočí, V. – Maděra, J. – Černý, R. – Rovnaníková, P.: Experimentelle und Computeranalyse von Putzen für die Renovierung historischer Gebäude

Der Artikel behandelt die Dauerhaftigkeit neu entworfener Außenputze für historische Gebäude. Im experimentellen Teil wird zunächst die Frostbeständigkeit beurteilt. Mit dem Programm TRANSMAT wird dann die Anzahl der Frost-Tau-Zyklen in einem Referenzjahr festgestellt. Die Berechnungen werden für drei an drei charakteristischen Materialien der Tragkonstruktion angebrachte Kalkputze mit Zusätzen durchgeführt. Aufgrund der gewonnenen Daten wird die Lebensdauer der Oberflächenschichten geschätzt.

WATENVI

26.–28. května 2009, Brno

Mezinárodní vodohospodářský a ekologický veletrh WATENVI, oborově největší výstavní projekt ve střední a východní Evropě, tvoří mezinárodní vodohospodářská výstava VODKA a mezinárodní veletrh techniky pro tvorbu a ochranu životního prostředí ENVIBRNO. Ke zvýrazněným tématům již patnáctého ročníku patří vodohospodářství, zpracování a využití odpadu a environmentální technologie.

Akce je příležitostí k setkání „vodních“ ředitelů evropské sedmadvacátky, které pořádá Ministerstvo životního prostředí ČR. Grémium těchto odborníků, nejvyšší rozhodovací orgán v oboru, svolává země, která právě předsedá Evropské unii. Českou republiku zastupuje Ministerstvo životního prostředí a Ministerstvo zemědělství. V loňském roce byla přijata významná směrnice pro oblast povodňové ochrany, která si klade za cíl vyhodnotit povodňová rizika v členských zemích a přijmout potřebná opatření. Tato problematika se v souvislosti s výskytem katastrofálních povodní v uplynulých letech dostala do centra pozornosti řady mezinárodních aktivit v různých povodích evropských řek včetně Labe, Odry a Dunaje. K možnostem ochrany proti velké vodě přispívají i ukázky protipovodňových opatření v areálu výstaviště ve speciálně upraveném bazénu před pavilonem Z.

Zjednodušené modely interakce volného předpínacího kabelu s konstrukcí

Ing. Zdeněk JANDA^{1,2}

Ing. Jan ZEMAN, Ph.D.²

prof. Ing. Jiří ŠEJNOHA, DrSc., FEng.³

¹Červenka Consulting, spol. s r. o., Praha

²ČVUT – Fakulta stavební, Praha

³ČVUT – CIDEAS, Praha

V článku předkládáme analýzu dvou základních modelů chování volných předpínacích kabelů ve tvaru křivky s konstantní křivostí. První případ vychází z tradičního předpokladu tření v důsledku pokluzu mezi kabelem a konstrukcí. Je diskutována jak spojitá, tak diskrétní formulace s důrazem na kalibraci diskrétního přístupu. Druhý model je pak založen na smykové interakci v důsledku poddajného rozhraní kabel/konstrukce se zanedbatelným pokluzem předpínací výztuže.

1. Úvod

Předpjatý beton se v průběhu posledních šesti desetiletí stal nepostradatelným stavebním materiálem, umožňujícím prudký rozvoj pokročilých inženýrských konstrukcí, ať už jde o velkorozponové pozemní a dopravní stavby, nebo průmyslové aplikace, např. nádrže nebo kontejnery jaderných elektráren [1]. Požadavky na výstavbu subtilnějších, bezpečnějších nebo architektonicky zajímavějších konstrukcí z předpjatého betonu pak přirozeně vedou jak k požadavku optimálního využití předpětí (a tedy i komplikovanější dráhy předpínacích kabelů), tak k využití pokročilých počítačových modelů pro návrh a posouzení předpjatých železobetonových konstrukcí. Jako typický příklad uveďme kontejnery jaderných reaktorů VVER [2], [3], použitých též v jaderné elektrárně Temelín, které jsou vyztuženy třemi řadami dodatečně předpjatých volných kabelů tvaru šroubovice.

Předmětem tohoto příspěvku je představit detailní analýzu chování volných kabelů s kružnicovou nebo šroubovicovou dráhou, tedy ve tvaru křivky s konstantní křivostí. Jsou uvažovány dva základní případy interakce kabelu s konstrukcí. První model představuje klasický přístup, kdy ke spolupůsobení konstrukce a kabelu dochází především coulombovským třením v důsledku pokluzu kabelu. Ve druhé variantě je dominantní vliv přisouzen smykově poddajnému prostředí mezi kabelem a konstrukcí při zanedbatelném pokluzu předpínací výztuže.

První model je zevrubně analyzován v oddílu 2, a to jak v klasické spojitě variantě, tak pro diskrétní formulaci, přímo aplikovatelnou ve výpočetních systémech založených na metodě konečných prvků. Důraz je přitom kladen na kalibraci parametrů diskrétního modelu tak, aby optimálně reprezentoval odezvu spojitěho modelu z hlediska průběhu předpínací síly a protažení kabelu. Oddíl 3 je pak věnován mechanismu smykového spolupůsobení a jeho přibližnému převedení na ekvivalentní popis pomocí coulombovského tření. Získané závěry jsou krátce shrnuty v oddílu 4.

2. Model interakce kabelu a konstrukce třením

2.1. Spojitá formulace

Uvažujme spojitý kabel tvaru prostorové křivky o délce L , parametrizované pomocí křivočaré souřadnice s . V dalším textu předpokládáme, že předpětí je do kabelu vnášeno v místě $s = 0$ m, zatímco v průřezu $s = L$ je posun kabelu nulový. Podmínky rovnováhy na segmentu kabelu o délce Δs mají tvar (obr. 1),

$$N(s + \Delta s) + p \left(s + \frac{\Delta s}{2} \right) \Delta s - N(s) = 0, \quad (1)$$

kde N označuje normálovou sílu v kabelu a p intenzitu tečného spojitěho zatížení.

Pro zatížení třením mezi kabelem a konstrukcí lze intenzitu p vyjádřit ve tvaru

$$p(s) = \frac{\mu}{R} N(s), \quad (2)$$

kde R označuje hlavní poloměr křivosti křivky v daném bodě a μ je součinitel tření mezi kabelem a konstrukcí. Po dosazení vztahu (2) do podmínky rovnováhy (1) a následném limitním přechodu dostáváme obyčejnou lineární diferenciální rovnici [4] ve tvaru (připomeňme, že uvažujeme pouze dráhy kabelu s konstantním poloměrem křivosti)

$$\frac{dN(s)}{ds} + \frac{\mu}{R} N(s) = 0. \quad (3)$$

Řešení (3) vede na vztah pro ztrátu předpětí třením na zakřiveném kabelu

$$N(s) = N_0 e^{-\mu \frac{s}{R}}, \quad (4)$$

kde N_0 označuje hodnotu normálové síly v místě předpětí. Odpovídající průběh osové deformace ε vyplývá z geometrických a fyzikálních rovnic pružnosti, viz např. [5],

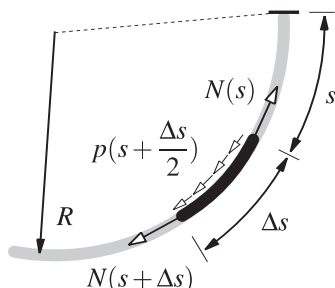
$$\varepsilon(s) = \frac{du(s)}{ds} = \frac{N(s)}{EA} = \frac{N_0}{EA} e^{-\mu \frac{s}{R}}, \quad (5)$$

kde E je Youngův modul pružnosti a A průřezová plocha kabelu. Integrací předcházejícího vztahu získáme, s uvažováním okrajové podmínky $u(L) = 0$ m, průběh protažení kabelu po délce ve tvaru

$$u(s) = \frac{N_0}{EA} \int_s^L e^{-\mu \frac{t}{R}} dt = \frac{N_0 R}{EA \mu} \left(e^{-\mu \frac{s}{R}} - e^{-\mu \frac{L}{R}} \right). \quad (6)$$

Konečně, pro zjednodušení následující diskuze, vyjádříme průběh posunů a normálové síly po kabelu v závislosti na úhlově souřadnici φ (tedy $s = S_{R\varphi}$) a na pomocné proměnné $a(\varphi) = e^{-\mu\varphi}$ jako

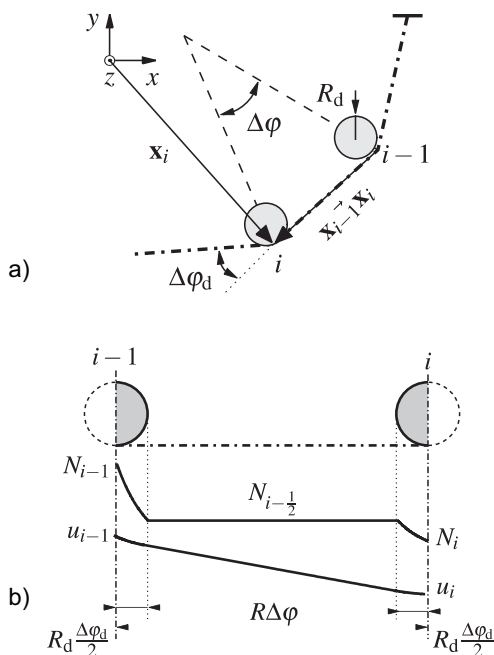
$$u(\varphi) = \frac{N_0 R}{EA\mu} \left(a(\varphi) - a\left(\frac{L}{R}\right) \right) \quad \text{a} \quad N(\varphi) = N_0 a(\varphi). \quad (7)$$



Obr. 1. Podmínky rovnováhy na spojitěm zakřiveném kabelu

2.2. Diskrétní formulace

Při modelování předpjatých železobetonových konstrukcí je pro modelování volných předpínacích kabelů typicky používán obecnější přístup, kdy je předpínací kabel uvažován v podobě prostorového polygonu a ke tření dochází pouze v jeho vrcholech. V souladu s modelem a terminologií používaných v systému ATENA® [6] uvažujeme kabel rozdělený na M ekvidistantních segmentů o délce $\Delta s = R\Delta\varphi$, definovaných $(M + 1)$ body očíslovanými indexem $i = 0, 1, \dots, M$ s polohou určenou souřadnicemi x_i (obr. 2). V jednotlivých vrcholech polygonu jsou umístěny deviatory definované poloměrem R_d , součinitelem „diskrétního“ tření μ_d a úhlem opásání $\Delta\varphi_d$ (obr. 2a); materiálové a průřezové charakteristiky jsou určeny modulem pružnosti E a průřezovou plochou A_d „diskrétního“ kabelu.



Obr. 2. Diskrétní model kabelu
a – schéma, b – průběh posunů a předpínací síly

Průběh normálových sil pro diskrétní model získáme na základě vztahů (7), nyní aplikovaných na úrovni jednotlivých deviatorů. Jelikož předpokládáme, že k poklesu normálové síly dochází pouze na jednotlivých deviatorrech (obr. 2), je průběh předpínací síly mezi $(i - 1)$ a i -tým deviatorem určen pomocí tří hodnot $(i = 1, 2, \dots, M)$

$$N_{i-1} = N_0 a_d^{i-1}, \quad N_{i-\frac{1}{2}} = N_0 a_d^{i-\frac{1}{2}}, \quad N_i = N_0 a_d^i, \quad (8)$$

kde, analogicky se vztahem (7), zavádíme diskrétní součinitel $a_d = e^{-\mu_d \Delta\varphi_d}$. Stejně jako při spojitěm popisu určíme závislost protažení kabelu integrací deformace ε vyplývající z průběhu vnitřních sil (8), srovnaj s obr. 2. Po několika úpravách dostáváme rekurzivní vztah pro posun i -tého deviatoru

$$u_i = u_{i-1} + \frac{N_d R_d}{EA_d \mu_d} \left((1 - \sqrt{a_d}) a_d^{i-1} + \frac{\mu_d}{R_d} (R\Delta\varphi - R_d \Delta\varphi_d) a_d^{i-\frac{1}{2}} + (1 - \sqrt{a_d}) a_d^i \right), \quad (9)$$

který, po doplnění podmínky $u_M = 0$, umožňuje určit posuny celého kabelu.

2.3. Ekvivalentní diskrétní model

I když spojitá a diskrétní formulace vykazují velmi podobné rysy, z předchozích odstavců jasně vyplývá, že při shodné volbě parametrů diskrétního modelu mohou vykazovat odlišnou odezvu. V tomto oddílu se proto budeme věnovat problémům kalibrace diskrétního modelu, tj. určení „diskrétních“ parametrů tak, aby vykazoval odezvu co nejbližší referenčnímu spojitěmu modelu. První podmínka vyplývá z poklesu předpínací síly mezi deviatory s indexem $(i - 1)$ a i . Porovnání vztahů (7)₂ a (8) vede na rovnost

$$N_i - N_{i-1} = N_0 (e^{-\mu \cdot i \Delta\varphi} - e^{-\mu \cdot (i-1) \Delta\varphi}) = N_0 (e^{-\mu_d \cdot i \Delta\varphi_d} - e^{-\mu_d \cdot (i-1) \Delta\varphi_d}), \quad (10)$$

která je pro libovolné i a předpínací sílu N_0 splněna pro volbu diskrétního součinitele tření ve tvaru

$$\mu_d = \mu \frac{\Delta\varphi}{\Delta\varphi_d}. \quad (11)$$

Další krok kalibrace diskrétního modelu založíme na rozdílu posunů dvou následujících deviatorů. Porovnání spojitě hodnoty (7)₁ a diskrétního výrazu (9) vede k podmínce ve tvaru

$$u_i - u_{i-1} = \frac{N_0 R_d}{EA_d \mu_d} \left((1 - \sqrt{a_d}) a_d^{i-1} + \frac{\mu_d}{R_d} (R\Delta\varphi - R_d \Delta\varphi_d) a_d^{i-\frac{1}{2}} + (1 - \sqrt{a_d}) a_d^i \right) = \frac{N_0 R}{EA\mu} (a^{i-1} - a^i), \quad (12)$$

kde, díky definici ekvivalentního součinitele diskrétního tření (11), platí identita $a = e^{-\mu \Delta\varphi} = e^{-\mu_d \Delta\varphi_d} = a_d$. Po vydělení rovnice (12) výrazem $a^{i-1/2}$ a opětovným využitím vztahu (11) získáváme hledaný výraz pro ekvivalentní průřezovou plochu diskrétního kabelu

$$A_d = \frac{A}{1-a} \left(\frac{R_d \Delta\varphi_d}{R \Delta\varphi} (1+a)(1-\sqrt{a}) + \mu \left(\Delta\varphi - \frac{R_d}{R} \Delta\varphi_d \right) \sqrt{a} \right). \quad (13)$$

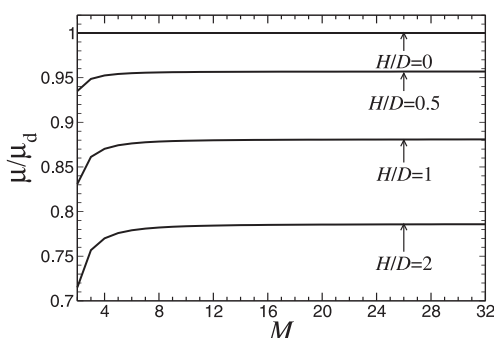
2.4. Studie ekvivalentního diskretního modelu

Po obecné analýze obou modelů interakce pomocí tření přistoupíme k ilustraci odvozených vztahů pro volný předpínací kabel ve tvaru poloviny otáčky šroubovice navinutý na válci o průměru D a výšce H . Konstantní křivost odpovídající křivky je tedy určena vztahem

$$R = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 + \left(\frac{H}{\pi}\right)^2}, \quad (14)$$

úhel φ nabývá hodnot od 0 do π radiánů a délka křivky je rovna $L = \pi r$. Pro zvolený počet intervalů M je tedy úhel $\Delta\varphi = \pi/M$ a veličina $\Delta\varphi_d$ je určena jako úhel mezi vektory $\vec{x}_0\vec{x}_1$ a $\vec{x}_1\vec{x}_2$.

Výsledná závislost poměru součinitele tření spojitěho a diskretního modelu, určeného pomocí vztahu (11), je uvedena na obr. 3 pro čtyři reprezentativní poměry H/D . Pro půlkružnicový kabel ($H = 0$ m) nabývají úhly $\Delta\varphi_d$ a $\Delta\varphi$ stejné hodnoty a oba součinitele tření splývají. Se vzrůstající výškou H pak velikost optimálního diskretního úhlu tření vykazuje silnou závislost na počtu intervalů M , především pro poměrně hrubou diskretizaci spojitěho kabelu. Již pro $M \approx 10$ se poměr mezi oběma součiniteli stabilizuje, vlastní ustálená hodnota diskretního součinitele tření μ_d se pak může od spojitě hodnoty lišit až o desítky procent, přičemž tato odchylka vzrůstá se vzrůstajícím poměrem H/D .



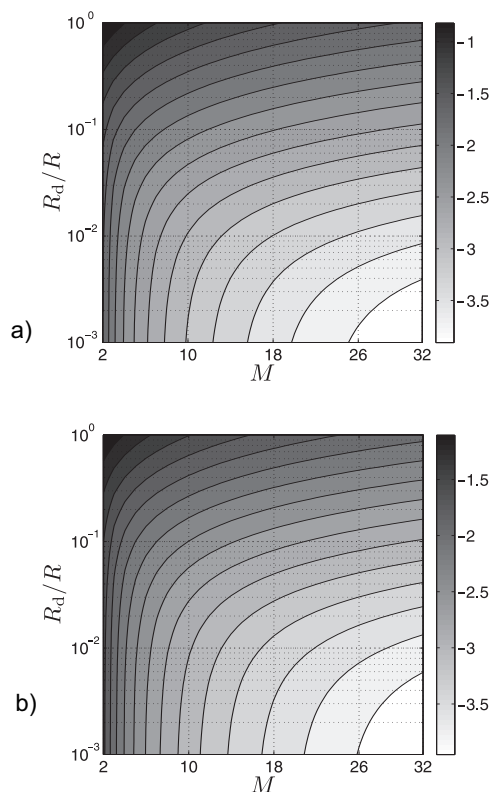
Obr. 3. Korekce součinitele tření

Výsledky obdobné parametrické studie závislosti poměru mezi plochami výztuže A a A_d (13) na počtu intervalů M a poměru mezi poloměrem deviátoru R_d a poloměrem křivosti šroubovice R jsou shrnuty v obr. 4 pro reprezentativní hodnotu spojitěho součinitele tření $\mu = 0,5$. Pro názornější popis tohoto rozdílu zavedeme součinitel ϑ ve tvaru

$$\vartheta = \log_{10} \left(\frac{A_d}{A} - 1 \right). \quad (15)$$

Pro kružnicový kabel (obr. 4a) je získaná závislost konzistentní s výsledky pro součinitel tření. Již při poměrně hrubé diskretizaci spojitěho kabelu pro $M \approx 16$ jsou obě veličiny téměř totožné s rozdílem nepřesahujícím 5 % pro všechny poměry R_d/R . Při vzrůstající štiřlosti referenčního válce se rozdíl mezi oběma veličinami poněkud zmenšuje, vlastní charakter průběhu korekčního součinitele μ však zůstává zachován.

Po obecné analýze rozdílu mezi diskretním a spojitým modelem nyní přistoupíme k verifikaci těchto vztahů pomocí systému ATENA® verze 4.0.0. Pro tyto účely byly vytvořeny dva numerické modely jednoho předpínacího kabelu (tab. 1), spolupůsobícího s konstrukcí o tloušťce 1 m se

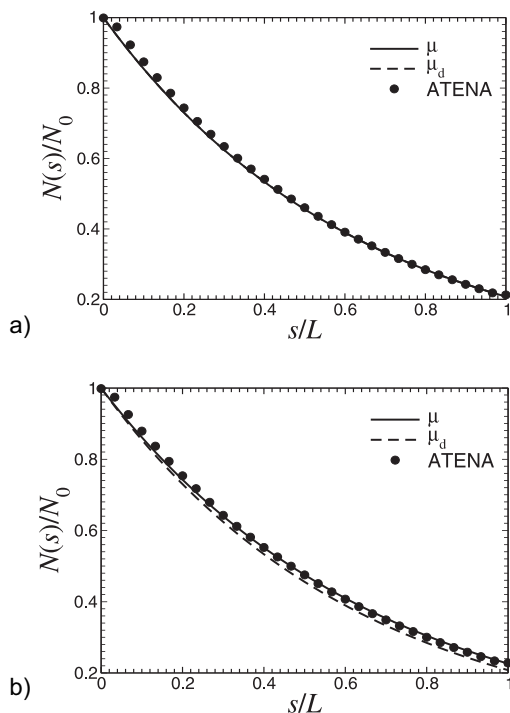


Obr. 4. Průběh korekčního součinitele μ
a – $H = 0$ m; b – $H = 2D$

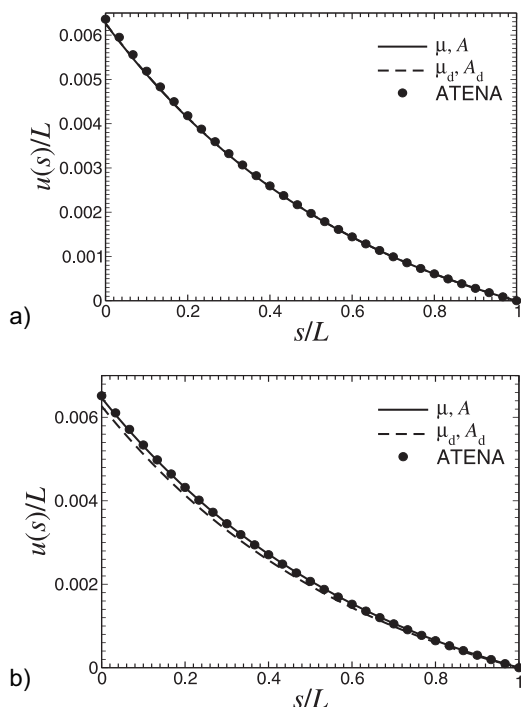
Tab. 1. Vstupní data výpočtu

Průměr válce D	m	21
Výška válce H	m	0/12
Poloměr deviátoru R_d	m	1
Součinitel tření m_d	–	0,5
Modul pružnosti kabelu E	GPa	200
Průřezová plocha kabelu A_d [7]	m ²	$2,01 \cdot 10^{-4}$
Počet intervalů kabelu M	–	30

shodnými vlastnostmi jako předpínací kabel. Pro tuto volbu je minimalizována pružná deformace okolní konstrukce, která je ve zjednodušeném modelu zanedbána. Průběh normálových sil a posunů je shrnut v obr. 5 a obr. 6, kde jsou diskretní výsledky, získané metodou konečných prvků, porovnány se spojitými průběhy určenými pomocí (7), a to jak s diskretními daty (tj. $\mu = \mu_d$ a $A = A_d$), tak s optimalizovanými hodnotami určenými inverzí vztahů (11) a (13). V souladu s obecnou parametrickou studií nejsou pro kružnicový kabel mezi jednotlivými průběhy normálové síly a posunů dominantní rozdíly (rozdíl do 1 %); již hodnota $H/D \approx 0,5$ však vede k viditelným rozdílným v jednotlivých průbězích. Ve všech případech jsou průběhy s optimalizovanými parametry bližší výsledkům numerické simulace (maximální chyba je pro průběh předpínací síly 2 % místo 9 % pro přímé „diskretní“ parametry, zatímco pro protažení kabelu dochází k redukci chyby z 8 % na 1 %) a, v případě podrobnějšího nelineárního výpočtu, tedy umožní přesněji vystihnout vliv zakřivení kabelu.



Obr. 5. Průběh předpínací síly N v systému ATENA
 $a - H = 0$ m; $b - H = 12$ m

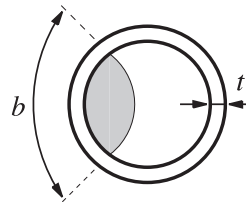


Obr. 6. Průběh protažení kabelu u v systému ATENA
 $a - H = 0$ m; $b - H = 12$ m

3. Model smykové interakce kabelu a konstrukce

Základním předpokladem použití předchozích modelů je skutečnost, že dojde k aktivaci tření na rozhraní mezi kabelem a konstrukcí v důsledku jejich relativního pokluzu. V případě, že k tomuto posunu nemůže dojít (například vlivem „zařiznutí“ kabelu do ochranné trubky), alternativním

mechanismem pro interakci kabel/konstrukce se stává spolupůsobení pomocí smykově poddajné ochranné trubky kabelu (obr. 7). Vlastní popis tohoto jevu je pak přímou obdobou modelů smykového spolupůsobení dílců prefabrikovaných staveb, viz např. [8].



Obr. 7. Základní schéma interakce smykovým spolupůsobením

Při formulaci příslušného modelu vycházíme z představy, že ke spolupůsobení mezi kabelem a konstrukcí dochází na jisté spolupůsobící šířce b (obr. 7). Ekvivalentní spojitě zatížení vystupující v osové podmínce rovnováhy (1) můžeme vyjádřit jako

$$p(s) = -G \frac{b}{t} u(s), \quad (16)$$

kde G označuje smykový modul pružnosti a t je tloušťka stěny ochranné trubky. Po vyjádření normálové síly pomocí geometrických a průřezových charakteristik kabelu a po zavedení pomocné proměnné λ pomocí vztahů

$$N(s) = EA \frac{du(s)}{ds} \quad \text{a} \quad \lambda = \sqrt{\frac{Gb}{EA t}} \quad (17)$$

vede podmínka rovnováhy na obyčejnou diferenciální rovnici druhého řádu pro průběh posunů

$$\frac{d^2 u(s)}{ds^2} - \lambda^2 u(s) = 0 \quad (18)$$

s řešením ve tvaru [4]

$$u(s) = C_1 \cosh \lambda s + C_2 \sinh \lambda s, \quad (19)$$

kde C_1 a C_2 jsou integrační konstanty. Aplikací okrajových podmínek $N(0) = N_0$ a $u(L) = 0$ m dostáváme průběh předpínací síly a protažení kabelu ve tvaru

$$N(s) = N_0 \frac{\cosh \lambda(L-s)}{\cosh \lambda L}, \quad u(s) = \frac{N_0}{EA \lambda} \frac{\sinh \lambda(L-s)}{\cosh \lambda L}, \quad (20)$$

což vede k hodnotám posunu a předpínací síly na konci kabelů

$$u(0) = \frac{N_0}{EA \lambda} \tanh \lambda L, \quad N(L) = \frac{N_0}{\cosh \lambda L}. \quad (21)$$

Na základě těchto vztahů založíme převedení studovaného případu na model ekvivalentního spojitěho kabelu spolupůsobícího třením.

Stejně jako v odst. 2.3 provedeme kalibraci porovnáním průběhu normálové síly a posunu v kabelu. Ekvivalentní součinitel tření

$$\mu^* = \frac{R}{L} \ln(\cosh \lambda L) \quad (22)$$

přímo vyplývá z porovnání hodnot normálové síly určené pomocí vztahů (21)₂ a (7)₂ pro $s = L$. Analogicky, porovná-

ní celkového protažení pro kabely spolupůsobící třením (7)₁ a smykem (21)₁ vede k výrazu pro ekvivalentní průřezovou plochu kabelu ve tvaru

$$A^* = \frac{RA\lambda}{\mu^*} \frac{1 - e^{-\mu^* \frac{L}{R}}}{\tanh \lambda L} = \frac{\lambda L (\cosh \lambda L - 1)}{\log(\cosh \lambda L) \sinh \lambda L} \quad (23)$$

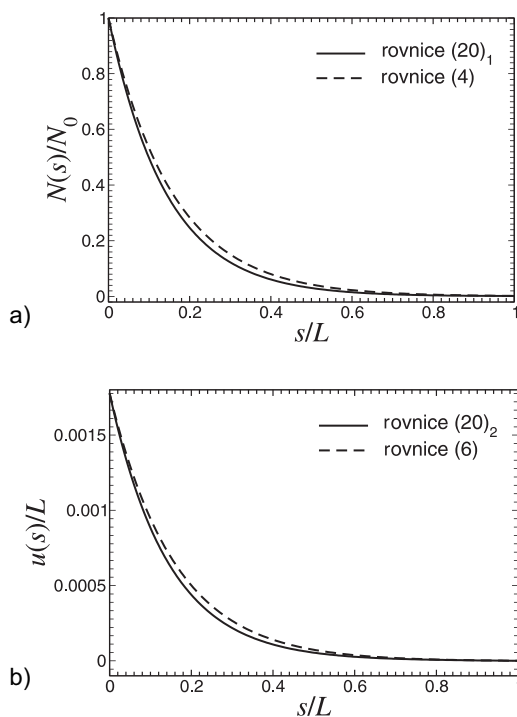
V případě počítačové simulace konstrukce vyztužené smykově spolupůsobícími kabely můžeme hodnoty (22) a (23) dále transformovat na optimální parametry diskretního modelu pomocí identit (11) a (13).

Rozdíl mezi odezvou spojitého kabelů spolupůsobících třením a smykem budeme opět ilustrovat na konstrukci s parametry shrnutými v tab. 1, přičemž, na rozdíl od oddílu 2.4, uvažujeme uvedený součinitel tření a průřezovou plochu pro spojité model místo diskretního. Parametry ochranné trubky jsou shrnuty v tab. 2.

Tab. 2. Parametry smykového spolupůsobení [7]

Modul pružnosti ve smyku G	MPa	$\frac{900}{2(1+0,45)} = \underline{\underline{310}}$
Tloušťka stěny t	mm	6,9
Spolupůsobící šířka b	m	$\frac{\pi}{4} 0,225 = \underline{\underline{0,17}}$

Průběh normálové síly a protažení kabelu lze sledovat v obr. 8. Jak je zřejmé ze získaných závislostí, rozdíly mezi průběhy odpovídajícími smykovému spolupůsobení a vhodně kalibrovaným modelem interakce třením vykazují porovnatelné trendy, přičemž model založený na spolupůsobení třením představuje horní mez jak předpínací síly, tak protažení kabelu.



Obr. 8. Porovnání kabelu spolupůsobícího třením a smykem
a – předpínací síla, b – protažení kabelu

4. Závěr

V rámci předkládané studie byly diskutovány dva základní modely interakce volných předpínacích kabelů s konstrukcí, a to vlivem smykového spolupůsobení a spolupůsobení třením pro spojitou i diskretní formulaci problému. Důraz byl přitom kladen na nalezení vhodných kalibračních vztahů parametrů jednotlivých modelů tak, aby bylo možné využít výsledný diskretní model pro věrohodné vnesení účinků předpětí do pokročilých numerických modelů betonových konstrukcí. Nejdůležitější závěry příspěvku:

- pro spolupůsobení třením lze vhodnou rekalicací parametrů diskretního modelu dosáhnout odezvy v podstatě shodné s analytickým řešením spojitého příkladu. Rozdíl mezi „spojitými“ a „diskretními“ parametry závisí hlavně na „štitlosti“ předpínané konstrukce, při vzrůstajícím poměru výška/poloměr lze pomocí optimalizovaných parametrů dosáhnout významného zvýšení přesnosti;

- pro smykovou interakci mezi kabelem a konstrukcí lze najít takové parametry modelu spolupůsobícího třením tak, aby byla odezva původního modelu zachycena s rozumnou přesností. Výsledné hodnoty předpínací síly v náhradním modelu jsou systematicky větší než v původním popisu, lze jich tedy bezpečně použít v případě, že mají na návrh nebo posouzení konstrukce nepříznivý účinek.

Prezentovaný výsledek byl získán za přispění projektu 1M0579 MŠMT ČR.

Literatura

- [1] Collins, M. P.: Prestressed Concrete Structures. Englewood Cliffs, N.Y., Prentice Hall College Division 1991.
- [2] Freidin, C. – Krichevsky, A.: Prestressed Concrete Containment of Nuclear Power Station with PWR. Nuclear Engineering and Design 214 (3), 173-182, 2002.
- [3] Řeřicha, P. – Šejnoha, J.: Partial Service Life Assessment of a Reactor Containment. Nuclear Engineering and Design 235 (23), 2451-2462, 2005.
- [4] Rektorys, K. a kol.: Přehled užití matematiky, díl II. Praha, Prometheus 2000.
- [5] Šejnoha, J. – Bittnarová, J.: Pružnost a pevnost 10 (2. vydání). Praha, ES ČVUT 2004.
- [6] Červenka, V. – Jendele, L. – Červenka, J.: ATENA Program Documentation: Part 1. Prague, Theory, Červenka Consulting, 2005, <http://www.cervenka.cz>
- [7] Štěpán, J.: Posouzení lokální napjatosti stěny ochranné obálky s uvážením oslabení stěn kabelovými kanálky. [Technická zpráva č. EGP 5043-F-060137], ÚJV Řež, 2005, 87 s.
- [8] Jendele, M. – Šejnoha, J.: Vysotnyje zdaniya s diafragmami i stvo- leni žesnosti. Moskva, Stojizdat 1980.

Janda, Z. – Zeman, J. – Šejnoha, J.: Simplified Methods of Interaction of Unbounded Prestressing Tendon with the Structure

This contribution analyzes two elementary models of the behaviour of unbounded prestressing tendons following a curve with constant curvature. The first case incorporates a frictional slip between a tendon and a structure. Both the continuous and discrete formulations are covered with emphasis put on the calibration of the discrete approach. The second model is based on the shear interaction due to a compliant cable-structure interface with a negligible slip of the prestressing reinforcement.

Janda, Z. – Zeman, J. – Šejnoha, J.: Vereinfachte Modelle der Interaktion eines losen Spannglieds mit der Konstruktion

In diesem Artikel wird die Analyse von zwei Grundmodellen des Verhaltens von losen Spanngliedern in Form einer Kurve mit konstanter Krümmung vorgestellt. Der erste Fall geht von der traditionellen Voraussetzung der Reibung infolge des Gleitschlupfs zwischen dem Kabel und der Konstruktion aus. Es werden sowohl die kontinuierliche als auch die diskrete Formulierung mit Nachdruck auf die Kalibrierung des diskreten Ansatzes diskutiert. Das zweite Modell basiert auf der Schubinteraktion in Folge der nachgiebigen Grenze „Kabel/Konstruktion“ mit geringfügigem Gleitschlupf der Spannbewehrung.

•projekty

Kolben Cube

Počátkem loňského listopadu byl položen základní kámen nové administrativní budovy v pražských Vysočanech. Sedmipatrová budova poskytne více než 20 000 m² kancelářských a 2 000 m² obchodních ploch. Nebude zde chybět recepce s nepřetržitou ostrahou, restaurace pro zaměstnance a menší obchody s nabídkou různých služeb. Samozřejmostí je elektronická kontrola vstupu s kamerovým systémem a podzemní parkovací stání. Pronajímané prostory budou klimatizovány s možností přirozeného větrání otevíratelnými okny. Developerská společnost CODECO klade velký důraz na zeleň a odpočinkové zóny pro nájemce a návštěvníky budovy. Proto se v budově nacházejí tři otevřená atria se zelení a vodními prvky. Architekt projektu používá jak technické materiály – sklo, beton a železo, tak tradiční stavební materiály, jako jsou dřevo, kámen apod.



KOLBEN CUBE, ležící přímo u stanice metra B-Kolbenova, bude součástí moderní městské čtvrti Kolbenova City Development. Postupně se zde počítá nejen s výstavbou obchodního centra a hotelu, ale i s objekty pro bydlení. Rezi- denční výstavba bude orientována na jižní stranu s přímou vazbou na rozsáhlou zeleň parku Rokytka. Náklady na realizaci hrubé stavby dosáhnou více než 1 mld. Kč, přičemž dokončení je plánováno na konec roku 2009. Generálním dodavatelem stavby je ČKD PRAHA DIZ.

Tisková informace

•dizertace



Požární odolnost střešního pláště z trapézových plechů

Ing. Petra Studecká

V dizertaci se řeší návrh trapézových ocelových plechů za běžné i vysoké teploty. Analytický i numerický model byly ověřeny porovnáním s vlastním experimentem autorky. Práce obsahuje doporučení pro další výzkum uvedené problematiky.

Využití prostorových datových struktur v geografické analýze

Ing. Lucie Vaníčková

Práce je zaměřena na zefektivnění algoritmů geografické analýzy, zejména datové struktury Quadtree pro polygonové objekty. Obsahuje i výhled analýzy v prostředí OpenSource GIS.

Strukturovaný přístup ke stanovení povodňového rizika v malých povodích

Ing. Václav David

V práci je zpracována metodika pro klasifikaci dílčích územních jednotek v rámci velkých územních celků pro hodnocení povodňových rizik s využitím prostředků GIS.

Vliv propustných reaktivních bariér na proudění podzemní vody

Ing. Daniel Jirásko

Výsledky dizertace jsou významné pro remediaci kontaminovaných půd a opětovného využití brownfields pro investiční výstavbu.

Analýza a prognóza charakteristik stavebního trhu se zvláštním zřetelem na využívání obnovitelných surovin a zdrojů

Ing. Jitka Holečková

Práce se zabývá možnostmi využití dřeva při výstavbě bytových objektů v ČR.

Socioekonomický model vnitrozemských přístavních průmyslových zón

Ing. Jan Bukovský

Dizertace hodnotí socioekonomické modely vnitrozemských přístavních průmyslových zón na základě nákladových funkcí. Pro danou třídu funkcí je vytvořena metodika, přijatá Ministerstvem dopravy ČR, které podpoří její vydání. Práce hodnotí desítky přístavních lokalit v celém světě.

Mikroklima a architektura

prof. Ing. Miloslav JOKL, DrSc.

ČVUT – Fakulta stavební
Praha

Účelem architektonických děl je především zabezpečení vnitřního prostředí pro člověka jako uživatele. Ne vždy je tato snaha úspěšná, neboť při výskytu syndromu nemocných budov může být znehodnoceno i cenné umělecké dílo. Nezanedbatelné hygienické námítky mohou zastavit i postup architektonických prací. Závěrem článku je věnována pozornost nejnovějším poznatkům z tohoto oboru včetně aplikace systému inteligentní budovy do projektu.

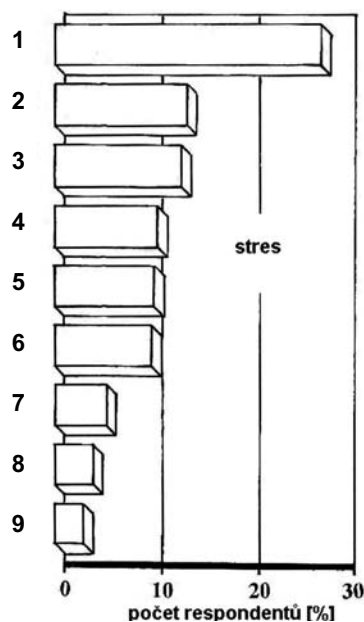
Syndrom nemocných budov (Sick Building Syndrome) souvisí se zdravotními problémy uživatelů některých rezidenčních, administrativních i výrobních budov. Projevují se bolestmi hlavy a dalšími příznaky, většinou shodnými s příznaky nachlazení. Přesněji by se tedy měl označovat za „syndrom nemocí z budov“ (Building Related Illness), jak jej také většinou hygienici nazývají. Pro ně může být důvodem, na základě něhož mohou zastavit postup architektonických prací. Součástí architektonického projektu by tedy měla být i studie mikroklimatu, jak to zavedl např. ESOX Ateliér (Ing. arch. Šípek). Studii lze současně použít jako podklad pro další progresivní prvek, a to aplikaci systému inteligentní budovy do projektu.

Syndrom nemocných budov, typický pro moderní budovy, se málokdy vyskytne ve staré zástavbě. Podle průzkumu provedeného odbory bank a pojišťoven v Německu (the German Trade Union, Bank and Insurances, HBV) [17] téměř třetina zaměstnanců v interiéru budov (27,1 %) si stěžovala na tepelně vlhkostní mikroklima, na hluk dalších 13,5 %, na osvětlení 10,6 %, na tabákový kouř 10,2 % a na stísněnost prostoru 9,9 %, tj. prostředí se podílí 71,3 % na diskomfortu při práci (obr. 1). Nejméně si dělají lidé starosti s prací přes čas (8,9 %), s nadřizenými (4 %) a kolegy (2,9 %).

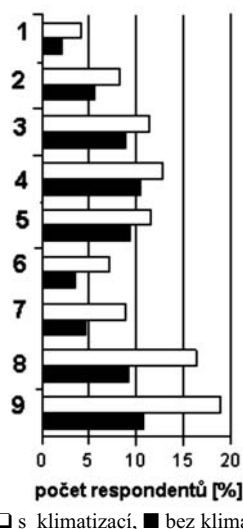
Průzkum HBV byl potvrzen testem INFRATEST – INQUIRY, publikovaném Asociací ekologických výzkumných ústavů (the Association of Ecological Research Institutes – AGOeF) [17] (obr. 2), ze kterého je navíc zřejmé, že nejvíce stížností je v prostorách vybavených klimatizací. Nejčastěji si respondenti stěžují na obavy z chladu (19 %), na podráždění svalových membrán (16,5 %), celkovou podrážděnost (12,8 %), bolesti hlavy (11,6 %), únavu (11,4 %) a nejméně na revmatismus (9 %), ztrátu soustředění (8,3 %) a pocit nahlouplosti (4,2 %). V místnostech bez klimatizace počet stížností výrazně klesá.

Výzkum NASA [16], [9] již delší dobu poukazuje na to, že vhodné prostředí, tj. bez syndromu nemocných budov, vytváří optimální úroveň jednotlivých složek prostředí (konstituent neboli komponent – složek mikroklimatu prostředí), a to tepelně vlhkostní, odeřové, toxické, aerosolové, mikrobiální, ionizační, elektrostatické, elektromagnetické, elektroiontové, akustické a psychické (obr. 3). Každou složku ovlivňují návrhy rezidentů a lidí v budovách pracujících, pří-

padně návrhy z hlediska technologie výroby – liší se případ od případu. Úroveň těchto složek se snaží každý stát zabezpečit závaznými předpisy a standardy, jako jsou Mezinárodní ergonomické předpisy ISO nebo v České republice soubor vyhlášek a vládních nařízení vycházejících ze Zákona o ochraně veřejného zdraví č. 258/2000 Sb. Dále je nutné respektovat mezinárodní normy, zvláště týkající se pracovišť s počítači [13] a zavádějící kategorie interiérů podle úrovně mikroklimatu.

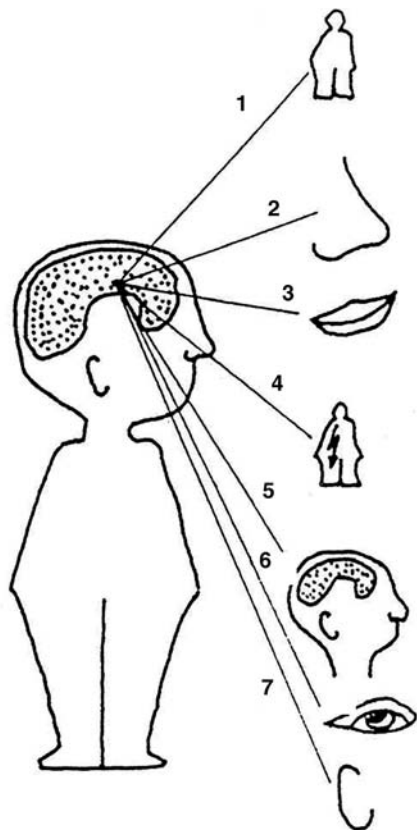


Obr. 1. Faktory prostředí v interiéru budovy
1 – tepelně vlhkostní mikroklima, 2 – hluk, 3 – tlak na kvalitu práce, 4 – osvětlení, 5 – tabákový kouř, 6 – prostorová stísněnost, 7 – práce přesčas, 8 – nadřizení, 9 – spolupracovníci



Obr. 2. Subjektivní odezva na pobyt v interiéru budovy
1 – pocit nahlouplosti, 2 – ztráta soustředění, 3 – únava, 4 – podrážděnost, 5 – bolest hlavy, 6 – nedostatek energie, 7 – revmatismus, 8 – podráždění svalové membrány, 9 – tendence pociťovat chlad

Snahou každého architekta je ovšem mnohem více, než jen respektovat platné předpisy, a to zajistit optimální prostředí podle nejnovějších vědeckých poznatků, tzn. vytvořit dílo nejen vysoké umělecké úrovně, ale i perfektně sloužící praxi. Pak ovšem přicházejí v úvahu i takové problémy, které dosud předpisy neřeší, např. úroveň elektroiontového mikroklimatu v budovách s metalickým pláštěm [10].



Obr. 3. Nejčastější složky prostředí v interiéru budov
1 – tepelně vlhkostní, 2 – toxická, oděrová, aerosolová, 3 – mikrobiální, ionizační, 4 – elektroiontová, elektrostatičká, elektromagnetická, 5 – psychická, 6 – světelná, 7 – akustická

Zásadní vliv na interiér má tepelně vlhkostní a oděrové mikroklima, jemuž je věnována pozornost z hlediska současných poznatků (obr. 1, obr. 2). U tepelně vlhkostního mikroklimatu jde o teplotu a relativní vlhkost vzduchu, přičemž relativní vlhkost vzduchu je hlavním problémem u nízkoenergetických a pasivních staveb. Většinou se nedaří udržet

hodnotu pod 60 %, která je nezbytná vzhledem k možnostem vzniku plísní.

Je však pozoruhodné, že teplotou vzduchu lze ovlivnit i vnímání jeho kvality, tj. oděrové mikroklima. Při své poslední návštěvě na Katedře technických zařízení budov Fakulty stavební ČVUT prof. Fanger z Denmark University of Technology prezentoval zajímavý výsledek jednoho z posledních výzkumů, že přívodem vzduchu do interiéru o 3 °C chladnějším se vytváří vjem přívodu zcela čistého vzduchu [7]. K obdobným závěrům dospěli také Berglund a Cain [3], když zjistili, že dokonce v čistém vzduchu bez oděrů pocit svěžesti vzduchu klesá s růstem vlhkosti a teploty. Čistý vlhký vzduch byl posuzován jako méně svěží suchý vzduch. Vliv vlhkosti na vnímání svěžesti vzduchu je však menší než vliv teploty vzduchu – v průměru změna teploty vzduchu o 1 °C má stejný účinek jako změna rosného bodu o 6 °C. Je zřejmé, že čistý vzduch v dobře větrané místnosti může být vnímán různě, v závislosti na své teplotě a vlhkosti.

Croome [5] zkoumal vliv otevření oken a dveří, tj. výměny vzduchu, na vnímání jeho svěžesti. Zjistil, stejně jako předtím Rodahl [15], že vliv množství venkovního vzduchu vstupujícího do interiéru na pocit svěžesti vzduchu není signifikantní, resp. měl vliv pouze tehdy, jestliže jeho teplota byla menší než neutrální teplota, tj. optimální teplota korespondující s aktivitou člověka. Je zajímavé, že již dříve [2] poukazyval na skutečnost, že chladný vzduch v místnosti subjekty považovaly za čerstvý a vzduch v přetopené místnosti za těžký. Také rychlost vzduchu měla pozitivní vliv na pocit svěžesti – vzduch přiváděný okny (vyšší rychlostí) byl vnímán jako svěžejší než přiváděný dveřmi (nižší rychlostí) při téže teplotě. Po udělení Nobelovy ceny za fyziologii a medicínu Buckové a Axelovi za objev receptorů oděrové složky prostředí v roce 2004 se dostává této složce zvýšené pozornosti, i když již předtím to byla práce Herzova o Proutově fenoménu [8], jež zapůsobila stejným způsobem. Z jejich prací je zřejmé, že oděry mají v životě člověka větší význam, než se dosud předpokládalo.

V evropském měřítku se hned dva standardy snaží o kategorizaci vnitřního prostředí na základě oděrového mikroklimatu. První je ČSN EN 13779 Větrání obytných prostor – Základní požadavky na větrací a klimatizační zařízení, druhá CR 1752 Ventilation for Buildings. Obě normy volí za základní kritérium koncentraci oxidu uhličitého v interiéru, resp. její zvýšení nad koncentraci ve venkovním vzduchu, a na základě tohoto kritéria zavádějí dvojí klasifikaci interiéru: v prvním případě čtyři kategorie IDA1 až IDA4 (kvalita vzduchu vysoká, střední, mírná a nízká), ve druhém případě pouze kategorie A, B, C s podílem nespokojených osob (PPD) 15, 20 a 30 % (tab. 1). Tento podíl lze stanovit i pro

Tab. 1. Klasifikace kvality vnitřního vzduchu

ČSN EN 13 779					PPD [%]	CR 1752			
kategorie	kvalita vzduchu	CO ₂		venkovní [m ³ /h. p.]		kategorie	CO ₂		venkovní [m ³ /h. p.]
		nad vzduchem venku [ppm]	v interiéru* [dCd]				nad vzduchem venku [ppm]	v interiéru [dCd]	
IDA 1	vysoká (high)	≤ 400	≤ 27	> 54	10	–	–	–	–
IDA 2	střední (medium)	400-600	27-36	36-54	15	A	460	30	36
IDA 3	mírná (moderate)	600-1 000	36-48	22-36	20	B	660	38	25**
IDA 4	nízká (low)	> 1 000	> 48	< 22	30	C	1 190	53	14

* pro venkovní vzduch 350 ppm, ** klasický Petterkoferův normativ

všechny kategorie IDA, a rovněž tak vypočítat hladinu oérového mikroklimatu v deciodérech (dCd) [9]. Obě mají analogický průběh s obdobnými funkcemi (dCd reaguje citlivěji na zhoršující se kvalitu vzduchu) a jejich hodnoty jsou srovnatelné s decibely pro hluk přímo svými číselnými hodnotami. Je zřejmé, že oba standardy vycházejí z klasického normativu Pettenkofera 1 000 ppm v interiéru s korespondujícím kvantem venkovního vzduchu 25 m³/h. p a připouštějí jednak vzduch horší (IDA4, kategorie C), jednak lepší kvality (IDA1, IDA2 a kategorie A). Vždy jde o sedící subjekt (1,2 met) a o administrativní nebytové prostory. Je tudíž otázkou, do jaké míry je lze aplikovat na bytové prostory.

Zde už se studie mikroklimatu stává současně podkladem pro další progresivní prvek, a to aplikaci systému inteligentní budovy do projektu, schopné splnit náročné požadavky na moderní pracoviště.

Vyhlášky a nařízení

- č. 6/2003Sb. – vyhláška, kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí obytných místností některých staveb
- č. 362/2006 Sb. – vyhláška o způsobu stanovení koncentrace pachových látek, přípustné míry obtěžování zápachem a způsobu jejího zjišťování
- č. 101/2005 Sb. – nařízení vlády o podrobnějších požadavcích na pracoviště a pracovní prostředí
- č. 369/2001 Sb. – vyhláška ministerstva pro místní rozvoj o obecných technických požadavcích zabezpečujících užívání staveb osobami s omezenou schopností pohybu a orientace
- č. 361/2007 Sb. – nařízení vlády, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci
- č. 137/2004 Sb. – vyhláška o hygienických požadavcích na stravovací služby a o zásadách osobní a pracovní hygieny při činnostech epidemiologicky závažných
- č. 108/2001 Sb. – vyhláška ministerstva zdravotnictví, kterou se stanoví hygienické požadavky na prostory a provoz škol, předškolních zařízení a některých školských zařízení
- č. 135/2004 Sb. – vyhláška, kterou se stanoví hygienické požadavky na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch

Mezinárodní normy

- ČSN EN ISO – Ergonomické požadavky na kancelářské práce se zobrazovacími terminály
- CEN CR 1752 – Větrání budov: Návrhová kritéria pro vnitřní prostředí
- ČSN EN 13779 – Větrání nebytových prostor – Základní požadavky na větrací a klimatizační zařízení

Literatura

- [1] Afshari, A. – Bergsøe, N. C.: Humidity as a Control Parameter for Ventilation. *Indoor and Building Environment*, 2003, 12: 215-216.
- [2] Bedford, T.: *Basic Principles of Ventilation and Heating*. London, H. K. Lewis and Co. 1948.
- [3] Berglund, L. G. – Cain, W. S.: Perceived Air Quality and the Thermal Environment. In: *The Human Equation: Health and Comfort*. [Proceedings], ASHRAE/SOEH Conference, IAQ, 1989.
- [4] CEN CR1752 Ventilation for Buildings: Design Criteria for the Indoor Environment. CEN, Brussels, 1998.

- [5] Croome, D. J. – Gan, G. – Abwi, H. B.: Evaluation of Indoor Environment in Naturally Ventilated Offices. In: *Research on Indoor Air Quality and Climate*. CIB Proceedings, Publication 163, Rotterdam, 1993.
- [6] ČSN EN 13779 Větrání nebytových prostor – Základní požadavky na větrací a klimatizační zařízení. ČNI, 2005.
- [7] Fang, L. – Wyon, D. P. – Clausen, G. – Fanger, P. O.: Impact of Indoor Air Temperature and Humidity in an Office on Perceived Air Quality, SBS Symptoms and Performance. *Indoor Air*, 14, 2004, pp. 74-81.
- [8] Herz, R.S.: Scents of Time. *Sciences July/August*, 2000: 34-39.
- [9] Jokl, M. V.: *Zdravé obytné a pracovní prostředí*. Praha, Academia 2002.
- [10] Jokl, M. V.: Mikroklima interiéru budov s metalickým pláštěm. *Architekt*, 52, 2006, 10:66-67.
- [11] Jokl, M. V.: *Vybavení pracovny počítačem*. Praha, ČKAIT 2007.
- [12] Jokl, M. V.: Relativní vlhkost a člověk, nové přípustné limity. *Topin*, 41, 2007, 5:26-28.
- [13] Jokl, M. P. – Jokl, M.V.: Mikroklima interiéru vily Tugendhat. *Architekt*, 54, 1. část 2008, 5: 74-76; 2. část 2008, 6: 88-91.
- [14] Olesen, B.W.: International Standards for the Indoor Environments. *Indoor Air*, 14, 2004: 18-26.
- [15] Rodahl, E.: Field Measurements of Air Quality in Relation to Air Flow. In: *Heat Pumps and Air Circulation in Conditioned Spaces*. Proceedings of Meetings of Commissions B1, B2, E1, E2, Sept 7-9, Paris, 1981.
- [16] Rohles, F. H., Jr.: The Ecosystem Complex: A New Approach in Specifying the Man-Environment Relationship. *J. Environ. Sys.* 1, 1971, 4: 321-328.
- [17] Weber, J. H.: Sick Building Syndrome – Dangerous Game with Spread Characters. *Air Infiltration Review*, 16, 1995, 3: 12-13.

Jokl, M.: Microclimate and Architecture

The purpose of architecture is, above all, to provide indoor environment of the building for its user – the man. Sometimes this endeavour is not successful – the so called Sick Building Syndrome (SBS) occurs being able to depreciate even a perfect work of art. Objections of medical doctors specialized in hygiene can be added and the usefulness of the building can be problematic. International standards and various government directives as a weapon to fight this problem and the new scientific knowledge in this field, application of intelligent buildings included, are presented.

Jokl, M.: Mikroklima und Architektur

Der Zweck von Bauwerken ist vor allem die Sicherung des inneren Milieus für den Menschen als Nutzer. Nicht immer hat dieses Bemühen Erfolg, denn im Falle des Auftretens des Syndroms kranker Bauten kann auch ein wertvolles Kunstwerk abgewertet werden. Erhebliche hygienische Einwände können auch den Gang der architektonischen Arbeiten anhalten. Im Artikel werden Verlautbarungen und Regierungsverordnungen der Tschechischen Republik, aber auch internationale Normen angeführt, die sich bemühen, dieser Erscheinung vorzubeugen. Zum Schluss wird die Aufmerksamkeit den neuesten Erkenntnissen in diesem Fach einschließlich der Anwendung des Systems des intelligenten Gebäudes bei der Planung gewidmet.

Měření vodorovných posunů stavebních objektů metodou záměrné přímky – část 2

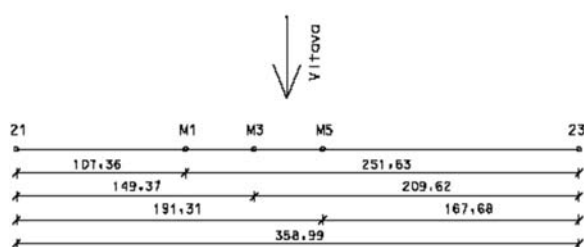
doc. Ing. Mojmír ŠVEC, CSc.
doc. Ing. Vladimír VOREL, CSc.

ČVUT – Fakulta stavební
Praha

Druhá část příspěvku je věnována ověřování přesnosti metody záměrné přímky na přehradě Slapy. Je nastíněna konfigurace geodetické sítě a zabezpečení nucené centra teodolitu i cílových zařízení. Podrobně se popisuje rozsáhlé experimentální měření se záměrným měřítkem, dále při metodě malého úhlu a také při použití polygonového pořadu. Výsledky ověřování přesnosti jsou shrnuty v několika tabulkách. V textu je několik odvolávek na první část příspěvku [5], o které se předpokládá, že ji čtenář bude mít k dispozici.

Experimentální měření

Přesnost metody záměrné přímky byla ověřována v síti přehrady Slapy. Rozmístění pevných i pozorovaných bodů na mostu nad korunou hráze je znázorněno na obr. 5.



Obr. 5. Rozmístění pevných i pozorovaných bodů na mostu nad korunou hráze (kótované délky jsou v metrech)

Stanoviskem přístroje – teodolitu Wild T3 s třicetinásobným zvětšením dalekohledu – byl bod 21 na pravém břehu. Stanovisko přístroje bylo dáno svislou točnou osou alhidády teodolitu nuceně dostředěného pomocí kulového centračního čepu. V koncovém bodu záměrné přímky 23, stabilizovaném centrační hlavicí na pilíři na levém břehu, byl nuceně dostředěn terč č. 11, zasunutý dřikem do zděře centrační hlavice. Zděře centračních hlavice, centrační čep i dřiky terčů jsou kalibrovány. Chyba z urovnání teodolitu při citlivosti alhidádové libely teodolitu Wild T3 $f \approx 2,1$ mgon je prakticky rovna nule a stejně tak se neprojeví chyba z urovnání terče v koncovém bodu záměrné přímky.

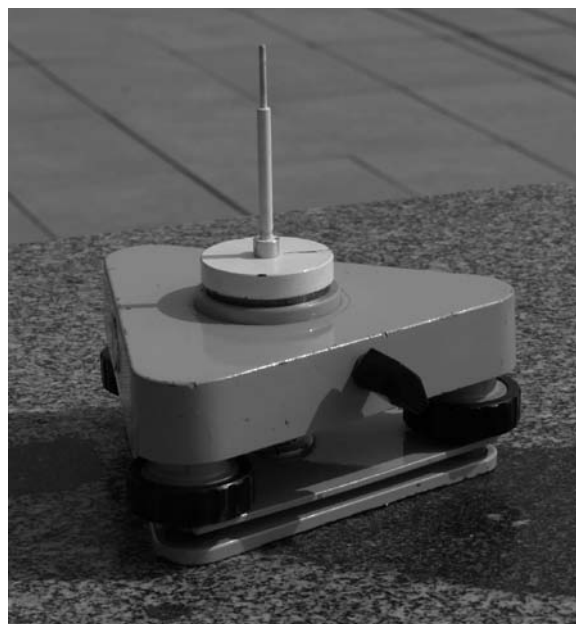
K měření výchylek pozorovaných bodů mostovky M1, M3 a M5 od svislé roviny, proložené záměrnou přímkou, byla použita metoda záměrného měřítka, malého úhlu a polygonového pořadu.

Metoda záměrného měřítka

K přímému měření příčné výchylky q pozorovaného bodu P (obr. 1) bylo použito záměrné měřítko Metra, v. č. 58009 (obr. 3). Terč měřítka je ovládán šroubem, jehož bubínek je opatřen dělením s nejmenším dílkem 0,01 mm. Záměrné mě-

řítko bylo dostředěno kulovým centračním čepem. Přesnost dostředění je táž jako teodolitu na stanovisku a chyba z centra se prakticky neuplatní. Osa otáčení alhidády měřítka je urovnávána do svislice trubicovou alhidádovou libelou. Uvažujeme-li nejistotu v urovnání osy alhidády měřítka do svislice až 10 mgon, pak při výšce terče měřítka nad hlavou centračního čepu 17 cm nepřekročí nejistota v opakovaném urovnání osy terče měřítka do svislice 0,03 mm a chyba z urovnání terče lze zanedbat.

Aby příčné výchylky q_i pozorovaných bodů P_i od svislé roviny proložené záměrnou přímkou 21-23, určené různými postupy, byly srovnatelné, byly měřené výchylky centrovány na spojnici svislých os teodolitů dostředěných na koncových bodech záměrné přímky. Bod 21 byl realizován svislou osou teodolitu Wild T3, v. č. 33199 a bod 23 svislou osou teodolitu Zeiss Theo 010A, v. č. 398284. Pozorovaný bod P_i byl dán svislicí, procházející středem horního konce signální tyčinky osazené v čepu do zděře centrační hlavice pozorovaného bodu P_i (obr. 6).



Obr. 6. Signální tyčinka osazená v čepu do zděře centrační hlavice

Základní čtení záměrného měřítka, odpovídající terči nastavenému do svislice procházející středem horního konce tyčinky, bylo určeno teodolitem Zeiss Theo 010A. Ten byl umístěn na stativu do spojnice bodu 21-23 ve vzdálenosti 6,36 m od pozorovaného bodu P_i směrem k bodu 21. Terč měřítka byl zařazen v obou polohách dalekohledu na všech třech bodech záměrné přímky dvakrát nezávisle v různých dnech. Zjištěné základní čtení záměrného měřítka je v tab. 4.

Základní čtení záměrného měřítka bylo určeno s výberovou směrodatnou odchylkou měření v jedné skupině $s = 0,14$ mm a průměrná hodnota z šesti měření byla stano-

vena s výběrovou směrodatnou odchylkou $\bar{s} = 0,06$ mm. Průměr z šesti měření byl zaveden do dalších úvah. Podobně byla určena excentricita terče č. 11 vůči svislé ose teodolitu na koncovém bodu záměrné přímkou 23 ve směru kolmém na svislou rovinu proloženou záměrnou přímkou. Bod 23 byl přitom ztotožněn s osou alhidády teodolitu Theo 010A v. č. 398284, dostředěném a urovnaném na jeho centrační hlavici. Směr na osu alhidády teodolitu byl získán jako průměr směrů na nosník osvětlovacího zrcátka v jeho dalekohledu, zacíleného do směru záměrné přímkou v první a druhé poloze. Výstřednost terče vzhledem k svislé ose teodolitu byla vypočtena z rozdílů směrů na střed kruhů terče a na svislou osu teodolitu, měřených teodolitem Wild T3, postaveným ve vzdálenosti 4,06 m od bodu 23 ve směru záměrné přímkou. Excentricita terče č. 11 vůči svislé ose použitého teodolitu byla určena hodnotou $e = 1,8$ mm po směru toku.

Tab. 4. Základní čtení záměrného měřítka Metra v. č. 58009 při ose terče* ve svislici nad signální tyčinkou [mm]

Bod	1. měření	2. měření	Průměr
M1	71,4	71,3	71,2
M2	71,2	71,0	
M3	71,2	71,1	

* Terč měřítka je zařazen ve směru od bodu 21 k bodu 23.

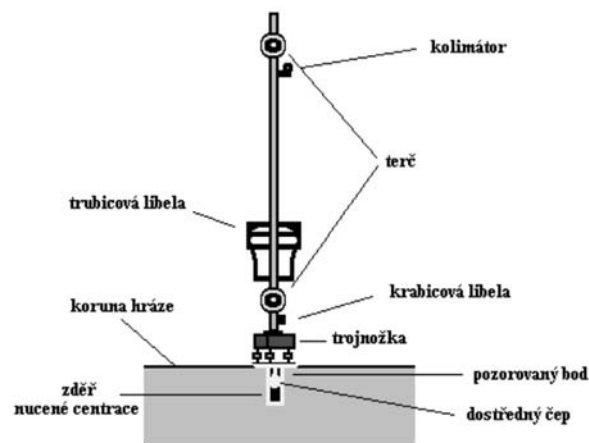
Pozorované body na koruně hráze byly zaměřeny k svislé rovině proložené záměrnou přímkou 21-23 dvakrát nezávisle v různých dnech. Počasí během měření bylo převážně slunečné s teplotami kolem 22-23 °C. Výchytky pozorovaných bodů byly měřeny ve čtyřech až šesti sériích v závislosti na vzdálenosti pozorovaného bodu od stanoviska, aby bylo dosaženo příčné směrodatné odchylky $\sigma_q \approx 0,3$ mm. Naměřené hodnoty jsou sestaveny v tab. 5.

Tab. 5. Metoda záměrného měřítka

Bod	Příčná výchylka pozorovaného bodu q od spojnice 21-23 [mm]				Počet sérií n	Délka záměry [m]
	1. měření		2. měření			
	výchylka q	$s_q/s_{\bar{q}}$	výchylka q	$s_q/s_{\bar{q}}$		
21	stanovisko				–	0
M1	-24,2	0,07/0,04	-23,6	0,28/0,14	4	107,36
M3	-35,0	0,37/0,17	-34,5	0,25/0,11	5	149,37
M5	-22,9	0,60/0,25	-22,2	0,72/0,27	6	191,31
23	koncový bod přímkou				–	358,99
Poznámka:	čas 14-15 h, teplota 23 °C oblačno/slunečno chodník na slunci výška hladiny 270,7 m		čas 10-11 h, teplota 22 °C slunečno/vibrace chodník ve stínu výška hladiny 270,6 m			–
	s_q – příčná výběrová směrodatná odchylka měření v jedné sérii $s_{\bar{q}}$ – příčná výběrová směrodatná odchylka průměru z n sérií výchylka q proti směru toku má znaménko –, po směru toku znaménko +					

Metoda malého úhlu

K určení příčné výchylky q pozorovaného bodu P od svislé roviny, proložené záměrnou přímkou 21-23, byl na začátku záměrné přímkou (bod 21) určen vodorovný úhel δ sevřený směry na koncový bod přímkou 23 a pozorovaný bod P (obr. 1). Pozorované body byly signalizovány dvojitým terčem, zhotoveným pro tento účel na Katedře speciální geodézie Fsv ČVUT (obr. 7).



Obr. 7. Dvojitý terč

Dvojitý terč sestává ze dvou cílových značek, upevněných na tyči osazené čepem do trojnožky Zeiss. Tyč je opatřena krabicovou libelou, používanou k urovnání terčů Zeiss. Protože líc cílových značek je vysunut 5 mm před svislou osu otáčení tyče v podložce, je tyč opatřena kolimátorem k správnému nasměrování. Dvojitý terč je dostředěn v centrační hlavici pozorovaného bodu kulovým čepem stejně, jak bylo popsáno při centraci teodolitu nebo záměrného měřítka.

Dolní cílová značka je osazena na tyči 24 cm nad centračním čepem, horní cílová značka je 107 cm nad centračním čepem. Pro omezení vlivu chyby z urovnání dvojitého terče byl terč urovnán po nasměrování do záměrné přímkou sázeči libelou Zeiss v. č. 4453 o citlivosti $f = 3,6$ mgon. Předpokládáme-li směrodatnou odchylku v urovnání dvojitého terče $\sigma_u \approx f/2 = 1,8$ mgon, bude příčná směrodatná odchylka v urovnání horní značky $\sigma_{uh} = 0,03$ mm. Je zřejmé, že vliv chyby z urovnání terče není třeba uvažovat.

Výstřednost obou cílových značek urovnaného dvojitého terče vzhledem k ose otvoru centrační hlavice pozorovaného bodu mostovky, kolmá na svislou rovinu proloženou záměrnou přímkou, byla určena teodolitem Zeiss Theo 010A postaveným na stativu do svislé roviny záměrné přímkou ve vzdálenosti 6,36 m od pozorovaného bodu. Byl měřen úhel mezi oběma znaky urovnaného dvojitého terče a osou zděře centrační hlavice. Ta byla vyznačena signální tyčinkou, osazenou v čepu do zděře. Excentricita horního a dolního terče byla měřena třikrát nezávisle postupně na třech pozorovaných bodech vždy v obou polohách dalekohledu. Výběrová směrodatná odchylka jednou určené excentricity dolního terče, vypočtená ze souboru o třech pozorováních, činila 0,14 mm a pro horní terč činila 0,13 mm. Rozdíl měřených excentricit obou terčů dosáhl mezní hodnoty 0,25 mm. Výběrová směrodatná odchylka jednou určené excentricity horního a dolního terče $s_e = 0,14$ mm (kvadratický průměr směrodatných odchylek). Tomu odpovídá směrodatná odchylka průměrné excentricity terče (horního i dolního), zavedené do výpočtu, $s_{\bar{e}} = s_e / \sqrt{3} = 0,08$ mm. Měřené excentricity cílových značek dvojitého terče jsou uvedeny v tab. 6.

Tab. 6. Excentricita dvojitého terče*

Bod	Terč	Příčná výchylka terče vzhledem k ose zděře (k signální tyčince) pozorovaného bodu [mm]	
		měřené výchylky	průměr
M1	horní	-0,31	$e_h = -0,46$ $s_{eh} = 0,13$
	dolní	0,14	
M3	horní	-0,56	$s_{\bar{eh}} = 0,08$
	dolní	-0,11	
M5	horní	-0,52	$e_d = +0,05$ $s_{ed} = 0,13$
	dolní	0,12	

* Při měření excentricity byl líc terče otočen směrem k bodu 21. Kladná výstřednost je po směru toku, záporná výstřednost je proti směru toku.

Do dalších úvah byly zavedeny průměrné hodnoty excentricit obou terčů. Směr na koncový bod přímkou 23, signalizovaný terčem č. 11, byl centrován na svislou osu teodolitu Zeiss Theo 010A v. č. 398284 způsobem popsáním při metodě záměrného měřítka.

Příčné výchylky pozorovaných bodů mostovky byly určeny ke svislé rovině proložené záměrnou přímkou 21-23 metodou malého úhlu dvakrát ve dvou dnech. Počasí během měření bylo teplé, slunečné s teplotami 20-21 °C. Malé úhly δ_i byly měřeny ve dvou až třech laboratorních jednot-

kách v závislosti na délce záměr k pozorovaným bodům, přičemž bylo cíleno na obě značky dvojitého terče.

K dosažení směrodatné odchylky $\sigma_q = 0,3$ mm v určení příčné výchylky pozorovaného bodu, podobně jako při metodě záměrného měřítka, by teoreticky stačilo měřit výchylku nejbližšího pozorovaného bodu M1 pouze v jedné laboratorní jednotce. Úhly δ_i byly měřeny minimálně ve dvou laboratorních jednotkách proto, aby bylo možno ze všech souborů počítat výběrové směrodatné odchylky. Naměřené hodnoty jsou sestaveny v tab. 7.

Ze souboru, který je k dispozici, nevyplývá závislost přesnosti měření malých úhlů na délkách záměr. Je to v souladu s předpoklady rozboru. Výběrové směrodatné odchylky úhlů δ_i měřených v jedné laboratorní jednotce, se pohybují v mezích 0,03-0,28 mgon a jejich velikost na délkách záměr zřejmě nezávisí. V souboru měřených úhlů δ_i neprojevuje ani výška terče nad mostovkou vliv na přesnost měření. Při svislé odlehlosti horního a dolního terče 83 cm a při výšce dolního terče nad mostovkou 17 cm lze očekávat, že vliv mikroklimatu se projeví různým úhybem paprsků k oběma terčům a vibrační obrazu, což způsobí rozdíly v příčných výchylkách horního a dolního terče od svislé roviny proložené záměrnou přímkou, popř. i rozdíly výběrových směrodatných odchylek měřených úhlů na horní a dolní terč. Tento předpoklad se nepotvrdil. Kvadratický průměr výběrových směrodatných odchylek z obou měření je při cílení na horní terč $S_{\delta h} = 0,19$ mgon při největší hodnotě $s_{\delta h \max} = 0,28$ mgon a při cílení na dolní terč $S_{\delta d} = 0,14$ mgon při největší hodnotě $s_{\delta d \max} = 0,23$ mgon. Ověřujeme-li u obou kvadratických průměrů směrodatných odchylek příslušnost k těmto základnímu souboru, pak podle Fisherova rozdělení pravděpodobnosti bude $F = S_{\delta h}^2 / S_{\delta d}^2 = 1,85$, což je mnohem menší než kritická hodnota $F_{\alpha} = 10,97$, odpovídající hladině významnosti $\alpha = 0,01$ a našim malým výběrům.

Dosažené výběrové směrodatné odchylky odpovídají rozboru před měřením. Rozborem byla předpokládána směrodatná odchylka metody měření malých úhlů v laboratorních jednotkách $\sigma_{\delta 0} = 0,16$ mgon. Použijeme-li k testu na příslušnost obou výběrů, charakterizovaných směrodatnými odchylkami $S_{\delta h}$ a $S_{\delta d}$, k základnímu souboru, charakterizovanému směrodatnou odchylkou $\sigma_{\delta 0}$, pak při hladině významnosti $\alpha = 0,01$ příslušejí zřejmě oba výběry k danému základnímu souboru.

Porovnejme dále příčné výchylky q_i pozorovaných bodů od svislé roviny proložené záměrnou přímkou, určené pomocí horního a dolního terče (tab. 7). Při prvním měření je průměrný rozdíl příčných výchylek horního a dolního terče $\Delta q_1 = 0,40$ mm, při největším rozdílu $\Delta q_{1 \max} = 0,60$ mm. Při druhém měření je průměrný rozdíl příčných výchylek obou terčů $\Delta q_2 = 0,17$ mm, při největším rozdílu $\Delta q_{2 \max} = 0,20$ mm. Největší rozdíl výchylky horního a dolního terče $\Delta q_{1 \max}$ dosáhl pouze jedenapůlnásobku směrodatné odchylky příslušného rozdílu, nevybočuje tedy z mezí přesnosti měření. Ani znaménka výchylek nejeví systematický charakter. Porovnejme směrodatné odchylky s_q výchylek jednotlivých pozorovaných bodů. Ty by měly narůstat přímo úměrně s délkou záměry. Naměřené hodnoty to však nepotvrzují, jako by se vliv délky záměr na velikosti směrodatné odchylky prakticky neprojevil. Proto jsou v tab. 7 uvedeny i kvadratické průměry příčných výběrových směrodatných odchylek, i když jde o nestejnorodé hodnoty.

Zajímavé je i porovnání příčných výchylek pozorovaných bodů, měřených v různých dnech (tab. 7). Obě měření proběhla za značně rozdílných podmínek. První měření bylo uskutečněno v odpoledních hodinách a chodník s pozorovanými body i zábradlí byly přímo ozářeny sluncem. Druhé

Tab. 7. Metoda malého úhlu

Bod	Terč	Měřený úhel δ				Počet laboratorních jednotek	Délka záměry
		1. měření		2. měření			
		s_δ		s_δ			
		úhel δ	$s_{\bar{\delta}}$	úhel δ	$s_{\bar{\delta}}$		
[gon]	[mgon]	[gon]	[mgon]	n	[m]		
Stanovisko 21							
M1	horní	-0,01470	0,28	-0,01469	0,18	2	107,36
	dolní	-0,01458	0,04	-0,01432	0,23	2	
			0,03		0,16		
M3	horní	-0,01500	0,13	-0,01504	0,17	2	149,37
	dolní	-0,01491	0,05	-0,01486	0,06	2	
			0,09		0,12		
M5	horní	-0,00812	0,16	-0,00837	0,13	3	191,31
	dolní	-0,00775	0,18	-0,00815	0,14	3	
			0,10		0,08		
23	11	Koncový bod záměrné přímky					358,99
Kvadratický průměr výběrových směrodatných odchylek	horní terč	$S_{\delta h} = 0,21 \text{ mgon}$		$S_{\delta h} = 0,17 \text{ mgon}$			
	dolní terč	$S_{\delta d} = 0,11 \text{ mgon}$		$S_{\delta d} = 0,16 \text{ mgon}$			
		$S_{\delta h} = 0,19 \text{ mgon}$		$S_{\delta d} = 0,14 \text{ mgon}$			
Bod	Terč	Příčná výchylka pozorovaného bodu				Počet laboratorních jednotek	Délka záměry
		1. měření		2. měření			
		s_q		s_q			
		Výchylka q	$s_{\bar{q}}$	Výchylka q	$s_{\bar{q}}$		
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	n	[m]		
Stanovisko 21							
M1	horní	-23,8	0,5	-23,8	0,3	2	107,36
	dolní	-24,1	0,1	-23,6	0,4	2	
			0,3		0,3		
M3	horní	-34,0	0,3	-34,1	0,4	2	149,37
	dolní	-34,3	0,1	-34,2	0,1	2	
			0,2		0,3		
M5	horní	-22,9	0,5	-23,7	0,5	3	191,31
	dolní	-22,3	0,5	-23,5	0,4	3	
			0,3		0,2		

měření proběhlo též za slunečného počasí, ale dopoledne, kdy chodník s pozorovanými body byl ve stínu, zakryt plným betonovým zábradlím se skleněnými výplněmi s osvětlovacími tělesy. Při vzdálenosti do 150 m od stanoviska (body M1 a M3) je největší rozdíl výchylek pozorovaných bodů, určených v obou dnech, 0,5 mm při průměrném rozdílu 0,18 mm. Tyto rozdíly nepřesahují meze dané směrodatnými odchylkami určení výchylek. U bodu M5, který je vzdálen od stanoviska přístroje 191 m, je rozdíl příčných výchylek určený pomocí horního terče 0,8 mm a pomocí dolního terče 1,2 mm, při stejných znaménkách. Jsou to nápadné rozdíly, které překračují meze dané směrodatnými odchylkami měřených výchylek. Jelikož směrodatné odchylky úhlového měření nesignalizují menší přesnost určení výchylek tohoto bodu, lze připustit vliv refrakce, která postihuje prakticky stejně záměry na horní i dolní terč, popř. i možnost denního pohybu bodu M5.

Pokus s dvojitým terčem neprokázal vliv mikroklimatu nad mostovkou. S cílem odhalit působení refrakčních vlivů nad mostovkou, popř. odhalit vliv malých denních pohybů hráze, bylo uskutečněno další měření metodou malého úhlu, přičemž pozorované body byly signalizovány třemi terči nad sebou.

Do zděře centrační hlavice pozorovaného bodu v chodníku mostovky byl osazen terč, používaný k signalizaci bodů sítě (obr. 2), a nad ním byl na stativu přibližně centrován dvojitý terč (obr. 7). Výška terčů nad chodníkem byla 6 cm, 140 cm a 223 cm. Všechny terče byly upraveny na oboustranné, aby bylo možno měřit malé úhly z obou konců záměrné přímky současně. Excentricita terčů vůči terči zasunutému do zděře centrační hlavice byla určena teodolitem Zeiss Theo 010A. V jednom dni byla uskutečněna dvě měření, výsledky jsou uvedeny v tab. 8.

Tab. 8. Výsledky měření

Měřeno		Výchylka terče od spojnice 21-23 [mm]						Počet jednotek	Rozdíl 1-2 [mm]
z bodu	na bod/terč	1. měření			2. měření				
		výchylka	s_q	$s_{\bar{q}}$	výchylka	s_q	$s_{\bar{q}}$		
21	M1 / horní	-22,1	0,0	0,0	-22,2	0,4	0,3	2	0,1
23		-21,5	1,8	1,1	-22,1	1,5	0,9	3	0,6
21	M1 / střední	-22,2	0,3	0,2	-22,2	0,4	0,3	2	0,0
23		-21,9	1,0	0,6	-22,3	1,3	0,8	3	0,4
21	M1 / dolní	-22,5	0,2	0,1	-22,3	0,4	0,2	2	-0,2
23*								-	-
21	M5 / horní	-21,7	0,7	0,4	-22,1	0,6	0,3	3	0,4
23		-21,3	0,1	0,1	-21,9	1,8	1,3	2	0,6
21	M5 / střední	-21,5	0,8	0,5	-21,8	0,4	0,2	3	0,3
23		-21,1	0,2	0,2	-21,1	1,1	0,8	2	0,0
21	M5 / dolní	-21,9	0,6	0,4	-21,9	0,2	0,1	3	0,0
23		-21,0	0,3	0,2	-21,4	1,1	0,8	2	0,4

Výběrová směrodatná odchylka měření z jedné strany, vypočtená z rozdílů tam a zpět,

$$s_q = \sqrt{\frac{[dd]}{2n}} \text{ je pro 1. měření } s_{q1} = 0,37 \text{ mm, } (n = 5);$$

pro 2. měření $s_{q2} = 0,28 \text{ mm}$.

Výběrová směrodatná odchylka rozdílu prvního a druhého měření $s_{q12} = 0,46 \text{ mm}$.

poměry	10-11:30 h zataženo, mlhavo		12-13:10 h skoro zataženo, slabá vibrace	
	stanovisko	cíl	stanovisko	cíl
	21: 6 °C, 738,3 torr	7 °C 738,7 torr	21: 7,5 °C 738,6 torr	8 °C 739,9 torr
23: 7,8 °C 735,7 torr	23: 10,8 °C 736,8 torr			

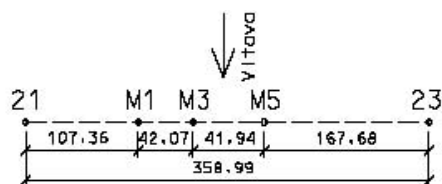
* z bodu 23 neměřeno – za překážkou

Největší rozdíl obou měření je 0,6 mm, při průměrném rozdílu 0,3 mm. Vzhledem k velikosti výběrové směrodatné odchylky rozdílu prvního a druhého měření $s_{q1,2} = 0,46 \text{ mm}$ (tab. 8) nelze prokázat systematické působení vnějších vlivů, i když je nápadný stejný charakter znamének rozdílů obou měření.

Výsledky měření naznačují, že objektivní směrodatná odchylka určení posunů pozorovaných bodů při délce záměrné přímky cca 300 m je asi 0,4 mm. Seriózní zhodnocení působení vnějších vlivů by vyžadovalo větší soubor měření za extrémních podmínek, které bohužel nenastaly.

Metoda polygonového pořadu

Metody polygonového pořadu bylo použito s cílem zjistit, jak se projeví v příčných výchylkách pozorovaných bodů zkrácení záměr a okolnost, že záměry mezi pozorovanými body budou procházet prakticky stejným prostředím poblíž zábradlí. Pevné i pozorované body byly spojeny do polygonového pořadu 21–M1–M3–M5–23, viz obr. 8. Délky stran byly 107,36; 42,01; 41,94 a 167,68 m. Orientační strana 21–23 byla dlouhá 358,99 m. Vodorovné úhly byly měřeny teodolitem Zeiss Theo 010A, v. č. 398284. K signalizaci pevných bodů bylo použito na bodě 21 terče č. 10, na bodě 23 terče č. 11. Oba byly zasunuty dřikem do zděře centrační hlavice. Aby příčné výchylky pozorovaných bodů byly srov-



Obr. 8. Pevné i pozorované body v polygonovém pořadu

natelné s ostatními metodami, byly vztaženy ke spojnicí svislých os teodolitu Zeiss Theo 010A, použitého k měření vodorovných úhlů. Příčná excentricita terčů č. 10 a č. 11 vůči svislé ose použitého teodolitu byla určena postupem popsáným v předešlé stati. Na bodě 21 byla stejným postupem určena excentricita terče č. 10 vůči svislé ose teodolitu Wild T3 v. č. 33199, kterého bylo použito při metodě záměrného měřítka a metodě malého úhlu. Zjištěná vzájemná excentricita obou teodolitů byla pouze 0,1 mm, a proto byla zanedbána. Pozorované body M1, M3 a M5 byly vyznačeny signálními tyčinkami (obr. 6).

Vodorovné úhly v polygonovém pořadu byly měřeny teodolitem Zeiss Theo 010A v. č. 398284. Na bodech 21 a 23 byl teodolit dostředěn nuceně kulovým čepem. Na pozorovaných bodech byl dostředěn optickým centrovačem nad

hrotem signální tyčinky. Vodorovné úhly byly měřeny ve třech skupinách, přičemž byl teodolit před každou skupinou nezávisle dostředěn. Dostředění teodolitu na každém pozorovaném bodě bylo nahodile přezkoušeno v kolmém směru k záměrné přímkě přímým měřením teodolitem Wild T3 ze vzdálenosti 6,36 m. Zjištěná excentricita se pohybovala v mezích do 0,12 mm. Chyba z centrace teodolitu proto v dalším nebyla uvažována. Polygonový pořad byl úhlově proměřen dvakrát, naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 9.

Tab. 9. Metoda polygonového pořadu

Bod	Měřený vrcholový úhel ω			
	1. měření		2. měření	
	ω	\bar{s}_ω	ω	\bar{s}_ω
	[gon]	[mgon]	[gon]	[mgon]
21	399,9851	0,21	399,9854	0,12
M1	199,9980	0,24	199,9986	0,49
M3	200,0316	0,27	200,0333	0,15
M5	199,9935	0,33	199,9938	0,37
23	399,9914	0,09	399,9913	0,06
kvadratický průměr směrodatných odchylek	$\bar{s}_{\omega 1} = 0,24$ mgon		$\bar{s}_{\omega 2} = 0,29$ mgon	
Poznámka:	1. den		2. den	
	čas 8-12 h teplota 19-24 °C slunečno, jasno, chodník ve stínu, výška hladiny 270,4 m		čas 13-16 h teplota 24-26 °C slunečno, jasno, chodník na slunci, výška hladiny 270,4 m	

Pro výpočet příčných výchylek pozorovaných bodů od záměrné přímkou byla zvolena místní souřadnicová soustava. Její počátek byl vložen do bodu 21 a osa x ztotožněna se záměrnou přímkou 21-23 s kladným směrem k bodu 23. Osa y je kolmá na záměrnou přímkou s kladným směrem po směru toku řeky.

Měřené úhly byly opraveny o výstřednost použitých terčů vůči svislé ose teodolitu na bodech 21 a 23 a v uvedené soustavě byly vypočteny souřadnice bodů pořadu z obou měření, přičemž pořad byl řešen jako vetknutý mezi body 21 a 23 se vzájemnou oboustrannou orientací.

Výpočet byl proveden dvakrát, přičemž byla úhlová odchylka rozdělena buď rovnoměrně všem vrcholovým úhlům, nebo nepřímě úměrně délkám stran. Souřadnicová odchylka byla v obou případech rozdělena přímo úměrně délkám stran. Příčné výchylky pozorovaných bodů od svislé roviny proložené záměrnou přímkou, určené metodou polygonového pořadu, jsou uvedeny v tab. 10.

Obě měření proběhla za slunečného počasí, ale při prvním měření byl chodník s pozorovanými body ve stínu za zábradlím, zatímco druhé měření bylo uskutečněno odpoledne s chodníkem a pozorovanými body na přímém slunci. Kvadratický průměr směrodatných odchylek měřených úhlů je při prvním měření poněkud lepší, přesto však obě měření podle Fisherova rozdělení pravděpodobnosti patří ke stejnému základnímu souboru.

Porovnejme příčné výchylky pozorovaných bodů, určené dvojím měřením. Při rovnoměrném rozdělení úhlové odchylky je průměrný rozdíl příčných výchylek pozorovaných

bodů 1,07 mm, při největším rozdílu 1,32 mm u bodu M3 uprostřed pořadu. Při rozdělení úhlové odchylky nepřímě úměrně délkám stran je průměrný rozdíl příčných výchylek 0,24 mm, při největším rozdílu u bodu M3 0,46 mm. Znaménka rozdílů mají v obou případech systematický charakter, způsobený refrakčními vlivy nebo denními pohyby hráze.

Tab. 10. Metoda polygonového pořadu

Bod	Příčná výchylka pozorovaného bodu q [mm]			
	úhlová odchylka je rozdělena			
	rovnoměrně		nepřímě úměrně délkám stran	
	1. měření	2. měření	1. měření	2. měření
21	0,00	0,00	0,00	0,00
M1	-23,50	-24,47	-23,71	-23,98
M3	-33,95	-35,27	-34,20	-34,66
M5	-23,46	-24,38	-23,66	-23,85
23	0,00	0,00	0,00	0,00
úhlová odchylka [mgon]	-0,80	2,00	-0,80	2,00
souřadnicová odchylka $\Sigma\Delta y$ [mm]	-2,70	-1,00	2,60	-1,40

Závěr

Metoda záměrné přímkou byla ověřena na koruně hráze Slapy při vzdálenosti koncových bodů přímkou 359 m. Lze říci, že co do přesnosti jsou všechny metody v podstatě rovnocenné. Pohodlně lze dosáhnout směrodatné odchylky v určení posunu pozorovaného bodu kolem 0,4 mm. Uvažujeme-li ekonomiku práce, pak nejrychlejší je metoda záměrného měřítka. Výzkum nelze považovat za uzavřený, a to hlavně z hlediska vlivu boční refrakce a malých denních pohybů hráze.

Příspěvek je věnován výzkumnému záměru MSM 684 077 0001, dílčí část „Geodetické monitorování při zajištění spolehlivosti staveb“.

Literatura

- [1] Vorel, V.: Geodetické monitorování staveb, jeho východiska a souvislosti. Geodetický a kartografický obzor, **52**, 2006, č. 7, s. 127-129.
- [2] Vorel, V.: Zajišťování bezpečnosti staveb. Část: Specifikace při geodetickém měření posunů. In: Spolehlivost, optimalizace a trvanlivost stavebních materiálů a konstrukcí. [Sborník], Výsledky výzkumného záměru MSM 684 077 0001. ČVUT Praha, 2007, s. 333-335.
- [3] Švec, M.: Studium mikrotriangulace pro měření vodorovných posunů přehrad. [Disertační práce]. ČVUT Praha, 1973.
- [4] Michalčák, O. – Vosika, O. – Veselý, M. – Novák, Z.: Inženýrská geodézie I. Praha/Bratislava, SNTL/Alfa 1985.
- [5] Švec, M. Vorel, V.: Měření vodorovných posunů stavebních objektů metodou záměrné přímkou – část 1. Stavební obzor, **18**, 2009, č. 1, s.29-32.

Švec, M. – Vorel, V.: Measurement of Horizontal Displacements of Building Structures Using Line of Sight Method – Part II

The second part of this article describes verification of the line of sight method at the Slapy Dam. It outlines configuration of the geodetical network and forced centering of the theodolite and the targetting devices. In detail, it explains the vast experimental measurement using the line of sight scale, also the small angle method, as well as the polygonal sequence. The results of the accuracy verification are presented in several tables. The text also relates to the first part of the article, which the reader is expected to have read.

Švec, M. – Vorel, V.: Messung der horizontalen Verschiebungen von Bauwerken mit der Visierlinienmethode – Teil 2

Der zweite Teil des Beitrags ist der Überprüfung der Genauigkeit der Visierlinienmethode an der Talsperre Slapy gewidmet. Es wird die Konfiguration des geodätischen Netzes und die Sicherung der Zwangszentrierung des Theodoliten und der Zielgeräte skizziert. Es wird ausführlich die umfangreiche Versuchsmessung mit dem Zielmaßstab beschrieben, des Weiteren bei der Methode des kleinen Winkels und auch bei der Anwendung der Polygonordnung. Die Ergebnisse der Überprüfung der Genauigkeit sind in mehreren Tabellen zusammengefasst. Im Text sind mehrere Verweise auf den ersten Teil des Beitrags, von dem vorausgesetzt wird, dass ihn der Leser zur Verfügung haben wird.



Metall München

11.–14. března 2009
Mnichov

Evropský odborný veletrh METALL, vycházející z potřeb průmyslu a řemesla v odvětví opracování a zpracování kovů, se koná v lichých letech. První ročník proběhl úspěšně přede dvěma roky. V rámci akce jsou prezentována řešení na téma obráběcích strojů, precizních nástrojů a zařízení, strojních dílů, modulů a příslušenství, výrobní a procesní automatizace, měřicí techniky a jistění kvality.

www.metall-muenchen.de

● dizertace



Systém nakládání se stavebním a demoličním odpadem

Ing. Marie Párová

Význam práce je zdůrazněn uvedením údajů o množství odpadu produkovaného během životnosti stavby a vlivu na celkové náklady provozu stavebního díla. Na základě diagnostiky současného stavu se navrhuje technologická a ekonomická opatření. Je uvedena metodika pro stanovení množství odpadu pro jednotlivé stavební činnosti.

Problematika zemědělských staveb s přihlédnutím k trvale udržitelnému rozvoji venkova

Ing. Karel Polák

Dizertace se zabývá novou koncepcí organizace zemědělské výroby zahrnující mj. i současný stav existujících objektů a středisek. Zdůrazňuje se nutnost inženýrského průzkumu před plánováním nových investic. Pojmenovávají se chyby projevující se v současné praxi.

Obchodně-marketingová strategie střední stavební firmy

Ing. Martin Stibor

Práce obsahuje rozbor tzv. tvrdých a měkkých parametrů podnikové ekonomiky středního podniku (do 200 zaměstnanců) a využití simulační metody ASW MDM 2007. Výsledky lze v praxi přímo využít.

Kalibrace digitálních kamer pro blízkou fotogrammetrii

Ing. Eva Štefanová

Dizertace se zabývá kalibrací digitálních kamer pro velmi blízkou fotogrammetrii. Jde o tzv. neměřické komory, kde je nutno zjišťovat prvky vnitřní orientace, které jsou pro každou kameru individuální. Cílem je ověřit obecný postup kalibrace pro různé kamery pomocí kalibračního pole.

Application of Digital Photogrammetry for Monument Preservation

Ing. Veronika Králová

Práce je zaměřena na vytvoření prostorového informačního systému historicky cenného památkového objektu pomocí digitální fotogrammetrie s aplikací na citadelu In Irbil v Iráku.

Metody hodnocení potenciálních povodňových škod

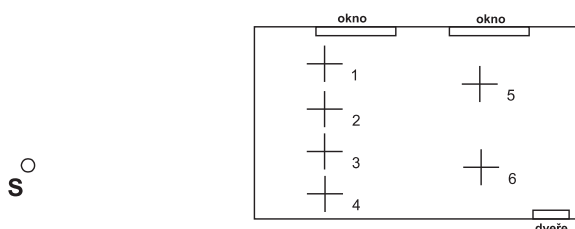
Ing. Martin Horský

Autor rozpracovává metodiku hodnocení povodňových škod v širších územních celcích založenou na aplikaci prostředků geografických informačních systémů.

Modelování vlivu atmosféry na geodetická měření při požární zkoušce v Mokrsku

Ing. Martin ŠTRONER, Ph.D.
prof. Ing. Jiří POSPÍŠIL, CSc.
ČVUT – Fakulta stavební
Praha

V článku je prezentováno numerické modelování vlivu svislé složky atmosférické refrakce pro odhad systematické chyby působící na trigonometrické měření průhybů konstrukce při požární zkoušce v Mokrsku.



Obr. 1. Půdorys konfigurace měření

Úvod

Analýza chování konstrukce za požáru se stává běžnou praxí při jejím návrhu. Předpověď chování jednotlivých prvků za zvýšených teplot je v evropských normách na velmi vysoké úrovni. Pro přechod od navrhování jednotlivých prvků k ekonomičtějšímu a spolehlivějšímu řešení konstrukce jako celku jsou požární zkoušky na celých konstrukcích zcela zásadní. Základem takového ověřování bylo sedm velkých požárních zkoušek na ocelové, jedna na betonové a dvě na dřevěné konstrukci v laboratoři v Cardingtonu ve Velké Británii v letech 1998-2003. Od té doby bylo provedeno dalších pět požárních zkoušek na celých budovách. Zkouška v Mokrsku v září 2008 [1] měla rozvinout již získané poznatky.

Úkolem geodetického měření bylo sledovat během požáru průhyby konstrukce na šesti bodech v co nejkratších etapách v řádu minut. Bylo využito trigonometrické měření klasickými metodami a moderním přístrojovým vybavením s automatickým cílením pro dynamické sledování chování objektu.

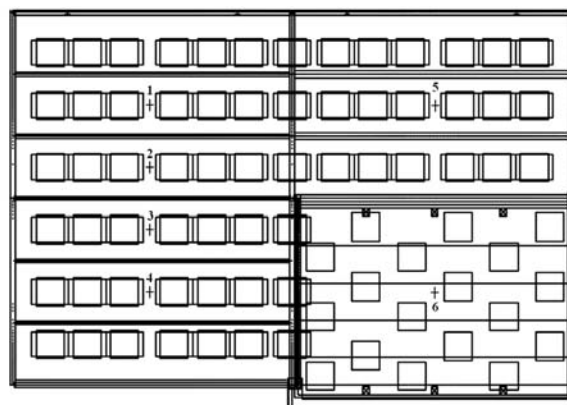
Protí podmínkám běžným při geodetických měřeních zde panovaly extrémní teploty a gradienty teplot, a tak by mohly být svislé posuny konstrukce těmito vlivy systematicky poškozeny. Proto byly provedeny výpočty jejich možného maximálního vlivu na základě modelování.

Metoda měření

Výběr metody v daném případě nebyl příliš složitý. Vzhledem k velmi vysokým teplotám na objektu nebylo možné použít nivelaci, protože nelze pevně stabilizovat nivelační latě ve svislé poloze s ohledem na deformaci objektu. Další metody rovněž nejsou vhodné či proveditelné, a proto byla vybrána trigonometrická metoda. Rychlost pro toto takřka dynamické měření je důležitá, proto bylo zvoleno automatické měření včetně cílení.

Konfigurace měření

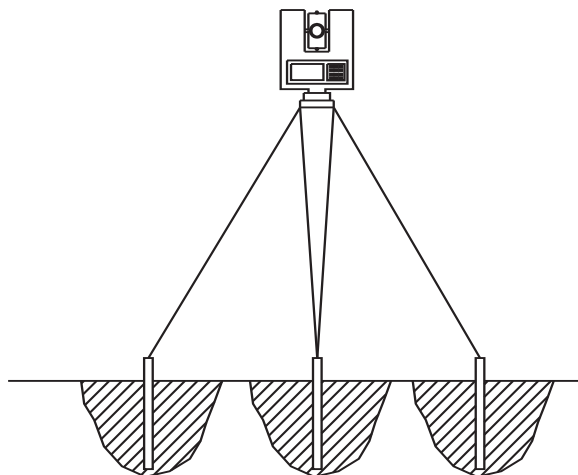
Umístění stanoviska, měřených bodů na objektu a jejich číslování je schematicky znázorněno na obr. 1. Vzdálenost stanoviska S, tj. od bodů 1-4, byla přibližně 28 m, od bodů 5 a 6 přibližně 36 m. Zenitové úhly byly v rozmezí 95 gon-100 gon. Sledované body v kontextu konstrukce a jejího zatížení jsou znázorněny na obr. 2.



Obr. 2. Objekt s rozmístěním sledovaných bodů a zátěže

Stabilizace stanoviska a signalizace bodů

Stanovisko bylo stabilizováno železnými trubkami zabetonovanými do hloubky 300 mm, přístroj postaven na stativu s botkami zasazenými do těchto trubek, stíněno čtvercovým přístřeškem s kovovou konstrukcí o půdorysu 3,3 m x 3,3 m (obr. 3).



Obr. 3. Stabilizace stanoviska

Pozorované body byly stabilizovány železnými úhelníky délky 3 m se dvěma navařenými destičkami o rozměru 50 mm x 50 mm, na nichž byly přilepeny odrazné fólie (40 mm x 40 mm, výrobek fy Leica). Signalizovaný bod je dán průsečíkem tyčového znaku s povrchem konstrukce. Vzdálenost cílů u bližších bodů byla 500 mm (body 1-4), u vzdálenějších 750 mm (body 5-6). Rozdílná vzdálenost byla nutná vzhledem k tomu, že automatické cílení použitého přístroje Trimble S6 nepracuje korektně, jestliže je v zorném poli velikosti přibližně 1 gon x 1 gon více než jeden cíl. Schematicky je cílová tyč znázorněna na obr. 4. Úhelníky byly navařeny na dva pásy železného plechu uspořádané do kříže a přišroubované ke střeše objektu ve sledovaných bodech v pokud možno svislé poloze, natočené směrem ke stanovisku *S*. Tento zvláštní a komplikovaný způsob byl zvolen proto, že objekt byl do výše 1,4 m zakryt zátěží z pytlů se šterkem a dále na objektu nezávislými konstrukcemi nesoucími další měřicí čidla. Vzhledem k předpokládanému poklesu maximálně 500 mm a vhodné rezervě bylo nutné použít tak vysokou stabilizaci. Po dobu měření není možné zaručit neměnný náklon cílové tyče, a proto ji bylo nutné osadit dvěma cíli, které umožní výpočet výšky takto signalizovaného bodu. Při tomto způsobu měření je možný náklon stabilizace, nesmí se však stočit nebo deformovat (např. prohnutí).

Obr. 4. Schematické znázornění signalizace cíle



Přístrojové vybavení

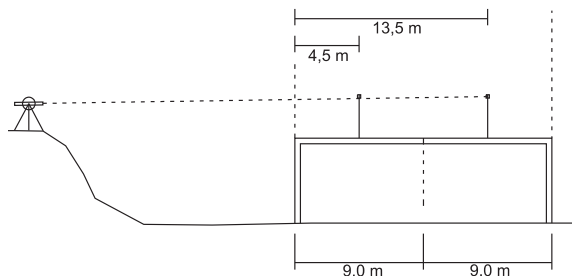
Z dostupných přístrojů Katedry speciální geodézie i Fakulty stavební ČVUT v Praze jako celku má přístroj Trimble S6 High Precision (obr. 5) nejvyšší přesnost měření délek a dostatečnou přesnost měření směrů a zenitových úhlů. Pro rychlé měření disponuje automatickým cílením i programem pro opakované měření osnovy směrů, zenitových úhlů i dé-



Obr. 5. Totální stanice Trimble S6 High Precision

lek. Tato totální stanice integruje mnohé inovace ve směru základních principů měření a v konstrukci. Přístroj byl použit ve variantě s dálkoměrem se směrodatnou odchylkou 1 mm + 1 ppm · D a směrodatnou odchylkou měření směrů a zenitových úhlů ve dvou polohách 0,3 mgon [2], [3].

Jediným problémem tohoto přístroje pro monitorování většího počtu vizuálně blízkých bodů je způsob vyhodnocování obrazu při automatickém cílení, protože v případě, že v zorném poli senzoru zpracovávajícího odraz signálu je více než jeden cíl, automatické cílení selhává. Velikost zorného pole, v němž problém nastává, je podle experimentálního zjištění přibližně 1,0 gon x 0,8 gon. Vzdálenost cílových terčů na tyčích byla původně vzhledem k předpokládaným průhybům 0,50 m, vzhledem k tomuto problému u vzdálenějších cílů ji však bylo nutné zvětšit na 0,75 m. Situace měření z hlediska výšek je znázorněna na obr. 6.



Obr. 6. Předpokládaná situace měření

Numerické modely průchodu svazku paprsků optickým prostředím

Nelineární průběh dráhy paprsků elektromagnetického záření je při optických měřeních jedním ze základních vlivů omezujících přesnost. Pro šíření elektromagnetického záření v daném prostředí platí Fermatův princip [4]

$$\delta \int_A^C n(x, y, z) dl = 0, \quad (1)$$

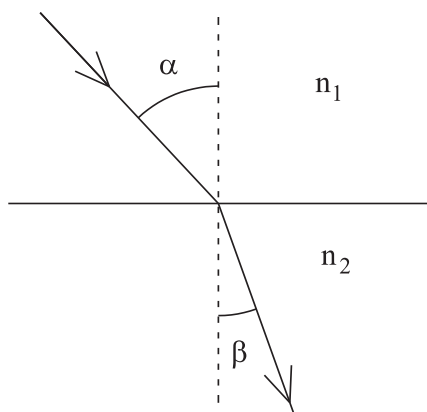
kde n je index lomu dráhy paprsku mezi body A a C . Pro šíření paprsku mezi body A , C po dráze l platí, že první variace optické dráhy je rovna nule. Pro stanovení skutečné dráhy paprsku atmosférou by bylo nutné znát index lomu vzduchu v prostředí v okolí průchodu paprsku. Index lomu vzduchu je možné určit na základě měření teploty, tlaku, vlhkosti vzduchu, popř. obsahu CO_2 , což není s dostatečnou přesností a hustotou v reálném prostředí technicky možné, protože dochází k mnoha nespočitatelným vlivům, jako je např. porыв větru, který čidla zaznamenají se značným zpožděním. Proto byl v tomto případě zvolen postup nesnažit se přímo modelovat okamžitý vliv na měření, ale modelovat nejhorší situaci, která může nastat, a tak určit maximální možný vliv na měření s konstatováním, že přesnost výsledku obsahuje kromě jiných chyb i tuto systematickou.

Model odvozený na základě Snellova zákona

Pro výpočet vlivu byla vyvinuta původní numerická metoda výpočtu průchodu svazku atmosférou z hlediska výšky, založená na Snellově zákoně [4], který popisuje děj na rozhraní dvou různých optických prostředí,

$$n_1 \cdot \sin(\alpha) = n_2 \cdot \sin(\beta), \quad (2)$$

kde n_1, n_2 jsou indexy lomu a α, β jsou úhly dopadu (od kolmice), podle obr. 7.



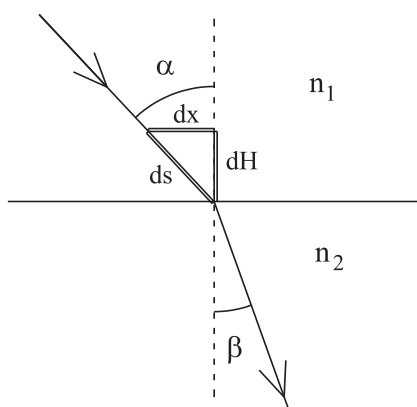
Obr. 7. Snellův zákon

Atmosféru lze rozdělit na diferenciální vrstvy, považovat je za jednotlivá rozhraní s různým indexem lomu n a počítat průchod svazku paprsků atmosférou po diferenciálních krocích. Vzhledem k tomu je nutné upravit Snellův zákon do diferenciální podoby

$$n_1 \cdot \frac{dx_1}{ds_1} = n_2 \cdot \frac{dx_2}{ds_2} \quad (3)$$

Ze schematicky znázorněné situace na obr. 8 vyplývá vzájemná vazba diferenciálních prvků

$$ds^2 = dx^2 + dH^2 \quad (4)$$



Obr. 8. Snellův zákon v diferenciální podobě
 dH – diferenciální změna výšky, dx – diferenciální posun vpřed,
 ds – diferenciální element dráhy

Index lomu vzduchu lze podle [5] určit např. pomocí Barrellova – Searsova vzorce s opravou z vlivu teploty a tlaku určenou Kohlrauschem,

$$N(\lambda) = 287,604 + \frac{1,6288}{\lambda^2} + \frac{0,0136}{\lambda^4} \quad (5)$$

$$n(\lambda, t, p, h) = 1 + \left(\frac{N(\lambda)}{1 + \frac{t}{273,15}} \cdot \frac{p}{101325} - \frac{5,5 \cdot 10^{-2}}{1 + \frac{t}{273,15}} \cdot \frac{h}{133,322} \right) \cdot 10^{-6} \quad (6)$$

kde λ je vlnová délka elektromagnetického záření [μm],
 t – teplota vzduchu [$^{\circ}\text{C}$],

p – tlak vzduchu [Pa],
 h – parciální tlak vodních par [Pa].

Největší vliv na změnu indexu lomu má teplota, u které se také během experimentu očekávají extrémní hodnoty, tlak a vlhkost vzduchu mohou být pro účely simulace považovány za normální.

Před výpočtem je dále nutné upravit Snellův zákon v diferenciální podobě do tvaru vhodného pro výpočet směru šíření paprsku za rozhraním na základě znalosti indexu lomu před rozhraním i za ním (n_1, n_2) a směru šíření paprsku před rozhraním dx_1/ds_1 ,

$$\frac{dx_2}{ds_2} = \frac{dx_1}{ds_1} \cdot \frac{n_1}{n_2} \quad (7)$$

Při samotném výpočtu se zvolí krok výpočtu Δx a v prvním kroku se vypočte

$$\frac{dx_0}{ds_0} = \sin(z_0) \quad (8)$$

V příslušném počtu kroků pro dosažení celkové vzdálenosti 13,5 m se pak počítá:

$$n_1 = n\left(\lambda, t, \left(H - \frac{dH}{2}\right), p, h\right) \quad (9)$$

$$n_2 = n\left(\lambda, t, \left(H + \frac{dH}{2}\right), p, h\right) \quad (10)$$

$$\frac{dx_2}{ds_2} = \frac{dx_1}{ds_1} \cdot \frac{n_1}{n_2} \quad (11)$$

$$X_i = X_{i-1} + \Delta x \quad (12)$$

$$dH_i = \sqrt{\left(\Delta x \cdot \frac{ds_i}{dx_i}\right)^2 - \Delta x^2} \quad (13)$$

$$H_i = H_{i-1} + dH_i \quad (14)$$

Model řešící diferenciální rovnici průchodu vlnoplochy nehomogenním prostředím

Kromě tohoto modelu, který se zdá být velmi intuitivní, lze použít pro výpočet diferenciální rovnici průchodu vlnoplochy nehomogenním prostředím (model bude dále nazýván DRPV), která je odvozena např. v [6] a použita v [7],

$$\frac{d^2 r}{dt^2} = n(r) \cdot \nabla n(r) = f(r) \quad (15)$$

$$\text{kde } r = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}, n(r) = n(x, y, z), \nabla n(r) = \begin{pmatrix} dn(r)/dx \\ dn(r)/dy \\ dn(r)/dz \end{pmatrix} \quad (16)$$

přičemž r je průvodič bodu dráhy, n – index lomu vyjádřený modelem (jako v předchozím případě), ∇ – Hamiltonův

operátor, dt – element dráhy. Index lomu n se vypočítá podle vzorců uvedených v předchozím odstavci.

Pro objasnění významu derivací je vhodné zavést označení

$$u = \frac{dr}{dt}, \quad \frac{du}{dt} = \frac{d^2r}{dt^2}. \quad (17)$$

Zde u je směr pohybu vlnoplochy (tečna ke křivce pohybu) a du/dt je diferenciální změna tohoto směru. Počáteční podmínkou je poloha (souřadnice) a počáteční směr šíření vlnoplochy, resp. svazku paprsků. Takto určenou diferenciální rovnici druhého řádu lze řešit numericky, nejjednodušší je Eulerova metoda. S využitím počítače lze zvolit dostatečně malý krok pro řešení. Rovnice se převede na dvě diferenciální rovnice prvního řádu, které se řeší simultánně v krocích zvolené velikosti Δt . Tvar rovnic:

$$\frac{du}{dt} = f(r), \quad (18)$$

$$\frac{dr}{dt} = u. \quad (19)$$

Počáteční podmínky:

$$u = u_0, \quad (20)$$

$$r = r_0. \quad (21)$$

Výpočet:

$$dr_{i+1} = u_i \cdot \Delta t, \quad (22)$$

$$r_{i+1} = r_i + dr_{i+1}, \quad (23)$$

$$du_{i+1} = f(r_{i+1}) \cdot \Delta t, \quad (24)$$

$$u_{i+1} = u_i + du_{i+1}. \quad (25)$$

Model prof. Böhma

Pro porovnání lze uvést zjednodušený model prof. Böhma [8]

$$\Delta H = 4,65 \cdot 10^{-7} \cdot s^2 \cdot \sin(z) \cdot \left(0,034 + \frac{dT}{dH} \right), \quad (26)$$

kde ΔH je „zdánlivý“ posun cíle ve svislém směru, z – zenitový úhel, dT/dH – vertikální gradient teploty, s – vzdálenost.

Výsledky a jejich porovnání

Pro numerickou simulaci byly zvoleny zjednodušující předpoklady, které představují nejhorší situaci z hlediska měření:

- teplota vzduchu t se mění lineárně s výškou H (nejhorší možný model, neboť teplota bude s výškou pravděpodobně klesat rychleji než lineárně);
- teplota povrchu konstrukce podle předběžných výpočtů by měla být maximálně 120 °C;
- ve výšce 4 m nad konstrukcí bude teplota vzduchu stejná jako v okolí, tj. přibližně $t_0 = 15$ °C;

- rozložení teplot na dráze od přístroje nad okraj konstrukce bude považováno za homogenní, tj. šíření paprsků za přímočaré;
- k nejbližšímu bodu je vodorovná vzdálenost nehomogenním prostředím 13,5 m (vyplývá z rozměrů objektu a rozložení bodů);
- výška terče je 3 m nad konstrukcí, zenitový úhel paprsku při vstupu do nehomogenního prostředí je $z_0 = 95$ gon a výška nad objektem 2 m;
- vlnová délka zdroje záření pro automatické cílení přístroje je 870 nm, vlnová délka pro optická pozorování měřicem je 555 nm.

Tvar funkce pro výpočet teploty

$$t(H) = a + b \cdot H, \quad (27)$$

kde a a b jsou koeficienty určené na základě měření (odhadu) teplot ve dvou různých výškách, H je výška. Výsledky tří uvedených modelů na vzdálenost měření, tj. 13,5 m, jsou v tab. 1. Maximální teplotní gradient je zvolen tak, aby odpovídal maximálnímu předpokládanému gradientu za předpokladu lineární závislosti teploty na výšce. Odchylky značí, že bod je o uvedenou hodnotu výše, než by byl změřen. Veškeré simulace byly provedeny ve volně dostupném matematickém výpočetním programu Scilab v4.1 [9].

Tab. 1. Porovnání výsledků různých modelů*

dT/dH [°C/m]	26,25	20,00	15,00	10,00	5,00	2,00	1,00
Böhm	2,2	1,7	1,3	0,8	0,4	0,2	0,1
Snell	1,8	1,4	1,1	0,8	0,4	0,2	0,1
DRPV	1,8	1,4	1,1	0,8	0,4	0,2	0,1

* odchylky od přímočarého šíření [mm], určeno pro normální tlak a vlhkost, vzdálenost 13,5 m

Výsledkem numerického modelování nejhorší pravděpodobné situace je odůvodněný předpoklad, že vliv vertikální složky refrakce nezatíží výsledky měření větší systematickou chybou než 2 mm. V tabulkách 2 a 3 jsou vedeny výsledky numerické simulace vlivu rozdělení teplot na průchod svazku paprsků nehomogenní atmosférou, v tab. 2 je uveden pro zajímavost vliv na měření pro teplotní gradient 1 °C/m na vzdálenosti od 13,5 m do 2 000 m. Tento teplotní gradient je podle [10] a [11] při běžných geodetických měřeních a při zachování základních zásad maximální.

Tab. 2. Porovnání výsledků různých modelů*

D/m	13,5	20,0	50,0	100,0	500,0	1 000,0	2 000,0
Böhm	0,1	0,2	1,1	4,5	112,1	448,2	1 792,8
Snell	0,1	0,2	1,2	4,9	131,6	587,8	3 135,3
DRPV	0,1	0,2	1,2	4,9	131,7	588,1	3 137,8

* svislé odchylky od přímočarého šíření [mm], určeno pro normální tlak a vlhkost, teplotní gradient 1 °C/m na vzdálenost D

V tab. 3 jsou výsledky simulace na různé vzdálenosti (13,5-1 000 m) a teplotní gradienty v rozmezí 5,00 °C/m-0,25 °C/m.

Tab. 3. Simulace vlivu rozložení teplot na měření zenitového úhlu*

dT/dH /[°C/m]	5	2	1	0,50	0,25
D/m					
10,0	0,2	0,1	0,05	0,03	0,01
20,0	0,9	0,4	0,20	0,10	0,05
30,0	2,1	0,9	0,44	0,23	0,13
50,0	6,0	2,4	1,22	0,62	0,32
100,0	24,9	9,8	4,89	2,45	1,24
200,0	110,7	40,7	19,86	9,84	4,88
500,0	1 106,4	289,5	131,68	63,13	30,93
1 000,0	–	1 539,3	587,95	265,27	126,66

* odchylky [mm] od přímočarého šíření, určeno pro normální tlak a vlhkost, $z = 95$ gon

Závěr

Uvedené modely lze jednoduše hodnotit tak, že model prof. Böhma je použitelný s dostatečnou přesností na kratší vzdálenosti a pro malý gradient teploty (jak je obvyklé při běžných geodetických měřeních). Další dva modely dávají v podstatě stejné výsledky a lze je v tomto ohledu považovat za exaktní a použít pro libovolné atmosférické podmínky. Problémem je zde pouze případ šíření ve směru rovnoběžném s teplotními vrstvami u modelu Snell.

Štroner, M. – Pospíšil, J.: Modelling of Atmospheric Effects on Geodetical Measurements as part of Fire Safety Test in Mokrsko

This paper describes numerical modelling of the effect of the vertical component of atmospheric refraction for an estimate of the systematic error influencing measurement of deflections of structures in a fire safety test in Mokrsko.

Štroner, M. – Pospíšil, J.: Modellierung des Einflusses der Atmosphäre auf geodätische Messungen bei einem Brandversuch in Mokrsk

Im Artikel wird eine numerische Modellierung des Einflusses der vertikalen Komponente der atmosphärischen Refraktion für die Schätzung des auf die trigonometrische Messung der Durchbiegungen der Konstruktion einwirkenden systematischen Fehlers bei einem Brandversuch in Mokrsk vorgestellt.

Výsledkem numerického modelování nejhorší pravděpodobné situace je odůvodněný předpoklad, že vliv vertikální složky refrakce nezatíží výsledky měření při požární zkoušce v Mokrsku větší systematickou chybou než 2 mm.

Článek byl zpracován v rámci řešení VZ 04 MSM 6840770005 „Udržitelná výstavba“.

Literatura

- [1] Wald, F.: Požární zkouška na experimentálním objektu v Mokrsku (program zkoušky 18.9.2008). Praha: Česká technika – Nakladatelství ČVUT, 2008, 30 s. ISBN 978-80-01-04146-8.
- [2] Pospíšil, J. – Štroner, M.: Moderní geodetické technologie a přístroje pro měření délek a úhlů. Stavební obzor, **14**, 2005, č. 9, s. 279-286. ISSN 1210-4027.
- [3] www.trimble.com, 25.9.2008
- [4] Horák, Z. – Krupka, F. – Šindelář, V.: Technická fyzika. Praha, SNTL 1961, 3. vyd.
- [5] Štroner, M.: Metody výpočtu indexu lomu vzduchu. Jemná mechanika a optika, **45**, 2000, č. 7-8, s. 224-228. ISSN 0447-6441.
- [6] Kravcov, Ju. – Orlov, Ju.: Geometričeskaja optika neodnorodnych sred. Moskva, Nauka 1980, 304 s.
- [7] Mikš, A. – Pospíšil, J.: Počítačová simulace vlivu atmosféry na geodetická měření. Stavební obzor, **7**, 1998, č. 7, s. 220-225. ISSN 1210-4027.
- [8] Hauf, M. a kol.: Geodézie – technický průvodce. Praha, SNTL 1982, 544 s.
- [9] www.scilab.org, 23.3.2008
- [10] Patova, Z. F. – Maslič, D. I.: O stratifikaci prizemného trechmetrovogo sloja vzducha. Geodezija, kartografija i aerofotogramka, 1979, č. 30, s. 146-151.
- [11] Zeman, J.: Experimentální studie vlivu mikroklimatu na přesnou nivelaci. [Habilitation práce], VUT, Brno, 1960.



ČVUT v Praze
Fakulta stavební



Katedra betonových a zděných konstrukcí

pořádá

5. mezinárodní konferenci

Fibre Concrete 2009

Technologie, navrhování, aplikace

17. – 18. září 2009, Praha

Tematické okruhy konference:

- Výzkum
- Technologie
- Navrhování
- Aplikace
- Vláknobetonu a udržitelný rozvoj

<http://concrete.fsv.cvut.cz/fc2009>

STAVEBNÍ OBZOR

ROČNÍK 18 ČÍSLO 3/2009

Navigace v dokumentu

OBSAH

Pavlík, Z. – Vejmelková, E. – Pavlíková, M. – Fiala, L. – Černý, R. Vliv vlhkosti na tepelnou vodivost vápenných kompozitů	65
Kočí, V. – Maděra, J. – Černý, R. – Rovnaníková, P. Porovnání sanační omítky s omítkou vápennou na obvodovém plášti historických budov	72
Urban, R. – Vráblík, L. – Štroner, M. Etapové měření tvaru nosné konstrukce mostu přes Labe v Mělníku	79
Urban, R. – Štroner, M. Posouzení modelů pro potlačení distorze objektivu – teorie	85
Urban, R. – Štroner, M. Posouzení modelů pro potlačení distorze objektivu – experiment	90

OBSAH

Pavlík, Z. – Vejmelková, E. –
Pavlíková, M. – Fiala, L. – Černý, R.

**Vliv vlhkosti na tepelnou
vodivost vápenných
kompozitů 65**

Kočí, V. – Maděra, J. – Černý, R.
– Rovnaníková, P.

**Porovnání sanační
omítky s omítkou
vápennou
na obvodovém plášti
historických budov 72**

Urban, R. – Vráblík, L. – Štroner, M.

**Etapové měření
tvaru nosné
konstrukce mostu
přes Labe
v Mělníku 79**

Urban, R. – Štroner, M.

**Posouzení modelů
pro potlačení distorze
objektivu
– teorie 85**

Urban, R. – Štroner, M.

**Posouzení modelů
pro potlačení
distorze objektivu
– experiment 90**

CONTENT

Pavlík, Z. – Vejmelková, E. –
Pavlíková, M. – Fiala, L. – Černý, R.

**Moisture Effect on Thermal
Conductivity of Lime-Based
Composite Materials 65**

Kočí, V. – Maděra, J. – Černý, R.
– Rovnaníková, P.

**Comparison of Sanitation
Plaster with Lime Plaster
on the External Skin
of Historical
Buildings 72**

Urban, R. – Vráblík, L. – Štroner, M.

**Stage Measurement
of the Shape of the Carrying
Structure of the Bridge
across the Elbe River
near Mělník 79**

Urban, R. – Štroner, M.

**Assessment of Models
to Combat Lens
Distortion
– Theory 85**

Urban, R. – Štroner, M.

**Assessment of Models
of Suppressing
Lens Distortion
– Experiment 90**

INHALT

Pavlík, Z. – Vejmelková, E. –
Pavlíková, M. – Fiala, L. – Černý, R.

**Der Einfluss der Feuchtigkeit
auf die Wärmeleitfähigkeit
von Kalk-Kompositen ... 65**

Kočí, V. – Maděra, J. – Černý, R.
– Rovnaníková, P.

**Vergleich eines
Sanierungsputzes
mit einem Kalkputz an der
Außenwand historischer
Gebäude 72**

Urban, R. – Vráblík, L. – Štroner, M.

**Etappenweise Messung
der Tragkonstruktion
einer Brücke
über die Elbe
in Mělník 79**

Urban, R. – Štroner, M.

**Beurteilung von Modellen
zur Unterdrückung der
Distorsion von Objektiv
– Theorie 85**

Urban, R. – Štroner, M.

**Beurteilung von Modellen
zur Unterdrückung
der Objektivdistorsion
– Versuch 90**

REDAKČNÍ RADA

Předseda:

prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.

Místopředseda:

doc. Ing. Alois MATERNA, CSc., MBA

Členové:

doc. Ing. Jiří BROŽOVSKÝ, Ph.D.

prof. Ing. Milena CÍSLEROVÁ, CSc.

prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.

prof. Ing. Rostislav DROCHYTKA, CSc.

doc. Ing. Vladislav HORÁK, CSc.

prof. Ing. Milan JIRÁSEK, DrSc.

doc. Ing. Marcela KARMAŽÍNOVÁ, CSc.

doc. Ing. Jana KORYTÁROVÁ, Ph.D.

doc. Ing. Jan KRŇANSKÝ, CSc.

doc. Ing. Karel KUBEČKA, Ph.D.

prof. Ing. arch. Alois NOVÝ, CSc.

prof. Ing. Jiří POSPÍŠIL, CSc.

prof. Ing. Jaromír ŘÍHA, CSc.

prof. RNDr. Ing. Petr ŠTĚPÁNEK, CSc.

prof. Ing. arch. Petr URLICH, CSc.

Ing. Renata ZDARÍLOVÁ, Ph.D.

STAVEBNÍ OBZOR, odborný lektorovaný měsíčník, vydává Fakulta stavební ČVUT Praha společně s Fakultou stavební VUT Brno, Fakultou stavební VŠB TU Ostrava a Českou komorou autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě. Řídí redakční rada, vedoucí redaktorka Marcela Klímová. Adresa redakce: Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel.: 224 354 596, klimova@fsv.cvut.cz, <http://www.fsv.cvut.cz/obzor>. Vychází každý měsíc kromě července a srpna, cena za výtisk je 40 Kč včetně DPH (+ poštovné a balné). Objednávky odběru i reklamace přijímá Ing. Milan Gattringer, MG DTP, Borovanská 3388, 143 00 Praha 4, tel./fax: 241 770 220, e-mail: mgdtp@volny.cz. Odběr je možné zrušit až po vyčerpání zaplaceného předplatného. Inzerce adresujte redakci. Technická redakce a realizace: Ing. Milan Gattringer. Podávání novinových zásilek povoleno Ředitelstvím pošt Praha, č. j. NP 144/1994, ze dne 21. 10. 1994. Do sazby 13. 2. 2008. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

Vliv vlhkosti na tepelnou vodivost vápenných kompozitů

*Ing. Zbyšek PAVLÍK, Ph.D.
Ing. Eva VEJMELOVÁ, Ph.D.
Ing. Milena PAVLÍKOVÁ, Ph.D.
Ing. Lukáš FIALA
prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.
ČVUT – Fakulta stavební, Praha*

Článek se zabývá experimentální a teoretickou analýzou vlivu vlhkosti na tepelnou vodivost kompozitních materiálů na bázi vápenného hydrátu. Nejprve byla impulsní metodou na suchých až po vodou plně nasycených vzorcích měřena závislost tepelné vodivosti jednotlivých materiálů na nárůstu vlhkosti. Získaná experimentální data byla poté porovnána se základními teoretickými modely, přičemž bylo zjištěno, že splňují podmínky Wienerových i Hashinových-Shtrikmanových mezí. Pro analýzu experimentálních dat pomocí homogenizačních metod vycházejících z teorie efektivního média byly použity homogenizační vztahy navržené Lichteneckerem, Polderem a van Santenem, Looyengou, Dobsonem. Na základě porovnání experimentálních a vypočtených závislostí tepelné vodivosti studovaných materiálů na vlhkosti bylo zjištěno, že v nejlepší shodě s naměřenými daty byl Lichteneckerův směšovací model.

Úvod

Vnější pláště budov jsou neustále ovlivňovány změnami vnitřních a vnějších teplot, tlaku vzduchu a vlhkosti. Tyto změny vedou k výměně energie a hmoty (vduch, voda) mezi vnitřním a vnějším prostředím přes jejich obvodové pláště. Stavební fyzici nazývají tyto změny „transportem tepla, vzduchu a vlhkosti“ ve stavebních materiálech a jejich vícevrstvých konstrukcích [1]. Znalost těchto transportních procesů je důležitá pro stavební projektanty a stavitele zejména z pohledu ekonomického a z hlediska odhadu trvanlivosti konstrukce, kdy dlouhodobé chování, především obvodových konstrukcí, limituje celkovou životnost budov.

Při návrhu obvodových plášťů budov jsou brány v potaz především tepelné parametry aplikovaných materiálů, přičemž je nezbytné si uvědomit, že obsahují velké množství vzduchových pórů, které mohou být ve specifických případech působení vnějších podmínek zaplněny vodou. Přestože každý katalogový list výrobce stavebních materiálů obsahuje informace o tepelné vodivosti, a někdy také o měrné tepelné kapacitě, uvádí většinou jen hodnoty pro zcela suché materiály. S takovými materiály se však v reálných podmín-

kách na stavbě nesetkáme. Také materiály ve stavebních konstrukcích již zabudované a vystavené klimatickému zatížení vykazují závislost svých vlastností na změnách vlhkosti. Jestliže je materiál vlhký, teplo transportované vlhkostí v pórech přispívá k celkovému tepelnému toku materiálem. To je způsobeno vysokou tepelnou vodivostí vody v hodnotě 0,60 W/m K [2]. Tato hodnota je přibližně dvacetkrát vyšší než hodnota tepelné vodivosti vzduchu. Proto, je-li voda přítomna v porézním prostoru materiálů, je hodnota tepelné vodivosti porézního materiálu závislá na poměru obsahu vzduchu a vody v pórech a množství pevné matrice [3]. Z toho je zřejmé, že stanovení tepelné vodivosti v závislosti na obsahu vlhkosti je velice důležité a pro aplikaci stavebních materiálů zcela nezbytné.

Zároveň je třeba si uvědomit, že experimentální stanovení tepelné vodivosti v závislosti na vlhkosti (zejména pro nehomogenní materiály) je velmi časově a finančně náročné. Proto se v současném stavebním výzkumu vyvíjejí a hledají nové a progresivnější způsoby jejího stanovení.

V tomto článku se zabýváme aplikací homogenizační teorie pro stanovení funkce tepelné vodivosti vápenných kompozitů v závislosti na vlhkosti. Experimentálně určené hodnoty tepelné vodivosti jsou analyzovány různými typy homogenizačních vztahů, které byly původně odvozeny pro aplikaci v teorii elektromagnetického pole. Konkrétně je využito modelů Lichteneckera [4], Poldera a van Santena [5], Looyengy [6], čtyřfázového modelu Dobsona [7] s přihlídnutím k limitním Wienerovým [8] a Hashinovým-Shtrikmanovým mezím [9].

Experimentální metody

Obsah vlhkosti stejně jako tepelné vlastnosti porézních stavebních materiálů závisí na jejich porézní struktuře. U všech studovaných materiálů bylo tedy nutné určit základní materiálové charakteristiky, tj. objemovou hmotnost ρ_b [kg m⁻³], hustotu matrice ρ_{mat} [kg m⁻³] a celkovou otevřenou pórovitost ψ [%]. Objemová hmotnost byla stanovena gravimetricky. Hustota matrice byla změřena automatickým héliovým pyknometrem Pycnomatic ATC s plně automatizovanou kontrolou o přesnosti $\pm 0,01$ °C a víceobjemovým analyzátozem hustoty. Celková otevřená pórovitost byla změřena na principu vakuové nasákavosti. Měření základních materiálových parametrů byla realizována na vzorcích o rozměrech 40x40x20 mm.

Teplná vodivost je společně s teplotní vodivostí a měrnou tepelnou kapacitou nejdůležitějším materiálovým parametrem popisujícím transport tepla materiálem. Pro její experimentální stanovení je možné využít celou řadu metod, které můžeme rozdělit na stacionární a transienční. Metoda měření musí být vhodně zvolena podle následujících kritérií [10]: možná velikost a tvar vzorků, teplotní rozsah měření (individuální pro jednotlivé metody), rozsah hodnot tepelné vodivosti (izolační materiály nebo pěny s nízkou tepelnou vodivostí vyžadují jiné metody než kovy s vysokou tepelnou vodivostí).

Pro experimenty prezentované v této práci jsme použili přístroj ISOMET 2104 firmy Applied Precision, který je typickým představitelem impulsních metod měření tepelné vodivosti. Toto multifunkční zařízení je vhodné pro měření tepelné vodivosti, teplotní vodivosti a měrné tepelné kapacity. Je vybavené několika typy sond, tj. jehlovými pro měření vlastností vláknitých a měkkých materiálů a plošnými pro měření vlastností tvrdých materiálů. Pro naše měření jsme použili plošné sondy.

Měřicí zařízení je založeno na dynamické metodě měření, což umožňuje redukovat dobu měření tepelné vodivosti na 10-16 minut. Měření je založeno na analýze odezvy tepelných impulsů vyslaných do materiálu. Tepelným zdrojem v sondě je rezistor, který je v přímém kontaktu s povrchem vzorku. Pro efektivní komunikaci se zařízením a recalibraci sond pomocí referenčního materiálu je v zařízení k dispozici vestavěný systém menu se čtyřřádkovým abecedně číslovaným displejem. Kalibrační data, uložená ve vnitřní paměti, zajišťují vyměnitelnost sond bez ovlivnění přesnosti [11], která je pro tepelnou vodivost u přístroje ISOMET 2104 rovna 3 % z odečtené hodnoty +0,001 W/m K.

Měření se prováděla v laboratorních podmínkách při teplotě 23 ± 1 °C. Vzorky byly nejdříve vysušeny, a poté vystaveny po přesně stanovenou dobu působení vody až k nasycení na požadovanou úroveň. Rozměry vzorků použitých pro měření tepelné vodivosti byly 70x70x70 mm.

Materiály a vzorky

Studována byla tepelná vodivost pěti typů kompozitních materiálů na bázi vápenného hydrátu. Jde o zcela nové materiály, které by měly nalézt uplatnění při rekonstrukci a sanaci historických budov. Chemická analýza materiálů používaných v dřívějších dobách na omítky historických budov vykazuje obsah produktů vzniklých reakcí páleného vápna a pucolánových či hydraulických příměsí. Jak bylo prokázáno, pucolánové příměsí přispívají pozitivně na vlastnosti vápenného pojiva [12], a proto byl do nově navrhovaných směsí S1-S4 přidán metakaolin jako částečná pucolánové aktivní náhrada vápenného pojiva. Pátá omítková směs byla vyrobena jako referenční, bez přidání metakaolinu.

Pro výrobu směsí (tab. 1) byly použity čtyři druhy vápenného hydrátu CL 90, které byly vyrobeny ve vápenkách Mokrá, Štramberk, Vitošov a Čertovy schody. Metakaolin MEFISTO K05 vyrobily České lupkové závody, Nové Strašecí. Důvodem jeho přidání do omítkových směsí je předpokládán nárůst pevnosti v tlaku a ohybu, nárůst mrazuvzdornosti, snížení absorpce vody a snížení výkvětů solí. Velikost částic použitého metakaolinu se pohybuje mezi 3-5 μm. Poslední složkou je kamenivo složené z křemenných a čedičových písků (tab. 2).

Příprava směsí omítek probíhala v laboratorní míchačce se zrychlenou rotací po dobu tří minut. Po namíchání byly směsi zhutněny na vibračním stolku a odlity do standardních

forem. Po dvou dnech byly zbaveny forem a umístěny po dobu 28 dní do prostředí s vysokou relativní vlhkostí.

Tab. 1. Složení vápenných kompozitů

Typ směsi	Původ vápenného hydrátu CL 90	Hmotnost [kg]			Množství vody na 10 kg směsi
		CL 90	metakaolin	kamenivo	
S1	Mokrá	2,08	0,48	7,5	2,5
S2	Štramberk	2,08	0,48	7,5	2,5
S3	Vitošov	2,08	0,48	7,5	2,5
S4	Čertovy schody	2,08	0,48	7,5	2,5
S5	Mokrá	2,50	0,00	7,5	2,5

Tab. 2. Zastoupení jednotlivých frakcí kameniva

Písek	Frakce	[%]
křemenný	PR 33C	25
	PR 33H	30
	PR 1-2	25
	PR 1,6-4	10
čedičový	PDK 2/4	10

Homogenizace

Ve smyslu homogenizační teorie, založené na principu efektivního média, je porézní materiál považován za směs tří fází – pevné, kapalně a plynné [13] (ve čtyřfázovém systému se uvažuje ještě fáze čtvrtá – vázaná voda), ze kterých se skládá pevná matrice a porézní struktura materiálů. Pevná fáze je tvořena materiály matrice, kapalná je reprezentována vodou a plynná vzduchem. V případě suchého materiálu jsou přítomny pouze pevná a plynná fáze. Objemové množství vzduchu porézního tělesa je stanoveno měřením celkové otevřené porozity. V případě, že dojde k penetraci vody do struktury materiálu, dojde k zaplnění části pórů vodou. Chceme-li tedy ve smyslu homogenizační teorie stanovit hodnotu tepelné vodivosti celého materiálu (tj. efektivní tepelné vodivosti), je třeba znát tepelnou vodivost jednotlivých složek, zjednodušeně složek matrice, vody a vzduchu. V případě vápenných omítek se pevná fáze skládá z produktů společné hydratace vápenného hydrátu CL 90, metakaolinu a kameniva.

Homogenizace byla provedena ve dvou základních krocích. Nejprve bylo nezbytné stanovit tepelnou vodivost pevné matrice materiálů. Toho bylo dosaženo aplikací směšovacího pravidla navrženého Rayleighem [14]

$$\frac{\lambda_M - 1}{\lambda_M + 2} = f_s \left(\frac{\lambda_s - 1}{\lambda_s + 2} \right) + f_c \left(\frac{\lambda_c - 1}{\lambda_c + 2} \right) + f_b \left(\frac{\lambda_b - 1}{\lambda_b + 2} \right), \quad (1)$$

kde λ_M je tepelná vodivost pevné matrice, λ_s tepelná vodivost křemenného kameniva (3,5 W/m K), λ_c tepelná vodivost hydratovaného vápna – uhličitanu vápenatého (5,5 W/m K), λ_b tepelná vodivost čedičového kameniva (3,0 W/m K), f_s objemové zastoupení křemenného kameniva ve struktuře vápenného kompozitu, f_i objemové zastoupení uhličitanu vápenatého a f_b objemové zastoupení čedičového kameniva. Hodnoty tepelné vodivosti jednotlivých složek byly převzaty z knihy [2].

Další krok při aplikaci homogenizační teorie představuje stanovení efektivní tepelné vodivosti celého materiálu, tj. pevné matrice, vzduchu a vody. Jak bylo prokázáno, efektivní tepelná vodivost vícefázového kompozitu λ_{eff} nemůže překročit hraniční hodnoty dané tepelnou vodivostí a objemovým množstvím jednotlivých složek. Horní meze je dosaženo v systému skládajícím se z paralelních vrstev uspořádaných podélně k vektoru tepelného toku. Spodní meze je dosaženo při podobném uspořádání vrstev kolmo na tepelný tok. Tyto hraniční případy jsou obvykle nazývány Wienerovy meze [8] a jsou vyjádřeny vztahy

$$\lambda_{\text{eff}} = \frac{1}{\frac{f_1}{\lambda_1} + \frac{f_2}{\lambda_2} + \frac{f_3}{\lambda_3}}, \quad (2)$$

$$\lambda_{\text{eff}} = f_1\lambda_1 + f_2\lambda_2 + f_3\lambda_3, \quad (3)$$

kde rovnice (2) popisuje dolní a rovnice (3) horní mez funkce efektivní tepelné vodivosti. Ve vztazích (2) a (3) je f_j objemové zastoupení jednotlivých složek kompozitu a λ_j jejich tepelná vodivost.

Dalším hraničním modelem jsou Hashinovy-Shtrikmanovy meze, které byly původně odvozeny pro stanovení efektivní magnetické permeability makroskopicky homogenních a izotropních vícefázových systémů. V publikaci [9] došli autoři díky matematické analogii k závěru, že odvozené meze jsou platné i pro permitivitu, elektrickou vodivost, tepelnou vodivost a teplotní vodivost materiálů.

Hashinovy-Shtrikmanovy meze byly původně odvozeny pouze pro dvoufázový systém. Jejich rozšíření na třífázové a čtyřfázové systémy je však triviální. Spodní mez efektivní tepelné vodivosti může být vyjádřena jako

$$\lambda_d = \lambda_1 + \frac{3\lambda_1}{\frac{1}{\sum_{i=2}^n f_i \frac{\lambda_i - \lambda_1}{2\lambda_1 + \lambda_i}} - 1}, \quad (4)$$

horní mez jako

$$\lambda_n = \lambda_n + \frac{3\lambda_n}{\frac{1}{\sum_{i=1}^{n-1} f_i \frac{\lambda_i - \lambda_n}{2\lambda_n + \lambda_i}} - 1}. \quad (5)$$

V rovnicích (4) a (5) jsou $f_1 - f_n$ objemová zastoupení jednotlivých fází ($f_1 + f_2 + \dots + f_n = 1$) a $\lambda_1 - \lambda_n$ jejich tepelné vodivosti pro něž platí $\lambda_1 < \lambda_2 < \dots < \lambda_n$.

Homogenizaci fází vedoucí ke stanovení funkcí efektivní tepelné vodivosti je možné provést mnoha způsoby, přičemž všechny výsledné hodnoty se musí nacházet mezi Wienerovými a Hashinovými-Shtrikmanovými mezemi. V této práci jsme pro získání funkcí efektivní tepelné vodivosti v závislosti na vlhkosti použili homogenizačních modelů Lichteneckera [4], Poldera van Santena [5] odvozeného z Bruggemanova původního modelu [15] a Dobsonova čtyřfázového modelu [7], který zahrnuje také vliv tepelné vodivosti vázané vody na celkovou efektivní tepelnou vodivost studova-

ných kompozitů. Všechny uvedené modely vědci v minulosti úspěšně aplikovali při homogenizaci převážně elektrických vlastností – permitivity materiálů. Je nutné zdůraznit, že jsou použitelné pro popis chování materiálů v dostatečně širokém spektru obsahu vlhkosti.

Model navzájem Lichteneckerem [4]

$$\lambda_{\text{eff}}^k = \sum f_j \lambda_j^k \quad (6)$$

představuje přímé zobecnění Wienerových mezí. Parametr k , uvedený v rovnici (6), se mění v intervalu $[-1, 1]$, přičemž po dosažení krajních hodnot intervalu získáme paralelní a sériovou Wienerovu mez. Přestože parametr k popisuje přechod mezi anizotropií systému z hodnoty $k = -1$ do hodnoty $k = 1$, může být vztah navržený Lichteneckerem použit také pro modelování tepelné vodivosti izotropních kompozitů. Některé modely jsou odvozeny od modelu Lichteneckera, např. v literatuře se setkáme s celou řadou aplikací s různými hodnotami parametru k . Například Looyenga [6] ve své práci uvažuje parametr $k = 1/3$.

Polder a van Santen [5] rozšířili původní Bruggemanův vztah [15] o eliptické inkluze a formulovali vztahy

$$\lambda_{\text{eff}} = \lambda_M + \sum f_j (\lambda_j - \lambda_M) \cdot \frac{3\lambda_{\text{eff}}}{2\lambda_{\text{eff}} + \lambda_j}, \quad (7)$$

$$\lambda_{\text{eff}} = \lambda_M + \sum f_j (\lambda_j - \lambda_M) \cdot \frac{5\lambda_{\text{eff}} + \lambda_j}{3\lambda_{\text{eff}} + 3\lambda_j}, \quad (8)$$

$$\lambda_{\text{eff}} = \lambda_M + \sum f_j (\lambda_j - \lambda_M) \cdot \frac{2\lambda_j + \lambda_{\text{eff}}}{3\lambda_j}, \quad (9)$$

Tyto vztahy zohledňují vliv uspořádání jednotlivých složek kompozitů v jeho porézni struktuře. Vztah (7) byl odvozen pro kulové složky kompozitu, vztah (8) pro jehlicové inkluze a vztah (9) pro deskové uspořádání struktury kompozitů.

Kvůli velkému rozdílu mezi tepelnou vodivostí volné a vázané vody upravil Dobson [7] Lichteneckerovu rovnici (6) a dospěl ke vztahu

$$\theta = \frac{\lambda_{\text{eff}}^\beta - \theta_{bw} (\lambda_{bw}^\beta - \lambda_{jw}^\beta) - (1 - \psi) \lambda_s^\beta - \psi \lambda_a^\beta}{\lambda_{fw}^\beta - \lambda_a^\beta}, \quad (10)$$

kde θ_{bw} je množství vázané vody na stěny pórů [m^3/m^3], λ_{bw} tepelná vodivost vázané vody (podle [16] může být tepelná vodivost vázané vody považována za ekvivalentní tepelné vodivosti ledu $\lambda = 2,4 \text{ W/m K}$ při $-20 \text{ }^\circ\text{C}$), λ_{jw} tepelná vodivost volné vody $0,6 \text{ W/m K}$, λ_a tepelná vodivost vzduchu $0,026 \text{ W/m K}$, ψ celková otevřená pórovitost, β empirický parameter.

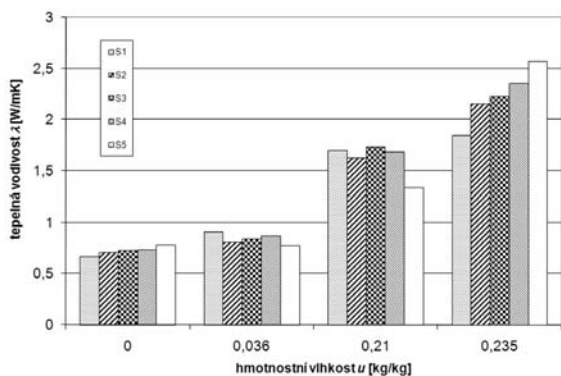
Experimentální výsledky a diskuze

Základní materiálové parametry vápenných omítek jsou uvedeny v tab. 3. Je zřejmé, že pouze vlastnosti materiálu S1 vykazují proti ostatním jisté rozdíly. Všechny materiály však vykazují vysoké hodnoty celkové otevřené pórovitosti, což je dobrým předpokladem pro jejich aplikaci při rekonstrukci a restauraci historických objektů.

Tab. 3. Parametry vápenných kompozitů

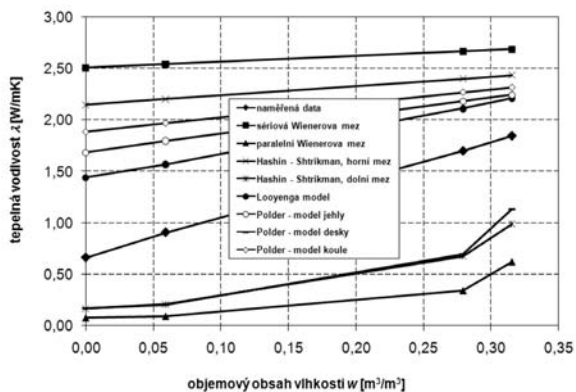
Materiál	r	r_{mat}	y [%]
	[kg m ⁻³]		
S1	1 637	2 478	33,9
S2	1 716	2 669	35,7
S3	1 756	2 582	35,4
S4	1 767	2 638	33,2
S5	1 745	2 663	34,5

Experimentálně naměřené výsledky tepelné vodivosti v závislosti na obsahu vlhkosti jsou uvedeny v obr. 1. Je zřejmý značný vliv obsahu vlhkosti na tepelnou vodivost, což je v souladu s relativně vysokou otevřenou pórovitostí materiálů, přičemž tepelná vodivost vzorků plně nasycených vodou je přibližně třikrát vyšší než vzorků suchých. Funkce

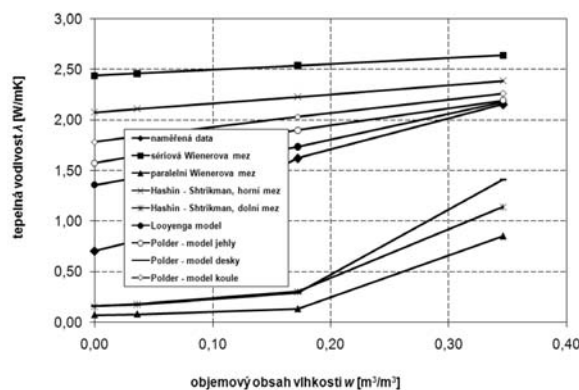


Obr. 1. Experimentálně stanovená tepelná vodivost materiálů v závislosti na obsahu vlhkosti

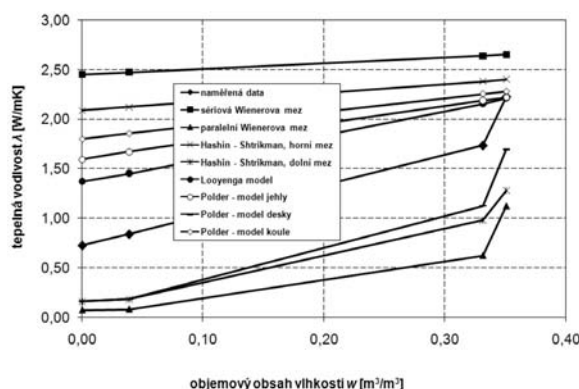
efektivní tepelné vodivosti v závislosti na obsahu vlhkosti jednotlivých materiálů, vypočítané pomocí homogenizačních modelů, jsou patrné z obr. 2-obr. 6. Pro ověření správnosti výsledků jsou zároveň prezentovány také Wienerovy a Hashinovy-Shtrikmanovy meze. Je patrné, že naměřená i modelovaná data leží mezi limitními mezemi, což potvrzuje základní přesnost provedených experimentů i výpočtů. Z grafů jsou patrné i výrazné rozdíly mezi naměřenými daty a výsledky jednotlivých homogenizačních modelů. Největší rozdíly mezi experimentálními a modelovanými daty jsou patrné při nízkém obsahu vlhkosti, zatímco při vlhkosti vyšší jsou v lepší shodě. Rozdíly při nižší vlhkosti mohou být způsobeny nepřesnými hodnotami tepelné vodivosti složek



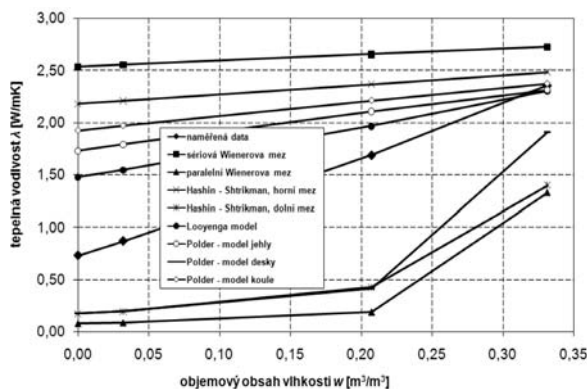
Obr. 2. Naměřená a modelovaná tepelná vodivost omítky S1



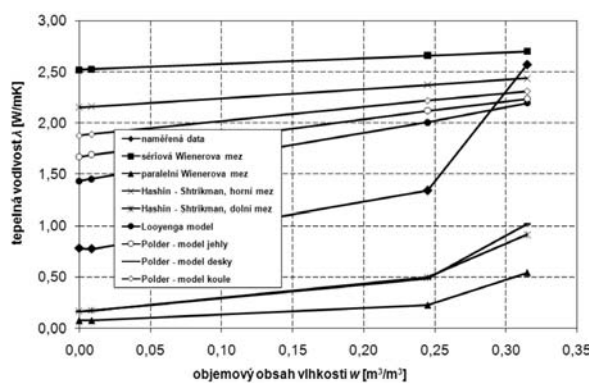
Obr. 3. Naměřená a modelovaná tepelná vodivost omítky S2



Obr. 4. Naměřená a modelovaná tepelná vodivost omítky S3



Obr. 5. Naměřená a modelovaná tepelná vodivost omítky S4

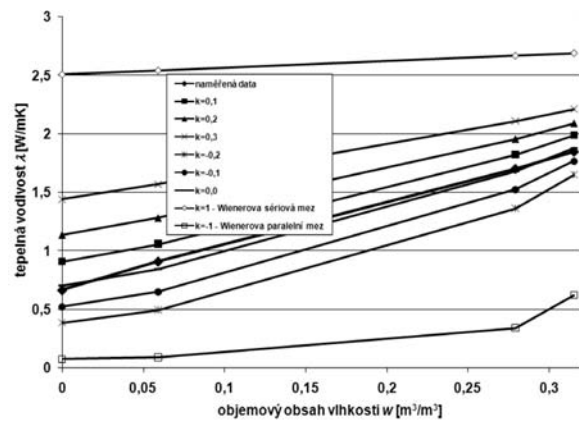


Obr. 6. Naměřená a modelovaná tepelná vodivost omítky S5

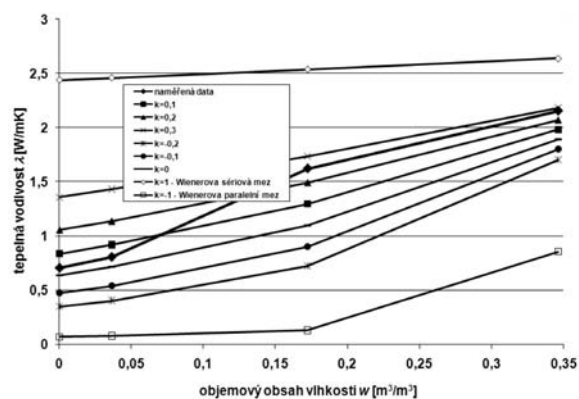
matrice materiálu převzatými z knihy [2]. Lepší shodu výsledků při vyšší vlhkosti je možné přisoudit dominantnějšímu efektu tepelné vodivosti vody na tepelnou vodivost celého materiálu.

V případě aplikace modelu Poldera a van Santena je dominantní vliv předpokládaného tvaru inkluzí na získané výsledky. Nejvyšší hodnoty tepelné vodivosti systematicky vykazoval model s kulovými a jehlicovými inkluzemi, nejnižší hodnoty model s deskovými inkluzemi. Tyto výsledky jsou logické, protože deskové inkluze musí vést k výsledkům bližším paralelnímu modelu [17] (vzato z pohledu směšování tepelných vodivostí v rovnicích (2) a (3)), pozorovali jsme je již v předchozích pracích [13], [17]. Naměřená data se vždy nacházela mezi výpočty kulových a deskových modelů Poldera a van Santena. Velmi zajímavé je zjištění, že Hashinovy-Shtrikmanovy meze při nižší vlhkosti dávají téměř stejné výsledky jako deskový model Poldera a van Santena.

Výsledky získané aplikací Lichteneckerova modelu jsou prezentovány na obr. 7-obr. 11. Volbou vhodné hodnoty koeficientu k je možné dosáhnout dostatečného souladu s naměřenými daty. Ve většině případů volba $k \rightarrow 0$ vedla k nejlepším výsledkům (pro $k \rightarrow 0$ platí $\ln \lambda_{\text{eff}} = \sum_{i=2}^n f_i \ln \lambda_i$). Výsledky

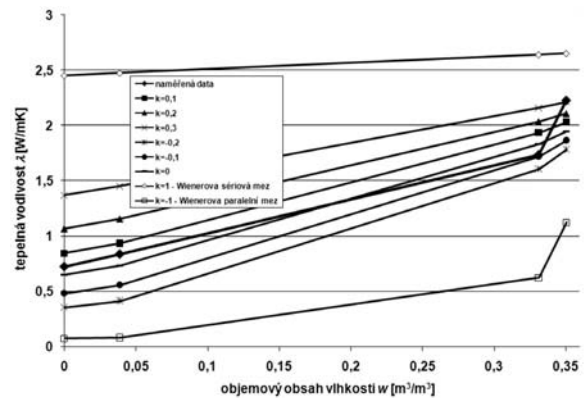


Obr. 7. Tepelná vodivost omítky S1 vypočtená Lichteneckerovým modelem

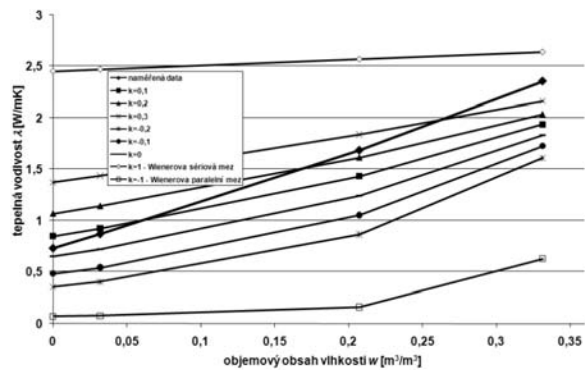


Obr. 8. Tepelná vodivost omítky S2 vypočtená Lichteneckerovým modelem

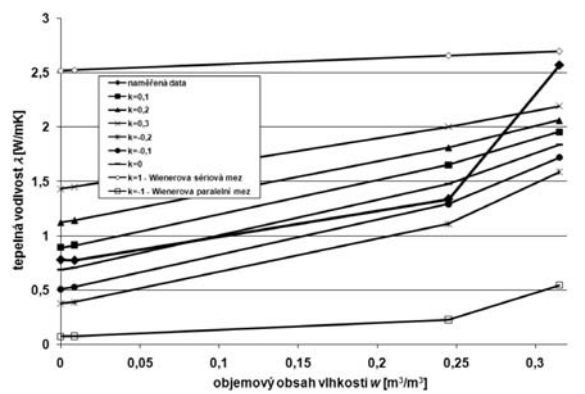
získané Dobsonovým modelem jsou na obr. 12-obr. 16, kde w_s je množství vázané vody [m^3/m^3] a β empirický parametr. Je zřejmé, že tepelná vodivost a množství vázané vody má na výsledky Dobsonova modelu výrazný vliv. Tento model ovšem nevykazuje v porovnání s třífázovými modely



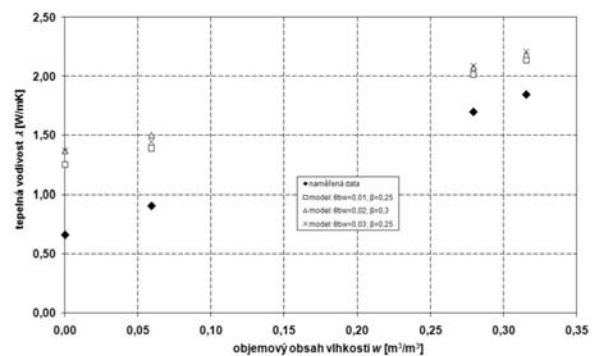
Obr. 9. Tepelná vodivost omítky S3 vypočtená Lichteneckerovým modelem



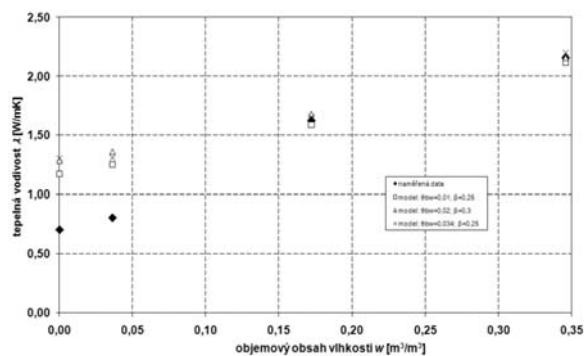
Obr. 10. Tepelná vodivost omítky S4 vypočtená Lichteneckerovým modelem



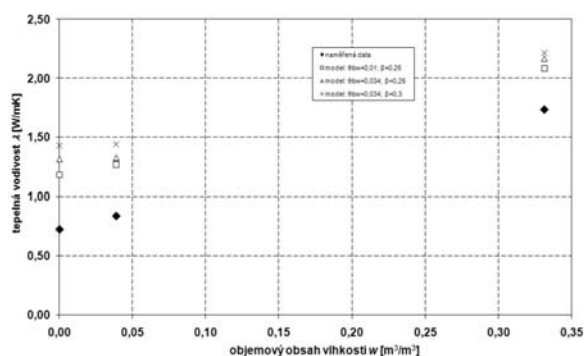
Obr. 11. Tepelná vodivost omítky S5 vypočtená Lichteneckerovým modelem



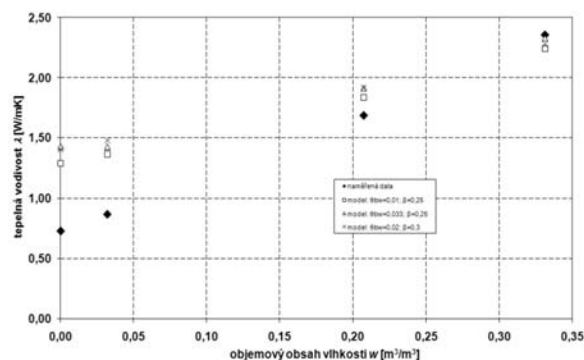
Obr. 12. Naměřená a Dobsonovým modelem vypočtená tepelná vodivost omítky S1



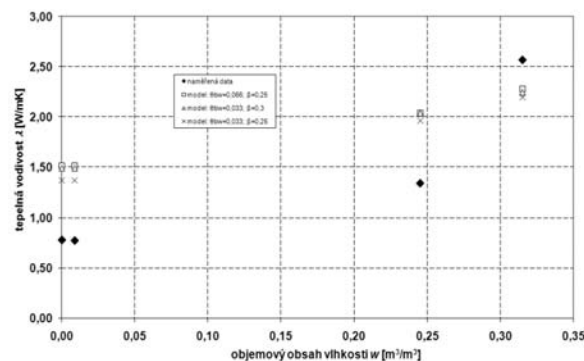
Obr. 13. Naměřená a Dobsonovým modelem vypočtená tepelná vodivost omítky S2



Obr. 14. Naměřená a Dobsonovým modelem vypočtená tepelná vodivost omítky S3



Obr. 15. Naměřená a Dobsonovým modelem vypočtená tepelná vodivost omítky S4



Obr. 16. Naměřená a Dobsonovým modelem vypočtená tepelná vodivost omítky S5

výrazné zlepšení. Systematicky lepší shodu s experimentálními daty je možné opět pozorovat při vyšším obsahu vlhkosti.

Závěr

Experimentální a teoretické výsledky zde prezentované ukázaly, že teorii efektivního média je možné úspěšně aplikovat na stanovení závislosti tepelné vodivosti na obsahu vlhkosti vápenných omítek. Lichteneckerův model vykazoval pro všech pět materiálů dosti vysokou přesnost, a to dokonce vyšší než čtyřfázový model navržený Dobsonem. Modely Poldera a van Santena nebyly v případě vápenných omítek tak úspěšné jako v případě jiných materiálů.

Přes relativně dobré výsledky aplikace homogenizačních modelů pro odhad tepelné vodivosti je třeba zmínit fakt, že teoretické pozadí problému ještě není dostatečně prozkoumáno, aby bylo možné učinit odpovědné závěry. Výsledky nelze zatím přímo aplikovat na další stavební materiály a je třeba v této oblasti podniknout další výzkum.

Článek vznikl za podpory projektu FT-TA4/070 MPO ČR.

Literatura

- [1] Kumaran, M. K.: IEA ANNEX 24, Heat, Air and Moisture Transfer in Insulated Envelope Parts, Final Report, 1996, Volume 3, Task 3: Material Properties.
- [2] Lide, D. R. (ed.): CRC Handbook of Chemistry and Physics, 79th Edition. Boca Raton, CRC Press 1998.
- [3] Zuda, L. – Pavlík, Z. – Rovnaníková, P. – Bayer, P. – Černý, R.: International Journal of Thermophysics 27, 10765, 2006.
- [4] Lichtenecker, K.: Physikalische Zeitschrift 27, 115, 1926.
- [5] Polder, D. – van Santen, J. H.: Physica 12, 257, 1946.
- [6] Looyenga, H.: Physica 31, 1965.
- [7] Dobson, M. C. – Ulaby, F. T. – Hallikainen, M. T. – El-Rayes, M. A.: IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing GE 23, 35, 1985.
- [8] Wiener, O.: Abhandlungen der Mathematischen-Physischen Klasse der Königlichen Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften 32, 509, 1912.
- [9] Hashin, Z. – Shtrikman, S.: Journal of Applied Physics 33, 3125, 1962.
- [10] Vimrová, A. – Toman, J. – Vejmelková, E.: Complex System of Methods for Directed Design and Assessment of Functional Properties of Building Materials. CTU Prague: 55, 2007.
- [11] Tesárek, P. – Vejmelková, E. – Toman, J. – Vimrová, A. – Černý, R.: Complex System of Methods for Directed Design and Assessment of Functional Properties of Building Materials. CTU Prague: 81, 2007.
- [12] Rojas, M. F. – Cabrera, J.: Cement and Concrete Research 32, 133, 2002.
- [13] Jiříčková, M. – Pavlík, Z. – Fiala, L. – Černý, R.: International Journal of Thermophysics 27, 1572, 2006.
- [14] Lord Rayleigh: Philos. Mag. 34, 481, 1892.
- [15] Bruggeman, D. A. G.: Annalen der Physik 24, 636, 1935.
- [16] Moy, J. H. – King-Cham Chan – Dollar, A. M.: Journal of Food Science 36, 498, 1971.
- [17] Mňahončáková, E. – Jiříčková, M. – Pavlík, Z. – Fiala, L. – Rovnaníková, P. – Bayer, P. – Černý, R.: International Journal of Thermophysics 27, 10765, 2006.

Pavlík, Z. – Vejmelková, E. – Pavlíková, M. – Fiala, L. – Černý, R.: Moisture Effect on Thermal Conductivity of Lime-Based Composite Materials

Effect of moisture content on thermal conductivity of lime-based composites was investigated both experimentally and theoretically. At first, the experimental assess-

ment of thermal conductivity of studied materials as a function of moisture content rising was done. For the measurement, the commercial device based on the impulse technique of thermal conductivity measurement was used. Then, the obtained experimental data were confronted at first with fundamental theoretical models, and it was found that they conform to both Wiener and Hashin-Shtrikman's bounds. Finally, thermal conductivity of wet lime-based composites was analyzed using several homogenization techniques, among them Lichtenecker, Polder and van Santen and Dobson's formulas. The validity of applied effective-media treatments was assessed comparing the measured and calculated data. Although the Lichtenecker's equation does not take into account the effect of bound water, it was found to achieve the best agreement with experimental measurements.

Pavlík, Z. – Vejmelková, E. – Pavlíková, M. – Fiala, L. – Černý, R.: Der Einfluss der Feuchtigkeit auf die Wärmeleitfähigkeit von Kalk-Kompositen

Der Artikel behandelt die experimentelle und theoretische Analyse des Einflusses von Feuchtigkeit auf die Wärmeleitfähigkeit von Kompositmaterialien auf Basis von Kalkhydrat. Zuerst wurde mit der Impulsmethode an trockenen bis voll mit Wasser gesättigten Proben die Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit einzelner Materialien von der Zunahme der Feuchtigkeit gemessen. Die gewonnenen experimentellen Daten wurden danach mit theoretischen Grundmodellen verglichen, wobei festgestellt wurde, dass sie die Bedingungen der Wiener'schen und der Hashin-Shtrikman-Grenzen erfüllen. Für die Analyse der experimentellen Daten mit Hilfe von Homogenisierungsmethoden, die von der Theorie des effektiven Mediums ausgehen, wurden die von Lichtenecker, Polder und van Santen, Looyenga und Dobson entworfenen Homogenisierungsbeziehungen angewandt. Aufgrund des Vergleichs der experimentellen und rechnerischen Abhängigkeiten der Wärmeleitfähigkeit der studierten Materialien von der Feuchtigkeit wurde festgestellt, dass das Lichteneckersche Mischmodell die beste Übereinstimmung mit den gemessenen Daten aufwies.



20.–25. dubna 2009
Villepinte, Paříž

mezinárodní veletrh strojů pro stavební a zemní práce, zařízení pro zpracování a výrobu stavebních hmot a materiálů

www.intermat.fr

● dizertace



Řízení procesu koagulace a dezinfekce užitím umělých neuronových sítí

Ing. Klára Štrausová

Práce je zaměřena na modelování a řízení technologických procesů v úpravnách vody. Jsou navrženy a ověřeny dva modely neuronové sítě pro proces koagulace. Model neuronové sítě byl aplikován také na proces dezinfekce vody s cílem optimalizovat dávkování dezinfekčního činidla.

Stanovení hydraulických charakteristik pudy inverzním modelováním

Ing. Michal Dohnal

Dizertace je zaměřena na modelování proudění vody v pórovitém prostředí. Zvláštní pozornost je věnována stanovení parametrů preferenčního proudění, které významně ovlivňuje migraci polutantů v půdním profilu.

Metody hodnocení potenciálních povodňových škod

Ing. Martin Horský

Autor rozpracovává metodiku hodnocení povodňových škod v širších územních celcích založenou na aplikaci prostředků geografických informačních systémů.

Model bytové výstavby určené pro sociální bydlení

Ing. Petr Mačat

Práce se zaměřuje na vytváření politik v oblasti sociálního bydlení pomocí dynamických modelů. Využívá se systémová dynamika vhodná pro predikci budoucího chování socioekonomických systémů.

Problematika chování asfaltových směsí a pojiv za nízkých teplot

Ing. Petr Mondschein

V praktické části dizertační práce byly ověřeny nízkoteplotní vlastnosti u asfaltových hutněných úprav v závislosti na druhu a množství asfaltového pojiva. Ve druhé části se aplikuje teplotní PG mapa podle metodik SHPR a SUPERPAVE. Navrženým PG třídám se přiřazují u nás dostupná asfaltová pojiva.

Materiály na bázi hydrofilní minerální vlny a jejich využití ve stavebnictví

Ing. Petr Michálek

Cílem práce je přispět k výzkumu širšího uplatnění materiálů na bázi hydrofilní minerální vlny v oblasti vnitřního dodatečného zateplování, vysoušení a odsolování. Stejně jako částí práce je zjišťování vlastností vzorků firmy Rockwool při různých podmínkách využití.

Porovnání sanační omítky s omítkou vápennou na obvodovém plášti historických budov

Bc. Václav KOČÍ

Ing. Jiří MADĚRA, Ph.D.

prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.

ČVUT – Fakulta stavební, Praha

prof. RNDr. Pavla ROVNANÍKOVÁ, CSc.

VUT – Fakulta stavební, Brno

V laboratorních podmínkách byla experimentálně určena odolnost jednotlivých omítek proti mrazu. Počítačovou simulací programem TRANSMAT pak byly určeny teplotně vlhkostní poměry v jednotlivých materiálových kombinacích a vyhodnoceny podmínky pro vznik zmrazovacích cyklů v referenčním roce. Na základě těchto poznatků mohla být určena životnost povrchových úprav, popř. navržena vhodná materiálová skladba.

Úvod

Sanační omítky jsou součástí opatření při opravách vlhkého zdiva. Tyto speciální maltové směsi obsahují složky předcházející tvorbě vlhkých skvrn a výkvětů ze zasoleného zdiva na povrchu omítky. Počátky jejich vývoje spadají do sedmdesátých let dvacátého století, kdy zejména v SRN, a posléze i u nás, se začaly vyvíjet směsi se speciální sanační funkcí. V SRN vytvořila v roce 1991 společnost WTA technickou směrnici pro sanační omítky WTA Merkblatt 2-2-91 [1], která byla vydána v překladu i v ČR. Tato směrnice není normou, ale obecně uznávaným technickým předpisem. V roce 1999 byla doplněna dodatkem 2-6-99/D, který definuje pojem „sanační omítka – WTA“, upravuje zkušební metody a postup práce s nimi.

Ve směrnici jsou uvedeny konkrétní hodnoty charakterizující omítky podkladní i vlastní sanační omítky. Sledují se vlastnosti čerstvé malty, tj. objemová hmotnost, objem vzduchových pórů, schopnost zadržovat vodu, a zpracovatelnost. U zatvrdlé malty se sleduje objemová hmotnost, faktor difúzního odporu vodní páry μ , pevnost v tlaku β_d a poměr pevnosti v tlaku a v tahu za ohybu β_d/β_{bz} , kapilární nasákavost W_{24} , hloubka vniknutí vody h , pórovitost V_p a odolnost proti solím. Mrazuvzdornost ve směrnici není předepsána ani hodnocena, přestože se sanační omítkové systémy používají pro exteriérové aplikace. Proto byla této oblasti věnována pozornost a výsledky byly porovnány s vlastnostmi malty na bázi vzdušného vápna při zmrazování.

Experimentální část

Složení omítek a výroba vzorků

Vápenná malta byla připravena z vápenného hydrátu CL 90 (Carmeuse Czech Republic, Mokrý), písku 0/4 mm (Českomoravský štěrk, provozovna Hulín) a vody. Sanační vyrovnávací hmota Baunit Bayosan SG 68 je suchá omítková směs, určená pro ruční i strojní zpracování, pro použití v interiéru i exteriéru. Obsahuje tras, cement, písek a chemické přísady. Při přípravě zkušebních těles byla směs míšena s vodou v hmotnostním poměru 1,0 : 0,2. Sanační omít-

ka Baunit Bayosan SP 64G je hydrofobizovaná suchá omítková směs, odpovídající kritériím WTA 2-2-91, určená pro ruční i strojní zpracování, pro použití v interiéru i exteriéru. Obsahuje trasové vápno, cement, dolomitický písek a chemické přísady. Hmotnostní poměr míšení jednotlivých složek je uveden v tab. 1, charakteristické vlastnosti v tab. 2.

Tab. 1. Složení malt

Materiál	VO	SP 64G	SG 68
	[kg]		
vápenný hydrát CL 90 Mokrý	4,8	–	–
písek 0/4 mm	14,4	–	–
směs SP 64G	–	19,2	–
směs SG 68	–	–	19,2
voda	4,8	4,1	4,5

Tab. 2. Charakteristické vlastnosti užitých sanačních omítek

Vlastnost	Jednotka	SG 68	SP 64G
maximální velikost zrna	mm	4	4
pevnost 28 dní			
v tlaku	MPa	1,5-5,0	1,5-5,0
v tahu za ohybu		> 2,1	> 2,0
součinitel tepelné vodivosti λ	W m ⁻¹ K ⁻¹	0,83	0,83
faktor difúzního odporu μ	–	8	8
pórovitost	%	–	45

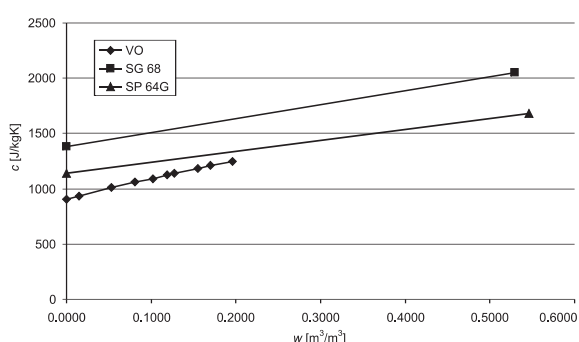
Pro stanovení odolnosti omítek proti zmrazovacím cyklům byla vyrobena tělesa velikosti 40×40×160 mm. Po vyjmutí z formy byla uložena do otevřených boxů, v jednom byla jednou za den vlhčena vodou z rozprašovače, ve druhém uložena bez vlhčení. V laboratoři byla teplota 21±1 °C a relativní vlhkost vzduchu 45±5 %. Po 28 dnech od výroby byla stanovena jejich pevnost v tahu za ohybu a tlaku (tab. 3). Základní materiálové charakteristiky [2] jsou uvedeny v tab. 4 a na obr. 1.

Tab. 3. Pevnost v tahu za ohybu a tlaku za 28 dní

Materiál	Jednotka	VO	SG 68	SP 64G
pevnost v tahu za ohybu	MPa	0,5	2,4	1,1
pevnost v tlaku		1,4	8,3	3,1
objemová hmotnost	kg m ⁻³	1 597	1 546	1 618

Tab. 4. Materiálové charakteristiky omítek

Parametr	Jednotka	VO	SG 68	SP 64G
ρ	kg m ⁻³	1 650	1 240	1 175
ρ_{mat}		2 575	2 575	2 555
θ_{hyg}	m ³ m ⁻³	0,0495	0,007679	0,031146
ψ	%	36,00	52,90	54,60
κ	m ² s ⁻¹	4,4E-07	4,1E-09	7E-10
$\mu_{97-45\%}$	-	8,90	13,50	17,00
$\mu_{45-0\%}$		5,10	16,00	18,00
λ_{dry}	W m ⁻¹ K ⁻¹	0,763	0,34	0,25
λ_{sat}		1,98	1,55	1,00



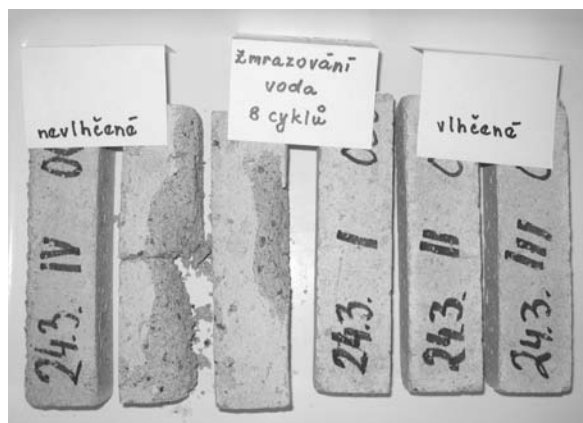
Obr. 1. Měrná tepelná kapacita omítek

Zmrazovací zkouška

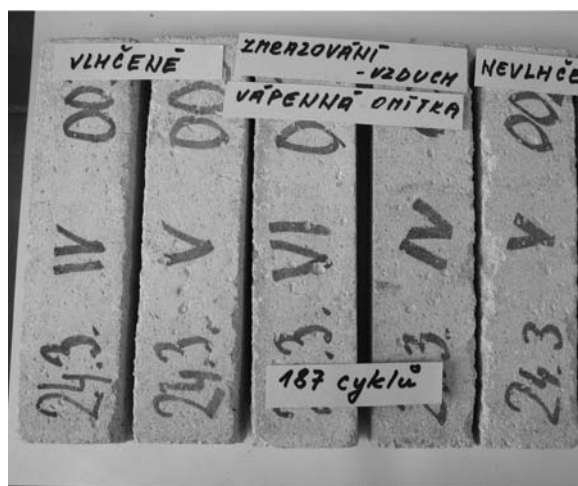
Pro zkoušku odolnosti byla navržena metoda, při které byla zkušební tělesa střídavě mrazena a rozmrazována ve stavu nasyceném vodou do projevu známek poškození. Tři tělesa byla vložena do pitné vody 20±1 °C do nasycení vodou. Poté byla vyjmuta z lázně, otřena papírovou utěrkou a vložena do polyetylenového sáčku. Zabalené vzorky byly vloženy do mrazicího boxu na 6 h. Po vyjmutí byla tělesa ponechána v laboratoři při teplotě 20±1 °C po dobu 2 h, a následně vložena do vodní lázně na 16 h. Tento proces se opakoval do známek viditelného poškození (tab. 5, obr. 2-obr. 7).

Tab. 5. Počet zmrazovacích cyklů

VO	SG 68	SP 64G
8	85	63



Obr. 2. Malta pro vápenné omítky zmrazovaná ve vodou nasyceném stavu po 8 zmrazovacích cyklech



Obr. 3. Malta pro vápenné omítky zmrazovaná při nulové vlhkosti vzduchu po 187 zmrazovacích cyklech



Obr. 4. Sanační vyrovnávací malta Baumit Bayosan SG 68 zmrazovaná ve vodou nasyceném stavu po 85 zmrazovacích cyklech



Obr. 5. Sanační vyrovnávací malta Baumit Bayosan SG 68 zmrazovaná při nulové vlhkosti vzduchu po 100 zmrazovacích cyklech

Vápenná malta, která nebyla při tvrdnutí vlhčena vodou a při zmrazování byla plně nasycena vodou, se rozpadla po 8 zmrazovacích cyklech, vlhčená při tvrdnutí se začala porušovat po 10. zmrazovacím cyklu. Malta, která byla ošetřována vlhčením při tvrdnutí a zmrazována ve stavu s rovnovážnou vlhkostí, se nerozpadla ani po 187 zmrazovacích cyklech, malta nevlhčená při tvrdnutí se začala porušovat ve 187. cyklu. U vápenné malty bez příměsí dochází vlivem vlhčení k postupnému rozpouštění hydroxidu vápenatého, který pak snáze karbonatuje za tvorby pevné struktury malty. Vlhcení vápenné malty při tvrdnutí způsobuje vyšší odol-



Obr. 6. Sanační omítka hrubá Baumit Bayosan SP 64 G zmrazovaná ve vodou nasyceném stavu po 63 zmrazovacích cyklech



Obr. 7. Sanační omítka hrubá Baumit Bayosan SP 64 G zmrazovaná při nulové vlhkosti vzduchu po 102 zmrazovacích cyklech

nost proti působení zmrazovacích cyklů. Malta s plně nasycenými póry vodou je málo odolná proti zmrazování, což vyplývá z její nízké pevnosti v tahu za ohybu a v tlaku.

Sanační vyrovnávací malta SG 68 plně nasycená vodou se začala porušovat po 85 zmrazovacích cyklech bez ohledu na to, jak byla zkušební tělesa při tvrdnutí ošetřována. Ve stavu s rovnovážnou vlhkostí nejvíce známky porušení ani po 100 zmrazovacích cyklech. Sanační omítka hrubá SP 64G plně nasycená vodou se porušila při 63. zmrazovacím cyklu bez ohledu na způsob ošetřování při tvrdnutí, tělesa s obsahem rovnovážné vlhkosti byla zmrazována 102krát, ani po tomto počtu cyklů nejvíce známky porušení.

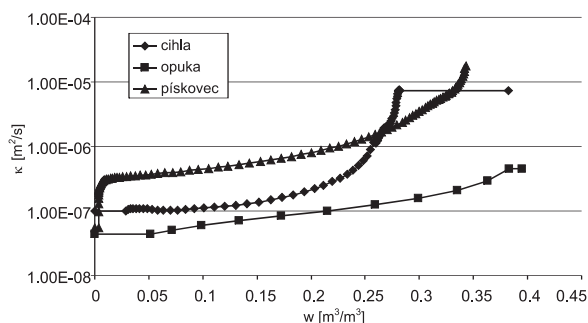
Počítačová simulace

Při simulaci byla uvažována nosná zeď tl. 500 mm s vápennou omítkou tl. 10 mm na straně interiéru a s dvouvrstvou sanační omítkou tl. 20 mm na straně exteriéru. Jako nosný materiál bylo uvažováno zdivo cihelné, pískovcové (Mšenné) a opukové (Přední Kopanina). Materiálové charakteristiky pro omítky jsou shrnuty v tab. 3 a tab. 4 a na obr. 1, pro nosné zdivo v tab. 6 a na obr. 8 [5].

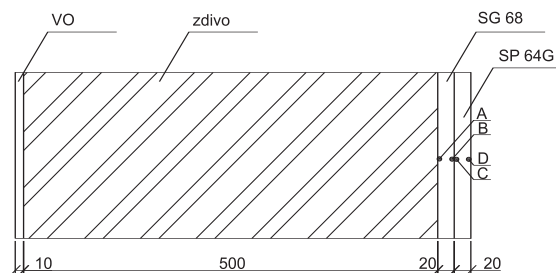
V konstrukci jsme sledovali objemovou vlhkost a teplotu v bodech A, B, C a D. Bod A byl zvolen ve vyrovnávací vrstvě sanační omítky při rozhraní s nosným zdivem, bod B ve vyrovnávací vrstvě sanační omítky při rozhraní s jádrovou sanační omítkou, bod C v jádrové vrstvě sanační omítky při rozhraní se sanační omítkou vyrovnávací a bod D v jádrové vrstvě sanační omítky těsně pod povrchem (obr. 9). U konstrukce s vápennou omítkou jsme sledovali pouze body A a D, jelikož jde o jednovrstvou omítku.

Tab. 6. Základní materiálové charakteristiky nosného zdiva

Parametr	Jednotka	Cihla	Pískovec	Opuka
ρ	kg m^{-3}	1 746	1 790	1 353
ρ_{mat}		2 686	2 632	2 233
ψ	%	35,00	32,00	39,40
c	$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	960	550	837
μ	-	22,50	6,00	5,00
λ_{dry}	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	0,763	0,48	0,71
λ_{sat}		1,98	0,65	0,89



Obr. 8. Součinitel vlhkostní vodivosti materiálů nosného zdiva



Obr. 9. Schéma obvodového pláště

Výpočty byly provedeny programem TRANSMAT 7.1 [3] na základě obecnějšího programového balíku SIFEL. Při formulaci bilančních rovnic vlhkosti a tepla byl využit Kühnzelův model [4].

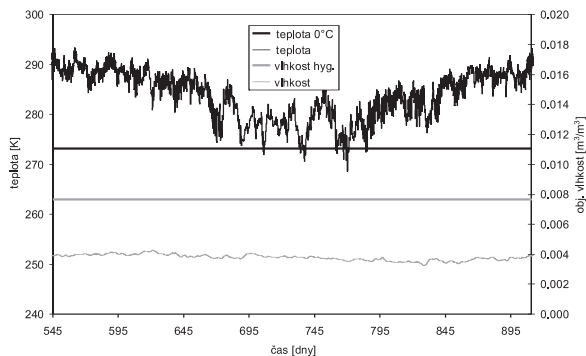
Okrajové podmínky modelu by měly odpovídat skutečnosti, přičemž okrajové podmínky pro exteriérovou stranu by měly být co nejpřesnější. Toho bylo dosaženo využitím meteorologických dat, v našem případě dat pro Prahu. Z hlediska dlouhodobé spolehlivosti se nejčastěji používá referenční rok. V interiéru panovaly konstantní podmínky – relativní vlhkost 55 % a teplota 21 °C. Začátek simulace byl zvolen na 1. července, simulované období tři roky.

Výsledky simulace

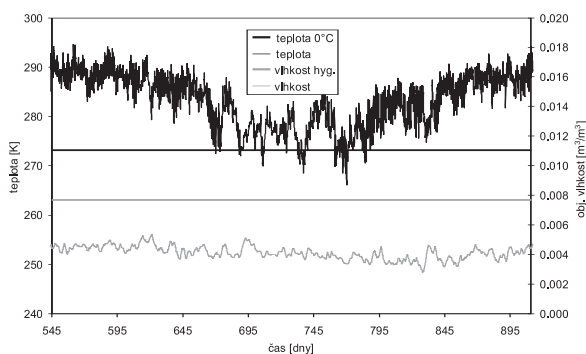
Výsledkem simulace je současná časová závislost objemové vlhkosti a teploty v daném bodě při dané materiálové skladbě. Z velkého množství grafů, a v některých případech jejich podobnosti, jsme vybrali jen některé. Výsledky ostatních grafů budou interpretovány textem. V grafech je vodorovnou čarou zřetelně vyznačena jak mez teplotní, odpovídající 273,15 K (0 °C), tak vlhkostní, odpovídající maximální hygroscopické vlhkosti dané omítky. Při jejich současném překročení se vytvářejí příznivé podmínky pro vznik zmrazovacího cyklu.

■ Cihelné zdivo

Při kombinaci cihelného zdiva se sanační omítkou jsou výsledky simulace v bodech *A* a *B* téměř totožné (obr. 10, obr. 11). Liší se pouze nižšími teplotami směrem na vnější stranu omítky a větší rozkolísaností relativní vlhkosti. Ta je v obou případech natolik nízká, že neumožní vznik podmínek příznivých pro vytvoření zmrazovacího cyklu. Můžeme tedy říci, že podkladní vrstva sanační omítky na cihelném zdivu nepromrzá.

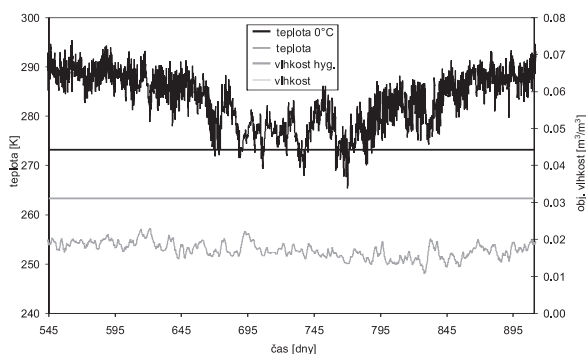


Obr. 10. Průběh teploty a relativní vlhkosti na cihelném zdivu se sanační omítkou v bodě *A*

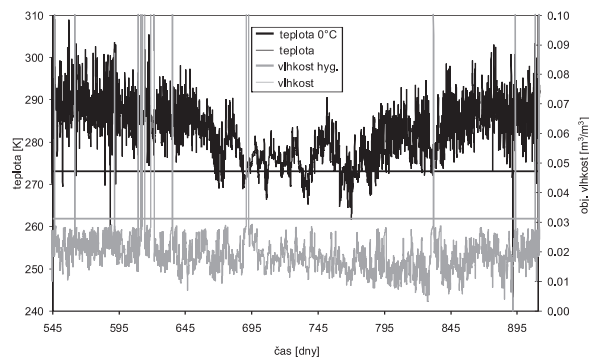


Obr. 11. Průběh teploty a relativní vlhkosti na cihelném zdivu se sanační omítkou v bodě *B*

Výsledky simulace v bodech na krajích hrubé vnější vrstvy sanační omítky jsou ukázány na obr. 12 a obr. 13. Proti omítce vyrovnávací je zde o poznání vyšší relativní vlhkost a nižší teplota, avšak díky většímu obsahu hygroscopické vlhkosti nedochází k překročení v bodě *C*, tudíž ani k možnosti promrznutí. V bodě *D* však zmrazovací cykly během sledovaného roku pozorovat můžeme, a to 14hodinový cyklus v 691. dni simulace.

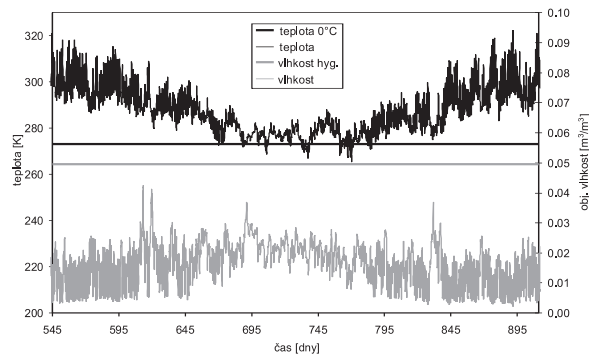


Obr. 12. Průběh teploty a relativní vlhkosti na cihelném zdivu se sanační omítkou v bodě *C*

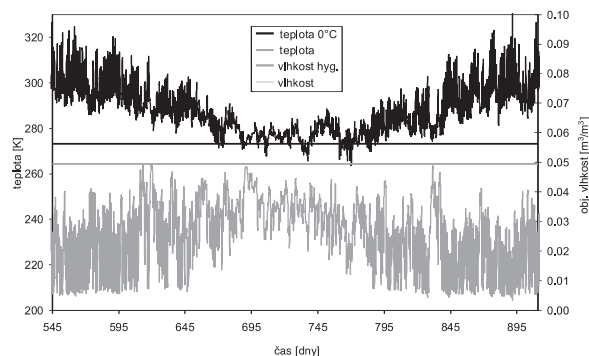


Obr. 13. Průběh teploty a relativní vlhkosti na cihelném zdivu se sanační omítkou v bodě *D*

Výsledky počítačové simulace kombinace cihelného zdiva a vápenné omítky jsou znázorněny na obr. 14 a obr. 15. Zatímco teplota se pod 0 °C dostane několikrát během sledovaného období, relativní vlhkost je vždy natolik nízká, že neumožňuje vznik zmrazovacího cyklu, a to dokonce ani na povrchu omítky, který je vystaven povětrnostním vlivům.



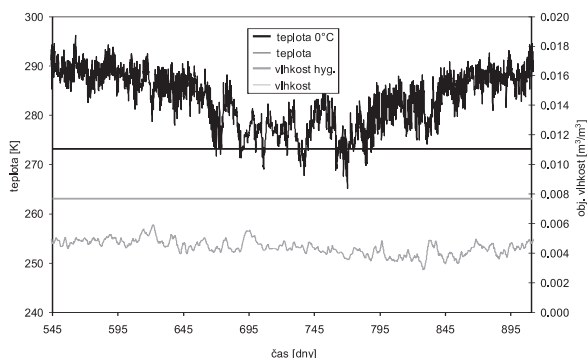
Obr. 14. Průběh teploty a relativní vlhkosti na cihelném zdivu s vápennou omítkou v bodě *A*



Obr. 15. Průběh teploty a relativní vlhkosti na cihelném zdivu s vápennou omítkou v bodě *D*

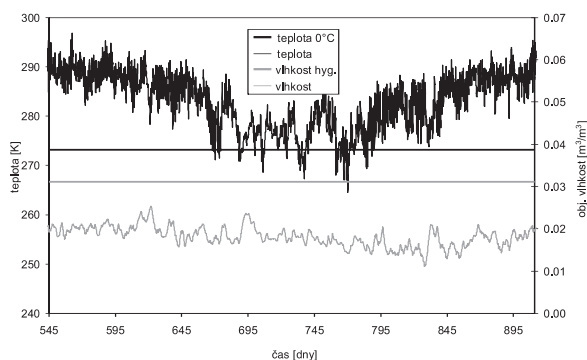
■ Opukové zdivo

V opukovém zdivu v kombinaci se sanační omítkou nedochází v podkladní vrstvě ke zmrazovacím cyklům. Příčinou toho je podhygroscopický obsah vlhkosti, díky němuž se v této vrstvě omítky kapalná vlhkost nevyskytuje. Průběh teploty a relativní vlhkosti v bodě *B* je znázorněn na obr. 16. Situace v bodě *A* je obdobná s tím rozdílem, že časový průběh relativní vlhkosti je méně rozkolísaný a průběh teplot je řádově o 0,5 až 1 °C vyšší.

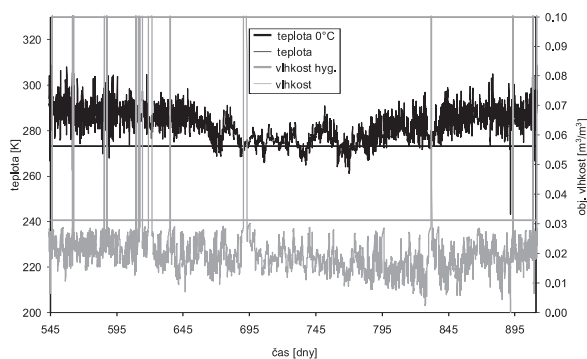


Obr. 16. Průběh teploty a relativní vlhkosti na opukovém zdivu se sanační omítkou v bodě B

Vnější hrubá vrstva sanační omítky na opukovém zdivu musí podle výsledků simulace zmrazovacím cyklům odolávat. Zatímco v bodě C ještě nízký obsah vlhkosti příznivé podmínky pro vznik zmrazovacího cyklu nevytváří (obr. 17), v bodě D proběhne během sledovaného období jeden zmrazovací cyklus během 690. a 691. dne simulace v celkovém trvání 24 h (obr. 18).

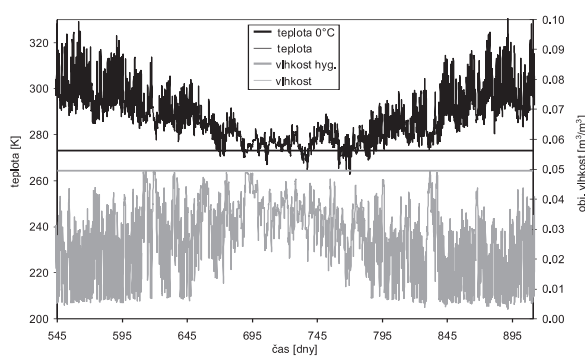


Obr. 17. Průběh teploty a relativní vlhkosti na opukovém zdivu se sanační omítkou v bodě C



Obr. 18. Průběh teploty a relativní vlhkosti na opukovém zdivu se sanační omítkou v bodě D

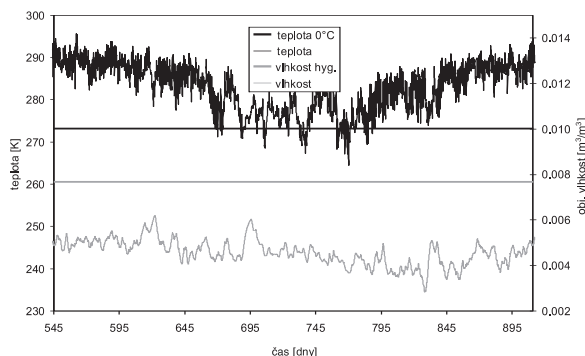
Vápenná omítky na opukovém zdivu v průběhu referenčního roku podmínky pro vznik zmrazovacích cyklů neposkytuje. To je dáno především její nízkou objemovou vlhkostí. Ke zmrazovacím cyklům nedochází ani na rozhraní materiálů, ani na povrchu omítky (obr. 19).



Obr. 19. Průběh teploty a relativní vlhkosti na opukovém zdivu s vápennou omítkou v bodě D

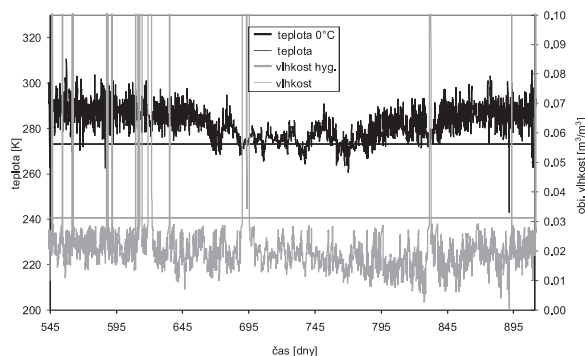
■ Pískovcové zdivo

Podle výsledků simulace sanační omítky na pískovcovém zdivu ke vzniku zmrazovacích cyklů v podkladní vrstvě sanační omítky nedochází. Důvodem je, stejně jako v předchozích případech, nízká objemová vlhkost, která při materiálových charakteristikách dané vrstvy sanační omítky nemožňuje přítomnost kapalně fáze vody (obr. 20). Průběh teploty a relativní vlhkosti v bodě A se podobá průběhům v bodě B s rozdílem, že obsah vlhkosti je méně rozkolísaný a průběh teploty řádově o 0,5 až 1 °C vyšší.



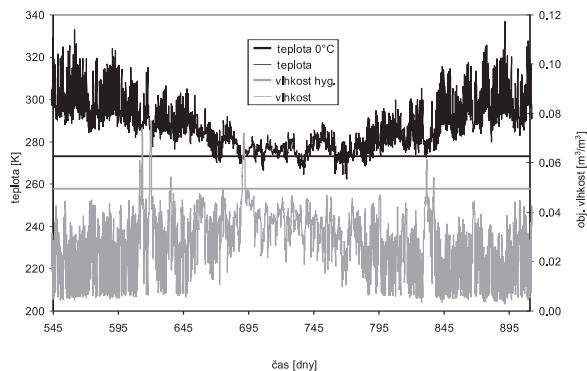
Obr. 20. Průběh teploty a relativní vlhkosti na pískovcovém zdivu se sanační omítkou v bodě B

Průběh teploty a relativní vlhkosti v bodě D při kombinaci pískovcového zdiva a sanační omítky je zachycen na obr. 21. Z grafu je zřejmé, že byly vytvořeny příznivé podmínky pro vznik zmrazovacích cyklů. Během sledovaného roku proběhly v konstrukci cykly dva, v 690. a 691. dni simulace proběhl cyklus v trvání 33 h, v 694. dni v délce 7 h.



Obr. 21. Průběh teploty a relativní vlhkosti na pískovcovém zdivu se sanační omítkou v bodě D

V pískovcovém zdivu v kombinaci s vápennou omítkou dochází ke zmrazovacím cyklům pouze na povrchu omítky. Zjištěny byly dva cykly bezprostředně po sobě, s krátkou prodlevou díky teplotnímu výkyvu, a to v 691. a v 692. dni, doba zmrazování trvala 12 h, resp. 22 h (obr. 22). Na rozhraní pískovce a omítky díky nízké vlhkosti k vytvoření podmínek příhodných pro vznik zmrazovacího cyklu nedochází, průběh vlhkosti a teploty je velice podobný obr. 15.



Obr. 22. Průběh teploty a relativní vlhkosti na pískovcovém zdivu s vápennou omítkou v bodě D

Diskuze

Při posuzování vlivu mrazuvzdornosti na životnost omítek historických budov je důležité si uvědomit, že během jednoho roku může v omítce proběhnout několik zmrazovacích cyklů. Proto nelze vycházet pouze z výrobcem deklarované odolnosti, jelikož tento údaj sám o sobě nemá vypovídající hodnotu a bez znalosti tepelně vlhkostních poměrů v omítce nelze stanovit její životnost.

Nedílnou součástí tohoto posuzování musí být vyhodnocení samotných zmrazovacích cyklů. Jejich destruktivní účinnost ovlivňuje zejména jejich délka, případně prodleva mezi dvěma po sobě jdoucími cykly. Důležitá je také poloha bodu v konstrukci, v němž ke vzniku zmrazovacího cyklu došlo. Zmrazovací cyklus tak můžeme zanedbat například v případě, že netrval dostatečně dlouho, aby došlo k přeměně vody v led. Dále můžeme zanedbat cyklus následující po cyklu předchozím, pokud mezi nimi nebyla dostatečná prodleva, aby led roztál. Cyklus můžeme také zanedbat, pokud k němu došlo v místech, která nebrání objemovému nárůstu vznikajícího ledu. To se týká především mrznutí vody na povrchu materiálu.

Při počítačové simulaci jsme uvažovali s přísunem kapalné vlhkosti pouze v podobě deště. Na objektu se však mohou vyskytovat místa, která jsou vlhkostí namáhána podstatně více. Jde především o soklovou část staveb nebo o místa se špatně řešenými konstrukčními detaily, kam by mohlo zatékat. V těchto případech by pak vznikalo zmrazovacích cyklů během roku podstatně více, což by životnost omítky snižovalo.

Životnost omítek vymezená zmrazovacími cykly byla stanovena kombinací experimentálního a analytického postupu. Analytická část článku [6] uvedla počet zmrazovacích cyklů, které během referenčního roku v omítce proběhnou, díky experimentální části můžeme stanovit, kolik cyklů je omítka schopna snést, aniž by došlo k jejímu porušení. Na základě těchto faktů můžeme následně stanovit životnost omítky.

Podle výsledků simulace na cihelném zdivu se z hlediska mrazuvzdornosti jeví lépe omítka klasická vápenná, u které nebyly během sledovaného období pozorovány žádné zmra-

zovací cykly. Dvouvrstvá sanační omítka sice v podkladní vrstvě nepromrzá, nicméně v hrubé vnější vrstvě dochází k jednomu cyklu ročně. Lineární interpolací můžeme určit, že při dané materiálové skladbě dochází k promrzání vrchní vrstvy omítky přibližně v tl. 16 mm. Životnost sanační omítky na cihelném zdivu lze tedy odhadnout přibližně na 60 let.

Vápenná omítka se na opukovém zdivu chová ideálně. Nadhygroskopickou vlhkost vykazuje pouze v letních měsících, kdy je teplota omítky vysoko nad bodem mrazu, teplotu pod bodem mrazu vykazuje v měsících zimních, kdy je naopak obsah vlhkosti pod hygroskopickou mezí. To znamená, že se zde opět nesejdou podmínky potřebné pro vznik zmrazovacího cyklu a použití vápenné omítky na opuku se z hlediska mrazuvzdornosti jeví jako optimální varianta. Podkladní vrstva sanační omítky během roku nepromrzá díky nízkému obsahu vlhkosti, nicméně vrstva jádrová je již účinkům zmrazovacích cyklů vystavena. Jde opět o svrchní část hrubé vrstvy, která promrzá jednou ročně přibližně do tloušťky 17 mm. Životnost je tedy také přibližně 60 let.

Na pískovcovém zdivu se z hlediska mrazuvzdornosti jeví vhodnější varianta se sanační omítkou. Vápenná omítka promrzá v tl. 15 mm ve dvou po sobě následujících cyklech jedenkrát ročně, což určuje její životnost přibližně na 8 let. Sanační omítka promrzá také dvakrát ročně, ale opět pouze v hrubé vnější vrstvě. Vyrovnávací vrstva je vlivem nízkého obsahu vlhkosti před účinky zmrazovacích cyklů uchráněna, zatímco jádrová vrstva promrzá téměř v celé své tloušťce a její životnost je přibližně 30 let.

Přehled počtu zmrazovacích cyklů jednotlivých materiálových kombinací je shrnut do tab. 7. Životnost vápenné omítky na cihle a opuce však nelze stanovit, jelikož při této kombinaci nedojde k porušení vlivem zmrazovacích cyklů.

Tab. 7. Zmrazovací cykly a životnost materiálových kombinací

Materiál	Počet/rok		Životnost [roky]	
	VO	SG 68/ SP 64 G	VO	SG 68 SP 64 G
cihla	0	0 / 1	–	60
opuka	0	0 / 1	–	60
pískovec	2	0 / 2	8	30

Závěr

Výsledky experimentální a počítačové analýzy ukázaly, že z hlediska životnosti povrchové úpravy posuzované s ohledem na mrazuvzdornost nemusí být sanační omítka vždy tím nejlepším řešením a existují situace, kdy dokonce i s prostou vápennou omítkou je možné dosáhnout lepších výsledků.

Počítačová analýza tepelně vlhkostního chování sanační a vápenné omítky na třech různých typech zdiva neumožnila učinit obecné závěry ve smyslu, kterou z posuzovaných omítek by bylo možné doporučit bez ohledu na typ zdiva, protože chování každé z nich v tomto směru do značné míry záviselo na vlastnostech nosné konstrukce. Výsledky posouzení životnosti povrchových vrstev značně závisí i na znalosti meteorologických podmínek v místě stavby. V tomto článku byla použita data pro Prahu. Pokud by byla posuzována stavba např. v horské oblasti, výsledky by musely být nutně odlišné.

Výsledky uváděné v tomto článku nelze tedy zobecnit na jakýkoli typ konstrukce a pro jakoukoli klimatickou oblast. Zvolená metoda je ovšem dostatečně obecná, aby mohla být

využita i v řadě dalších případů. Počítačová analýza s využitím programu TRANSMAT je z uživatelského hlediska snadná a poměrně rychlá i pro řadu analogických případů z praxe.

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

Literatura

- [1] Sanační omítkové systémy. Směrnice WTA 2-2-91 včetně doplňku 2-6-99/D. Praha, WTA CZ, 2002. ISBN 80-02-01503-7.
- [2] Pernicová, R. – Pavlíková, M. – Pavlík, Z. – Černý, R., Vliv metakaolinu na mechanické, tepelné a vlhkostní vlastnosti vápených omítek. [Sborník], Metakaolin 2007. Brno, VUT FAST, 2007, s. 70-77. ISBN 978-80-214-3339-7. 2007
- [3] Maděra, J. – Černý, R.: TRANSMAT – A Computer Simulation Tool for Modeling Coupled Heat and Moisture Transport in Building Materials. [Proceedings of Workshop – Part A, B], Prague, CTU, 2005, pp. 470-471.
- [4] Künzel, H. M.: Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components. [Ph.D. Thesis], Stuttgart, IRB Verlag 1995, p. 135.
- [5] Jiříčková, M. – Pavlík, Z. – Černý, R.: Application of TDR Method for Determining Moisture Content in Building Materials. [Proceedings of Workshop], Prague, CTU, 2004, Vol. A, p. 520-521. ISBN 80-01-02945-X. 2004.
- [6] Kočí, V. – Maděra, J. – Černý, R. – Rovnaníková, P.: Experimentální a počítačová analýza omítek pro renovaci historických budov. Stavební obzor, 18, 2009, č. 2, s. 38-43. ISSN 1210-4027.

Kočí, V. – Maděra, J. – Černý, R. – Rovnaníková, P.: Comparison of Sanitation Plaster with Lime Plaster on the External Skin of Historical Buildings

Resistance of individual plasters to frost was experimentally tested in laboratory conditions. Computer simulation using the TRANSMAT computer program determined thermal moisture conditions in individual material combinations, and then conditions for the origination of frost cycles in a reference year were evaluated. The durability of surface treatment could be defined based on the knowledge gained. Also, the appropriate material composition could be proposed.

Kočí, V. – Maděra, J. – Černý, R. – Rovnaníková, P.: Vergleich eines Sanierungsputzes mit einem Kalkputz an der Außenwand historischer Gebäude

Unter Laborbedingungen wurde experimentell die Frostbeständigkeit einzelner Putze ermittelt. Durch Computersimulation mit dem Programm TRANSMAT wurden dann die Wärme- und Feuchtigkeitsparameter bei den einzelnen Materialkombinationen ermittelt und die Bedingungen für die Entstehung von Gefrierzyklen im Referenzjahr ausgewertet. Aufgrund dieser Erkenntnisse konnte die Lebensdauer der Oberflächenbehandlungen bestimmt bzw. eine geeignete Materialzusammensetzung vorgeschlagen werden.

• dizertace



Problematika výstavby na brownfields v oblasti Severočeské uhelné pánve

Ing. Lenka Kolíčková

V práci jsou uvedeny zásady využití ploch po těžbě uhlí a jsou konkretizovány pro oblast Chomutovska.

Dynamické simulace v regionálním managementu

Ing. Vilém Berka

Přínos dizertace je v modelu pro dynamickou simulaci a jeho porovnání a ověření s praktickými daty. Zejména regionální správa může obdobné modely využít. Práce vznikla v rámci mezinárodního projektu.

Interakce a chování dřeva ve spojení s jinými materiály v proměnném vlhkostním režimu

Ing. Jiří Scheidel

Téma práce patří do konstrukční oblasti otvorových výplní, kde ve snaze o zlepšování tepelně izolačních vlastností je nutné kombinovat rozdílné stavební materiály. Kombinace však musí prokázat správné fyzikální funkce a dlouhodobou spolehlivost.



ČVUT v Praze
Fakulta stavební



Katedra betonových a zděných konstrukcí

pořádá

5. mezinárodní konferenci

Fibre Concrete 2009

Technologie, navrhování, aplikace

17. – 18. září 2009, Praha

Tematické okruhy konference:

- Výzkum
- Technologie
- Navrhování
- Aplikace
- Vláknobeton a udržitelný rozvoj

<http://concrete.fsv.cvut.cz/fc2009>

Etapové měření tvaru nosné konstrukce mostu přes Labe v Mělníku

Ing. Rudolf URBAN
Ing. Lukáš VRÁBLÍK, Ph.D.
Ing. Martin ŠTRONER, Ph.D.
ČVUT – Fakulta stavební
Praha

Předpjaté betonové mosty velkých rozpětí typicky vykazují dlouhodobý nárůst průhybů. Příkladem takovéto konstrukce je most přes řeku Labe v Mělníku, u kterého se ani po 15 letech od uvedení do provozu průhyby neustálily. Bylo provedeno přesné zaměření tvaru deformované konstrukce s cílem identifikovat možná místa jejích poruch.

sledování dlouhodobých deformací předpjaté betonové konstrukce způsobené jak reologickými projevy betonu, tj. dotvarováním a smršťováním, tak jinými účinky (úbytky předpětí apod.). Výsledkem takového měření je časový vývoj skutečného tvaru konstrukce, zahrnující jak počáteční tvar, tak i průhybovou čáru, v analyzovaných bodech.

Pro zjištění přesného tvaru průhybové čáry bylo navrženo detailní zaměření deformovaného tvaru nosné konstrukce ve velkém počtu bodů. Zjištěné „anomálie“ v průběhu průhybové čáry mohou ukazovat na poruchy konstrukce způsobující enormní dlouhodobý nárůst průhybů této mostní konstrukce.

Popis konstrukce

Letmo betonovaný most přes řeku Labe v Mělníku (obr. 1) je hlavní součástí přemostění převádějícího komunikaci I/16. Navržen byl jako spojitý nosník o rozpětí polí 72,05 + 146,2 + 72,05 m. S délkou hlavního pole 146,2 m je stále naším největším provozovaným letmo betonovaným mostem. Stejně jako pro ostatní betonové mosty velkých rozpětí, je i pro tento most typický trvalý nárůst deformací v čase. Konstrukce je proto od uvedení do provozu v září roku 1994 trvale sledována. Z vyhodnocení monitoringu [1] jasně vyplývá, že ani po téměř patnácti letech nárůst deformací neustává.

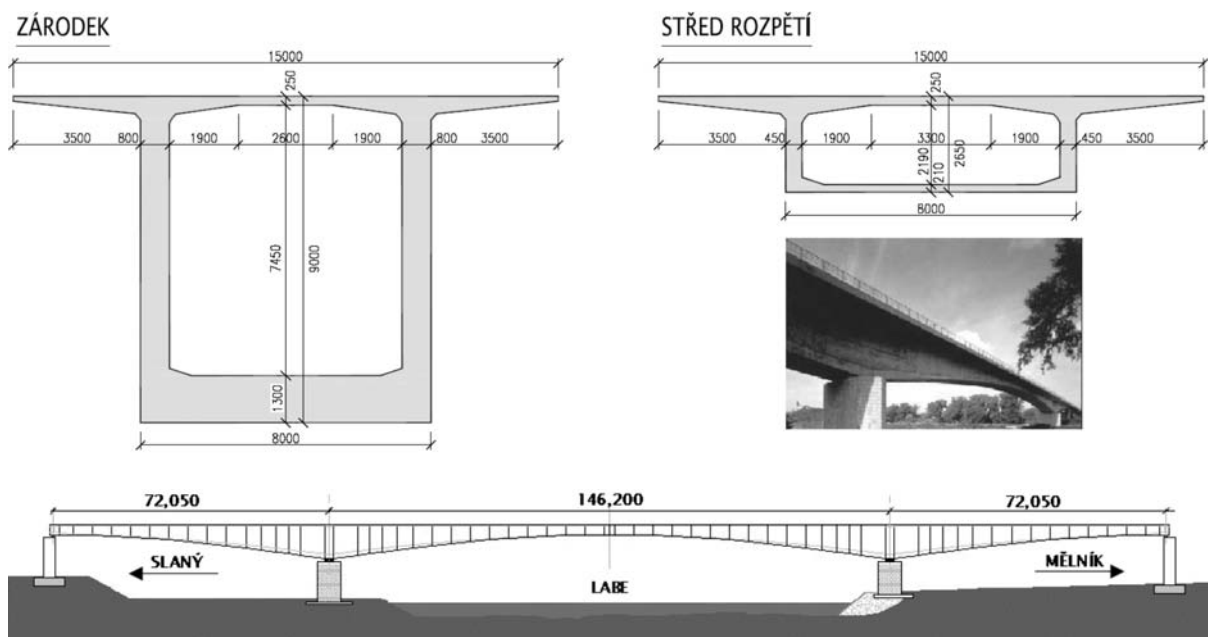
Dlouhodobé deformace jsou měřeny ve fixních bodech na konstrukci (nad podporami pro analýzu jejich dlouhodobého sedání a v mezilehlých bodech krajních a středního pole pro

Technologie, postup měření a zpracování

Přístrojové vybavení a technologie měření

K měření byl použit přístroj Trimble S6 Robotic ($\sigma_{\phi} = 0,3$ mgon, $\sigma_D = 1$ mm + 1 ppm D) s příslušným všesměrným odrazným hranolem. Jde o totální stanici s automatickým sledováním cíle a prokládáním, jež umožňuje i automatické cílení na všesměrný odrazný hranol. Dále bylo použito pásmo (50 m), vrtací souprava, kladivo, natloukáč hmoždinky 6×30 mm (600 ks), podložky (1 000 ks), barva ve spreji.

Mostní konstrukce byla měřena metodou prostorové polární metody. Technologie měření byla určena v závislosti na časové změně tvaru mostní konstrukce a na požadavcích přesnosti. Technologii přesné nivelace, která by určila výšku bodů s vyšší přesností, nebylo možné použít z důvo-



Obr. 1. Schéma a fotografie mostu

du mnohonásobně delší doby zaměření, což by způsobilo výrazně větší pohyb konstrukce vlivem změny teploty, a tím i výrazně větší nepřesnosti měření (měření by nebylo kontinuální a oprava pomocí časového vzorku neproveditelná).



Obr. 2. Trimble S6 Robotic, výtyčka se všesměrným hranolem

Stabilizace bodů

Body byly stabilizovány pomocí natloukacích hmoždinek délky 30 mm. Vzhledem k množství bodů, a s tím související pracnosti, a vůbec ekonomické náročnosti celého projektu, nebylo možné osazovat body nivelačními značkami ani nastřelovacími hřebíky. Osazení nastřelovacích hřebů do asfaltového lože silnice se ukázalo jako velice problematické, neboť má velmi tvrdý povrch a při použití nastřelovací pistole není možné zaručit ani přibližně stejné zapuštění hřebů do mostovky.

Prvních 246 bodů bylo stabilizováno asi 0,5 m od svodidla směrem do asfaltového povrchu komunikace, zatímco druhá polovina bodů byla stabilizována 0,5 m od svodidla směrem od komunikace do betonového podloží. Hlavy hmoždinek bylo nutno zvýšit vložení podložek (asfalt – 2 podložky, beton – 1 podložka). Vzažný bod pro porovnání rozdílů etapového měření byl taktéž stabilizován hmoždinkou a situován přibližně 10 m za konec opěry do asfaltového chodníku (kontrolní bod pro připojení stabilizovaná nivelační značkou na konci mostu).

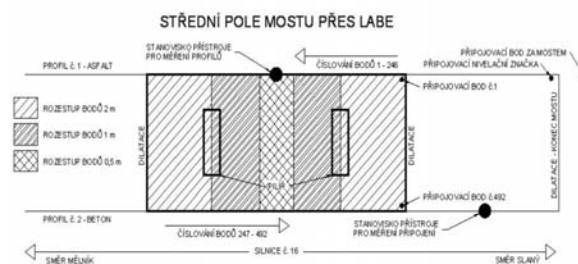
Stabilizace všech cca 500 bodů s využitím profesionální vrtací soupravy trvala dvěma pracovníkům osm hodin, a to včetně rozměření. Náklady proti standardním stabilizacím byly výrazně menší. Vzhledem k plánovanému nočnímu měření byla zajištěna signalizace žlutou barvou, nanesenou na hlavičky hmoždinek a jejich okolí.

Konfigurace měření

Konfigurace měření je na obr. 3. Stanovisko bylo umístěno uprostřed zaměřovaného úseku mostu, protože pak mohlo být všech 492 bodů zaměřeno z jednoho stanoviska (etapa I a II). Pro třetí etapu, jež byla měřena okolo poledne, bylo zvoleno druhé stanovisko (za druhým svodidlem, naproti prvnímu stanovisku), neboť vzhledem k vysoké vytíženosti dopravy nebylo možné měřit přes silnici,

Během měření se tvar mostní konstrukce měnil. Při návrhu konfigurace se předpokládalo, že dojde k dostatečnému potlačení tohoto systematického vlivu metodou „časového vzorku“. Všesměrný hranol byl stabilně upevněn na výtyčce po celou dobu měření přibližně ve výšce 1,5 m. Celý systém byl připojen k vzažnému bodu prostřednictvím krajních

bodů obou profilů (profil na asfaltu bod č. 1, profil na betonu bod č. 492), zaměřených nezávisle čtyřikrát na konci měření. Stabilní body, ze kterých byly oba profily výškově určeny jsou, znázorněny na obr. 3.



Obr. 3. Konfigurace měření

■ Měření I. etapy

Nejprve byly zaměřeny oba profily ze stanoviska uprostřed mostu v pořadí bodů 1 až 492 (doba měření 3,5 h, teplota na začátku 12,5 °C, teplota na konci 8 °C). Poté byl určen časový vzorek, jež obsahoval každý pátý bod profilů (doba měření 45 min, teplota 8 °C, časová změna teploty se uvažuje jako minimální). Na závěr byly zaměřeny koncové body profilů pro připojení a samotné připojení ke stabilnímu bodu na konci mostu z druhého stanoviska přístroje (doba měření 20 min, teplota 8 °C). Při měření byly registrovány měřené vodorovné směry, zenitové úhly a šikmé délky, pro kontrolu při měření také tři prostorové souřadnice v místní (zvolené) soustavě souřadnic. Měření, výpočty a výsledky z této etapy jsou podrobně popsány v [3].

■ Měření II. a III. etapy

Druhá etapa byla měřena totožným postupem jako etapa první. Třetí etapa byla měřena ze dvou stanovisek tak, že nejprve byl změřen profil č. 1 s časovým vzorkem a připojením, a poté obdobným postupem profil č. 2. Záznam teplot mostu a vzduchu v závislosti na čase je uveden v tab. 1 a tab. 2. Teplota vzduchu se měřila kalibrovaným digitálním teploměrem (externí čidlo ve stínu), teplota konstrukce bezdotykovým teploměrem Ahlborn Messtechnik AMiR 7811.

Odůvodnění postupu měření a zpracování dat

Určení výšek tak velkého počtu bodů (500) není v současné době technologicky možné provést se směrodatnou odchylkou 1 mm – 2 mm v tak krátkém čase, aby v době mezi měřeními prvního a posledního bodu nedošlo ke změně tvaru konstrukce vlivem změny teploty. Pro minimalizaci těchto nežádoucích změn bylo měření v I. a II. etapě provedeno v nočních hodinách, přesto došlo ke změně ve vertikálním směru přibližně o 3 mm. Proto byla pro měření přibližně pětina bodů (každý pátý) zaměřena znovu kontrolně ve výrazně kratším čase (cca 45 min). Změny mezi určením výšky prvního a posledního bodu lze považovat za významně menší a takto určený vzorek bodů využít pro určení křivky oprav, pomocí níž lze uvést měřené body do správné polohy a potlačit systematické chyby. Metodika použitá pro I. a II. etapu byla následně použita i pro etapu III (nejvyšší teplota mostu).

Rozbor přesnosti měření výšek

Vzhledem ke způsobu signalizace bodů pro měření (výtyčka s hranolem držaná figurantem) lze odhadnout směrodatnou odchylku určení výšky bodu (v místní soustavě). Směrodatná odchylka zenitového úhlu měřeného ve dvou polo-

Tab. 1. Průběh teplot při měření – noc 1.7.2008-2.7.2008 (II. etapa)

Čas	Konstrukce měřené body	Konstrukce střed silnice	Vzduch
	[°C]		
23:30	23,5	–	22,5
0:20	21,7	18,9	18,1
1:06	20,6	18,3	18,2
1:45	20,0	17,6	17,9
2:33	19,5	17,1	17,5
3:25	18,5	15,7	16,5

Tab. 2. Průběh teplot při měření – den 2.7.2008 (III. etapa)

Čas	Konstrukce měřené body	Konstrukce střed silnice	Vzduch
	[°C]		
11:45	38,3	38,8	28,0
12:00	38,2	38,8	29,1
12:30	40,1	39,9	29,3
13:08	41,0	41,2	30,7
13:38	42,3	42,9	30,7
14:17	41,1	44,7	31,5
14:45	43,2	45,0	31,5
15:32	43,2	43,4	31,5
16:21	41,5	43,1	31,4

hách, uváděná výrobcem, je 0,3 mgon. Podle zákona hromadění směrodatných odchylek [7] je směrodatná odchylka dvakrát měřeného zenitového úhlu v jedné poloze opět 0,3 mgon. Při maximální vzdálenosti bodu od stanoviska 150 m je tedy směrodatná odchylka určené výšky rovna 0,7 mm. Dále je vhodné uvážit vliv nepřesného nasazení hrotu výtyčky na bod, který činí s dostatečnou rezervou 1 mm. Vliv nepřesného urovnání krabicové libely na cílovém zařízení (nesvislost výtyčky) na určenou výšku je při citlivosti libely 4'–6' a výšce hranolu 1,5 m zanedbatelný. Směrodatnou odchylku výšky je tedy možné odhadnout hodnotou 1,2 mm.

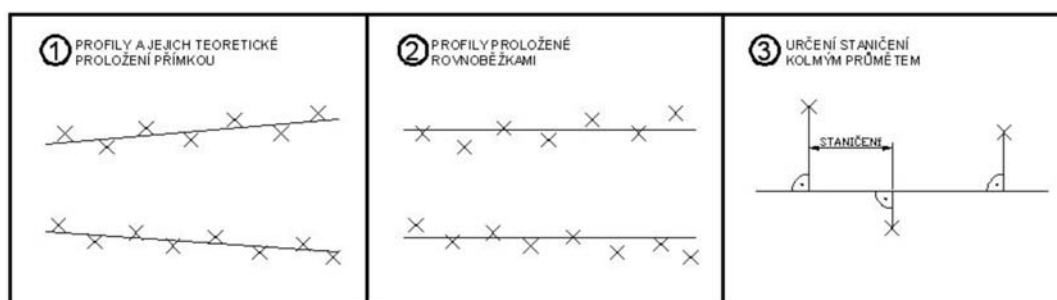
Směrodatná odchylka vypočtená z opakovaného měření při měření výškového připojení byla 0,5 mm při maximální vzdálenosti 50 m, což vyhovuje provedenému rozboru přesnosti.

Určení rovnoběžných os profilů a staničení bodů na profilech

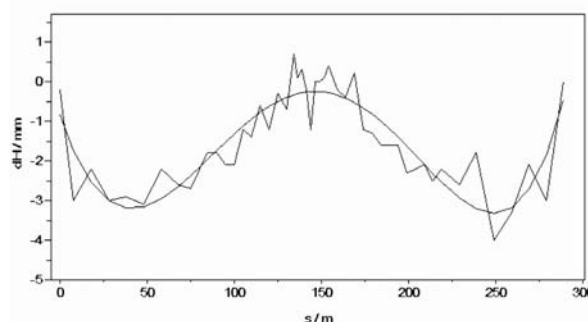
Při stabilizaci takového množství bodů nebylo možné přesně rozměřit polohu, aby oba profily byly navzájem dostatečně rovnoběžné a všechny body ležely přesně na těchto přímkách. Obecně je tedy možné uvažovat dvě řady bodů, které jsou rozmístěny kolem dvou téměř rovnoběžných přímek. Aby bylo možné určit průhybovou čáru mostovky, bylo tedy nejprve nutné polohy bodů výpočtem upravit tak, že byly dvěma skupinami bodů (odpovídajícími profilům) proloženy metodou nejmenších čtverců s dodržением podmínky ortogonálního prokládání dvě přímky s podmínkou vzájemné rovnoběžnosti, a následně bylo určeno staničení, které bylo měřeno od počátků kolmic vedených od přímky k bodům profilů. Počáteční staničení bylo zároveň společné pro oba profily (promítnutím počátečního bodu prvního profilu na druhý). Pro ilustraci přesnosti stabilizace bodů lze uvést, že průměrná vzdálenost bodu od vyrovnané přímky byla 13 mm (maximální 144 mm), rozdíl staničení počátečních bodů profilu byl 22 mm.

Určení opravy ze změny teploty

Následující grafy zobrazují porovnání určených výšek v první etapě (v místním systému) při měření všech 492 bo-

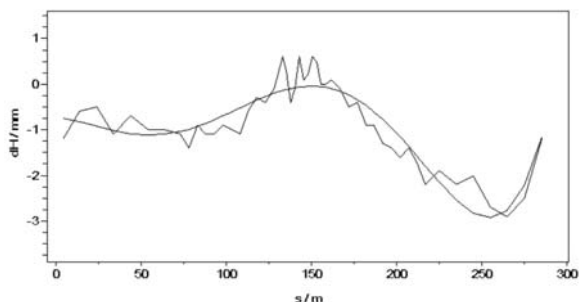


Obr. 4. Schéma vyrovnání profilů



Obr. 5. Graf rozdílů měření a kontrolního měření – profil č. 1

dů a při měření bodů časového řezu, je zde patrná změna tvaru mostního tělesa v závislosti na čase (střed měřeného pole klesá společně s přístrojem, zatímco konce pole za pilíři mají tendenci stoupat). Obecně při porovnání výšek všech bodů s výškami bodů časového řezu je výsledkem polygon. Pro další výpočet potlačení teplotní změny bylo tedy nutné proložit polygon křivkou, jež je snadno matematicky definovatelná (polynom n -tého řádu), a poté je možné spočítat opravu ze změny tvaru (vlivem změny teploty) pro jednotlivá staničení, a získat tak konečné výšky pro určení křivky, jež bude charakterizovat mostní konstrukci. Rozdíly určených výšek dH v závislosti na staničení s jsou znázorněny na obr. 5 a obr. 6. Hladká křivka znázorňuje proloženou funkci (polynom šestého stupně).



Obr. 6. Graf rozdílů měření a kontrolního měření – profil č. 2

Křivky a průběh mostovky

Jde o podobný výpočet jako ve zpracování časových vzorků, ovšem s tím rozdílem, že přibližný typ křivky je znám, jde o polynom desátého stupně ve tvaru

$$H_i = a_0 + a_1 s_i + a_2 s_i^2 + a_3 s_i^3 + \dots + a_{10} s_i^{10}, \quad (1)$$

kde s_i a H_i jsou staničení a výška i -tého bodu.

Proložení lze provést jednoduše metodou nejmenších čtverců, matice plánu experimentu J a vektor pravých stran I jsou definovány

$$J(i, j) = s_i^{j-1}; \quad I(i) = H_i, \quad (2)$$

kde $j = 1, 2, 3, \dots, 11$ a $i = 1, 2, \dots, n$, kde n je počet měřebných bodů. Vektor neznámých

$$\mathbf{a} = \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_{10} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

Pro výpočet neznámých koeficientů a_0 až a_{10} se použije vzorec

$$\mathbf{a} = (\mathbf{J}^T \mathbf{J})^{-1} \mathbf{J}^T \mathbf{I}. \quad (4)$$

Vektor oprav \mathbf{v} přiřazovaných k výškám H se vypočítá z vzorce

$$\mathbf{v} = \mathbf{J}\mathbf{a} + \mathbf{I}. \quad (5)$$

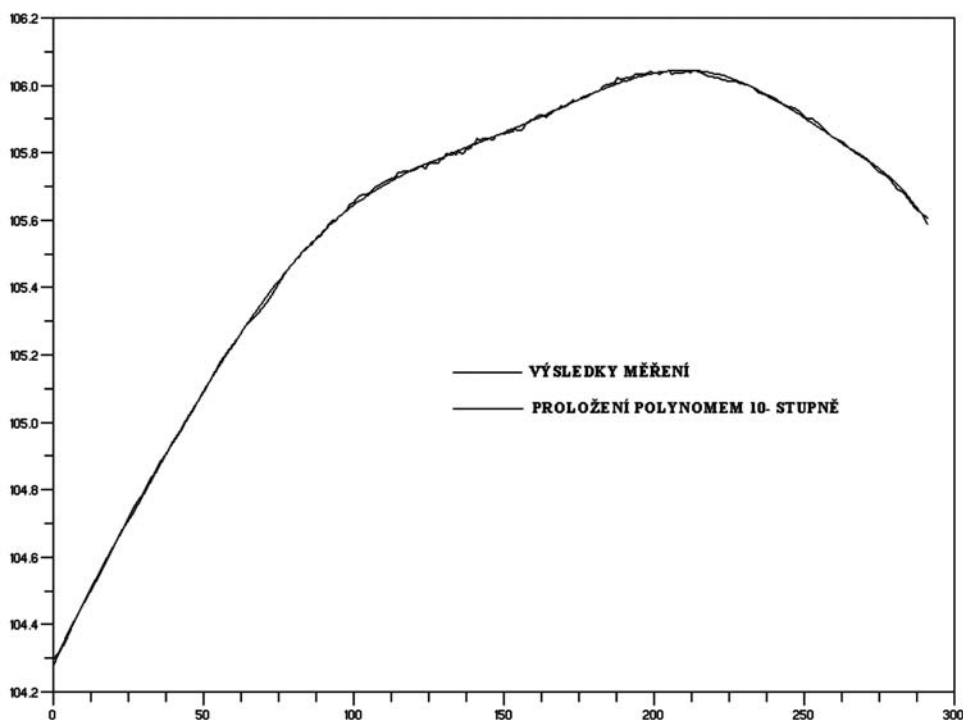
Výsledky etapového měření

Odchytky proložení (polynom desátého stupně) lze pro ilustraci nalézt v tab. 3.

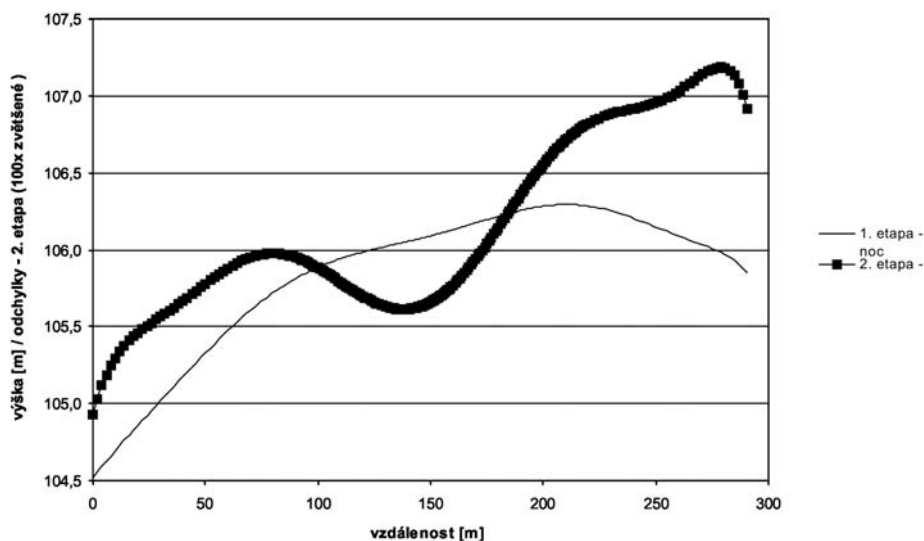
Tab. 3. Odchytky proložení

Odchytky [mm]	Profil č. 1			Profil č. 2		
	etapa I.	etapa II.	etapa III.	etapa I.	etapa II.	etapa III.
směrodatná	4,47	4,86	4,94	6,99	7,52	7,33
maximální	12,20	16,31	16,76	20,34	28,72	24,60
průměrná	3,52	3,69	3,75	5,37	5,77	5,70

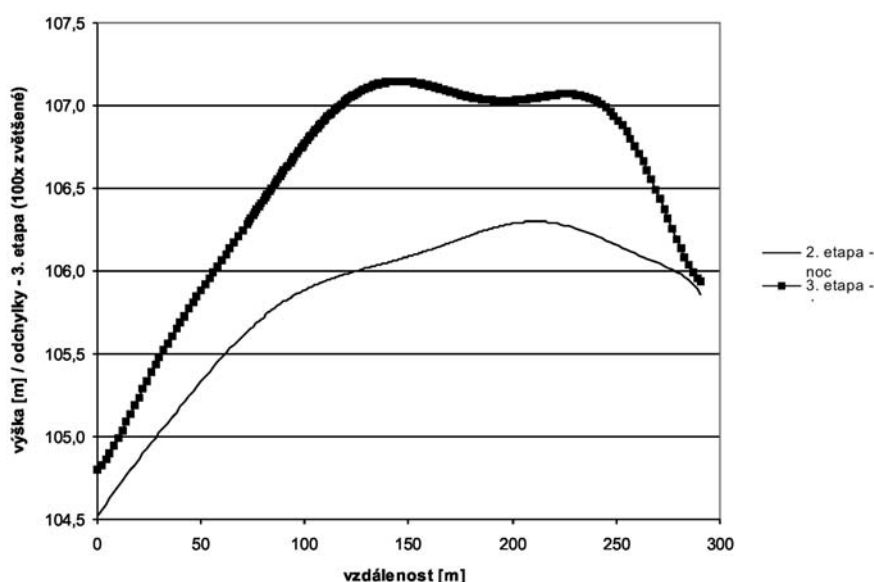
Grafické znázornění výsledků na profilu č. 1 lze vidět na obr. 8 a obr. 9 – na obr. 8 je porovnána I. a II. etapa pro studii vývoje konstrukce v delším časovém horizontu (tři měsíce), jež je pravděpodobně ovlivněna teplotou konstrukce, na obr. 9 je porovnána II. a III. etapa pro studii vývoje konstrukce vlivem teplotních změn.



Obr. 7. Proložení výsledků měření polynomem – I. etapa



Obr. 8. Rozdíly mezi I. a II. etapou (100 x zvětšeno)



Obr. 9. Rozdíly mezi II. a III. etapou (100 x zvětšeno)

Závěr

Bylo provedeno detailní zaměření povrchu nosné konstrukce s použitím velkého počtu bodů (obr. 3). Technologie geodetického měření se ukázala jako dostatečně přesná a rychlá pro daný účel. Výsledkem je „hladká a spojitá“ čára aproximující aktuální tvar nosné konstrukce (obr. 7), jejíž matematická analýza, doplněná například o vizuální kontrolu stavu nosné konstrukce, může odhalit případné poruchy nosné konstrukce vedoucí k nadměrným, v čase se zvětšujícím průhybům. Za předpokladu lineárního dotvarování (např. podle ČSN ENV 1992-1-1) a neměnného napětí musí být totiž zjištěný tvar průhybové čáry „podobný“ tvaru deformace, získaného výpočtem s uvažováním postupu výstavby, změny statického systému a vývoje deformací vlivem dotvarování betonu.

Zjištěné rozdíly tak mohou indikovat na konstrukci místa například se zmenšenou tuhostí způsobenou trhlinami v konstrukci. Je nutné připomenout, že pokud neodpovídá reálný

tvar deformace předpokladům výpočtu, pak ani rozložení vnitřních sil definované výpočtem není správné.

Výsledky byly získány v rámci řešení projektů č. 103/08/P613, částečně č. 103/06/0674 GA ČR a výzkumného záměru VZ 1 – CEZ MSM 684 077 000 1 „Spolehlivost, optimalizace a trvanlivost stavebních materiálů a konstrukcí“.

Literatura

- [1] Vodsoň, J.: Časový vývoj trvalých průhybů velkých mostů z předpjatého betonu. Nepublikované technické zprávy o výsledcích dlouhodobých sledování vybraných mostů pozemních komunikací za roky 1995-2007.
- [2] Böhm, J. – Radouch, V. – Hampacher, M.: Teorie chyb a vyrovnávací počet. Geodetický a kartografický podnik Praha, 2. vydání, 1990. ISBN 80-7011-056-2.
- [3] Vráblík, L. – Štroner, M. – Urban, R.: Zaměření tvaru nosné konstrukce mostu přes Labe v Mělníku. Beton – křižovatka požadavků, 8, 2008, č. 4, s. 84-87. ISSN 1213-3116.

Urban, R. – Vráblík, L. – Štroner, M.: Stage Measurement of the Shape of the Carrying Structure of the Bridge across the Elbe River near Mělník

Long-span concrete prestressed bridges are sensitive to long-term deflections growth. The bridge over the river Labe near Mělník is a typical example of this structural type. Now, 15 years after the bridge opening, the mid-span deflection still increases. Detail surveying of the superstructure was carried out to identify possible structural failure.

Urban, R. – Vráblík, L. – Štroner, M.: Etappenweise Messung der Tragkonstruktion einer Brücke über die Elbe in Mělník

Spannbetonbrücken großer Spannweiten weisen typischerweise eine langfristige Zunahme der Durchbiegungen auf. Ein Beispiel einer solchen Konstruktion ist die Elbebrücke in Mělník, bei der auch nach fünfzehn Jahren seit der Inbetriebnahme die Zunahme der Durchbiegungen nicht aufhört. Ziel der genauen Vermessung der Form der deformierten Konstruktion war es, mögliche Stellen ihrer Beschädigung zu identifizieren.

projekty

Copa Centrum Národní

Multifunkční objekt Copa Centrum Národní, jedna z největších soukromých investic v centru Prahy, se stane významným společenským i obchodním srdcem lokality Prahy 1 a zásadně změní současnou podobu tohoto místa. Předpokládaná doba stavby je zhruba dva roky.



Objekt tvoří šest samostatných vzájemně propojených budov, z nichž jedna se přimyká k objektu obchodního domu Tesco. Dohromady pak tvoří organický blok, v jehož nitru vznikne pasáž spojující ulice Spálenou, Charvátovu a Purkyňovu. V lokalitě bude podzemní parkoviště pro 250 aut. Projekt zahrnuje zhruba 17 000 m² kancelářských prostor, 12 000 m² maloobchodních prostor a 2 000 m² mezonetových rezidenčních bytů.

Developer, společnost Copa Group, kladе velký důraz na harmonii projektu s geniem loci stávající zástavby. Obvodový plášť administrativní části nového objektu bude tvořit kombinace skleněných ploch s masivními římsami. Na nároží Vladislavovy a Purkyňovy ulice pak vznikne bytový objekt. Celý komplex bude vertikálně zakončen střešními terasami s výrazným zastoupením zeleně. I když nepůjde o ty-

pickou energeticky úspornou budovu, bude projekt splňovat normy a technické předpisy pro úsporu energie a ochranu životního prostředí.



Nový vestibul metra s bezbariérovým přístupem bude umístěn ve druhém podlaží objektu s přímou návazností na obchodní plochy. Z této úrovně bude pokračovat trojice eskalátorů na nároží ulic Spálené a Purkyňovy. Cestující metra tak budou moci procházet do okolních ulic obchodní pasáží nebo tímto samostatným výstupem do ulice Spálené. Hluboké podloubí v celé šíři průčelí rozšíří chodník v blízkosti frekventované stanice tramvaje a bude krytý chodce před nepříznivým počasím. Velkou změnou projde plocha podél Vladislavovy a Charvátovy ulice, kde vzniknou odpočinkové plochy s fontánami a dalšími vodními plochami, zelení a lavičkami.

Tisková informace

Posouzení modelů pro potlačení distorze objektivu – teorie

Ing. Rudolf URBAN
Ing. Martin ŠTRONER Ph.D.
ČVUT – Fakulta stavební

Moderní blízká fotogrammetrie stále častěji využívá neměřické digitální fotoaparáty pro jejich praktičnost, finanční dostupnost a dostačující přesnost pořízených dat. Stále kvalitnější rozlišení fotoaparátů ovšem přináší řadu komplikací ve formě vad objektivu, které ovlivňují přesnost celého systému. Největším problémem pro fotogrammetrické využití je distorze objektivu a její potlačení.

Úvod

Pro potlačení distorze objektivu byly vybrány tři výpočetní modely a v rámci experimentu porovnány. Výsledek, který bude uveden ve druhé části článku, ukazuje možnosti jednotlivých modelů pro potlačení distorze objektivu u fotoaparátů s rozlišením 8 Mpix. Výpočetní modely jsou sestaveny tak, že zohledňují veškeré vady, které optická soustava obsahuje (přesnost výroby senzoru atd.):

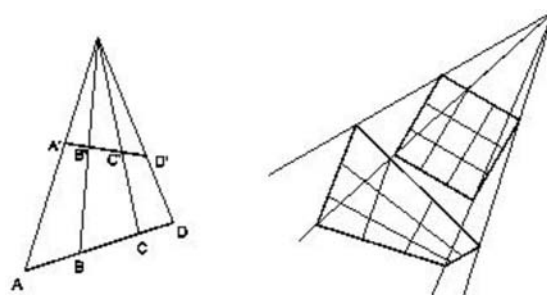
- první model [1], dále označený jako **distorze K**, využívá 16 koeficientů teoreticky odvozených z matematického modelu matematicky definovatelných distorzí objektivu;
- druhý (jednodušší) [2], **distorze H**, využívá jen 5 koeficientů;
- třetí model používá **Čebyševovy polynomy** až s 45 koeficienty pro každou složku souřadnic. Cílem bylo ověřit použití ortogonálního polynomu jako možného postupu bez nutnosti definovat jednotlivé složky distorze. Ortogonální polynomy byly vybrány vzhledem k tomu, že jejich členy nejsou vzájemně závislé a lze použít značně vyšší stupeň.

Pro výpočet zobrazení skutečnosti do snímku byla využita kolineární transformace, kde obraz bodu je pomocí středového promítání zobrazen z jedné roviny na druhou, pro ověřování bylo použito celkem 194 bodů umístěných v rovině na kalibrační desce.

Výpočetní modely

Kolineární transformace

Základem každého modelu zobrazení roviny ve skutečnosti do roviny snímku je, jak již bylo uvedeno, kolineární transformace doplněná příslušným modelem distorze objektivu. Pro ověření výpočtu distorzí byla zvolena kolineární (projektivní) transformace, známá především z fotogrammetrie. Jde o transformaci, kdy je obraz bodu pomocí středového promítání zobrazen z jedné roviny na druhou (obr. 1). První rovina je realizována plochou snímače digitálního fotoaparátu, druhá plochou kalibrační desky.



Obr. 1. Geometrický význam kolineární transformace

Transformační vztah má tvar:

$$X = \frac{K_1x + K_2y + K_3}{K_7x + K_8y + 1}, \quad (1)$$

$$Y = \frac{K_4x + K_5y + K_6}{K_7x + K_8y + 1}. \quad (2)$$

Tato transformace není konformní, měřítko není konstantní, zachovává dvojpoměr v rámci čtveřice bodů ležících na přímce (obr. 1).

$$\frac{AC}{BC} : \frac{AD}{BD} = \frac{A'C'}{B'C'} : \frac{A'D'}{B'D'} = \dots = \text{konst.} \quad (3)$$

Přímky se zobrazují opět jako přímky, rovnoběžné v originále po transformaci směřují do společného bodu (úběžníku). Pro určení osmi neznámých koeficientů ($K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7, K_8$) jsou nutné nejméně čtyři identické body v obou soustavách.

Distorze K

Pro popis vlivu distorze práce [1] udává 12 základních ortogonálních členů (obr. 2) a 4 doplňkové. První dva doplňkové členy jsou určeny pro objektivu, kde se předpokládá zejména distorze radiální ($r^2 = x^2 + y^2$):

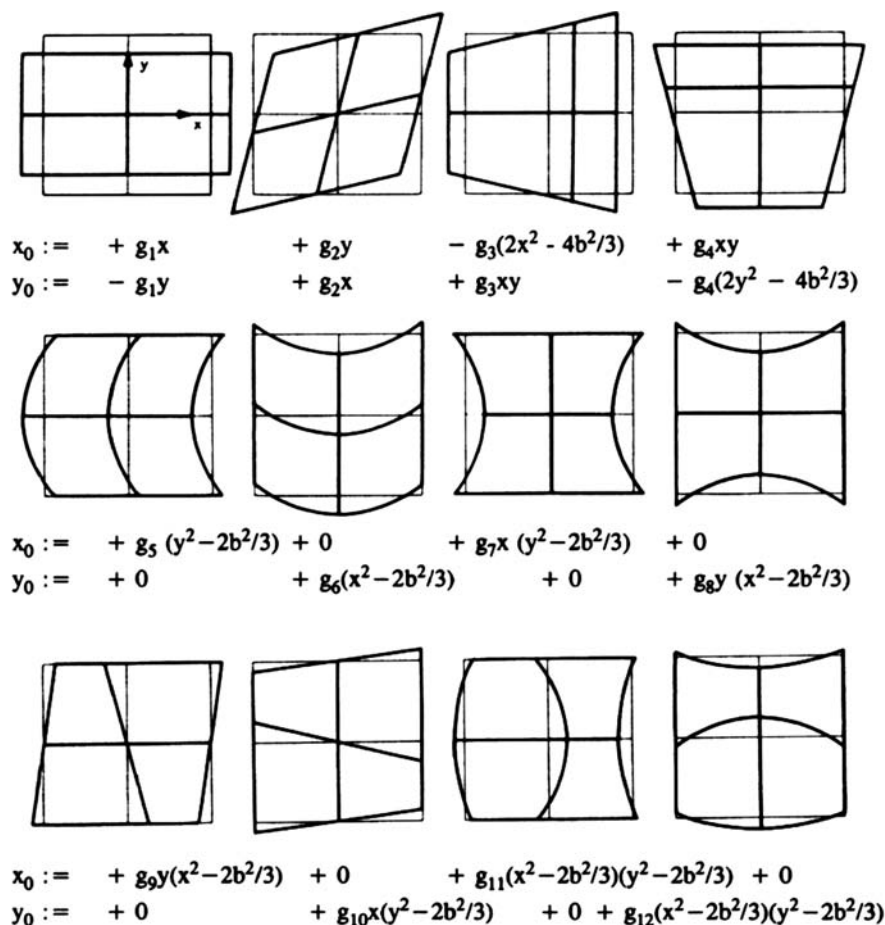
$$x_0 = g_{13}xr^2, \quad y_0 = g_{13}yr^2, \quad (4)$$

$$x_0 = g_{13}xr^2, \quad y_0 = g_{13}yr^2. \quad (5)$$

Druhé dva doplňkové členy popisují tangenciální nebo asymetrickou zbytkovou distorzi:

$$x_0 = g_{15}(r^2 + 2x^2), \quad y_0 = g_{15}2xy, \quad (6)$$

$$x_0 = g_{16}2xy, \quad y_0 = g_{16}(r^2 + 2y^2). \quad (7)$$



Obr. 2. Základní členy distorze [1]

Distorze H

Práce [2] udává tyto základní rovnice pro odstranění radiální (k_1, k_2, k_3) a decentrické (p_1, p_2) distorze:

$$x_0 = x(k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) + p_1(r^2 + 2x^2) + 2p_1 xy, \quad (8)$$

$$y_0 = y(k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) + p_2(r^2 + 2y^2) + 2p_2 xy,$$

$$\text{kde } r^2 = x^2 + y^2. \quad (9)$$

Uvádí, že pro většinu neměřických kamer s úhlem záběru 40-45° stačí pro korekci radiální distorze koeficienty k_1 a k_2 . Pro širokoúhlé objektivy je pak vhodné použít všechny tři koeficienty. Stojí za povšimnutí, že výpočet distorzí pochází z kombinace členů, uvedených v [1], s výjimkou koeficientu pro šestou mocninu vzdálenosti od hlavního snímkového bodu.

Čebyševovy polynomy

Předěšlé modely se opíraly zejména o matematickou interpretaci fyzikálních jevů distorzí objektivu. Sestavení koeficientů bylo odvozeno jak na základě teoretických znalostí, tak výsledků experimentů. Model potlačení distorze objektivu pomocí polynomické funkce byl zařazen do experimentu právě pro možnost praktického použití bez znalosti podstaty vad zobrazení. Čebyševovy polynomy jsou ortogo-

nální, navyšováním řádu polynomu se přesnost stále zvyšuje. Lze je nalézt téměř ve všech publikacích věnovaných základní matematice pro vysoké školy, např. [4].

Aproximace Čebyševovými polynomy se snadno konstruuje a je téměř tak přesná jako nejlepší stejnoměrná aproximace. Často se používá pro výpočet funkcí. Pro interpolaci se libovolný interval lineárně transformuje na interval $(-1,1)$. Každému $t \in (-a,b)$ bude přiřazena hodnota $x \in (-1,1)$ funkčním předpisem

$$x = \frac{t - \frac{1}{2}(a+b)}{b-a}. \quad (10)$$

Čebyševův polynom lze psát ve tvaru $T_n(x) = \cos(n \arccos x)$. Pokud hodnota x symbolizuje souřadnici x , stejný postup lze aplikovat i pro souřadnici y . Lze tedy sestavit bivariantní Čebyševův polynom (použitý pro výpočet):

$$\begin{aligned}
 & a + \\
 & + bT_1(x) + cT_1(y) + \\
 & + dT_2(x) + eT_1(x)T_1(y) + fT_2(y) + \\
 & + gT_3(x) + hT_2(x)T_1(y) + iT_1(x)T_2(y) + jT_3(y) + \\
 & \dots, \quad (11)
 \end{aligned}$$

kde písmena $a-j$ označují konstanty.

Postup výpočtu

Kolineární transformace

■ **Přibližný výpočet**

Matematickým základem jsou rovnice, které určují zobrazení z plochy snímače digitálního fotoaparátu na plochu kalibrační desky:

$$X = \frac{K_1x + K_2y + K_3}{K_7x + K_8y + 1}, \quad (12)$$

$$Y = \frac{K_4x + K_5y + K_6}{K_7x + K_8y + 1}. \quad (13)$$

Vzorce lze triviální úpravou převést do tvaru

$$K_1 \cdot x + K_2 \cdot y + K_3 - K_7 \cdot x \cdot X - K_8 \cdot y \cdot X = X, \quad (14)$$

$$K_1 \cdot x + K_2 \cdot y + K_3 - K_7 \cdot x \cdot X - K_8 \cdot y \cdot X = X. \quad (15)$$

Výpočet lze zpracovat metodou nejmenších čtverců, konkrétně vyrovnáním zprostředkujících měření [3]. Jestliže vektor přírůstku neznámých se označí jako **dx**, pak vektor neznámých má tvar

$$\mathbf{x}^T = (K_1 \quad K_2 \quad K_3 \quad K_4 \quad K_5 \quad K_6 \quad K_7 \quad K_8). \quad (16)$$

Pro koeficienty matice plánu experimentu **A** platí (horní řádek pro *X*, dolní řádek pro *Y*), neznámé v pořadí podle vektoru neznámých.

Tvar submatice

$$\begin{pmatrix} x & y & 1 & 0 & 0 & 0 & -xX & -yX \\ 0 & 0 & 0 & x & y & 1 & -xY & -yY \end{pmatrix}. \quad (17)$$

Matici **L** lze potom psát takto:

$$\text{pro } X: -X, \quad (18)$$

$$\text{pro } Y: -Y. \quad (19)$$

Přibližný výpočet koeficientů transformace je použit jako vstup pro iterační výpočet podle vzorců (12) a (13).

■ **Iterační výpočet**

Pro tento výpočet se zavede označení

$$X = \frac{K_1x + K_2y + K_3}{K_7x + K_8y + 1} = \frac{A}{C}, \quad (20)$$

$$Y = \frac{K_4x + K_5y + K_6}{K_7x + K_8y + 1} = \frac{B}{C}. \quad (21)$$

Koeficienty matice plánu experimentu **A** (horní řádek pro *X*, dolní řádek pro *Y*) v pořadí podle neznámých. Další po-

drobnosti ke standardnímu výpočtu vyrovnání měření zprostředkujících lze nalézt opět v [3].

$$\begin{pmatrix} \frac{x}{C} & \frac{y}{C} & \frac{1}{C} & 0 & 0 & 0 & \frac{-Ax}{C^2} & \frac{-Ay}{C^2} \\ 0 & 0 & 0 & \frac{x}{C} & \frac{y}{C} & \frac{1}{C} & \frac{-Bx}{C^2} & \frac{-By}{C^2} \end{pmatrix} \quad (22)$$

Matice **L**:

$$\text{pro } X: \frac{A}{C} - X, \quad (23)$$

$$\text{pro } Y: \frac{B}{C} - Y. \quad (24)$$

Vyrovnané hodnoty koeficientů transformace z iteračního výpočtu slouží jako vstupní data pro společný výpočet distorzí, kde se do vyrovnání zahrnují jako neznámé veškeré koeficienty. Samotný výpočet distorzí v sobě tedy zohledňuje koeficienty distorze i koeficienty kolineární transformace. Z vyrovnaných koeficientů lze potom zjistit, jak jednotlivé modely distorzí ovlivňují samotnou kolineární transformaci.

Distorze K

Základní rovnice pro opravu distorze K:

$$\begin{aligned} x_0 = & g_1x + g_2y - g_3(2x^2 - 4b^2/3) + g_4xy + g_5(y^2 - \\ & - 2b^2/3) + 0 + g_7x(y^2 - 2b^2/3) + 0 + g_9y(x^2 - 2b^2/3) + \\ & + 0 + g_{11}(x^2 - 2b^2/3)(y^2 - 2b^2/3) + 0 + g_{13}x(x^2 + y^2) + \\ & + g_{14}x(x^2 + y^2)^2 + g_{15}((x^2 + y^2) + 2x^2) + g_{16}2xy; \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} y_0 = & -g_1y + g_2x + g_3xy - g_4(2y^2 - 4b^2/3) + 0 + g_6(x^2 - \\ & - 2b^2/3) + 0 + g_8y(x^2 - 2b^2/3) + 0 + g_{10}x(y^2 - 2b^2/3) + \\ & + 0 + g_{12}(x^2 - 2b^2/3)(y^2 - 2b^2/3) + g_{13}y(x^2 + y^2) + \\ & + g_{14}y(x^2 + y^2)^2 + g_{15}2xy + g_{16}((x^2 + y^2) + 2y^2). \end{aligned} \quad (26)$$

Pro výpočet je nutné nejprve redukovat snímkové souřadnice o polohu hlavního snímkového bodu, neboť model předpokládá jistou souměrnost vlivu distorzí.

Naplnění matic pro část, která řeší kolineární transformaci, je totožné s postupem v odstavci věnovaném iteračnímu výpočtu, proto bude dále ukázáno naplnění matic jen pro část řešící distorze.

Subvektor neznámých pro distorze má tvar :

$$\mathbf{x}_D^T = (g_1 \quad g_2 \quad g_3 \quad g_4 \quad \dots \quad g_{16} \quad g_{17} \quad b), \quad (27)$$

kde konstanta *b* je zavedena do výpočtu jako další neznámá.

Sestavení submatice **A** pro distorze:

$$\text{pro } X_{1-7} : x \quad y \quad -(2x^2 - 4b^2/3) \quad xy \quad (y^2 - 2b^2/3) \quad 0 \\ x(y^2 - 2b^2/3),$$

$$\text{pro } X_{8-11} : 0 \quad y(x^2 - 2b^2/3) \quad 0 \quad (x^2 - 2b^2/3)(y^2 - 2b^2/3),$$

$$\text{pro } X_{12-16} : 0 \quad x(x^2 + y^2) \quad x(x^2 + y^2)^2 \quad ((x^2 + y^2) + 2x^2) \quad 2xy,$$

$$\text{pro } X_{17} : 8bg_3/3 - 4bg_5 - 4bg_7 - 4bg_9 - 2b^2g_{11}x^2/3 - 2b^2g_{11}y^2/ \\ /3 + 16b^3g_{11}x^2/9; \quad (28)$$

$$\text{pro } Y_{1-7} : -y \quad x \quad xy \quad -(2y^2 - 4b^2/3) \quad 0 \quad (x^2 - 2b^2/3) \quad 0,$$

$$\text{pro } Y_{8-11} : y(x^2 - 2b^2/3) \quad 0 \quad x(y^2 - 2b^2/3) \quad 0,$$

$$\text{pro } Y_{12-16} : (x^2 - 2b^2/3)(y^2 - 2b^2/3) \quad y(x^2 + y^2) \quad y(x^2 + y^2)^2 \\ 2xy \quad ((x^2 + y^2) + 2y^2),$$

$$\text{pro } Y_{17} : 8bg_4/3 - 4bg_6 - 4bg_8 - 4bg_{10} - 2b^2g_{12}x^2/3 - 2b^2g_{12}y^2/ \\ /3 + 16b^3g_{12}x^2/9. \quad (29)$$

Matice **L**:

$$\text{pro } X : \frac{A}{C} - X + x_0, \quad (30)$$

$$\text{pro } Y : \frac{B}{C} - Y + y_0. \quad (31)$$

Distorze H

Základní rovnice pro odstranění distorze H:

$$x_0 = x(k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6) + p_1(r^2 + 2x^2) + 2p_1xy, \quad (32)$$

$$y_0 = y(k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6) + p_2(r^2 + 2y^2) + 2p_2xy,$$

$$\text{kde } r^2 = x^2 + y^2. \quad (33)$$

Subvektor neznámých pro distorze má tvar

$$\mathbf{x}_D^T = (k_1 \quad k_2 \quad k_3 \quad p_1 \quad p_2). \quad (34)$$

Opět je nutné redukovat snímkové souřadnice o polohu hlavního snímkového bodu.

Sestavení submatice **A** pro distorze:

$$\text{pro } X : xr^2 \quad xr^4 \quad xr^6 \quad r^2 + 2x^2 + 2xy \quad 0 \\ \text{pro } Y : yr^2 \quad yr^4 \quad yr^6 \quad 0 \quad r^2 + 2y^2 + 2xy \quad (35)$$

Matice **L**

$$\text{pro } X : \frac{A}{C} - X + x_0, \quad (36)$$

$$\text{pro } Y : \frac{B}{C} - Y + y_0. \quad (37)$$

Čebyševův polynom

Jak již bylo naznačeno, výpočet je rozdělen do několika kroků. Nebudou zde rozepsány vstupní matice pro vyrovnání, neboť polynomy jsou vzhledem k neznámým koeficientům lineární a matice jsou tedy triviální. Nejprve je nutné provést transformaci snímkových souřadnic redukovanych o polohu hlavního bodu do intervalu (-1, 1). To vyjadřují rovnice:

$$tx(x) = 2 \cdot \frac{x - \frac{1}{2}(x_{\max} + x_{\min})}{x_{\max} - x_{\min}}, \quad (38)$$

$$ty(y) = 2 \cdot \frac{y - \frac{1}{2}(y_{\max} + y_{\min})}{y_{\max} - y_{\min}}, \quad (39)$$

x_{\max} , x_{\min} , y_{\max} , y_{\min} zde zastupují extrémy snímkových souřadnic, jež vstupují do transformace.

Výpočet potřebných členů pro polynom se provede podle rovnic:

$$T_n(tx) = \cos(n * a \cos(tx)), \quad (40)$$

$$T_n(ty) = \cos(n * a \cos(ty)), \text{ kde } n = 1, 2, \dots \quad (41)$$

Nyní je již možno sestavit polynom podle formule:

$$\begin{aligned} &0. \text{ řád } a + \\ &1. \text{ řád } + bT_1(tx) + cT_1(ty) + \\ &2. \text{ řád } + dT_2(tx) + eT_1(tx)T_1(ty) + fT_2(ty) + \\ &3. \text{ řád } + gT_3(tx) + hT_2(tx)T_1(ty) + iT_1(tx)T_2(ty) + jT_3(ty) + \\ &\dots \end{aligned} \quad (42)$$

kde a , b , c jsou koeficienty polynomů, jež jsou pro vyrovnání neznámé.

Vyrovnání koeficientů obecně

Vyrovnání koeficientů vychází z publikace [3], proto zde budou uvedeny jen nejnútnejší vztahy pro vyrovnání podle

metody nejmenších čtverců. Vyrovnané přírůstky neznámých určíme jako $dx = (A^T A)^{-1} A^T L$, z nichž vypočteme hledané neznámé $x = x_0 - dx$, kde x_0 je vektor neznámých. Dále můžeme vypočítat opravy $v' = A \cdot dx - L$, které použijeme pro první výpočet směrodatné odchylky podle vzorce

$$\sigma'_{l_0} = \sqrt{\frac{v'^T v'}{n-k}} = \sqrt{\frac{v'^T v'}{n'}} \quad (43)$$

kde n' je počet nadbytečných měření.

Závěr

V článku byly prezentovány tři výpočetní modely pro potlačení vlivu distorze, metody sestavení matic a vzorce pro výpočet. Ve druhé části článku budou prezentovány výsledky jednotlivých modelů pro potlačení distorze objektivu. Pro experiment bylo použito celkem 194 bodů umístěných v rovině na kalibrační desce.

Literatura

- [1] Kraus, K.: Photogrammetry Volume 2 – Advanced Methods and Applications. Duemmler/Bonn, Germany, 4th edition. ISBN 3-427-78694-3
- [2] Hanzl, V.: Přímá lineární transformace snímkových souřadnic s eliminací radiálního zkreslení objektivu. Geodetický a kartografický obzor, 32/74, 1986, č. 5.
- [3] Böhm, J. – Radouch, V. – Hampacher, M.: Teorie chyb a vyrovnávací počet. Praha, Geodetický a kartografický podnik 1990.
- [4] Bubeník, F. – Pultar, M.: Matematické vzorce a metody. Praha, Vydavatelství ČVUT 1994.

Článek byl zpracován v rámci projektu č. 103/06/0094 GA ČR “Zpracování a analýza produktů hromadného sběru 3D dat terestrickými skenovacími systémy” a projektu CTU0801511 94 “Skenovací systém s virtuálními binárními značkami”.

Urban, R. – Štroner, M.: Assessment of Models to Combat Lens Distortion – Theory

Contemporary close-range photogrammetry more and more often uses non-metric digital cameras because of their practicalness, low cost and increasing resolution (commonly more than 8 Mpix) with satisfactory accuracy. An important influence harming the accuracy of the measurement with those cameras is lens distortion, more generally deformations of the projection from the reality to image.

Urban, R. – Štroner, M.: Beurteilung von Modellen zur Unterdrückung der Distorsion von Objektiven – Theorie

Die moderne Nahfotogrammetrie nutzt immer mehr nicht zum Messen hergestellte digitale Fotoapparate wegen ihrer praktischen Eigenschaften, ihrer Preisgünstigkeit und der ausreichenden Genauigkeit der solchermaßen erhaltenen Daten. Das immer bessere Auflösungsvermögen der Fotoapparate bringt allerdings eine Reihe von Komplikationen in Form von mancherlei Objektivmängeln mit sich, welche die Genauigkeit des ganzen Systems beeinträchtigen. Das größte Problem für die fotogrammetrische Anwendung ist die Distorsion des Objektivs und deren Unterdrückung.

Stavební obzor na CD

Ročníky

2002–2008

ve formátu pdf si lze objednat u distributora,
popř. v redakci našeho časopisu

Cena:

1 ročník na CD 400 Kč
Poštovné + balné (dobírka) 100 Kč

Objednávky:

Ing. Milan Gattringer, MG DTP,
Borovanská 3388, 143 00 Praha 4,
tel./fax: 241 770 220, e-mail: mgdtp@volny.cz

•dizertace



Analýza tepelně vlhkostního chování zateplovacích systémů

Ing. Jan Ficenc

Dizertace je zaměřena na tepelně vlhkostní chování povrchových vrstev kontaktních zateplovacích systémů. Obsahuje teoretické výpočty porovnané s výsledky měření in-situ i v laboratoři. Novým poznatkem je značný vliv výměny tepla dlouhovlnným zářením na vznik kondenzace na vnějším povrchu zateplovacího systému a následný růst řas.

Modelling of Functionally Graded Materials Using Hashin-Shtrikman Variational Principle

Ing. Zahra Sharif Khodae

Autor pojednává o získávání efektivních materiálových vlastností pomocí principů uvedených v názvu a stochastických vztahů, přičemž se používá metoda hraničních prvků. Práce je využitelná v praxi.

Posouzení modelů pro potlačení distorze objektivu – experiment

Ing. Rudolf URBAN
Ing. Martin ŠTRONER, Ph.D.
ČVUT – Fakulta stavební
Praha

Pro potlačení distorze objektivu byly vybrány tři výpočetní modely, jež byly vzájemně porovnány pomocí experimentu. Výsledek ukazuje možnosti jednotlivých modelů pro potlačení distorze objektivu u fotoaparátů s rozlišením více než 8 Mpix.

Sestavení koeficientu a použité pomůcky

Potlačení distorzí bylo ověřováno na objektivu s ohniskovou vzdáleností $f = 28$ mm a fotoaparátu Canon D350 s rozlišením 8 Mpix. Poloha hlavního snímkového bodu byla určena experimentálně před výpočtem distorzí. Snímkové souřadnice byly určeny počítačovým programem (těžiště pixelů) s přesností desetiny pixelu. Rovinné souřadnice na kalibrační desce byly určeny digitálním planimetrem s přesností na setiny milimetru.

Na kalibrační dřevěné desce byl nalepen soubor očíslovaných bodů, vytvořených z papírových terčků a přelepených průhlednou lepicí páskou. Experiment měl sloužit spíše k výzkumu použití jednotlivých výpočetních modelů než k potlačení distorze a jejímu dalšímu využití. Proto byl zanedbán možný průhyb kalibrační desky, který je velmi závislý na vlhkosti prostředí.

Experiment byl proveden pro 194 bodů. První polovina sloužila k výpočtu koeficientů distorze a kolineární transformace, druhá k aplikaci distorzních členů pro určení správnosti distorzního modelu.

Potlačení distorze K a distorze H bylo provedeno společným vyrovnáním s kolineární transformací tak, jak je naznačeno v předchozí části článku. Jediným problémem byla inverze matic, jež se pro některé modely jevila značně nestabilní. Model distorze H byl jednoduchý a inverze matice modelu stabilní pro libovolný počet bodů. Model distorze K byl pro velký počet členů značně nestabilní, a proto byla na matice modelu využita pseudoinvertice založená na SVD (Singular Value Decomposition).

Model distorze s využitím Čebyševových polynomů nakonec nebyl vyrovnáván společně s kolineární transformací. Hlavním důvodem byla značná nestabilita výpočtu inverze, a dalším závažným důvodem bylo, že po použití pseudoinvertice, podobně jako u distorze K, došlo k výrazné úpravě koeficientů kolineární transformace a úplnému vynulování třetích a vyšších koeficientů distorzního modelu. Koeficienty Čebyševova polynomu byly tedy určeny samostatnou aproximací odchylek po kolineární transformaci pro každou souřadnici zvlášť.

Výsledky a statistické hodnocení experimentu

Výsledky experimentu pro jednotlivé modely distorze se budou skládat z vektorového pole s příslušným zvětšením a ze souboru odchylek popisujících přesnost. Pro hodnocení

výpočtu koeficientů distorze (první polovina bodů) bude uvedena pouze směrodatná odchylka jednotková. Bude pro přehlednost udáván jako matematický model. Pro hodnocení potlačení vad objektivu (druhá polovina bodů) bude uvedena směrodatná odchylka jednotková pro obě souřadnice podle vzorce

$$\sigma''_n = \sqrt{\frac{\sum d_n}{n'}}, \quad (1)$$

kde n' je počet nadbytečných měření a d_n zbytková chyba po potlačení distorze ($n = x, y$).

Minimální a maximální zbytková chyba po potlačení distorze pro obě snímkové souřadnice, průměrná odchylka pro obě souřadnice podle vzorce

$$\sigma^p_n = \frac{\sum d_n}{n}, \quad (2)$$

kde n je počet měření a d_n zbytková chyba po potlačení distorze ($n = x, y$).

Dále budou zbytkové chyby po potlačení distorze ve snímkových souřadnicích přepočteny do odchylky polohové

$$d_p = \sqrt{d_x^2 + d_y^2}, \quad (3)$$

kde d_x a d_y jsou zbytkové chyby.

Pro polohové vyjádření zbytkových chyb bude uvedeno stejné statistické zhodnocení, ovšem vypočtené již z odchylek polohových.

Kolineární transformace

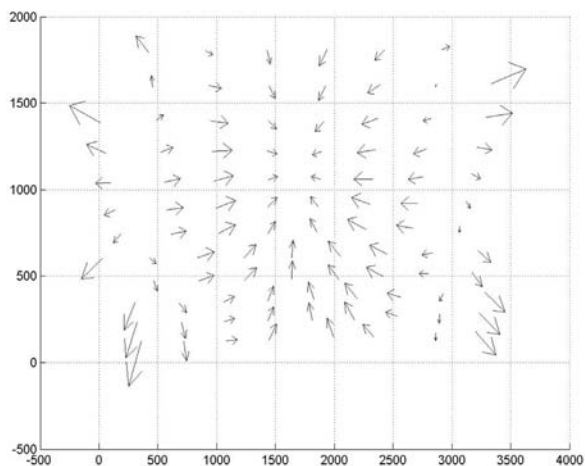
Polohové odchylky matematického modelu kolineární transformace bez jakékoli korekce vad objektivu se směrodatnou odchylkou jednotkovou 3,18 pixelu jsou znázorněny na obr. 1. Kolineární transformaci bez korekce vad objektivu, aplikovanou na druhou polovinu bodů, ukazuje obr. 2 a tab. 1. Izočáry odchylek jednotlivých souřadnicových os jsou patrné z obr. 3 a obr. 4.

Distorze K

Polohové odchylky matematického modelu potlačení distorze K se směrodatnou odchylkou jednotkovou 0,33 pixelu jsou znázorněny na obr. 5. Distorzi K, aplikovanou na druhou polovinu bodů, ukazuje obr. 6 a tab. 2.

Distorze H

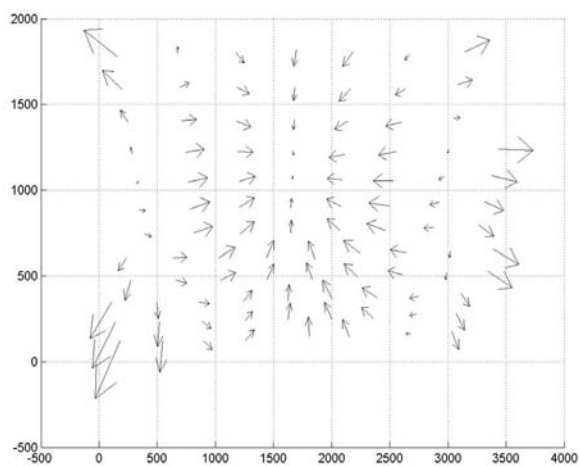
Polohové odchylky matematického modelu potlačení distorze H se směrodatnou odchylkou jednotkovou 0,46 pixelu jsou znázorněny na obr. 7. Distorzi H, aplikovanou na druhou polovinu bodů, ukazuje obr. 8 a tab. 3.



Obr. 1. Kolineární transformace (model) – zvětšení 30x

Tab. 1. Statistické hodnocení kolineární transformace

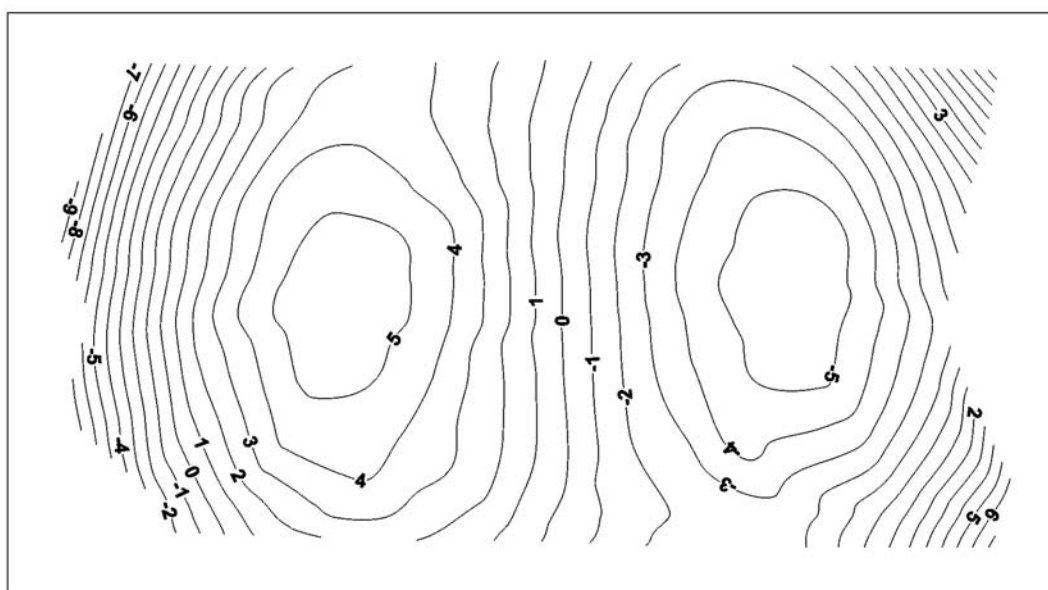
Odchylka	d_x	d_y
	[pixel]	
směrodatná	3,86	2,71
průměrná	-0,08	0,10
max	9,63	11,28
min	-9,94	-5,15
směrodatná	4,72	
průměrná	4,12	
max	13,35	
min	0,74	



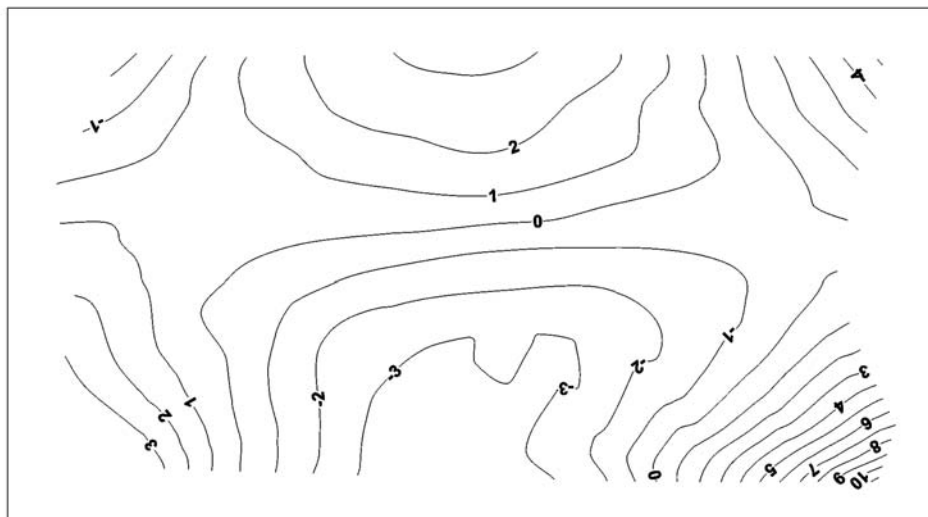
Obr. 2. Kolineární transformace – zvětšení 30x

Tab. 2. Statistické hodnocení distorze K

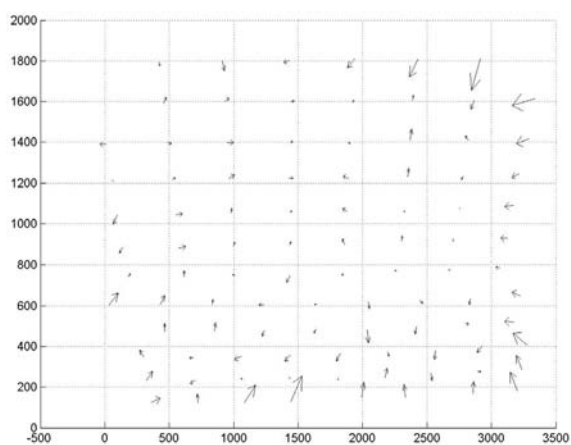
Odchylka	d_x	d_y
	[pixel]	
směrodatná	0,48	0,41
průměrná	0,07	-0,05
max	1,75	1,80
min	-0,99	-1,28
směrodatná	0,63	
průměrná	0,47	
max	2,30	
min	0,01	



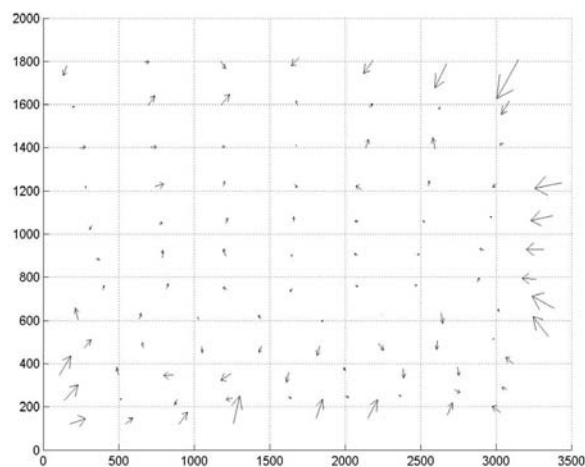
Obr. 3. Isočáry pro odchylky d_x



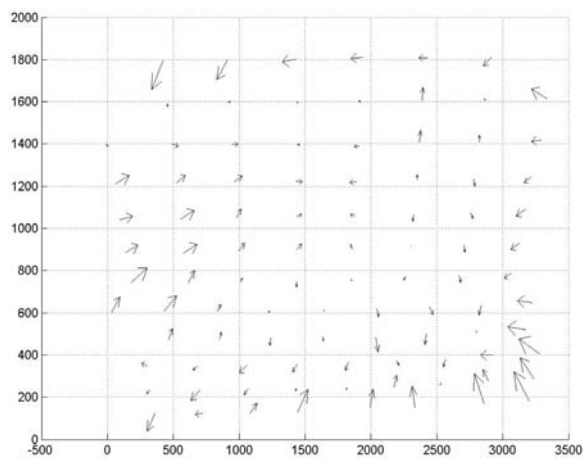
Obr. 4. Izočáry pro odchylky d_r



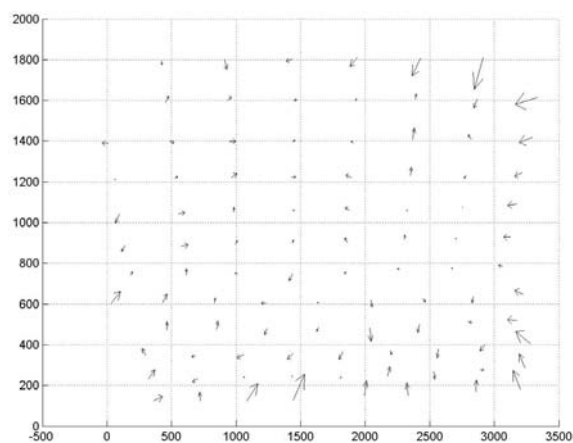
Obr. 5. Distorze K (model) – zvětšení 100x



Obr. 6. Distorze K (model) – zvětšení 100x



Obr. 7. Distorze H (model) – zvětšení 100x



Obr. 8. Distorze H – zvětšení 100x

Tab. 3. Statistické hodnocení distorze H

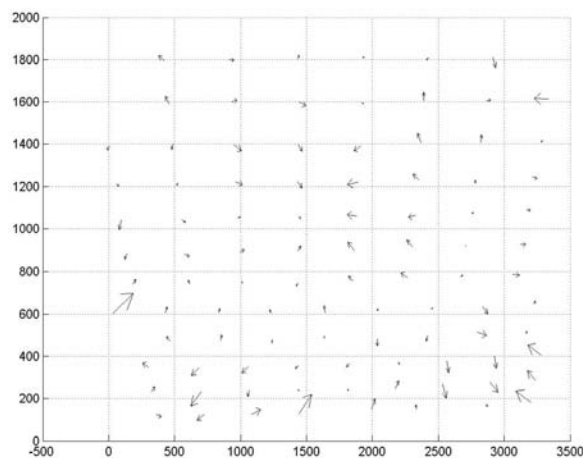
Odchylka	d_x	d_y
	[pixel]	
směrodatná	0,62	0,50
průměrná	0,14	-0,01
max	1,87	1,84
min	-1,21	-1,27
směrodatná	0,80	
průměrná	0,63	
max	2,62	
min	0,05	

Čebyševovy polynomy

Potlačení vad zobrazení pomocí Čebyševových polynomů byl vypočten pro první (3 členy) až osmý (45 členů) řád. Pro přehlednost budou uvedeny jen některé významné řády.

Třetí řád (10 členů)

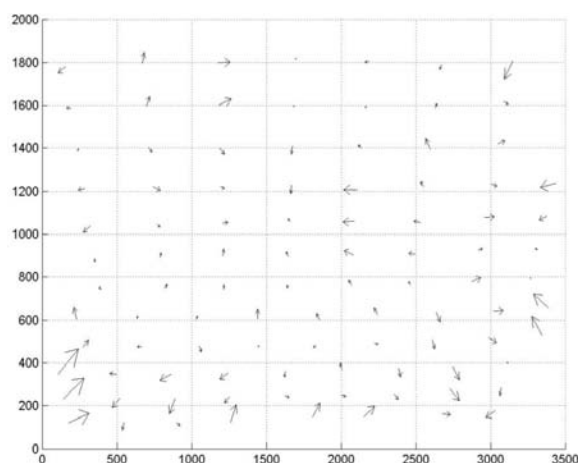
Polohové odchylky matematického modelu Čebyševova polynomu třetího řádu se směrodatnou odchylkou jednotkovou pro souřadnici $y = 0,29$ pixelu a $x = 0,39$ pixelu jsou znázorněny na obr. 9. Polynom třetího řádu, aplikovaný na druhou polovinu bodů, ukazuje obr. 10 a tab. 4.



Obr. 9. Třetí řád (model) – zvětšení 100x

Tab. 4. Statistické hodnocení distorze pro polynom třetího řádu

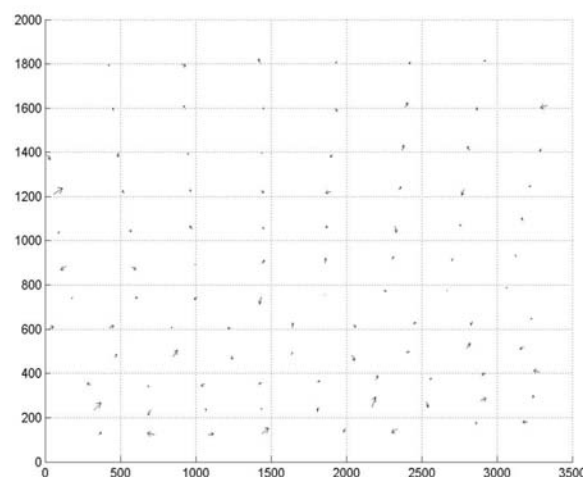
Odchylka	d_x	d_y
	[pixel]	
směrodatná	0,46	0,35
průměrná	-0,02	-0,02
max	1,00	0,85
min	-1,39	-1,19
směrodatná	0,58	
průměrná	0,47	
max	1,79	
min	0,03	



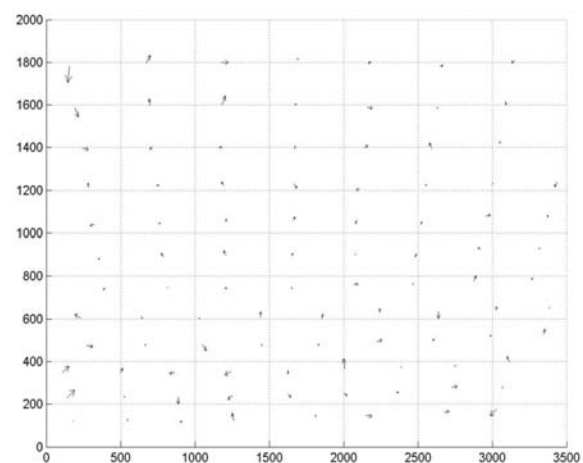
Obr. 10. Třetí řád – zvětšení 100x

Šestý řád (28 členů)

Polohové odchylky matematického modelu Čebyševova polynomu šestého řádu se směrodatnou odchylkou jednotkovou pro souřadnici $y = 0,14$ pixelu a $x = 0,18$ pixelu jsou znázorněny na obr. 11. Polynom šestého řádu, aplikovaný na druhou polovinu bodů, ukazuje obr. 12 a tab. 5.



Obr. 11. Šestý řád (model) – zvětšení 100x



Obr. 12. Šestý řád – zvětšení 100x

Tab. 5. Statistické hodnocení distorze pro polynom 6. řádu

Odchylka	d_x	d_y
	[pixel]	
směrodatná	0,20	0,19
průměrná	-0,03	0,00
max	0,42	0,78
min	-0,49	-0,51
směrodatná	0,27	
průměrná	0,23	
max	0,79	
min	0,01	

Tab. 6. Výsledky experimentu

Distorze	Směrodatná odchylka jednotková [pixel]		
	model		aplikace
	y	x	
kolineární transformace	3,18		4,72
K	0,33		0,63
H	0,46		0,80
Čebyšev – 1. řád	2,41	3,71	4,72
Čebyšev – 2. řád	2,06	3,69	4,43
Čebyšev – 3. řád	0,29	0,39	0,58
Čebyšev – 4. řád	0,25	0,31	0,57
Čebyšev – 5. řád	0,19	0,20	0,36
Čebyšev – 6. řád	0,14	0,18	0,27
Čebyšev – 7. řád	0,13	0,15	0,34
Čebyšev – 8. řád	0,12	0,14	0,57

Závěr

Experiment (tab. 6) ukázal různé metody potlačení distorze objektivu. Podle očekávání se velmi dobře uplatnila metoda distorze H [2]. Ačkoli má nejjednodušší vztahy, dosahuje velmi slušných výsledků vzhledem k distorzi K [1], která je obecnější a přesnější. Zavadění distorzi je pro metodu H jistě jednodušší a výpočet stabilnější. Pokud by byl nárok na odstranění vad objektivu výrazně větší, bylo by výhodné použít Čebyševových polynomů, neboť nejsou závislé na geometrii použité optiky a výpočet lze upravovat podle požadované přesnosti. Podle výsledku experimentu lze aplikovat polynomy již od třetího řádu.

Článek byl zpracován v rámci projektu č. 103/06/0094 GA ČR “Zpracování a analýza produktů hromadného sběru 3D dat terestrickými skenovacími systémy” a projektu CTU0801511 94 “Skenovací systém s virtuálními binárními značkami”.

Literatura

- [1] Kraus, K.: Photogrammetry Volume 2 – Advanced Methods and Applications. Duemmler/Bonn, Germany, 4th Edition. ISBN 3-427-78694-3.
 [2] Hanzl, V.: Přímá lineární transformace snímkových souřadnic s eliminací radiálního zkreslení objektivu. Geodetický a kartografický obzor, 32/74, 1986, č. 5.

Urban, R. – Štroner, M.: Assessment of Models of Suppressing Lens Distortion – Experiment

Three computational models have been selected to suppress lens distortion. They have been compared with each other in an experiment. The result suggests how individual models can suppress distortion of lens of cameras with the resolution more than 8 Mpix.

Urban, R. – Štroner, M.: Beurteilung von Modellen zur Unterdrückung der Objektivdistorzion – Versuch

Zur Unterdrückung der Distorzion von Objektiven wurden drei Berechnungsmodelle ausgewählt, die mit Hilfe eines Versuchs miteinander verglichen wurden. Das Ergebnis zeigt die Möglichkeiten der einzelnen Modelle zur Unterdrückung der Distorzion des Objektivs bei Fotoapparaten mit einer Auflösung von mehr als 8 Mpix.

CBS
 Česká betonářská společnost ČSSI
www.cbsbeton.eu
 a
 CBS Servis, s. r. o.
www.cbsservis.eu

**8. konference
 TECHNOLOGIE BETONU
 2009**

**7. dubna 2009
 Pardubice, Dům hudby**

• zprávy

Národní technická knihovna otevře v září

Napjatě očekávaným a jistě krásným „dárkem“ do nového roku bylo dokončení nové budovy a její předání investori, tedy Státní technické knihovně. Ta se od 1. března 2009 změnou zřizovací listiny a rozšířením statutu stala Národní technickou knihovnou a po 73 letech se přemístí z prostor Klementina (do kterého se tehdy jako Knihovna vysokých škol technických nastěhovala v roce 1935) do kampusu vysokých technických škol v Dejvicích.



S přípravou na stěhování a zprovozněním budovy souvisí i částečné omezení služeb. Knihovna bude na čas uzavřena v souvislosti se stěhováním knihovního fondu i administrativy. Poloprovod v nové budově v Dejvicích by měl začít od června, naplno se knihovna rozběhne v „magické“ datum 9. 9. 2009. V době stěhování a během svého uzavření bude knihovna nabízet elektronické služby, čtenáři mohou získat

několikaměsíční bonus na vrácení půjčených knížek. Další příjemnou novinkou je automatické prodloužení čtenářských průkazů o pět měsíců.

Stěhování bude postupné, rozložené minimálně do třech měsíců. Nejdříve bude speciálními kamiony, určenými ke stěhování knih, přemístěn knihovní fond z depozitáře ve Lhotě, následně z Klementina včetně katalogů a kartoték a administrativní část, tj. spisy a vybavení kanceláří. Reprografická technika bude stěhována ve druhé polovině přesunu.

Autorem architektonického návrhu je ateliér Projektivní Architekti, který se společností HELIKA zpracoval realizační projekt stavby. Zhotovitelem byla společnost Sekyra Group Real Estate, generálním dodavatelem sdružení Metrostavu a OHL ŽS. Stavba v sobě spojuje moderní architekturu, netypická a inovativní technická řešení nosných konstrukcí (např. tažené sloupy drží stropní desku nad částí přízemí shora a její hmotnost přenáší o patro výše pomocí táhel ukrytých v těchto sloupech; díky tomuto řešení je přízemí budovy volně průchodné), vnitřních instalací, jednoduchý a efektivní provoz a nový fenomén českého knihovnictví – volně přístupné publikace s nabídkou dostatečného množství studijních a relaxačních míst. Knihovna je navržena v obrysu zaobleného čtverce a je symbolicky pojata jako technická učebnice. Od konstrukce a pláště po povrchy, koncové prvky a mobiliář je vše vedeno jasným výrazem s jednoduchými, odhalenými tvary.

Tisková informace

Po otevření knihovna nabídne:

- cca 1,2 mil. svazků uložených ve třech podzemních skladech;
- více než 500 tis. svazků ve volném výběru ve čtyřech nadzemních podlažích (kapacita regálů pro volný výběr je cca 700 tis. svazků);
- tematické řazení fondu ve volném výběru podle klasifikace Kongresové knihovny LCC. Tento systém proti jiným nepřístupuje k popisování a třídění poznání z hlediska filozofického, ale snaží se co nejlépe popsat, co je skutečným obsahem knihy. Dopředu počítá s možností rozšiřujícího se poznání a v systému jsou vynechána čísla, jimž může být přiděleno nové téma. Navíc je možno rozšiřovat již existující podtřídy pomocí desetinných čísel;
- přes 1 200 studijních míst a více než 300 relaxačních míst;
- badatelnou a archiv historického fondu;
- studovny odborných časopisů a norem;
- 4 počítačové učebny s kapacitou 180 míst;
- 18 týmových studoven a 29 individuálních (z toho 2 pro tělesně handicapované a 2 individuální multimediální – možnost využití zrakově postiženými);
- noční studovnu s nonstop provozem;
- školicí středisko s variabilními sestavami míst k sezení;
- konferenční sál s 230 místy a zázemím, moderní audiovizuální technikou, režii a tlumočnickými kabinami;
- technologii RFID pro ochranu fondu a efektivní samoobslužné výpůjčky a vrácení dokumentů včetně automatizované třídičky vrácených dokumentů;
- asistované půjčování a vrácení publikací, venkovní samoobslužný návratový box na vrácení vypůjčených dokumentů;
- referenční, rešeršní, konzultační a meziknihovní výpůjční služby;
- 34 informačních terminálů pro přístup do on-line katalogů, volně umístěné počítače po celé knihovně a WiFi síť s přístupem zdarma pro registrované uživatele;
- samoobslužná kopírovací a tisková zařízení;
- dvě venkovní atria v šestém nadzemním podlaží
- návštěvnické centrum;
- kavárnu se 150 místy, nápojové a občerstvovací automaty;
- pobočku Městské knihovny Prahy 6;
- 300 stání pro automobily v podzemních garážích a 200 stání pro kola

www.stk.cz

• ČVUT

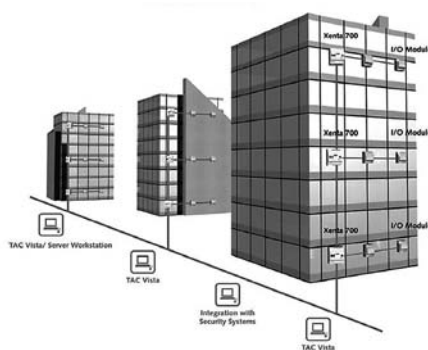


Nový studijní program

Inteligentní budovy

Pojmem inteligentní budova se označuje budova s velmi pokročilým systémem řízení, regulace, monitoringu bez nutnosti zásahu člověka spolu se systémovým řešením strojních zařízení budovy. Nezbytná je především inteligentní integrace zařízení do stavebních prvků a vhodný výběr materiálů včetně vhodného koncepčního řešení objektu vzhledem k jeho budoucímu užívání a provozování integrovaných systémů.

Pro prezenční formu studia ve dvouletém magisterském programu shora uvedeného oboru byla udělena akreditace ČVUT v Praze. V jazyce českém i anglickém zajistí výuku fakulty stavební, strojní a elektrotechnická. Studijní program je vhodný nejen pro absolventy bakalářských programů, ale i jako rozšíření kvalifikace pro absolventy jiných magisterských programů. Neotvírá se kombinovaná forma, cvičení a semináře budou sloučeny do bloků, což umožní optimální sestavení rozvrhu i pro dojíždějící studenty. Přijímací řízení formou individuálního pohovoru bude probíhat na všech zúčastněných fakultách. Každému studentovi bude přidělen individuální tutor.



Studijní program připraví odborníky pro návrh, realizaci a řízení moderních budov a vývoj a výrobu prvků pro inteligentní budovy. Absolventi najdou uplatnění:

- v architektonických ateliérech při koncepčních návrzích budov a řešení optimálního vnitřního prostředí budov;

- ve stavebních a dodavatelských firmách při projednávání i realizaci zakázek;
- u investorů při přípravě investičních záměrů a kontrole dodavatelských prací na stavbách;
- v řízení, správě a provozu budov a zařízení techniky prostředí velkých budov, např. ve firmách facility managementu;
- ve státní správě (stavební úřady, státní dozor – životní prostředí, hygiena);
- v poradenských a výzkumných organizacích.

Snahou ČVUT v Praze je rozšířit nabídku studijních možností o perspektivní obor, připravený na základě požadavků zaměstnavatelů. Doporučené studijní plány byly vypracovány ve třech variantách pro jednotlivé fakulty s ohledem na dřívější odborné profilování absolventů bakalářských studijních programů. Budou zahrnovat:

- devět společných povinných předmětů:
 - Stavební tepelná technika 1, Energetický audit budov a Ekologické systémy budov, vyučovaných na Fakultě stavební;
 - Regulace v technice prostředí staveb, Sálavé a průmyslové vytápění a Klimatizace a průmyslová vzduchotechnika, vyučovaných na Fakultě strojní;
 - Informační a znalostní systémy, Senzory a sítě, Rozvody elektrické energie a pohony, vyučovaných na Fakultě elektrotechnické;
- dva projekty (společně FSv, FS a FEL);
- diplomovou práci (společně FSv, FS a FEL);
- povinné volitelné předměty.

Průměrně za semestr musí student získat 30 ECTS kreditů, celkem ve dvouletém navazujícím magisterském studijním programu 120 kreditů. Počet výukových hodin týdně nepřesahuje 23 hodin za týden.

<http://www.ib.cvut.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/

STAVEBNÍ OBZOR

ROČNÍK 18 ČÍSLO 4/2009

Navigace v dokumentu

OBSAH

Pešková, Š. – Procházka, P. Metoda SPH pro posouzení vlivu vysokých teplot na betonovou obezdívku	97
Macháček, J. – Tůma, M. Únavová pevnost ocelových nosníků s vlnitou stojinou	101
Ubralová, E. Průkaz energetické náročnosti budovy	110
Luxemburk, F. – Novotný, B. Poruchy odvodňovacích žlabů betonových ploch	114
Pavlík, Z. – Černý, R. Metoda TDR a její aplikace při měření obsahu vlhkosti v porézních materiálech	118
Stepova, N. – Pollert, J. – Koníček, Z. – Handová, Z. Stanovení sedimentační rychlosti pro výpočet dosazovacích nádrží	124

OBSAH

Pešková, Š. – Procházka, P.
Metoda SPH pro posouzení vlivu vysokých teplot na betonovou obezdívku 97

Macháček, J. – Tůma, M.
Únavová pevnost ocelových nosníků s vlnitou stojinou 101

Ubralová, E.
Průkaz energetické náročnosti budovy 110

Luxemburk, F. – Novotný, B.
Poruchy odvodňovacích žlabů betonových ploch 114

Pavlík, Z. – Černý, R.
Metoda TDR a její aplikace při měření obsahu vlhkosti v poréznych materiálech 118

Stepova, N. – Pollert, J. – Koniček, Z. – Handová, Z.
Stanovení sedimentační rychlosti pro výpočet dosazovacích nádrží 124

CONTENT

Pešková, Š. – Procházka, P.
Smooth Particle Hydrodynamics Method for Assessing Effects of High Temperatures on Concrete Tunnel Lining ... 97

Macháček, J. – Tůma, M.
Resistance of Girders with Undulating Web in Fatigue 101

Ubralová, E.
Energy Passport of Buildings 110

Luxemburk, F. – Novotný, B.
Failures of Drain Built into Concrete Area 114

Pavlík, Z. – Černý, R.
TDR Method and its Application to Measurement of Moisture Content in Porous Materials 118

Stepova, N. – Pollert, J. – Koniček, Z. – Handová, Z.
Determination of Sedimentation Speed for Calculation of Final Settling Tanks 124

INHALT

Pešková, Š. – Procházka, P.
Methode SPH zur Beurteilung des Einflusses hoher Temperaturen auf eine Beton-Ummauerung 97

Macháček, J. – Tůma, M.
Ermüdungsfestigkeit von Stahlträgern mit Wellsteg 101

Ubralová, E.
Energieausweis für Gebäude 110

Luxemburk, F. – Novotný, B.
Störungen der Entwässerungsrinnen von Betonflächen 114

Pavlík, Z. – Černý, R.
Die Zeitbereichsreflektometrie und ihre Anwendung bei der Messung des Feuchtegehalts in porösen Materialien .. 118

Stepova, N. – Pollert, J. – Koniček, Z. – Handová, Z.
Bestimmung der Absetzgeschwindigkeit für die Berechnung von Nachklärbecken 124

REDAKČNÍ RADA**Předseda:**

prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.

Místopředseda:

doc. Ing. Alois MATERNA, CSc., MBA

Členové:

doc. Ing. Jiří BROŽOVSKÝ, Ph.D.
prof. Ing. Milena CÍSLEROVÁ, CSc.
prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.
prof. Ing. Rostislav DROCHYTKA, CSc.
doc. Ing. Vladislav HORÁK, CSc.
prof. Ing. Milan JIRÁSEK, DrSc.
doc. Ing. Marcela KARMAZÍNOVÁ, CSc.
doc. Ing. Jana KORYTÁROVÁ, Ph.D.
doc. Ing. Jan KRŇANSKÝ, CSc.
doc. Ing. Karel KUBEČKA, Ph.D.
prof. Ing. arch. Alois NOVÝ, CSc.
prof. Ing. Jiří POSPÍŠIL, CSc.
prof. Ing. Jaromír ŘÍHA, CSc.
prof. RNDr. Ing. Petr ŠTĚPÁNEK, CSc.
prof. Ing. arch. Petr URLICH, CSc.
Ing. Renata ZDARÍLOVÁ, Ph.D.

STAVEBNÍ OBZOR, odborný lektorovaný měsíčník, vydává Fakulta stavební ČVUT Praha společně s Fakultou stavební VUT Brno, Fakultou stavební VŠB TU Ostrava a Českou komorou autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě. Řídí redakční rada, vedoucí redaktorka Marcela Klímová. Adresa redakce: Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel.: 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 23. 3. 2009. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

Metoda SPHP pro posouzení vlivu vysokých teplot na betonovou obezdívku

Ing. Šárka PEŠKOVÁ, Ph.D.
prof. Ing. RNDr. Petr PROCHÁZKA, DrSc.
ČVUT – Fakulta stavební
Praha

Metoda regularizovaných prvků v hydrodynamice SPH je jednou z vhodných metodik pro řešení vlivu vysokých teplot na vláknobetonové tunelové obezdívky a na okolní horninu. Patří do skupiny nástrojů, které nevyžadují triangulaci oblastí podobně jako metoda okrajových prvků. V článku se řeší problém zatěžování a odtěžování části hranice oblastí obezdívky vysokou teplotou pomocí sdruženého modelování.

Úvod

Metoda SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) vznikla z tak zvaného rozdělení jednotky, viz např. [1]-[2], [7]. Historicky byla poprvé použita pro astrofyzikální aplikace v [2]. Její hlavní výhodou je převod systému diferenciálních rovnic na systém simultánních lineárních algebraických rovnic. Tato transformace je vhodná mimo jiné pro paralelní výpočty. Metoda se již úspěšně používá a je respektována jako jedna z numerických metod vhodných pro řešení časově závislých problémů. Důležité je, že její používání se příliš neliší v různých dimenzích. Případy formulované dvojrozměrně a trojrozměrně mají podobný charakter jako jednorozměrné [3], [6]. Vynikající přehled výhod a současného vývoje můžeme najít v [4]. Bohužel, ve většině problémů řešených touto metodou vznikají potíže s vyjádřením aproximace geometrických okrajových podmínek. Autoři [5] navrhli postup pro popis geometrických okrajových podmínek metodou pomocných bodů (ghost nodes), která je podobná vyjádření v metodě konečných diferencí. Přímé použití této metody v tunelových konstrukcích můžeme najít v [16].

Metoda SPH je vhodná i k řešení vlivu vysokých teplot na vláknobetonové tunelové obezdívky a okolní horninu. Patří do skupiny nástrojů, které nevyžadují triangulaci oblastí (např. metoda okrajových prvků). V našem případě řešíme problém zatěžování a odtěžování části hranice oblastí obezdívky vysokou teplotou. Nejprve problém přeformulujeme do tvaru, který zahrnuje nehomogenní okrajové podmínky a transformuje je na homogenní. Poté budeme řešit časově závislý dvojrozměrný problém s přímou aplikací metody využívající pomocné body lokalizované vně oblasti. Restrikce na dvojrozměrný problém je důsledkem liniového zatížení teplotou, tj. například požáru kolony vozidel. Za extrémní se běžně považuje teplota 1 200 °C, která je zvolena v souladu s evropskými normami.

Vzhledem k měnícím se fyzikálním vlastnostem tunelové obezdívky a horniny během hoření a pro vylepšení identifikace jejich materiálových charakteristik byla provedena řada experimentů. K posouzení vlivu vysokých teplot na konstrukce bylo využito sdružené modelování. Sestává z analýzy výsledků experimentů, které jsou využity v numerických metodách tak, aby oba výsledky byly ve shodě. Nejprve jsou formulovány simultánní nelineární rovnice zahrnující stavy napjatosti, vliv pórového tlaku, změnu teploty, vlhkost a stupeň saturace. Nelineární mechanické vlastnosti se odvozují z experimentálních studií. V některých případech se vychází i z teoretických závěrů, které mohou způsobit vedení experimentu ovlivnit.

Koncepce metody se stává v interpolačním schématu funkcí, která vystupuje v diferenciálních rovnicích. Ze základů matematiky [7] je známé, že pro každou zobecněnou funkci f , definovanou v oblasti $V \subset R^n$ s hranicí S , existuje kladné ε a konečné pokrytí této oblasti $\{\Omega_i\}_{i=1}^N \subset V$, $i = 1, \dots, N$ (pro každý bod $x \in V$ existuje index $i \in 1, \dots, N$ tak, že $x \in \Omega_i$) s mírou $\Omega_i < \varepsilon$ tak, že na Ω_i existuje funkce $\omega_\varepsilon^i \in C^\infty(\overline{\Omega}_i)$, $\text{supp } \omega_\varepsilon^i \subset \Omega_i$ (nazývaná někdy „čepičkou“), která regularizuje funkci f , jež můžeme vyjádřit

$$f(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^N \int_{\Omega_i} f(\xi) \omega_\varepsilon^i(\mathbf{x} - \xi) d\xi = f \cdot \omega_\varepsilon^i, \quad i = 1, \dots, N, \quad (1)$$

a levá část poslední rovnice se jmenuje regularizace, $f \cdot \omega_\varepsilon^i$ je konvoluce. Připomeňme některé základní vlastnosti regularizace – objem každé „čepičky“ je jednotka, je roven jedné. Jestliže $\varepsilon \rightarrow 0$, regularizace funkce f se změní v její hustotu, např. v hustotu pravděpodobnosti. Jestliže $\varepsilon \rightarrow 0$, jádro přejde ve známou Diracovu funkci. Pro každé kladné ε regularizace dané funkce může být charakterizována pomocí jader ω_ε^i , která jsou nekonečně diferencovatelná (některé definice „čepiček“ lze nalézt v odkazu [7]).

Jelikož pro různé Ω_i můžeme definovat různá jádra, uvedená obecná definice se stává nevhodnou, proto ji zjednodušíme zavedením $\omega_\varepsilon^i \equiv \omega_\varepsilon$. Navíc tvar Ω_i zůstane stejný pro všechna přípustná i , tzn. že plocha kruhu ve dvojrozměrném a objem v trojrozměrném zobrazení se také nezmění. Nyní uvnitř oblasti V vyberme množinu bodů \mathbf{x}_i , $i = 1, \dots, N$, \mathbf{x}_i určuje souřadnice těžiště Ω_i . Nová funkce F (aproximace f) je definována

$$F(\mathbf{x}_i) = \sum_{i=1}^N \int_{\Omega_i} f(\xi) \omega_\varepsilon(\mathbf{x}_i - \xi) d\xi, \quad i = 1, \dots, N. \quad (2)$$

Formálně je podobná rovnici (1), proto uvedené vlastnosti regularizací můžeme považovat za splněné a využít je v dalších úvahách. Při splnění výše uvedených předpokladů ovšem funkce F nemůže být rovna f , vyjma limitního případu $\varepsilon \rightarrow 0$ ve smyslu definice Diracovy funkce.

V našem případě se omezíme na dvojrozměrný problém. Stupně volnosti budou soustředěny do vybraných uzlů $\mathbf{x}_i \in \Omega_\varepsilon$, $i = 1, \dots, N$, Ω_i jsou uvažovány jako kruhové plochy se středy v \mathbf{x}_i . V dané aproximaci je libovolná hladká (regularizovaná) funkce F přiřazena k určité fyzikální veličině, f je v rovnicích ztotožněna s výchozí funkcí, tj. $F \equiv f$. Navíc jádro ω_ε je zjednodušeno pro reálné využití funkcí W_ε . Zavedením tohoto zjednodušení do (2) dostaneme

$$f_i = f(\mathbf{x}_i) = \int_{\Omega_i} f(\xi) W_\varepsilon(\mathbf{x}_i - \xi) d\xi. \quad (3)$$

Rovnice (3) je reprezentací funkce f pro aproximaci W_ε jádra ω_ε . V dalších úvahách budeme vyžadovat pro aproximaci W_ε vlastnosti:

- pozitivita $W_\varepsilon(\mathbf{x}_i - \xi) \geq 0, \quad \xi \in \Omega_i,$
- normalizace $\int_{\Omega_i} W_\varepsilon(\mathbf{x}_i - \xi) d\xi = 1, \quad \forall \varepsilon > 0,$
- hladkost na povrchu $\partial\Omega_i$
 $W_\varepsilon(\mathbf{x}_i - \xi) = \nabla W_\varepsilon(\mathbf{x}_i - \xi) =$
 $= \nabla W_\varepsilon(\mathbf{x}_i - \xi) = 0, \quad \xi \in \partial\Omega_i.$

Poslední vlastnost je splněna z důvodů stupně diferenciálních rovnic. Připomeňme, že vyžadovaný stupeň regularity je roven dvěma, dvě derivace musí být spojitě.

Užitím integrace po částech na hranicích $\partial\Omega_i$ platí podmínky

$$\int_{\Omega} \nabla W_\varepsilon(\mathbf{x}_i - \xi) d\xi = \int_{\Omega} \nabla \nabla W_\varepsilon(\mathbf{x}_i - \xi) d\xi = 0. \quad (4)$$

Pro jednoduchost aproximace W_ε jádra může být reprezentována dvojrozměrně

$$W_\varepsilon(\mathbf{x} - \xi) = C(1 - 10r^3 + 15r^4 - 6r^5), \quad r = |\xi - \mathbf{x}_i| / \varepsilon, \quad (5)$$

kde $C = \frac{2}{h}$ pro jednorozměrný problém, $C = \frac{7}{\pi h^2}$ pro dvojrozměrný problém a $|\hat{\mathbf{1}} - \mathbf{x}_i|$ je vzdálenost mezi běžným bodem a středem uvažované oblasti.

Pokud uvažujeme objem (plochu, interval) prvku $\Omega_i = \frac{m_i}{\rho_i}$, kde m_i je hmota v prvku a ρ_i je hustota materiálu v prvku, užitím obdélníkového pravidla pro výpočet integrálů dostaneme pro aproximaci funkce a její derivace

$$f_i = f(\mathbf{x}_i) = \sum_{r_{ij} \leq h} \frac{m_j f_j}{\rho_j} W_\varepsilon(r_{ij}), r_{ij} = |\mathbf{x}_j - \mathbf{x}_i|, \quad (6)$$

$$\nabla f_i = \rho_i \sum_{r_{ij} \leq h} m_j \left(\frac{f_i}{\rho_i^2} + \frac{f_j}{\rho_j^2} \right) \nabla W_\varepsilon(r_{ij}).$$

Formulace problému

V publikaci [8] jsou popsány výchozí rovnice pro sruže-

ný problém vedení tepla a prosakování takto:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\rho \frac{\partial v^a}{\partial x^a}, \quad (7)$$

$$C \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (\lambda_z \frac{\partial T}{\partial z}) + C_w \rho_w (V_x \frac{\partial T}{\partial x} + V_y \frac{\partial T}{\partial y} + V_z \frac{\partial T}{\partial z}), \quad (8)$$

$$S \frac{\partial p}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (K_x \frac{\partial p}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_y \frac{\partial p}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_z \frac{\partial p}{\partial z}) + Q, \quad (9)$$

$$V_x = K_x \frac{\partial p}{\partial x}, \quad V_y = K_y \frac{\partial p}{\partial y}, \quad V_z = K_z \frac{\partial p}{\partial z}, \quad (10)$$

$$K_x = K_{0x} \exp(-\eta \sigma_x^{\text{eff}}),$$

$$K_y = K_{0y} \exp(-\eta \sigma_y^{\text{eff}}), \quad (11)$$

$$K_z = K_{0z} \exp(-\eta \sigma_z^{\text{eff}}),$$

kde T, p, C a λ je postupně teplota, tlak, objemová kapacita tepla a tepelná prostupnost obzdivky a okolní horniny; S, K řazené postupně, stupeň nasycení vodou a hydraulická vodivost; η je konstanta přijatá z vhodných testů; $\sigma_x^{\text{eff}}, \sigma_y^{\text{eff}}$ a σ_z^{eff} je efektivní napětí in x, y a z , řazené podle směru v pořadí; C_w a ρ_w je specifické teplo a hustota vody.

Rovnice (7) popisuje spjitost (rovnice kontinuity), (8) je difúzní rovnice pro rozdělení teploty a (9) je difúzní rovnice pro pórový tlak. Abychom definovali korektní systém rovnic sruženého problému, je nutné přidat rovnici rovnováhy

$$\frac{\partial v^a}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \sigma^{ab}}{\partial x^b}. \quad (12)$$

Pohybová rovnice částic vychází ze základní definice rychlosti

$$\frac{\partial u^a}{\partial t} = v^a, \quad (13)$$

kde $u^a = x_{new}^a - x_{old}^a$, tj. složky posuvů, jsou vyjádřeny jako rozdíl složek souřadnic bodů v nových a starých hodnotách.

Ve smyslu předchozích argumentů jsou v každém okamžiku řešeny lineární rovnice místo nelineárních.

Způsob vývoje teploty během hoření v tunelové obzdivce je popsán z experimentů. Jak již bylo uvedeno, jeden z mála problémů při aplikaci metody se projeví v popisu nehomogenních okrajových podmínek. To lze řešit tak, že v každém časovém kroku změníme eliptickou rovnici typu

$$Ax = b \text{ v } \Omega, \quad x = \bar{x} \text{ na } \Gamma,$$

kde Ω, Γ je oblast a její hranice, v rovnici

$$A\xi = c, \quad \xi = x - \bar{x}, c = b - A\bar{x} \text{ v } \Omega, \quad \xi = 0 \text{ na } \Gamma.$$

V případě homogenních okrajových podmínek je možné využít metodu pomocných bodů, problém je pak snadno řešitelný. Je důležité zmínit, že operátor A musí být uvažován jako lineární v každém časovém kroku (jde tedy o pseudo-lineární řešení).

Youngův modul pružnosti

Odštěpování tunelové obezdívky na líci během hoření v tunelu a zhoršení materiálových vlastností není pro vytvoření experimentu, který by simuloval podobné podmínky jako v reálné situaci, jednoduchý úkol. Jednou ze spolehlivých vlastností, kterou lze získat z experimentu, je závislost Youngova modulu pružnosti na teplotě. Vztah mezi tímto modulem pružnosti a teplotou, která dosahovala extrémních hodnot, tj. až do úrovně 1 200 °C, odborníci již publikovali. Je důležité, že uvažovali rozmezí mezi pokojovou teplotou a 1 200 °C, neboť toto rozmezí je dáno evropskými normami [9].

Výsledky testů modulů pružnosti betonu v závislosti na vysokých teplotách jsou porovnávány v [10]. Je důležité zmínit, že kromě vysokopevnostního betonu se modul pružnosti snižuje monotónně při zvyšování teploty stejně jako při sledování pevnosti v tlaku. Všeobecně vzato, modul pružnosti se velmi nepatrně mění do teploty 70 °C, poté se zvyšující se teplotou klesá přibližně lineárně. Sečnový modul při napětí $0,4 f_c^T$ byl v [11] uvažován jako modul pružnosti. Autor pak předkládá trilineární závislost mezi E_c^T (modul pružnosti v tlaku v závislosti na teplotě) a teplotou T , která je popsána vztahem

$$E_c^T = \begin{cases} (0,10 - 0,0015T)E_c & 20^\circ\text{C} \leq T \leq 300^\circ\text{C} \\ (0,87 - 0,00087T)E_c & 300^\circ\text{C} \leq T \leq 700^\circ\text{C} \\ 0,28E_c & T > 700^\circ\text{C} \end{cases}, \quad (14)$$

kde E_c^T a E_c jsou postupně moduly pružnosti betonu při teplotě T a při pokojové teplotě.

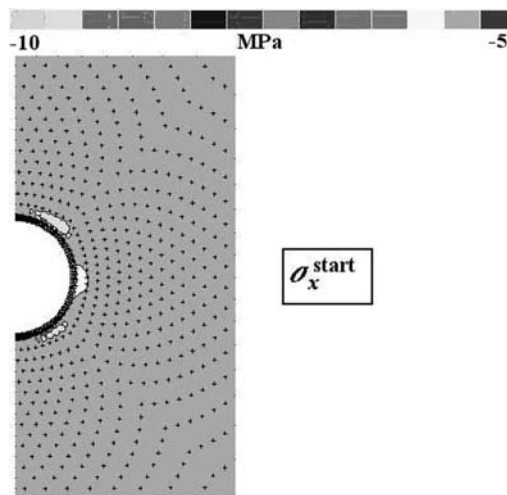
Autoři [10] uvádějí, že modul pružnosti u vysokopevnostního betonu se snižuje mnohem více než u běžného betonu do 400 °C, zatímco nad 400 °C degraduje u obou druhů přibližně stejně. Ve studiích [12] a [13] bylo konstatováno, že typ kameniva a poměr vody a cementu může ovlivnit modul pružnosti E_c^T , který se vlivem zmíněných veličin může snížit, nebo zvýšit. Modul pružnosti zatížený vysokou teplotou klesá mnohem více při tuhnutí betonu ve vodě než při tuhnutí ve vzduchu. Snížení modulu pružnosti nezávisí na cyklech „ohřívání/chlazení“, ale je vztaženo k maximální teplotě při zatížení teplotou [13]-[15].

Výsledky řešení

Problém ohřevu tunelové obezdívky na maximální teplotu 1 200 °C je řešen s ohledem na svislou symetrii v horní části tunelu. Zatížení je rozloženo na segment obezdívky vytvořený úhlem 90° (45° na každé straně svislé osy). Ve studii je uvažován standardní beton vyztužený čedičovými vlákny, zatímco okolní hornina má materiálové složení třídy R3, které vykazuje: $E = 1\,000$ MPa, $E_{\text{plast}} = 800$ MPa, $E_{\text{residual}} = 500$ MPa, $\nu = 0,25$, $\nu_{\text{plast}} = 0,46$, $\phi = 25^\circ$, $C = 250$ kPa,

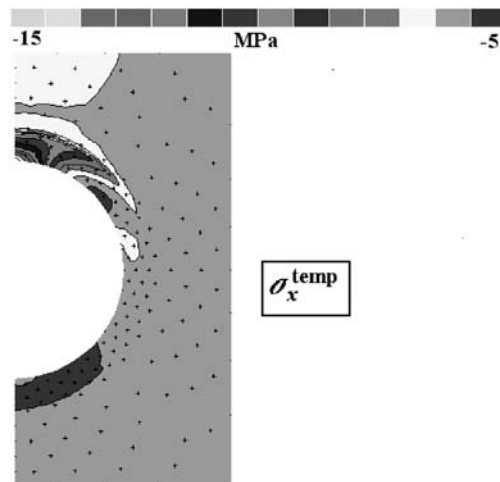
kde předchozí veličiny popisují postupně modul pružnosti, modul v plastickém stavu, dále reziduální hodnotu modulu, Poissonovo číslo, Poissonovo číslo v plastickém stavu, koeficient vnitřního tření a pevnost ve smyku (soudržnost). Pro obezdívku je uvažováno $E = 27\,000$ MPa, $E_{\text{plast}} = 10\,000$ MPa, $E_{\text{residual}} = 5\,000$ MPa, $\nu = 0,2$, $\nu_{\text{plast}} = 0,46$, $\phi = 25^\circ$, $C = 12$ MPa. Hustota betonu je 27 kN/m³, hustota horniny 33 kN/m³.

Z geometrické a zatěžovací symetrie je zřejmé, že konstrukce může být řešena jako symetrická. Hypsografy horizontálních napětí po půl hodinách znázorňuje obr. 1.



Obr. 1. Horizontální napětí před působením ohně

Maximální napětí je koncentrováno v horní a dolní části tunelové obezdívky. V obrázku jsou také označeny body, ve kterých jsou soustředěny stupně volnosti, v nichž může dojít k velkým posuvům. Maximální napětí v tunelové obezdívce cca 10 MPa je pozorováno na svislé ose symetrie a má hodnotu normálových horizontálních napětí při zatížení teplotou 1 200 °C v horní části tunelové obezdívky (obr. 2). Je důležité zmínit, že jsou uvažovány desetiminutové intervaly v testech pro plastický stav a pro poškození v obou materiálech jak v tunelové obezdívce, tak v hornině. V obrázku jsou patrné vybrané detaily popisující průběh napětí v nejbližším okolí působení zdroje tepla. Extrémní napětí 15 MPa je v tunelové klenbě nejbližší ke zdroji zatížení. Přibližně po dvou hodinách zatížení ohněm beton ztrácí únosnost a zatížení převezme hornina.



Obr. 2. Horizontální napětí po půl hodině zatížení ohněm

Závěr

V článku je řešen vliv extrémních teplot na systém betonové obezdívky v tunelu a okolní horniny metodou SPH. Výsledky jsou částečně porovnány s experimenty betonových desek zahříváných v peci. Zejména byl porovnáván a vyhodnocen vliv vláken z taveného čediče na kompozit s betonovou maticí po realizaci testu na Univerzitě Innsbruck. Okrajové podmínky jsou deklarovány časovou změnou zdroje hoření. Poškození materiálu je vypočítáno v etapách. Pro řešení těchto úloh se metoda SPH jeví jako velmi perspektivní z hlediska časového využití počítače (paralelizace výpočtů, což je rozhodující pro porovnání s jinými numerickými metodami), ale všeobecně má jednu nepříjemnou vlastnost – nehomogenní geometrické okrajové podmínky se špatně interpretují. V našem případě tento typ okrajových podmínek není podstatný.

Příspěvek v rámci projektů č. 103/09/P541 GA ČR a č. 1M0579 CIDEAS.

Literatura

- [1] Lucy, L. B.: A Numerical Approach to Testing of the Fission Hypothesis. *Astron. J.* 82, 1013 (1977).
- [2] Gingold, R. A. – Monaghan, J. J.: Smooth Particle Hydrodynamics: Theory and Application to Non-Spherical Stars. *Monthly Nat. R. Astron. Soc.* 181, 375 (1977).
- [3] Randle, P. W. – Libersky, L. D.: Smooth Particle Hydrodynamics: Some Recent Improvements and Application. *Appl. Mech. Engrg.* 139, 175 (1996).
- [4] Li, S. – Liu, W. K.: MESHFREE and Particle Method and their Applications. *Appl. Mech. Rev.* 55, 1 (2002).
- [5] Takeda, H. – Miyama, S. – Sekiya, M.: Numerical Simulation of Viscous Flow by Smoothed Particle Hydrodynamics. *Prog. Theor. Phys.* 92, 939 (1994).
- [6] Chen, J. K. – Beraun, J. E. – Carney, T. C.: A Corrective Smooth Particle Method for Boundary Value Problems in Heat Conduction. *Int. J. Numer. Methods Engrg.* 46, 231 (1999).
- [7] Vladimirov, V. C.: *Equations of Mathematical Physics.* Moscow, Nauka 1971.
- [8] Lai, Y. M. – Wu, Z. W. – Zhu, Y. L. – Zhu, L. N.: Nonlinear Analysis for the Coupled Problem of Temperature, Seepage and Stress Fields in Cold-Region Tunnels. *Tunneling and Underground Space Technology* 13(4), 435 (1998).
- [9] Comité Euro-International du Béton (CEB). *Fire Design of Concrete Structure.* CEB, Lausanne, July (1991).
- [10] Xiao, J. – König G.: Study on Concrete at High Temperature in China-an Overview. *Fire Safety Journal*, 39, 89-103(2004)10.
- [11] Lu, ZhD.: A Research on Fire Response of Reinforced Concrete Beams. [PhD Thesis], Tongji University, 1989.
- [12] Ding, W.: Research and Evaluation on Repair of RC Frame after Fire by Expert System. [Master Thesis], Tongji University, 1991.
- [13] Wu, B. – Juan, J. – Wang, GY.: Experimental Study on the Mechanical Properties of HSC after High Temperature. *Chin J Civil Eng.*, 33, 8-15 (2000).
- [14] Hu, B. L. – Song, Y. P. – Zhao, GF.: Test on Strength and Deformation of Concrete under Complex Stress at Elevated Temperature. *Build Sci Res Sichuan*, 20, 47-50 (1994).
- [15] Li, W. – Guo, ZhH.: Experimental Investigation on Strength and Deformation of Concrete under High Temperature. *Chin. J Build Struct.* 14, 8-16.
- [16] Procházka, P. – Pešková, Š.: SHP Solution of Effect of Elevated Temperature on Tunnel Lining, Underground Spaces, New Forest, 29-38.

Pešková, Š. – Procházka, P.: Smooth Particle Hydrodynamics Method for Assessing Effects of High Temperatures on Concrete Tunnel Lining

Smooth particle hydrodynamics appears to be an appropriate method for solving effects of extreme temperature on the fibre reinforced concrete tunnel lining and the surrounding rock. This method belongs to a class of meshless methods (such as the boundary element method). In this paper loading and unloading of a part of the tunnel lining due to high temperature is solved using coupled modelling. At the end of this paper a typical example is presented.

Pešková, Š. – Procházka, P.: Methode SPH zur Beurteilung des Einflusses hoher Temperaturen auf eine Beton-Ummauerung

Die Methode der geglätteten Teilchen in der Hydrodynamik (Smooth particle hydrodynamics – SPH) ist einer der geeigneten Methoden für die Lösung des Einflusses hoher Temperaturen auf die Faserbeton-Tunnelauskleidung und den umgebenden Fels. Diese Methode gehört zu der Gruppe von Methoden, die (ähnlich wie die Grenz-element-Methode) keine Triangulation des Gebiets erfordern. Im Artikel wird das Problem des Belastung und Entlastung eines Teil der Grenze des Gebiets der Tunnelauskleidung durch eine hohe Temperatur mit Hilfe der Verbundmodellierung behandelt.



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/

Únavová pevnost ocelových nosníků s vlnitou stojinou

prof. Ing. Josef MACHÁČEK, DrSc.

ČVUT – Fakulta stavební, Praha

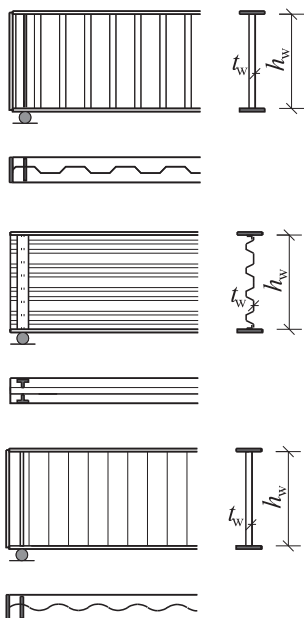
Ing. Michal TŮMA, Ph.D.

SCIA CZ, s. r. o.

Článek uvádí statické únosnosti a únavové pevnosti ocelových nosníků s tenkostěnnou vlnitou stojinou získané z rozsáhlého experimentálního a teoretického výzkumu na Fakultě stavební ČVUT v Praze. Zejména jde o statické únosnosti při lokálním zatížení a únavové pevnosti při zatížení cyklickým smykem, cyklickým lokálním břemenem a pohybujícím se lokálním zatížením. Výsledky byly statisticky vyhodnoceny, numericky modelovány GMNIA pomocí softwaru ANSYS, ověřeny a upraveny pro praktické aplikace a začleněny do NA ČSN EN 1993-1-5.

Úvod

Vhodné tvarování stojin ocelových ohýbaných nosníků omezuje, nebo dokonce vylučuje, jejich boulení ve smyku a spolu s dalšími přednostmi vytváří ekonomický a často i estetický konstrukční prvek. Tvarování může být v řezu trapézové, obdélníkové, trojúhelníkové nebo sinusové, s vlnami v příčné nebo podélné směru (obr. 1).

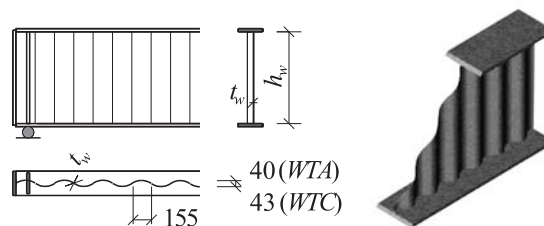


Obr. 1. Švédské, francouzské a WT nosníky

Ve střední Evropě jsou běžné nosníky WT (Wellstegträger, zvané též sin-profily) se sinusově zvlněnou stojinou, vyvíjené firmou Zeman + Co GmbH Vídeň, vyráběné na automatické svařovací lince Florprofile Swietochowice v Polsku a distribuované v ČR zejména firmou Kovové profily, s. r. o. Tento článek se zabývá pouze profily WT.

Tvarování stojiny nahrazuje její vyztužení, takže stojiny těchto nosníků lze považovat za kontinuálně vyztužené, s vysokou únosností při boulení ve smyku i při extrémních štíhlostech. Tvarování stojiny příznivě ovlivňuje též lokální únosnost při příčné excentricitě svislého zatížení a únosnost z hlediska ztráty příčné a torzní stability (zvané též únosnost při klopení). Mezi hlavní nevýhody nosníků se zvlněnou stojinou patří náročnost provedení krčních svarů. U WT nosníků jsou prováděny z jedné strany na automatické svařovací lince, mají vysokou kvalitu a vzhledem k tloušťce stojiny ($2 \div 3$ mm) mají charakter tupých svarů bez provařovacího kořene. Štíhlost stojin WT nosníků (tzn. poměr výšky k tloušťce stojiny) je $160 \div 750$ a jejich hmotnost ve srovnání se stejně únosnými nosníky svařovanými je při ohybu až o 30 % nižší.

Stojiny nosníků WT jsou vyrobeny z oceli St 37-2G se jmenovitou mezí kluzu $f_y = 215$ MPa, zatímco materiál pásnic může být různý, obvykle však jde o ocel S235. Nosníky se vyrábějí ve třech řadách: WTA s tloušťkou stojiny $t_w = 2$ mm, WTB s tloušťkou $t_w = 2,5$ mm a WTC s tloušťkou $t_w = 3$ mm (obr. 2). Výška stojiny je $h_w = 500 \div 1500$ mm. Únosnosti v tahu/tlaku a únosnosti momentové vycházejí z představy průřezu sestaveného pouze z pásnic, neboť stojina nepřenáší podélná napětí (s výjimkou oblasti cca 20 mm od krčního svaru) a jsou přímo uvedeny například v návrhovém manuálu [1]. Podle výzkumu Pasternaka a Branky [2] lze pro všechny vyráběné WT nosníky uvažovat plnou plastickou smykovou únosnost bez redukce od boulení ve smyku.



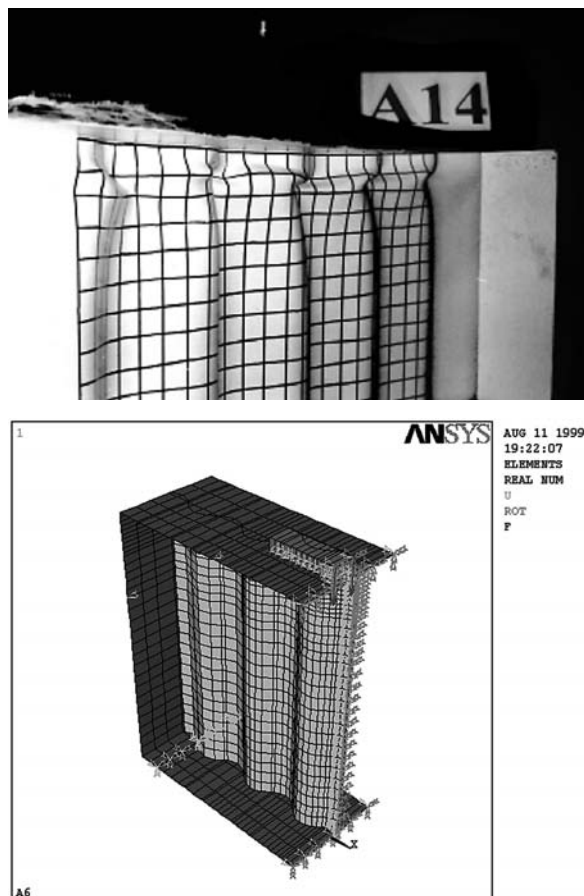
Obr. 2. Nosníky WT

Protože uložení pásnic na zvlněnou stojinu dobře vzdoruje příčné excentricitě zatížení, byl na ČVUT v Praze proveden rozsáhlý výzkum zaměřený na využití WT nosníků pro jeřábové dráhy. Pro takové použití je rozhodující lokální únosnost tenkostěnné zvlněné stojiny pod osamělou pohybující se silou. Výzkum proto zahrnoval stanovení únosnosti stojiny pro statické lokální zatížení a únavové pevnosti v cyklickém smyku, při cyklickém lokálním zatížení a při pohybujícím se lokálním zatížení.

Statická únosnost zvlněné stojiny při lokálním zatížení

Statická únosnost zvlněné stojiny odpovídající lokálnímu boulení stojiny byla experimentálně (27 testů) i teoreticky

vyšetřována Novákem a Macháčkem [3] (obr. 3). Zatížení odpovídalo zatížení jeřábovým kolem (modelované jako tzv. nožové zatížení) na volně uloženém hranolu obdélníkového průřezu 50×30 mm, který představoval provozem opotřebovanou kolejnici. Osa zatížení v příčném směru byla umístě-



Obr. 3. Experimentální a teoretické vyšetřování nosníků WT při lokálním statickém zatížení

na s excentricitou e vůči ose zvlnění. Experimentální výsledky pro excentricitu $e = 20$ mm (tzn. ležící na hranici amplitudy zvlnění) byly statisticky vyhodnoceny v souladu s ČSN EN 1990, Příloha D [4], odkud pro 5% kvantil vyplynuly charakteristické lokální únosnosti zkoušených stojin. Nelineární analýza GMNIA (tj. geometricky i materiálově nelineární analýza se zavedenými imperfekcemi zvlnění stojiny ve tvaru boulení) s využitím softwaru ANSYS umožnila ověření experimentálně odvozených vztahů pro charakteristickou únosnost F_{Rk} a jejich rozšíření na celé spektrum vyráběných nosníků ve formě

$$F_{Rk} = (78,9 t_w + 3,2 t_f - 14,7) \cdot \sqrt[3]{\frac{I_f + I_R}{I_f + I_R^*}} \leq 270 \cdot \sqrt[3]{\frac{I_f + I_R}{I_f + I_R^*}}, \quad (1)$$

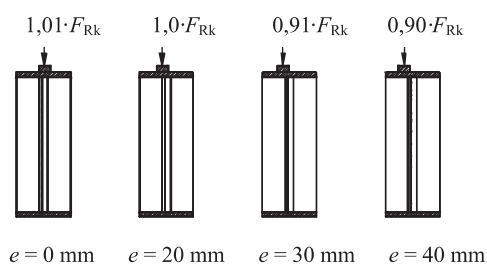
kde t_w je tloušťka stojiny $2 \div 3$ mm; t_f je tloušťka pásnice $12 \div 30$ mm; I_f je moment setrvačnosti zatížené pásnice vzhledem k vodorovné ose [mm^4]; I_R^* je moment setrvačnosti kolejnice použité v testech (50×30 mm, $I_R^* = 112\,500 \text{ mm}^4$).

Pro návrhovou únosnost platí

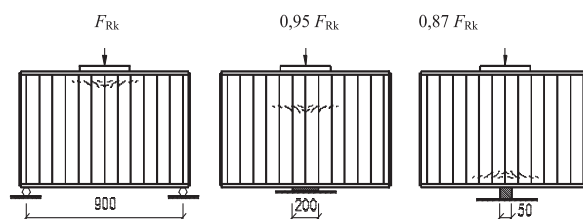
$$F_{Rd} = \frac{F_{Rk}}{\gamma_{M1}}, \quad (2)$$

kde součinitel materiálu, odvozený z procedury pro žádanou spolehlivost podle [4], odpovídá hodnotě $\gamma_{M1} = 1,15$, takže návrhové statické lokální únosnosti vyráběných WT nosníků jsou mezi $158 \div 235$ kN.

Vliv příčné excentricity e na lokální únosnost F_{Rk} ukázaly následné experimenty a teoretická ověření, jejichž souhrn je uveden na obr. 4. Ukázalo se, že excentricita do 20 mm (amplituda zvlnění) vůbec nesnižuje lokální únosnost. Je třeba uvést, že taková hodnota přesahuje povolenou excentricitu u jeřábových nosníků. Obdobně byl vyšetřen i vliv podepření tenkostěnné tvarované stojiny na opačné pásnici lokálně zatíženého nosníku. Postupovalo se v souladu s ČSN EN 1993-1-5 (obr. 5).



Obr. 4. Vliv příčné excentricity na lokální únosnosti stojin WT nosníků



Obr. 5. Vliv podepření na lokální únosnosti stojin WT nosníků

Pro zohlednění interakce lokálního namáhání silou F_{Ed} s namáháním momentem M_{Ed} , resp. posouvající silou V_{Ed} , lze použít vzorce, které na základě výzkumu lokální únosnosti tvarovaných stojin odvodili Elgaaly a Seshadri [5]:

$$\left(\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}}\right)^{1,25} + \left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^{1,25} = 1, \quad (3)$$

$$\left(\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}}\right)^{1,25} + \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}}\right)^{1,25} = 1. \quad (4)$$

Únavová pevnost WT nosníků

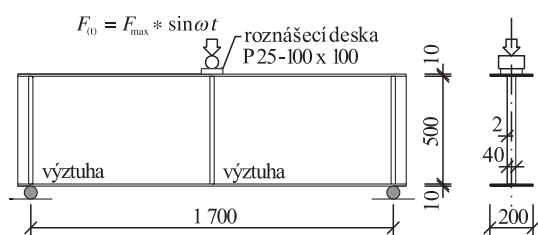
Výzkum únavové pevnosti části konstrukce je náročný časově i finančně. Tři tělesa WTB odzkoušeli Saal a Hornung [6], avšak nevhodně zvolené zatížení nevedlo k únavovému kolapsu ani po dosažení 5×10^6 cyklů. První testy reálných WT nosníků provedli Novák a Macháček [7], ale pro nekvalitní provedení částí krčních svarů (dokonce ručně opravovaných) byl rozptýl výsledků značný. Pozdější rozsáhlé několikaleté testy byly provedeny v dynamické laboratoři FSv ČVUT v Praze s hydraulickým zařízením SAVAD 200-100, dynamometrem PS 200 a ústřednou EDYZ

3-4M7. Byly použity nosníky z běžné výroby. Tyto testy jsou zhodnoceny dále.

Cyklické smykové namáhání

Experimenty

V souladu s požadavkem ČSN EN 1990 [4] ohledně statistického vyhodnocení bylo experimentálně vyšetřeno deset zkušebních těles vyrobených z nosníků WTA 500 – 200 × 10. Všechna tělesa byla zatěžována uprostřed rozpětí přes roznášecí desku ve frekvenci 7,5 Hz. Zvlněná stojina byla pod břemenem a nad podporami vyztužena příčnými výztuhami 2 × 80 × 25 [mm], přivařenými přerušovanými svary běžného provedení, které jsou z hlediska únavy velmi nepříznivé (obr. 6).



Obr. 6. Uspořádání zkoušek pro cyklické smykové namáhání

Materiálové vlastnosti byly statisticky vyhodnoceny ze šesti tahových zkoušek. Pro stojinu bylo zjištěno $f_{y0,2} = 345,9$ MPa, $f_u = 415,1$ MPa, $E = 194\,000$ MPa a pro pásnice $f_y = 280,0$ MPa, $f_u = 438,3$ MPa, $E = 200\,000$ MPa. Statická smyková charakteristická únosnost zkoušeného nosníku podle [2] je

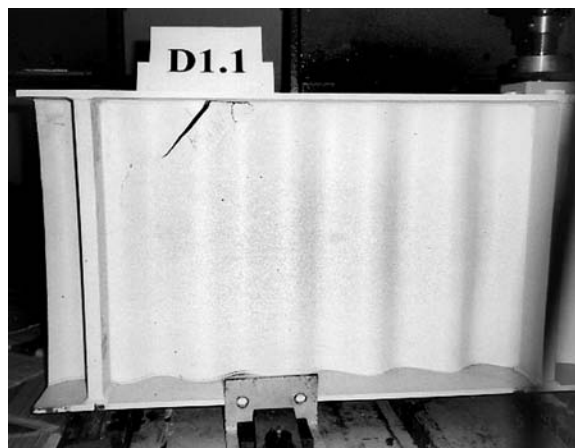
$$V_{Rk} = \kappa_{\tau} \frac{f_y}{\sqrt{3}} h_w t_w = 1,0 \cdot \frac{345,9 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} \cdot 0,50 \cdot 0,002 = 199,7 \text{ kN.} \quad (5)$$

Rozkmit smykové síly ΔV byl měněn podle tab. 1, minimální velikost zatěžovací síly přitom byla vždy $F_{\min} = 5$ kN. První tři vzorky (D1.1, D1.2, D1.3) byly dodány jako standardní, zatímco další prošly u výrobce vizuální kontrolou pro vyloučení zřejmých vad s tím, že budou dynamicky zkoušeny.

Tab. 1. Únava při cyklickém smykovém namáhání

Test	ΔV [kN]	$\Delta \tau$ [MPa]	Cyklů do kolapsu N	Poloha trhlin
D1.1	50	50	2 110 790	u horního krčného svaru
D1.2	50	50	1 419 150	u dolního krčného svaru
D1.3	50	50	774 000	u horního krčného svaru
D1.4	50	50	> 3 072 300	bez trhlin
D2.1	30	30	> 3 033 820	bez trhlin
D3.1	40	40	> 3 069 930	bez trhlin
D4.1	45	45	> 3 022 900	bez trhlin
D5.1	60	60	920 000	u dolní části střední výztuhy
D5.2	60	60	1 473 690	ve střední části střední výztuhy
D5.3	60	60	2 715 610	u horní části střední výztuhy

Za kolaps nosníku při zkoušce byl konzervativně považován okamžik vzniku viditelné únavové trhliny. U prvních tří těles vznikly únavové trhliny u krčných svarů a šířily se do stojiny pod úhlem zhruba 45° (obr. 7). Pokud trhlina nevznikla ani po dosažení $N = 3 \times 10^6$ cyklů, zkouška nepokračovala a bylo konzervativně zavedeno, že trhlina vznikla při počtu cyklů rovném počtu při ukončení experimentu (tab. 1). U některých vzorků vznikly vodorovné trhliny v místě vrubů od přivaření středních výztuh ke stojině (obr. 7). Tyto trhliny byly rovněž zahrnuty do vyhodnocení, i když vruby od takovýto přerušovaných ručních svarů lze vhodným technologickým postupem vyloučit – výsledná doporučení jsou proto celkově velmi konzervativní.



Obr. 7. Rozvoj trhliny u těles D1.1 a D5.1

Statistické vyhodnocení

Výsledky testů byly vyhodnoceny standardní statistickou procedurou ve shodě s ČSN EN 1990 [4], Příloha D. Cílem vyhodnocení bylo zjistit kategorii detailu vlnité stojiny nebo stanovit příslušnou Wöhlerovu křivku použitelnou pro únavové posouzení. Návrhová funkce pro rozkmit smykového napětí $\Delta\tau$ má tvar

$$r_t = \Delta\tau = m \sqrt{\frac{a}{N}} \quad (6)$$

Pro statistické vyhodnocení byl rozkmit smykového napětí neporušených těles D2.1 a D3.1 zjednodušeně uvažován stejný jako u tělesa D4.1, tzn. $\Delta\tau = 45$ MPa. Z hodnot *tab. 1* byly poté pomocí regresní analýzy stanoveny parametry střední Wöhlerovy křivky $a = 2,712 \cdot 10^{22}$, $m = 9,45$.

Kategorie detailu, která označuje příslušnou únavovou křivku pevnosti, odpovídá únavové pevnosti při 2×10^6 cyklech. Střední experimentální hodnota této kategorie je tedy

$$\Delta\tau_C = \left(\frac{2 \cdot 10^6}{a} \right)^{\frac{1}{m}} = 51,03 \text{ MPa} \quad (7)$$

Postupem uvedeným v [4] byla dále určena hodnota součinitele pro přepočítání střední hodnoty na charakteristickou hodnotu únavové pevnosti odpovídající 5% kvantilu experimentálních středních hodnot. Z porovnání experimentálních a teoretických hodnot plyne korekční člen $b_i = r_{ei}/r_{ti}$, jehož střední hodnota činí $\bar{b} = 1,005$ a pro poměrnou chybu $\Delta_i = \ln \delta_i$ lze stanovit střední hodnotu $\bar{\Delta}$ a směrodatnou odchylku s_δ (označení veličin odpovídá [4])

$$\delta_i = \frac{r_{ei}}{b r_{ti}}, \quad \bar{\Delta} = 1, \quad s_\delta = 0,109 \quad (8)$$

Dále byl určen variační koeficient chyby návrhové funkce V_δ (přičemž variační koeficient počtu cyklů $V_r = 0$, tudíž $V_r = V_\delta$) a směrodatnou odchylku logaritmu funkce r :

$$V_\delta = V_r = \sqrt{e^{s_\delta^2} - 1} = 0,109, \quad (9)$$

$$Q = \sigma_{\ln(r)} = \sqrt{\ln(V_r^2 + 1)} = Q_\delta = \sigma_{\ln(\delta)} = \sqrt{\ln(V_\delta^2 + 1)} = 0,109 \quad (10)$$

Pro omezený počet testů ($i = 10$) byly určeny váhové poměry variačních koeficientů a 5% kvantil

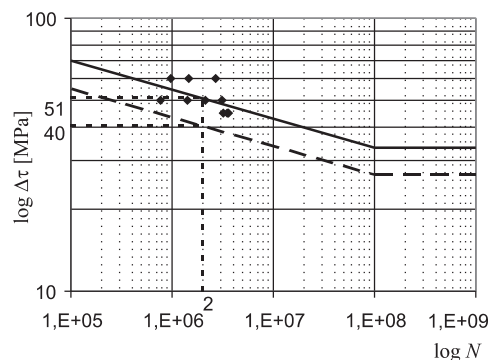
$$\alpha_n = 0, \quad \alpha_p = 1, \quad u_{k,n} = 1,92 \quad (11)$$

Součinitel c charakteristické únosnosti je dán vztahem

$$c = e^{-1,64\alpha_n Q_n - u_{k,n} \alpha_\delta Q_\delta - 0,5 Q^2} = 0,807 \quad (12)$$

Ze statistického vyhodnocení tak vyplývá výsledná charakteristická kategorie detailu $51,03 \times 0,807 = 41,2$. Pro praktický návrh lze proto považovat detail stojiny namáhané cyklickým smykem za kategorii 40*, se sklonem Wöhlerovy křivky 9,45. Jde přitom o zvlněnou stojinu připojenou k pásnicím pomocí vizuálně kontrolovaného automaticky provedeného krčního svaru a k příčným výztuhám pomocí ručního přerušovaného svaru. Odpovídající Wöhlerova křivka v logaritmickém vyjádření je znázorněna na *obr. 8*. Extrapolace křivky nad 3×10^6 cyklů a mez únavy pro 10^8 cyk-

lů odpovídá doporučení ČSN EN 1993-1-9 [8] a nebyla experimentálně ověřena.



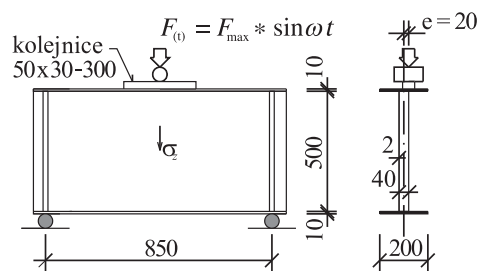
Obr. 8. Experimentální (plná) a doporučená (čárkovaná) křivka $\log \Delta\tau - \log N$

Navrženou křivku lze porovnat s doporučeními ČSN EN 1993-1-9 [8], kde je pro jednostranně přivařovanou stojinu doporučena kategorie detailu 100, pro stojinu se svíslými výztuhami kategorie 80 a pro svary kategorie 36*.

Cyklické lokální namáhání

Experimenty

Zkoušky byly prováděny opět na nosnících WTA 500 – 200 × 10 [mm] (*obr. 9*). Série obsahovala deset těles. Nosník délky 850 mm byl zatěžován uprostřed rozpětí přes vloženou kruhovou ocel (zatížení působilo “nožově”) a volně uložený ocelový hranol 30 × 50 mm, který představoval extrémně opotřebenou jeřábovou kolejnici výšky 30 mm. Excentricita zatížení vzhledem k ose nosníku činila vždy 20 mm. Minimální hodnota pulsujícího zatížení byla $F_{\min} = 5$ kN, maximální podle *tab. 2*, s frekvencí 8,5 Hz.

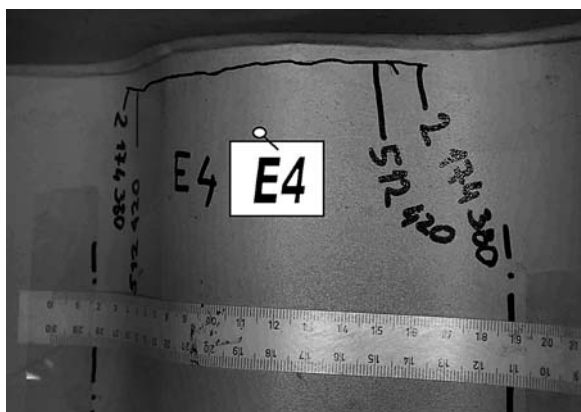
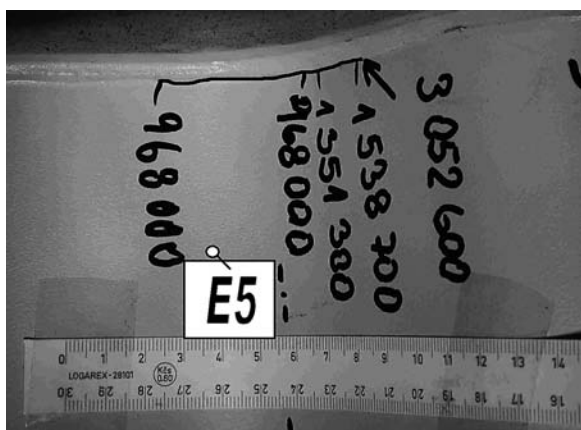


Obr. 9. Uspořádání zkoušek pro cyklické lokální namáhání

Odpovídající charakteristická statická únosnost podle vztahu (1) činí $F_{Rk} = 175,1$ kN. V případě lokálního cyklického namáhání vznikly všechny trhliny v místě pod zatížením, v blízkosti paty krčního svaru a šířily se v horizontálním směru. Proti rychlému nárůstu trhlin v případě stojiny zatížené cyklickým smykem se zde nárůst trhlin s rostoucími cykly postupně zpomaloval až k úplnému zastavení (*obr. 10*). Za kolaps byl považován okamžik vzniku viditelné trhliny. V případě, že trhlina nevznikla ani po dosažení 3×10^6 cyklů, byl test ukončen a pro vyhodnocení zaveden konzervativně kolaps odpovídající dosaženému počtu cyklů. V *tabulce 2* je uveden přehled výsledků, přičemž ve třetím sloupci je zapsána rovněž poloha těžiště zatížení vůči zvlnění (M – mezi vrcholy amplitud zvlnění, V – ve vrcholu amplitudy) a v posledním sloupci maximální podélné napětí v horní pásnici.

Tab. 2. Únava při cyklickém lokálním namáhání

Test	ΔF [kN]	Poloha zatížení	Cyklů do kolapsu N	σ_x^{\max} [MPa]	Poloha trhlin
E1	120	M	31 550	26,0	u paty svaru
E2	60	V	> 3 054 980	13,5	bez trhlin
E3	80	M	> 3 059 670	17,7	bez trhlin
E4	100	V	512 420	21,9	stojina 5 mm pod svarem
E5	90	M	939 570	19,8	u paty svaru
E10	90	V	1 123 860	19,8	stojina 2 mm pod svarem
E11	100	M	3 028 840	21,9	bez trhlin
E12	110	V	238 190	24,0	u paty svaru
E13	70	M	3 047 970	15,6	bez trhlin
E14	100	V	165 810	21,9	stojina 3 mm pod svarem

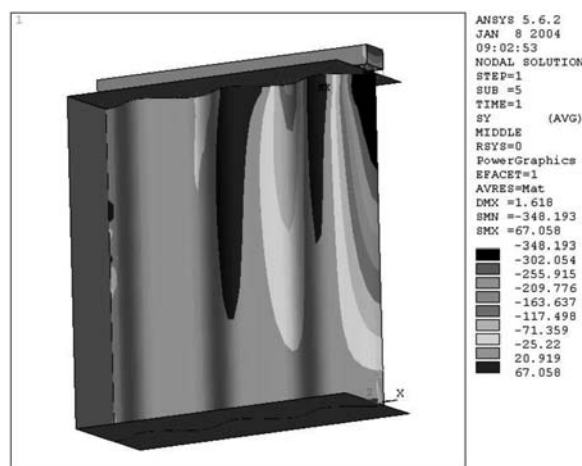
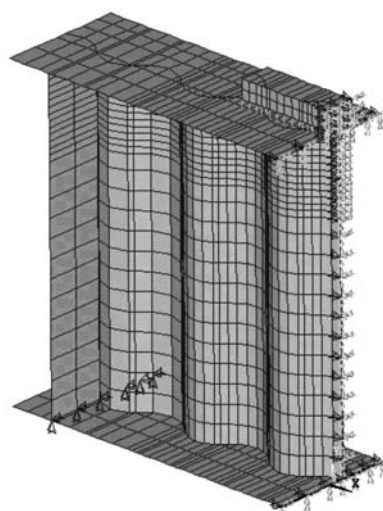


Obr. 10. Únavové trhliny od lokálního pulsujícího zatížení a jejich šíření

Teoretická analýza

Pro stanovení teoretické únavové pevnosti bylo nutné vyšetřit hodnoty svíslého napětí a přetvoření ve stojině pod lokálním zatížením. Použita byla opět GMNIA v softwaru ANSYS (viz statická únosnost při lokálním zatížení, vzhledem k symetrii zkoumaného nosníku byla řešena pouze jeho polovina). Cílem bylo vyšetřit maximální hodnoty napjatosti a přetvoření a dále také pružnou účinnou šířku stojiny pro jednoduchý analytický výpočet maximálního napětí. Pásnice, stojina a výtuhy byly modelovány pomocí deskostěnového prvku SHELL43 (zahrnuje pružnoplastické chování

a velké deformace), roznášecí kolejnice byla modelována pomocí trojrozměrných prvků SOLID45 (se stejnými možnostmi) a připojení k horní pásnici pomocí nelineárního kontaktního prvku CONTAC52 (kalibrace modelu je uvedena v [3]). Nožové zatížení působilo rovnoměrně na horní uzly roznášecí kolejnice. Celkový počet prvků byl cca 1700 (obr. 11).

Obr. 11. Model MKP, svíslá napjatost pro $F = 90$ kN

Materiál pásnic a výztuh byl zaveden běžným bilineárním pracovním diagramem ($f_y = f_u = 280$ MPa), pro stojinu byl na základě materiálových zkoušek použit trilineární se zpevněním ($E_0 = 194\,000$ MPa, $f_y = 346$ MPa, $E_{t1} = 0,02 E_0 = 3\,900$ MPa, $f_u = 415$ MPa, pro stabilitu výpočtů $E_{t2} = 100$ MPa).

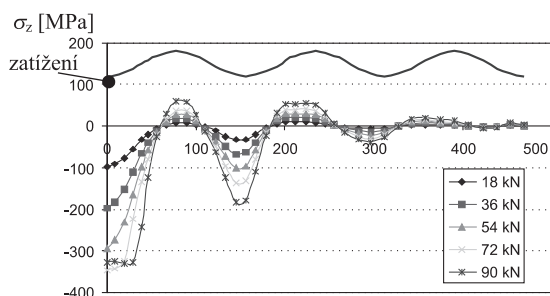
Rozsáhlé numerické vyšetřování pro různé polohy nožového zatížení s příčnou excentricitou 20 mm, různou tloušťkou stojin WT nosníků (2 až 3 mm), různou tloušťkou pásnic (10 až 35 mm) a měnící se výškou kolejnice (30 až 70 mm) vedlo po vyhodnocení regresní analýzou ke vztahu pro účinnou délku, umožňující stanovit maximální napětí od daného lokálního zatížení na náhradní ploše $t_w \times l_{eff}$:

$$l_{eff,2} = -32,5 + 1,195 \sqrt[3]{I_R} + 6,45 t_f \text{ [mm]}, \quad (13)$$

$$l_{eff} = l_{eff,2} e^{-0,1865(t_w - 2)} \text{ [mm]}. \quad (14)$$

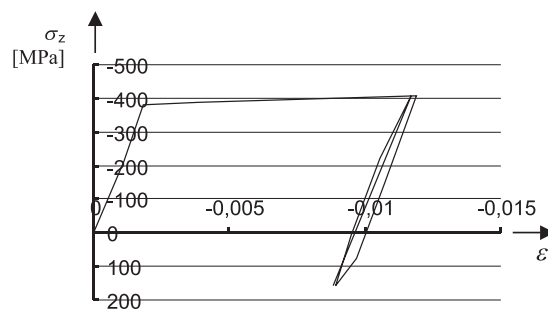
Vzorec (13) platí pro stojinu tloušťky $t_w = 2$ mm, zatímco vzorec (14) pro ostatní tloušťky stojiny. Korelační koeficienty jsou pro celou výrobní řadu WT nosníků 0,985, resp. 0,997 (největší rozdíl pro $t_w = 2$ mm je 7 % na straně bezpečné, konzervativní je vzorec i pro nosníky zatížené přímo, bez kolejnice, tj. pro $I_R = 0$).

Zajímavý je průběh svislého napětí σ_z podél kořene krčního svaru (obr. 12). Tlakové napětí vzniká pod působícím excentrickým zatížením a dále ob jednu vlnu, zatímco tahová napětí vznikají v mezilehlých vlnách.



Obr. 12. Průběh svislého napětí σ_z ve stojině pod pásnicí, podél zvlnění

Únavové trhliny popsané v tab. 2 vznikly při zkouškách v oblastech, kde převažuje svislé tlakové napětí, avšak jsou zde též reziduální pnutí od svařování a působí zde i podélné napětí od ohybu. Tvar trhlín ukazuje na rozhodující vliv svislého napětí. Uvedená numerická analýza (neuvažující však reziduální pnutí) prokázala vznik plastických oblastí pod zatížením. V tabulce 3 jsou uvedeny maximální hodnoty celkové a plastické deformace ve stojině pod zatížením (ve svislém směru z) při prvním dosažení F_{max} (tj. po polovičním cyklu) a během druhého cyklu (pro cyklický rozkmit, obr. 13). Je zřejmé, že cyklická plastická přetvoření jsou malá.



Obr. 13. Pracovní diagram pro první dva zatěžovací cykly ($\Delta F = 110$ kN)

V tab. 3 je dále pro rozkmit ΔF podle tab. 2 uvedena hodnota fiktivního pružného rozkmitu napětí $\Delta\sigma_{el}$ určeného pomocí lineární analýzy MKP a též přibližná hodnota určená podle vzorce (15), pomocí vztahu (14) (v důsledku tenkých pásnic je l_{eff} konzervativní)

$$\Delta\sigma = \frac{\Delta F}{l_{eff} t_w}. \quad (15)$$

Místo Coffinova-Mansonova přístupu, zahrnujícího rozkmit plastických deformací, a k usnadnění praktického návrhu byla snaha použít rozkmitu napětí. V tab. 3 uvedená hodnota ΔS odpovídá dvojnásobné hodnotě Langerova pseudonapětí S , které reprezentuje polovinu fiktivního pružného

Tab. 3. Teoretické hodnoty pro cyklické lokální namáhání

Test	Rozkmit pro $N = 1/2$		Cyklický rozkmit		Napětí [MPa]		
	$\Delta\epsilon_{tot}$	$\Delta\epsilon_{pl}$	$\Delta\epsilon_{tot}$	$\Delta\epsilon_{pl}$	$\Delta\sigma_{el}$	$\Delta\sigma$	ΔS
E1	0,014 7	0,013 5	0,003 44	$8,96 \times 10^{-4}$	438*	669	667
E2	0,004 7	0,003 6	0,001 67	0	311	335	324
E3	0,004 3	0,003 2	0,00167+	0	292*	445	324 ⁺
E4	0,017 0	0,015 8	0,002 65	$1,03 \times 10^{-4}$	519	558	514
E5	0,006 5	0,005 4	0,002 42	$1,28 \times 10^{-5}$	328*	502	469
E10	0,007 2	0,006 1	0,002 36	$6,00 \times 10^{-7}$	467	502	458
E11	0,003 8	0,002 6	0,002 67	$1,38 \times 10^{-4}$	365*	558	518
E12	0,012 0	0,010 9	0,002 96	$4,14 \times 10^{-4}$	571	613	574
E13	0,002 7	0,001 6	0,00167+	0	255*	390	324 ⁺
E14	0,009 5	0,008 4	0,002 65	$1,03 \times 10^{-4}$	519	558	514

* zatížení vnášeno mezi vrcholy vlny (poloha M); ⁺ hodnoty nahrazeny hodnotou z E2 (odpovídá poloze nad vrcholem vlny a je nejvyšší)

napětí počítaného z cyklického rozkmitu deformací podle vztahu (viz [10]):

$$\Delta S = 2S = E\Delta\varepsilon_{\text{tot}} \quad (16)$$

Z porovnání hodnot $\Delta\sigma_{\text{el}}$, $\Delta\sigma$ a ΔS vyplývá, že místo pseudonapětí ΔS lze konzervativně použít hodnot $\Delta\sigma$, založených na účinné šířce podle vztahu (15). Takový postup byl proto použit pro statistické vyhodnocení experimentů.

Vyhodnocení výsledků

Statistické vyhodnocení bylo provedeno opět v souladu s ČSN EN 1990 [4], příloha D a je analogické k postupu uvedenému v předešlém oddílu pro cyklické smykové namáhání. Návrhová funkce v tomto případě byla uvažována ve tvaru

$$r_t = \Delta S = m \sqrt[m]{\frac{a}{N}} \quad (17)$$

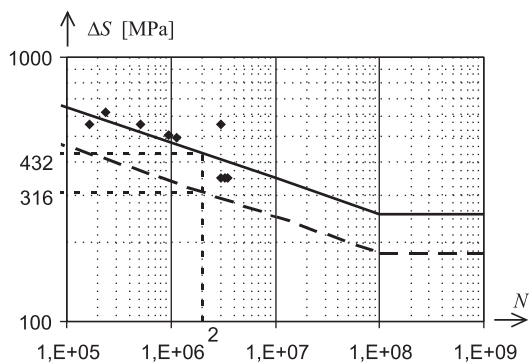
Z regresní analýzy pro $n = 10$ testů vyplynula hodnota sklonu Wöhlerovy křivky $m = 7,403$ a hodnota konstanty $a = 6,395 \times 10^{25}$. Střední experimentální hodnota kategorie detailu odpovídajícího dvěma miliónům cyklů

$$\Delta\sigma_c = \left(\frac{2 \cdot 10^6}{a}\right)^{\frac{1}{m}} = 431,74 \text{ MPa} \quad (18)$$

Postupem uvedeným výše byla určena hodnota součinitele pro přepočítání na charakteristickou hodnotu únavové pevnosti, odpovídající 5% kvantilu experimentálních středních hodnot (podrobný výpočet je uveden v [9])

$$c = e^{-1,64\alpha_{\text{R}}Q_{\text{R}} - u_{\text{k,n}}\alpha_{\text{s}}Q_{\text{s}} - 0,5Q^2} = 0,773 \quad (19)$$

Ze statistického vyhodnocení tedy vyplývá výsledná charakteristická kategorie detailu stojiny namáhané cyklickým lokálním zatížením, resp. napětím podle vztahu (15), $\Delta S = 0,773 \times 431,7 = 316 \text{ MPa}$. Sklon odpovídající Wöhlerovy křivky je $m = 7,4$ (obr. 14). Extrapolace křivky nad 3×10^6 cyklů a mez únavy pro 10^8 cyklů odpovídá doporučení ČSN EN 1993-1-9 [8] a nebyla experimentálně ověřena.

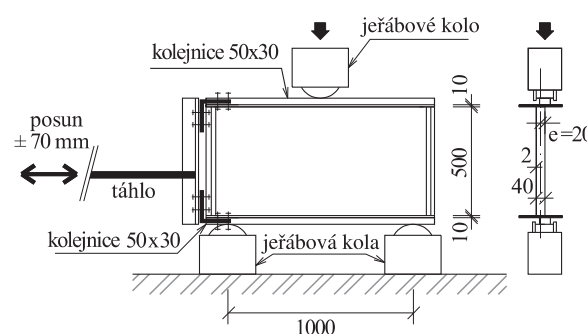


Obr. 14. Experimentální (plná) a doporučená (čárkovaná) křivka $\log \Delta S - \log N$

Pohyblivé lokální namáhání

Z experimentů vyplývá, že trhliny pod cyklickým lokálním zatížením se po určitém počtu cyklů stabilizuje a dále nenarůstá. Při použití *WT* nosníků na konstrukci jeřábové dráhy však dochází při poježdění jeřábovým kolem ke změně polohy působiště zatížení, a lze proto očekávat vznik trhliny ve větší oblasti. Pro experimentální vyšetření účinků lokál-

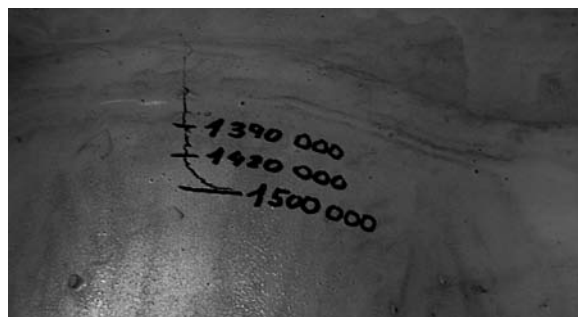
ního pohyblivého zatížení byl navržen speciální přípravek podle obr. 15. Nosník byl zatěžován prostřednictvím skutečného jeřábového kola a na stejných kolech byl podepřen na rozpětí 1 000 mm. Pohyb zatížení o velikosti $F = 90 \text{ kN}$ (odpovídající testům E5 a E10) způsoboval podélný pohyb nosníku $\pm 70 \text{ mm}$, vyvolaný motorem přímočaré pily. Přič-



Obr. 15. Experiment s pohyblivým lokálním zatížením

ně byl nosník veden šesti plastovými koly (4 na horní a 2 na dolní pásnici). Kolejnice musela být po každém testu vyměněna v důsledku silného opotřebení.

Provedeny byly dva testy se stejnými parametry (obr. 16). Při testu K1 vznikla trhlina na okraji krčního svaru po 286 000 cyklech a musela být vyměněna kolejnice. Další



Obr. 16. Test K1 – povrchová vodorovná trhлина, K2 – svislá trhлина napříč tloušťkou stojiny

zatížení nemělo již žádný zhoršující účinek až do 515 000 cyklů, neboť trhlina (viditelná pouze z jedné strany stojiny) se z původních 33 mm protáhla asi o 1 mm. Kolejnice byla opět příliš opotřebovaná a experiment byl ukončen. Při testu K2 byla kolejnice vyměněna již po 182 000 cyklech a dále po 282 000 a 648 000 cyklech, přičemž při první výměně bylo zatěžující kolo vyměněno za nové, s kaleným povrchem. První trhлина se objevila při 1 353 000 cyklech jako 4 mm dlouhá svislá trhлина od kořene krčného svaru a dosáhla 18 mm při 1 506 000 cyklů, kdy byl test ukončen.

Model s pohyblivým zatížením byl numericky vyšetřován GMNIA programem ANSYS. Pohyblivé zatížení ve dvou úplných cyklech bylo simulováno 57 zatěžovacími stavy, v každém s 5 přírůstkami zatížení ($90/5 = 18$ kN). Historie zatížení ve formě napětí/deformace byla zavedena do každého stavu z předchozího řešení. Výsledky lze shrnout následovně:

- posun zatížení činil pouze ± 70 mm, a proto maximální rozkmit svislého napětí činil 321 MPa (méně než 502 MPa vypočítaných ze vztahu (15)) a vznikl ve vzdálenosti 140 mm od středu zatížení;
- největší rozkmit smykového napětí z numerického výpočtu činil 45,7 MPa, tedy více než očekávaná hodnota $F/(2t_w h_w) = 90/(2 \times 2 \times 625) = 36$ MPa. Jde přitom o součet lokálního a celkového smykového napětí ve vlnité stojině;
- pod zatížením vznikaly ve stojině nosníku plastické oblasti, s maximální svislou deformací po prvních 3 zatěžovacích stavech $\epsilon_{pl,z} = 0,0042$, pro další stavy beze změny (tj. cyklický plastický rozkmit deformací nulový).

Experimentální i numerické vyšetřování stojiny s pohyblivým zatížením poskytlo hlubší poznatky skutečného chování nosníku při únavě. Trhliny vznikly poněkud dříve (zejména u testu K1) než u nosníků s cyklickým nepohyblivým zatížením. Z pouhých dvou testů nelze vyvodit relevantní závěry, nicméně numerická analýza odhalila další důležité faktory ovlivňující výsledky (tj. nižší rozkmit svislého napětí a vyšší rozkmit smykového napětí).

Literatura

- [1] Vácha, J.: Profily s vlnitou stojinou. Pomůcka pro navrhování. Kovové profily, 1997, 35 s.
- [2] Pasternak, H. – Branka, P.: Zum Tragverhalten von Wellstegträgern. Bauingenieur 73, č. 10, 1998, s. 437-444.
- [3] Novák, R. – Macháček, J.: Lokální únosnost ocelových nosníků s vlnitou stojinou. Stavební obzor, 9, 2000, č. 8, s. 225-229.
- [4] ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. ČNI, 2003, 76 s.
- [5] Elgaaly, M. – Seshadri, A.: Girders with Corrugated Webs under Partial Compressive Edge Loading. J. Struct. Eng., June 1989, s. 783-791.
- [6] Saal, H. – Hornung, U.: Untersuchungen zur Einleitung dynamischer Lasten. Bericht Nr. 943040, Univ. Karlsruhe, 1995, 11 s.
- [7] Novák, R. – Macháček, J.: Únosnost vlnité stojiny pod lokálním zatížením. Výzkumná zpráva, GA ČR č. 103/98/0062, 1999, 173 s.
- [8] ČSN EN 1993-1-9 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-9: Únava. ČNI, 2006, 42 s.
- [9] Tůma, M.: Únavová pevnost nosníků s vlnitou stojinou. [Dizertace], ČVUT, Praha, 2004, 118 s.
- [10] Coffin, L. F. – Henry, M. F.: Mechanical Behavior of Materials II. Notes 37.6460, N. Y., Rensselaer Polytechnic Institute Troy, 1998.
- [11] Macháček, J.: Crane Girder with Undulating Web. Proc. Intern. Conf. VSU 2006, Sofia, May 22-23, 2006, pp. 95-100
- [12] ČSN EN 1993-1-5 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-5: Boulení stěn. ČNI, 2007, 57 s.

Závěr

Po rekapitulaci chování a únosností nosníků s vlnitou stojinou typu *WT* při statickém zatížení jsou uvedeny výsledky jejich chování při únavě, plynoucí ze statistického vyhodnocení rozsáhlých experimentů a numerického vyšetřování. Výsledky byly získány na nosnících *WTA* s tloušťkou stojiny 2 mm a jejich užití pro jiné tloušťky (2,5 a 3 mm) je nutné pečlivě zvážit. Vyhodnocení experimentů byl provedeno v souladu s doporučením ČSN EN 1990 [4].

Vlnité stojiny zatížené převážně cyklickým smykem lze navrhovat na únavu podle ČSN EN 1993-1-9 [8] pro zvláštní kategorii detailu 40, se sklonem S-N křivky $m = 9,45$ (zahrnuje stojinu i přípojný krční svar). Stojiny lokálně zatížené jsou namáhány rozkmitem jak svislého, tak smykového napětí. Prezentovaný výzkum pokrývá nosníky s velmi nízkou kolejnicí rozměru 50×30 mm (běžné kolejnice mají větší šířku i výšku, a výsledky jsou pro ně proto na straně bezpečné) a namáhání smykem rovném polovině lokálního zatížení. Pro lokální namáhání rozkmitem svislého pseudonapětí byla odvozena zvláštní kategorie detailu 308, se sklonem S-N křivky $m = 7,40$. Pseudonapětí lze vyčíslit ze vztahu (15). Pro kombinace únavového namáhání je nutné použít vhodné interakční vztahy [5].

Testy provedené na nosnících se skutečně pohyblivým zatížením ukázaly další důležité aspekty chování nosníků s vlnitou stojinou při únavě, ale neovlivnily významně výsledky získané při cyklickém nepohyblivém zatížení. Příklad návrhu jeřábového nosníku [11] s použitím *WT* nosníku (rozpětí 12 m, nosnost 8 t) vyústil v návrh nosníku *WTC* $1\ 000 \times 3 - 250 \times 12$ a ukázalo se, že rozhodovala interakce momentu s lokálním zatížením, nikoliv únava. Porovnání s návrhem optimálního svařovaného nosníku s vyztuženou stojinou tloušťky 8 mm ukázalo úsporu 22 % hmotnosti.

Výsledky výzkumu byly zavedeny do NA ČSN EN 1993-1-5 [12].

Článek byl vypracován v rámci výzkumného záměru MSM 6840770001 MŠMT. Autoři rovněž děkují firmě Kovové profily, s. r. o., za poskytnuté WT nosníky.

Macháček, J. – Tůma, M.: Resistance of Girders with Undulating Web in Fatigue

This article presents static and fatigue resistance of girders with thin-walled undulating webs received from intensive experimental and numerical investigation at the Faculty of Civil Engineering of the Czech Technical University in Prague. Namely static resistances under local loadings and resistances under cyclic shear, cyclic local loading and moving local loading are concerned. The results were statistically evaluated, numerically modelled GMNIA using ANSYS software, verified and arranged for practical design and included into NA CSN EN 1993-1-5.

Macháček, J. – Tůma, M.: Ermüdungsfestigkeit von Stahlträgern mit Wellsteg

Der Artikel führt die statischen Tragfähigkeiten und Ermüdungsfestigkeiten von Stahlträgern mit dünnwandigem Wellsteg an, die aus einer umfangreichen experimentellen und theoretischen Untersuchung an der Fakultät Bauwesen der TU Prag gewonnen wurden. Es handelt sich insbesondere um die statische Tragfähigkeit bei lokaler Belastung und die Ermüdungsfestigkeit bei zyklischer Schubbelastung, einer zyklischen lokalen Last und beweglicher lokaler Belastung. Die Ergebnisse wurden statistisch ausgewertet, durch eine GMNIA mit Hilfe der Software ANSYS numerisch modelliert, überprüft und für praktische Anwendungen in die NA ČSN EN 1993-1-5 eingegliedert.

• projekty

Hagibor Office Building

Centrála mezinárodní zpravodajské organizace Rádia Svobodná Evropa se přesunula z budovy bývalého Federálního shromáždění v centru města do nových prostor kancelářského projektu Hagibor Office Building v jihovýchodní části Prahy. O přestěhování se začalo uvažovat po teroristických útocích na americká města v září 2001. Výstavba nového sídla začala v roce 2006, kolaudací prošla v září loňského roku. Rádio Svobodná Evropa si pronajalo objekt na patnáct let s možností prodloužení smlouvy na stejné období.



Budova, postavená v souladu se současnými potřebami multimediální komunikační společnosti, splňuje nejpřísnější mezinárodní bezpečnostní normy. Moderní redakci uprostřed pětipatrového komplexu obklopuje hustá síť propojených kanceláří a vysílacích studií. Autorem projektu je architektonické studio Cigler Marani, hlavním dodavatelem stavby byla společnost Heberger.

Tisková informace

• dizertace



Stárnutí hydroizolací ve spodní stavbě

Ing. Veronika Kačmaříková

Stárnutí hydroizolací bylo sledováno novými a dosud nepoužitými metodami v různých degradačních prostředích. Nejagresivnější se ukázala kombinace nízkých dávek záření alfa a gama, působícího spolu s půdními bakteriemi a vlhkostí. Nejlépe z hlediska stárnutí obstály fóliové hydroizolace z flexibilních polyolefinů.

Morfologická kategorizace vodních toků

Mgr. Lenka Hejduková

V dizertaci se klasifikace vodních toků považuje za podklad pro navrhování technických opatření a posouzení možností revitalizace vodních toků. Autorka sestavila databázi měřných tratí a kriticky zhodnotila současné klasifikační metody.

Modelování distribučních sítí

Ing. Rostislav Kasal

Pomocí matematického modelování řeší dizertace aktuální otázky spojené s řízením vodárenského distribučního systému. Výsledky práce, konkretizované na jihočeskou vodárenskou soustavu, mohou přispět ke zlepšení jakosti dodávané vody díky optimalizaci doby zadržení v distribuční síti.

Objektově orientované aplikace pro geoinformatiku

Ing. Jan Pytel

Obsahem práce je popis původních funkčních aplikací ve formě objektově orientovaných databází a relačních vztahů mezi nimi. Jádrem je implementace numerického výpočtu derivací v projektu GNU Gama a zhodnocení možností jejího využití.

Vzduchová neprůzvučnost mezi místnostmi

Ing. Jiří Nováček

Dizertační práce se zabývá odhadem vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi v budovách pro bydlení. Porovnávají se různé metody výpočtu zejména z hlediska přesnosti dosažených výsledků pro stavební prvky běžné v podmínkách českého stavebnictví.

Dynamický model bytové výstavby v Praze

Ing. Libor Kolářek

Dizertant vytvořil model vývoje bytové výstavby v Praze, jehož výstupy budou přínosem pro predikci trhu s byty. Práce prokazuje schopnost aplikace systémového přístupu při řešení komplexního problému.

Průkaz energetické náročnosti budovy

Ing. Eliška UBRALOVÁ
 ČVUT – Fakulta stavební
 Praha

Článek se zabývá aktuální tematikou zavedení povinnosti vypracovávat průkaz energetické náročnosti budovy. Popisuje rozdíl mezi tímto průkazem a stávajícím energetickým štítkem obálky budovy včetně kritérií hodnocení budov. Ve stručnosti uvádí možnosti úsporných opatření, získání dotací a související legislativu.

Úvod

Se stále rostoucí spotřebou energie se zvyšuje i nutnost zavedení úsporných opatření. Jednou z možností je „štítkování“ spotřebičů energie. Bereme za naprostou samozřejmost, že při koupi kontrolujeme jejich energetický štítek. Snažíme se vybírat spotřebiče energetické třídy A, A+, nebo dokonce A++ kvůli menší spotřebě energie, díky níž se sníží náklady na jejich provoz. Nevýhodou jsou ovšem ve většině případů vyšší pořizovací náklady.

Za největší spotřebiče pak můžeme považovat budovy, v nichž se energie spotřebovává k vytápění, ohřevu teplé vody, pro klimatizaci, osvětlení a další. V roce 2002 byl zaveden ustanovením ČSN 73 0540-2 (Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky) [11] Energetický štítek a Protokol k energetickému štítku obálky budovy. Štítek vypovídá o kvalitě zateplení budovy a hodnotí tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí – obálky (okna, plášť, střecha, podlahy). Od 1.1.2009 byla zavedena povinnost vypracovávat Průkaz energetické náročnosti budov včetně protokolu, který hodnotí celkovou spotřebu energie budovy. Díky takovému posouzení bude možné se při koupi či pronájmu domu nebo bytu lépe rozhodovat, jak peníze investovat. Bude zřejmé, zda je budova kvalitně zateplena, jaká je spotřeba energie na vytápění, apod. Po zavedení štítku ve Francii, Velké Británii, Dánsku nebo Švédsku klesly ceny nezateplených domů až o 20 %. Dá se proto předpokládat, že i u nás bude realitní trh reagovat na tuto změnu snížením nájmu nebo prodejní ceny u budov s horším energetickým hodnocením.

Energetický štítek obálky budovy

Grafické znázornění výpočtu na energetickém štítku dokládá míru splnění požadavků na vstup tepla obálkou budovy (dle přílohy B [11]). Přihlíží ke kvalitě oken, zateplení stěn a střechy. Kritériem energetické náročnosti budovy je SEN – stupeň energetické náročnosti, vypočtený podle vzorce

$$SEN = 100 \cdot \frac{e_V}{e_{V,N}}, \quad (1)$$

kde e_V je vypočtená měrná potřeba tepla při vytápění,
 $e_{V,N}$ – požadovaná normová měrná potřeba tepla k vytápění.

V roce 2005 byla norma novelizována a stupeň energetické náročnosti byl nahrazen kritériem STN – stupněm tepel-

né náročnosti, vypočteným podle vzorce

$$STN = 100 \cdot \frac{U_{em}}{U_{em,N}}, \quad (2)$$

kde U_{em} je průměrný součinitel prostupu tepla,
 $U_{em,N}$ – požadovaný normový průměrný součinitel tepla.

V roce 2007 proběhla zatím poslední novela, která nahradila stupeň tepelné náročnosti klasifikačním ukazatelem CI:

$$\text{– je-li } U_{em} \leq U_{em,rq}, \text{ pak } CI = \frac{U_{em}}{U_{em,rq}}; \quad (3)$$

$$\text{– je-li } U_{em} > U_{em,rq}, \text{ a zároveň je – li } U_{em} \leq U_{em,s},$$

$$\text{pak } CI = 1 + \frac{U_{em} - U_{em,rq}}{U_{em,s} - U_{em,rq}}; \quad (4)$$

$$\text{– je-li } U_{em} > U_{em,s}, \text{ pak } CI = 1 + \frac{U_{em}}{U_{em,s}}, \quad (5)$$

přičemž U_{em} je průměrný vypočtený součinitel prostupu tepla,
 $U_{em,rq}$ – průměrný požadovaný normový součinitel prostupu tepla,

$U_{em,s}$ – průměrný součinitel prostupu tepla stavebního fondu.

Žádný zákonný předpis neukládá, kdo je oprávněn energetický štítek vypracovat, proto jej může vyhotovit každý, kdo zvládne metodiku výpočtu.

ENERGETICKÝ ŠTÍTEK OBÁLKY BUDOVY							
(Typ budovy, místní označení) (Adresa budovy)				Hodnocení obálky budovy			
				stávající		doporučení	
VELMI ÚSPORNÁ							
CI	A			←			
0,30	B						
0,60	C						
1,00	D						
1,50	E						
2,00	F						
2,50	G						
MIMORÁDNĚ NEHOSPODÁRNÁ							
Průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy $U_{em} = H_T / A$, ve $W/(m^2 \cdot K)$							
CI	0,30	0,60	(0,75)	1,00	1,50	2,00	2,50
U_{em}			()				
Platnost štítku	(Datum)						
Štítek vypracoval	(Jméno a příjmení) (Kvalifikace)						

Obr. 1. Energetický štítek obálky budovy dle ČSN 73 0540-2 (2007)

Průkaz energetické náročnosti budovy

Dnem 1.1.2009 vstoupila v platnost povinnost pro stavebníky a vlastníky budov dle vyhlášky č. 148/2007 Sb. tento průkaz zajistit. Dokládá splnění požadavků na energetickou náročnost budovy podle zákona č. 406/2000 Sb. (ve znění pozdějších předpisů). Skládá se ze dvou částí – grafické (štítek) a protokolu, který popisuje tepelně technické parametry a celkovou energetickou potřebu budovy. Podle zákona č. 406/2000 Sb. je průkaz oprávněn zpracovat pouze energetický auditor nebo osoba autorizovaná podle zákona č. 360/1992 Sb. na základě energetického auditu budovy [2]. Průkaz musí být zpracován:

- při výstavbě nových budov;
- při větších změnách dokončených budov s celkovou podlahovou plochou nad 1 000 m², které ovlivňují jejich energetickou náročnost;
- při prodeji nebo nájmu budov nebo jejich částí, pro kterou vznikla povinnost jeho zpracování dle dvou předchozích podmínek.

Musí být vyvěšen v budovách s podlahovou plochou nad 1 000 m², určených pro poskytování služeb veřejnosti (pro školství, zdravotnictví, kulturu, obchod, sport, ubytovací a stravovací služby, v budovách veřejné správy a zákaznických středisek v odvětví vodního hospodářství, energetiky, dopravy a telekomunikací).

Průkaz má platnost deset let. Nový musí být vyhotoven při každé významné změně technických parametrů budovy, která vede ke snížení (zvýšení) spotřeby energie nebo po uplynutí jeho platnosti. Při jeho vypracovávání se porovnává vypočtená měrná spotřeba energie – EPA v kWh/(m²·rok) s intervalovými hodnotami uvedenými v tab. 1 (sloupec C představuje referenční hodnoty),

$$EPA = 277,8 \cdot \frac{EP}{Ac} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{rok}} \right], \quad (6)$$

přičemž EPA je vypočtená celková roční dodaná energie [GJ/rok], Ac celková podlahová plocha [m²].

Po porovnání vypočtené hodnoty s hodnotami v tabulce se budova zařadí do jedné ze tříd A až G. Slovní vyjádření tříd energetické náročnosti budovy je uvedeno v tab. 2. Pokud je budova zařazena do třídy A až C, vyhoví požadavkům na energetickou náročnost, úsporná opatření musejí být zavedena při zařazení do třídy D až G.

Tab. 1. Intervalové hodnoty měrné spotřeby energie [9]

Druh budovy	A	B	C*	D	E	F	G
rodinný dům	< 51	51-97	98-142	143-191	192-240	241-286	>286
bytový dům	< 43	43-82	83-120	121-162	163-205	206-245	>245
hotel a restaurace	< 102	102-200	201-294	295-389	390-488	489-590	>590
administrativní	< 62	62-123	124-179	180-236	237-293	294-345	>345
nemocnice	< 109	109-210	211-310	311-415	416-520	521-625	>625
vzdělávací zařízení	< 47	47-89	90-130	131-174	175-220	221-265	>265
sportovní zařízení	< 53	53-102	103-145	146-194	195-245	246-297	>297
obchodní zařízení	< 67	67-121	122-183	184-241	242-300	301-362	>362

* referenční hodnoty

Tab. 2. Slovní vyjádření energetické náročnosti budovy [9]

Energetická náročnost budovy	
třída	slovní vyjádření
A	mimořádně úsporná
B	úsporná
C	vyhovující
D	nevyhovující
E	neehospodárná
F	velmi neehospodárná
G	mimořádně neehospodárná

PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY				
Typ budovy, místní označení Adresa budovy Celková podlahová plocha:	Hodnocení budovy			
	stávající stav	po realizaci doporučení		
	C	B		
Měrná vypočtená roční spotřeba energie v kWh/m ² rok	XY	XY		
Celková vypočtená roční dodaná energie v GJ	XY	XY		
Podíl dodané energie připadající na:				
Vytápění	Chlazení	Větrání	Teplá voda	Osvětlení
%	%	%	%	%
Doba platnosti průkazu				
Průkaz vypracoval		Jméno a příjmení Osvědčení č.		

Obr. 2. Průkaz energetické náročnosti budovy (grafická podoba) dle vyhl. č. 148/2007 Sb.

Průkaz energetické náročnosti budovy je povinnou součástí dokumentace k žádosti o stavební povolení (vypracované dle vyhlášky č. 148/2007 Sb.) v případě, že byla podána po 1.1.2009. Žádosti podané do 31.12.2008 průkaz obsahovat nemusí. Při porušení povinnosti jeho vypracování hrozí pokuta až 1 mil. Kč.

Úsporná opatření

Při nesplnění požadavků na energetickou náročnost budovy dle vyhlášky č. 148/2007 Sb., tzn. zařazení do třídy D až G, musí být navržena úsporná opatření. Nejvíce energie se spotřebovává na vytápění domu. Proto je třeba zajistit, aby nedocházelo ke ztrátám únikem tepla obálkou budovy (okny, stěnami, střechou a podlahami). Tepelné ztráty se dají omezit mnoha způsoby, nejúčinnější bývá zateplení budovy polystyrenem, minerální vlnou, instalací bezkontaktní fasády, změnou stavebního materiálu nebo výměnou či repasí oken.

Dalším způsobem, jak snížit náklady na energii, je změna zdroje vytápění a ohřevu teplé užitkové vody. V České republice podle údajů Ministerstva životního prostředí stále 450 tisíc domácností topí uhlím, které je sice nejlevnější, jde ovšem o naprosto neekologický způsob vytápění. Trendem je zavedení vytápění solárními panely, tepelnými čerpadly, kotlem na biomasu, fotovoltaickými články a využitím vodní či větrné energie

Dotace

Úspory energie podporuje jak stát, tak Evropská unie. O dotace ze Státního fondu životního prostředí ČR (SFŽP) v rámci Státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie nebo o podporu v rámci Operačního programu Životní prostředí (OPŽP) mohou požádat:

- domácnosti,
- obce, města, kraje, příspěvkové organizace obcí, měst, krajů a státu, vysoké školy, veřejné výzkumné instituce, obchodní společnosti vlastněné obcemi nebo jinými veřejnoprávními subjekty, občanská sdružení, církve a náboženské společnosti, obecně prospěšné společnosti, nadace a nadační fondy.

První skupina může žádat o dotace ze Státního fondu životního prostředí ČR [2], v rámci něhož bylo v roce 2008 vyčleněno 100 mil. Kč na podporu instalace kotle na biomasu pro vytápění či kogeneraci tepla a elektřiny nebo solárních systémů pro ohřev užitkové vody (na obě varianty až 50 % investičních nákladů, max. 50 tis. Kč) a instalaci tepelných čerpadel nebo solárních systémů pro přitápění (až 30 % investičních nákladů, max. 60 tis. Kč). Podmínkou pro udělení dotace na pořízení kotle na biomasu nebo tepelného čerpadla je přechod z vytápění pevnými fosilními palivy. Pro rok 2009 byly vyhlášeny dva programy. Pro kotle na biomasu a solární systémy na ohřev teplé vody dotace ve výši 50 % z užitelných nákladů, maximálně však 55 tis. Kč, pro solární systémy k přitápění a celoroční ohřev teplé vody maximálně 65 tis. Kč. Pro tepelná čerpadla lze získat dotaci do 30 % užitelných nákladů. U tepelných čerpadel země/voda a voda/voda je to maximálně 75 tis. Kč a u čerpadel vzduch/voda maximálně 55 tis. Kč. O tyto dotace lze žádat po dokončení a zaplacení projektu, nejdéle však do 18 měsíců od uvedení zařízení do trvalého provozu. Od dubna letošního roku bude otevřen rozšířený čtyřletý program v hodnotě 25 mld. Kč. Bude podporováno kvalitní zateplení rodinných a bytových domů (vyjma panelových domů), pořízení nízkoemisního kotle na biomasu či tepelného čerpadla do nízkoenergetických novostaveb či výměna stávajícího neekolo-

gického způsobu vytápění za tyto zdroje a také nová výstavba v pasivním energetickém standardu.

Pro druhou skupinu je k dispozici podpora v rámci operačního programu Životní prostředí – prioritní osa 3 [2], určená ke zvýšení využití obnovitelných zdrojů energie při výrobě tepla a elektřiny a využití odpadního tepla ve dvou směrech:

- 3.1 – výstavba nových zařízení a rekonstrukce stávajících s cílem zvýšit využívání obnovitelných zdrojů energie pro výrobu tepla, elektřiny a kombinované výroby tepla a elektřiny (k dispozici je 54 % ze 673 mil. EUR);
- 3.2 – realizace úspor energie a využití odpadního tepla v nepodnikatelské sféře (k dispozici je 46 % ze 673 mil. EUR).

Žadatelům může být poskytnuta podpora až do výše 90 % z celkových způsobilých veřejných výdajů projektu. Minimálně musejí být tyto výdaje 0,5 mil. Kč. Podporovány jsou tyto typy projektů:

- výstavba a rekonstrukce lokálních i centrálních zdrojů tepla využívajících obnovitelné zdroje energie pro vytápění, chlazení a ohřev teplé vody;
- instalace fotovoltaických systémů pro výrobu elektřiny;
- výstavba a rekonstrukce větrných a malých vodních elektráren;
- výstavba geotermálních elektráren a elektráren spalujících biomasu (pevnou, plynou nebo kapalnou);
- instalace kogeneračních zařízení spalujících bioplyn, skládkový a kalový plyn, bioplynové stanice;
- instalace kogeneračních zařízení využívajících pevnou biomasu;
- kombinovaná výroba elektřiny a tepla z geotermální energie;
- snižování spotřeby energie zlepšením tepelně technických vlastností obvodových konstrukcí budov;
- implementace měřicí a regulační techniky v systémech vytápění a chlazení;
- aplikace technologií na využití odpadního tepla.

Závěr

Celosvětovým problémem je dlouhodobě neudržitelná spotřeba energií. Proto se zavádějí různá opatření, která by mohla vést k nahrazení dosavadních energetických zdrojů zdroji obnovitelnými. V České republice se tímto problémem zabývá Národní program hospodárného nakládání s energií a využívání obnovitelných a druhotných zdrojů. Jedním z cílů je dosažení úspor energie podporou energetických auditů s výstupem v podobě Průkazu energetické náročnosti budov. Národní program se snaží vést investory k využívání obnovitelných zdrojů energie místo fosilních paliv a snížení tepelných ztrát budovy. Motivací by měly být dotace, podpora realizace projektu a také vidina vyššího zisku při prodeji či pronájmu budovy s kvalitním hodnocením podle průkazu energetické náročnosti.

Legislativa

- Zákon o hospodaření energií č. 406/2000 Sb. ve znění pozdějších předpisů.
- Vyhláška o energetické náročnosti budov č. 148/2007 Sb.
- Vyhláška, kterou se vydávají podrobnosti náležitostí energetického auditu č. 213/2001 Sb. (změna č. 425/2004 Sb.)
- ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov.
- Směrnice 2002/91/EC zavádí v zemích EU opatření ke snížení celkové energetické bilance budov.

Literatura

- [1] www.mpo.cz/dokument20167.html [27. 2. 2009].
 [2] www.mpo.cz/cz/energetika-a-suroviny/uspory-energie/seznam-energetickych-expertu/seznam.html [27. 2. 2009].
 [3] www.mpo.cz/dokument46742.html [27. 2. 2009].
 [4] www.mpo.cz/dokument6742.html [27. 2. 2009].
 [5] www.mzp.cz/cz/fondy_programy_eu [27. 2. 2009].
 [6] www.mzp.cz/cz/dotace_pro_domacnosti [27. 2. 2009].
 [7] www.mzp.cz/cz/dotace_pro_domacnost_2009 [27. 2. 2009].
 [8] [www.env.cz/C1257458002F0DC7/cz/Programy_podpory_obnovitelnych_zdroju/\\$FILE/OVV-informace_gis_web-060209.pdf](http://www.env.cz/C1257458002F0DC7/cz/Programy_podpory_obnovitelnych_zdroju/$FILE/OVV-informace_gis_web-060209.pdf) [27. 2. 2009].
 [9] Zákon o hospodaření energií č. 406/2000 Sb.
 [10] Vyhláška o energetické náročnosti budov č. 148/2007 Sb.
 [11] ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov. 2002.

Ubralová, E.: Energy Passport of Buildings

This paper deals with the actual topic of introducing the requirement to work out the energy passport of buildings. It describes the difference between this passport and the current energy label of the envelope of buildings, including criteria of buildings assessment. It briefly outlines the potential of economic measures, acquisition of funding, and the related legislation.

Ubralová, E.: Energieausweis für Gebäude

Der Artikel befasst sich mit der aktuellen Thematik der Einführung der Pflicht, einen Ausweis der energetischen Aufwändigkeit eines Gebäudes zu erstellen. Er beschreibt den Unterschied zwischen diesem Ausweis und dem bestehenden energetischen Schild der Gebäudehülle einschließlich der Kriterien für die Bewertung von Gebäuden. Er führt kurz und knapp die Möglichkeiten von Einsparungsmaßnahmen, der Erlangung von Zuschüssen und die damit zusammenhängende Legislative an.

Stavební obzor na CD

Ročníky

2002–2008

ve formátu pdf si lze objednat u distributora,
popř. v redakci našeho časopisu

Cena:

1 ročník na CD 400 Kč
Poštovné + balné (dobírka) 100 Kč

Objednávky:

Ing. Milan Gattringer, MG DTP,
Borovanská 3388, 143 00 Praha 4,
tel./fax: 241 770 220, e-mail: mgdtp@volny.cz

● dizertace

**Hodnocení rizik v řízení projektů***Ing. Jan Mikulecký*

V dizertaci je zpracována původní metoda hodnocení rizik, která je zaměřena zejména na kvalitativní analýzu, kde jiné metody mají značné nedostatky. Autor věří, že rozvoj metody poslouží kvalitnější přípravě a realizaci projektů.

Energetická náročnost budov v souvislostech s legislativou*Ing. Miroslav Urban*

V dizertaci je naznačeno vytvoření národní metodiky výpočtu energetické náročnosti budov. Na základě této metodiky je vytvořen výpočetní nástroj NKN pro stanovení energetické náročnosti podle evropské směrnice a českých právních předpisů.

Strategic Process Management of the Real Estate Project Development*Dipl.-Ing. Torsten Held*

Práce obsahuje deskriptivní pohled na strukturu volby řídicích opatření jako nástroj projektového řízení a identifikuje rizika přípravy stavby v ranném stadiu projektů.

Systém řízení nákladů*Ing. Robert Pátek*

V práci je popsán současný stav problematiky procesního řízení, jehož nástrojem je metoda Aktivitní Based Costing pro řízení a ovlivňování nákladů procesů. Práce může ve své aplikační části být přínosem pro řízení velkých a středních firem.

Dřevokazné houby v občanské a bytové výstavbě*Ing. Jiří Frankl*

Dizertační práce se zabývá studiem druhové skladby v současnosti se vyskytujících dřevokazných hub, jejich vzájemnou interakcí i rozborem vlivu míst výskytu na mechanické vlastnosti dřeva. Zkoumá se inhibiční vliv mikroskopických vláknitých hub na intenzitu napadení dřeva. Originálním zjištěním je, že existuje poměrně velmi krátká přechodová hranice od dřeva zdravého ke dřevu destruovanému.

Comparison of Some Domain Decomposition Methods*Ing. Bedřich Sousedík*

Práce z oboru matematiky je příspěvkem k výpočtovým metodám založeným na rozkladech oblastí na podoblasti. Mezi hlavní výsledky patří důkazy ekvivalence dvou tříd představitelů zmíněných metod a novátorský počin spočívající ve vypracování teoretických základů adaptivního přístupu v této problematice.

Poruchy odvodňovacích žlabů betonových ploch

doc. Ing. František LUXEMBURK, CSc.

ČVUT – Fakulta stavební, Praha

Ing. Bohuslav NOVOTNÝ, DrSc.

ČVUT – Kloknerův ústav, Praha

V článku se analyzují příčiny poruch polymerbetonových odvodňovacích žlabů zabudovaných do betonových užitkových ploch. V rámci posouzení teplotních účinků se uvádějí i vztahy US DesignGuide2002 pro stanovení teploty nulového napětí, dále experimentální výsledky pro hobru (materiál výplně spár) a diskutuje se i vliv tření na styku cementobetonových desek a podkladního systému (podloží).

Úvod

V článku vyšetřujeme poruchy odvodňovacích polymerbetonových žlabů zabudovaných do betonových ploch. Příčina poruch je obvykle velmi jednoduchá – projekční závady související s nedostatečným (nebo i žádným) zohledněním teplotní roztažnosti konstrukčního materiálu plochy – betonu. Nejprve zopakujeme základní vztahy, týkající se vlivu teploty rovnoměrně rozdělené po tloušťce betonové desky, a následně určíme příčiny poruch odvodňovacích žlabů dvou betonových ploch.

Vztahy pro posouzení účinku rovnoměrné teploty

Základním teplotním účinkem je změna délky betonové desky. Maximální změna její délky (roztahení/zkrácení) ve směru x , odpovídající změně teploty ΔT , bude

$$\Delta l_x = \alpha \Delta T l_x, \quad (1)$$

když l_x je délka desky ve směru x , α je koeficient teplotní roztažnosti betonu. Nemůže-li se plocha volně roztáhnout, vzniká v betonu tlakové napětí (obr. 1)

$$\sigma_T = -E\varepsilon_T, \quad \varepsilon_T = \alpha \Delta T. \quad (2)$$

Umožní-li konstrukce pouze roztahení

$$\Delta \lambda_x < \Delta l_x, \quad (3)$$

bude napětí v desce menší

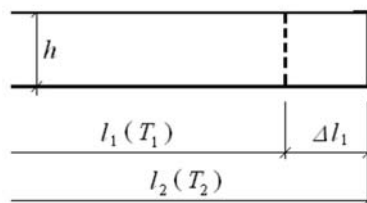
$$\tilde{\sigma}_T = -E(\varepsilon_T - \varepsilon_0), \quad \varepsilon_0 = \frac{\Delta \lambda_x}{l_x}. \quad (4)$$

Při posuzování poruch odvodňovacích žlabů budeme uvažovat tyto vstupní údaje:

- modul pružnosti betonu $E = 35$ GPa,
- součinitel teplotní roztažnosti betonu $\alpha = 0,00001$.

Pro vybrané hodnoty $\Delta T^{(+)}$ uvádíme v tab. 1 hodnoty veličin ε_T a σ_T .

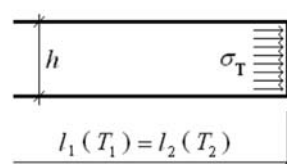
a) roztažitelná deska



$$\Delta l_1 = \alpha \Delta T l_1$$

$$\sigma_T = 0$$

b) neroztážitelná deska



$$\Delta l_1 = 0$$

$$\sigma_T = -\alpha \Delta T E$$

Obr. 1. Účinek změny teploty (rovnoměrně rozložené po tloušťce desky)

Tab. 1. Vliv rozdílu teplot $\Delta T^{(+)}$ na základní veličiny namáhání betonových desek

Veličina	Rozdíl teplot $\Delta T^{(+)}$ [°C]					
	15	20	25	30	35	40
$10^4 \varepsilon_T$	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00
σ_T [MPa]	-5,25	-7	-8,75	-10,5	-12,25	-14

U delších betonových desek (více než 20 m) je vhodné analyzovat i účinky odporu podloží proti pohybu betonové desky způsobené teplotním napětím. V práci [4] je uveden jednoduchý postup, založený na předpokladu, že tento odpor vzniká smykovým napětím působícím proti pohybu desky $\tau_f = fh\rho$, kde f je součinitel tření (při prvním posunutí, třeba podle [4], uvažovat hodnotu 1 až 2, při dalších pohybech hodnotu nižší – minimálně 0,8 pro betonovou desku na písčitém podkladu), h je tloušťka desky a ρ objemová hmotnost betonu. Ve vzdálenosti l_R od okraje desky je potom odpor proti pohybu představován namáháním desky napětím σ_R , které vyplývá z rovnice rovnováhy vodorovných sil

$$h \sigma_R = l_R f h \rho \Rightarrow \sigma_R = l_R f \rho. \quad (5)$$

Maximální hodnoty toto napětí dosáhne ve vzdálenosti l_f , kde naroste na hodnotu (2) napětí vyvolaného změnou teploty ΔT (ve vzdálenějších bodech potom zůstává deska bez pohybu: odpor tření se rovná „hnací síle“ teplotního napětí)

$$\max \sigma_R = \alpha \Delta T E \Rightarrow l_f = \frac{\alpha \Delta T E}{f \rho}. \quad (6)$$

Platí potom pro desky délky $l \leq 2 l_f$ (max σ_R se realizuje ve středu desky $l/2$)

$$\Delta l = \Delta T \alpha l - \frac{f \rho l^2}{4 E}, \quad \max \sigma_R = \frac{1}{2} l f \rho, \quad (7)$$

a pro desky délky $l \geq 2 l_f$

$$\Delta l = \frac{E (\Delta T \alpha)^2}{f \rho}. \quad (8)$$

Použitím kluzné membrány může hodnota součinitele f podstatně klesnout – podle [7] koeficient tření na hodnotu 0,2 v porovnání s hodnotou 0,7 bez membrány.

Při ochlazování se betonové desky zkracují, podle [4] je šířka spáry daná šestinásobkem až sedminásobkem pohybu, aby zálivka dokázala tento pohyb sledovat bez porušení. V technické praxi se setkáme i s názorem, že maximální sevření spáry vlivem dilatace betonových desek má představovat 2/5 její šířky. Tyto úvahy tedy ovlivňují stanovení šířky spáry.

Šířka dilatační spáry

Uvažujeme betonovou plochu délky L , rozčleněnou spárami na m celků (desek) délky l_i . Extrémním teplotám $T^{(+)}$ a $T^{(-)}$ odpovídají přírůstky (zkrácení) délky

$$\begin{aligned} \Delta l_i^{(\pm)} &= \alpha l_i \Delta T^{(\pm)}, \\ \Delta T^{(\pm)} &= T^{(\pm)} - T_0, \end{aligned} \quad (9)$$

když T_0 je teplota nulového napětí (teplota, při níž se původní délka desky nemění). Prodloužení (zkrácení) délky desky č. i $l_i^{(\pm)}$ se projeví na okrajích posuny $\Delta l_{i,1}^{(\pm)}$ (začátek prvku) a $\Delta l_{i,2}^{(\pm)}$ (konec prvku)

$$\Delta l_i^{(\pm)} = \Delta l_{i,1}^{(\pm)} + \Delta l_{i,2}^{(\pm)}, \quad (10)$$

s obvyklým předpokladem

$$\Delta l_{i,1}^{(\pm)} = \Delta l_{i,2}^{(\pm)} = \frac{1}{2} \Delta l_i^{(\pm)}, \quad (11)$$

kteřý ovšem nemusí odpovídat místním poměrům. Při stanovení šířky s_i spáry i vycházíme z velikosti dilatačních pohybů okrajů přilehlých desek, které musí materiál spáry absorbovat,

$$\begin{aligned} \Delta s_i^{(+)} &= \Delta l_{i-1,2}^{(-)} + \Delta l_{i,1}^{(-)}, \\ \Delta s_i^{(-)} &= \Delta l_{i-1,2}^{(+)} + \Delta l_{i,1}^{(+)}, \end{aligned} \quad (12)$$

když $\Delta s^{(+)}$ představuje zvětšení šířky spáry (roztažení), $\Delta s^{(-)}$ její zkrácení.

Při návrhu šířky spáry s_i musíme zohlednit schopnost zálivky absorbovat dilatační pohyby

$$\Delta s_i^{(-)} \leq s_i \varepsilon^{(-)}, \quad \Delta s_i^{(+)} \leq s_i \varepsilon^{(+)}, \quad (13)$$

kde $\varepsilon^{(+)}$ je roztažnost (průtažnost) materiálu zálivky a $\varepsilon^{(-)}$ její stlačitelnost. Při výše uvedených výpočtech je důležitá teplota nulového napětí T_0 , která odráží teplotní poměry v době výroby betonových desek a poměry při tvrdnutí beto-

nu. V americké návrhové metodě DesignGuide [2] je uveden přibližný vztah, na základě něhož v tab. 2 uvádíme pro ilustraci několik hodnot T_0 (T_m je průměrná měsíční teplota).

Tab. 2. Teplota nulového napětí T_0 [2]

Teplota T_m [°C]	Obsah cementu C_c [kg/m ³]				
	250	300	350	400	500
3	9,7	10,3	11,7	13,7	16,4
5	12,5	14,0	15,5	17,0	20,0
10	19,3	21,2	23,0	24,9	28,6
15	25,9	28,1	30,2	32,4	36,8
20	32,2	34,7	37,1	39,6	44,5

Dalším důležitým parametrem jsou materiálové charakteristiky výplně spáry – v závěru této části uvedme několik orientačních údajů pro hobru jako klasickou výplň dilatačních spár. Údaje tab. 3 se týkají její stlačitelnosti za sucha (první údaj) a při proniknutí vody do dilatační spáry – zkoušky byly provedeny v Silniční laboratoři Fakulty stavební ČVUT.

Tab. 3. Relativní deformace hobry – suchá zkouška / 48 h uložení ve vodě

Napětí [MPa]	Doba zatížení [minuty]	Deformace $|\varepsilon^{(-)}|$	Relativní přetvoření po odlehčení	
			po 24 h	po týdnu
-10,5	0	0,74 / 0,82	–	–
	15	0,76 / 0,83	–	–
-14,0	0	0,76 / 0,84	–	–
	15	0,77 / 0,85	0,39 / 0,13	0,46 / 0,16

Z těsnících materiálů, absorbujících protažení i zkrácení šířky spáry, uvedme např. studenou zálivku BORNIT na polysulfidové bázi, která se používá při protažení/zkrácení do 25 % šířky spáry ($\varepsilon^{(\pm)} = \pm 0,25$).

Poruchy odvodňovacích žlabů

Doporučovaný detail napojení odvodňovacího žlabu ACO na přilehlé dopravní plochy ukazuje obr. 2. Posuzovali jsme dva případy závažných poruch odvodňovacích žlabů:

A. délka přilehlých betonových ploch 37 m

(vpravo i vlevo: $l_p = l_i = 37$ m),

tloušťka betonové desky 18-20 cm,

dilatační spára 20 mm – výplň hobru,

hloubka dilatační spáry na výšku cementobetonového krytu,

došlo k podbetonování distanční desky z hobry

v tloušťce cca 25 mm,

beton lože (předepsán C20/25) – zjištěna horší kvalita, poruchy: trhliny ve stěnách žlabů (ve střední části i u dna),

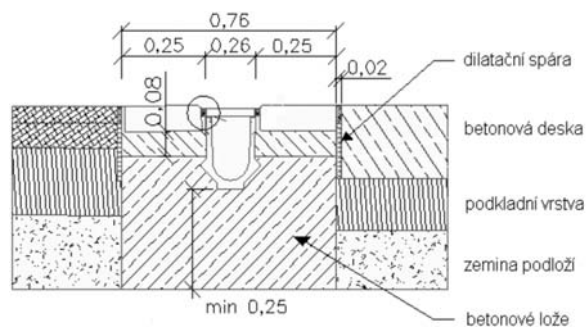
lokální zvednutí žlabu a přilehlých betonových dlaždic;

B. délka přilehlých betonových desek:

vpravo $l_p = 120,5$ m, vlevo $l_i = 37$ m,

dilatační spáry nebyly provedeny,

poruchy: porušení stěn žlabů trhlínami.



Obr. 2. Detail napojení žlabu na přilehlé dopravní plochy [m]

Pro stanovení dilatačních pohybů na spárách, případně teplotního napětí, je potřebné určit extrémní teplotní rozdíly $\Delta T^{(\pm)}$ na základě znalosti extrémních teplot $T^{(\pm)}$ a teploty nulového napětí. V tabulce 4 uvádíme extrémní teploty podle zdrojů z odborné literatury, teplotu T_0 se z dodaných podkladů nepodařilo stanovit – musíme ji proto odhadnout. Při posouzení příčin poruch žlabů budeme uvažovat nejneprůzračnější účinek konzervativní hodnotou $\Delta T^{(\pm)} \approx 25-30^\circ\text{C}$. Tomuto teplotnímu rozdílu potom v tab. 5 odpovídá prodloužení přilehlých betonových desek: $\Delta l_l^{(+)}$ z levé a $\Delta l_p^{(+)}$ z pravé strany žlabu, případně teplotní napětí σ_T , nemohou-li se desky roztáhnout.

Tab. 4. Extrémní teploty ve střednicové rovině desky

Zdroj	Teplota [$^\circ\text{C}$]	
	max. $T^{(+)}$	min. $T^{(-)}$
[1]	45	-13
[3]	30 (Velká Británie) 40 (jih USA)	3
[4]	30	-3

Tab. 5. Účinek teplotního rozdílu $\Delta T^{(\pm)} \approx 25-30^\circ\text{C}$

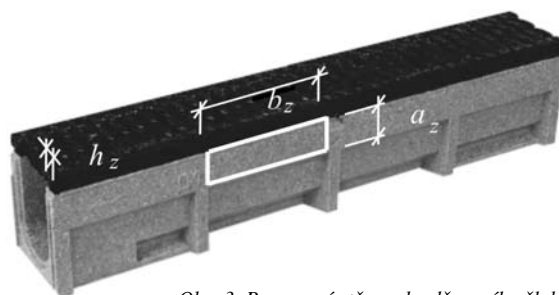
Případ	$\Delta l_l^{(+)}$	$\Delta l_p^{(+)}$	$|\sigma_T|$ [MPa]
	[mm]		
A	9,2-11,1	9,2-11,1	8,7-10,5
B	9,2-11,1	30,1-44,4	8,7-10,5

Při posuzování silových účinků na stěny žlabů v důsledku nesprávného oddílatování přilehlých betonových desek (obr. 3) můžeme uplatnit pouze přibližné postupy. Budeme uvažovat účinek tlaku q_0 (= σ_T) přeneseného přes betonové lože na stěnu žlabu – na její vrchní část (obr. 3), kterou uvažujeme jako desku tloušťky h_z , a rozměrů $a_z \times b_z$ (konzervativní hodnoty: $a_z = 7\text{ cm}$, $b_z = 20-100\text{ cm}$, $h_z = 1,5-2,0\text{ cm}$). Uvažujeme alternativně uložení kloubové a vetknutí na třech okrajích desky, čtvrtý okraj je volný. Maximální napětí ve stěně žlabu potom určíme jako maximální ohybové napětí desky

$$\sigma_{\max} = \frac{6M_{\max}}{h_z^2} = 6\beta \left(\frac{a_z}{h_z} \right)^2 q_0, \quad (14)$$

když z [5] zjistíme nejneprůzračnější hodnoty parametru β , a to kloubové uložení $\beta_k = 0,133$, vetknutí $\beta_v = 0,0867$.

Výsledně tedy σ_{\max} odhadujeme podle tab. 6.



Obr. 3. Posouzení stěny odvodňovacího žlabu

Tab. 6. Napětí ve stěně žlabu – alternativní výpočty [5]

Uložení	Tloušťka stěny žlabu [cm]	
	$h_z = 1,5$	$h_z = 2,0$
kloubové	$\sigma_{\max} = 17,38 q_0$	$\sigma_{\max} = 9,78 q_0$
vetknutí	$\sigma_{\max} = 11,33 q_0$	$\sigma_{\max} = 6,37 q_0$

V případě A je příčinou poruchy odvodňovacího žlabu kombinace technologické nekázně (podbetonování dilatační vložky) a ne zcela vhodná výplň dilatační spáry – hobra. Údaje tab. 3 ukazují, že hobra i při extrémním stlačení přenáší tlakové napětí (třeba dodat, že uvedené údaje nepostačují pro formulaci komplexnějšího mechanického modelu chování hobry ve funkci výplňového materiálu spáry). Kombinací podbetonování spáry a nepřiléhavé struktury hobry došlo zřejmě k namáhání stěny žlabu tlakem q_0 dostatečně velkým, aby v důsledku překročení ohybové pevnosti ve stěně žlabu vznikla trhлина.

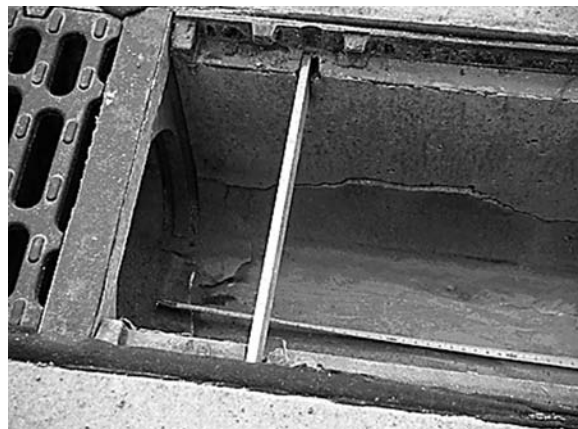
V případě B je příčina poruch žlabů evidentní – dilatační spáry byly opomenuty, přes betonové lože se na stojiny žlabů přenáší zatížení $q_0 \sim \sigma_T = 8,7-10,5\text{ MPa}$, a tedy v souladu s tab. 6

$$\sigma_{\max} \gg \sigma_{\text{pev,oh}}, \quad (15)$$

i když odvodňovací žlaby z polymerbetonu mají pevnost v tahu za ohybu $\sigma_{\text{pev,oh}} \approx 22\text{ MPa}$.

Závěry

V příspěvku jsme ukázali, že návrh detailu dilatační spáry, která odděluje blok uložení žlabu od přilehlých betonových desek, vyžaduje náležitou pozornost. Přitom výplňový materiál spáry by měl mít mechanické vlastnosti vhodné



Obr. 4. Porucha odvodňovače na manipulační ploše v Kolíně

pro bezproblémové absorbování pohybů okraje betonové desky (např. v [6] se doporučuje pryžová drť). U dřevěných vláknitých desek musí být dostatečně prověřen mechanismus deformování při působení tlakových silových účinků. Důležité je ovšem i dodržení technologické kázně při realizaci dilatačních spár (obr. 4, obr. 5).



Obr. 5. Porucha odvodňovače na manipulační ploše v Plzni

Literatura

- [1] Eisenmann, J. – Leykauf, G.: Beton-fahrbahnen, 2nd ed. Berlin, Ernst & Sohn 2003.
- [2] DesignGuide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures [Final Report, NCHRP Project 1-37A], Transportation Research Board, National Research Council, 2004.
- [3] Croney, D. – Croney, P.: Design and Performance of Road Pavements, 3rd ed. New York, McGraw-Hill 1997.
- [4] Gschwendt, I.: Vozovky. Bratislava, Jaga Group 1999.
- [5] Timoshenko, S. – Woinowski-Krieger, S.: Theory of Plates and Shells. New York, Mc Graw-Hill 1959.
- [6] STN 73 6123 Stavba vozoviek, Cementobetonové kryty. SN, 1996.
- [7] Knapton, J.: Ground Bearing Concrete Slabs. London, Thomas Telford Publishing 2003.

Luxemburk, F. – Novotný, B.: Failures of Drain Built into Concrete Area

The paper discusses causes of several failures of the drain (built into a concrete area). When analyzing uniform temperature effects, also DesignGuide2002 formulae for zero-stress temperature are discussed, as well as experimental investigation results on hardboard mechanical properties – hardboard often serving as a compressible joint fill material. Also the effect of friction between concrete slabs and subgrade is considered.

Luxemburk, F. – Novotný, B.: Störungen der Entwässerungsrinnen von Betonflächen

Im Artikel werden die Ursachen von Schäden an Entwässerungsrinnen aus Polymerbeton, die in Betonnutzflächen eingebaut sind, analysiert. Im Rahmen der Beurteilung der Wärmeeinwirkungen werden auch die Beziehungen des US DesignGuide2002 für die Bestimmung der Temperatur der Nullspannung angeführt, des Weiteren Versuchsergebnisse für das Fugenfüllmaterial Hobra, und es wird auch der Einfluss der Reibung am Stoß der Betonplatten und des Unterbausystems (Untergrund) diskutiert.

● osobnosti

Stoleté výročí prof. Kolouška



V březnu 2009 uplynulo sto let od narození zakladatele československé školy stavební dynamiky prof. Ing. Dr. Vladimíra Kolouška, DrSc.

Narodil se 16. března 1909 v Brně, kde byl jeho otec profesorem národního hospodářství na Vysokém učení technickém. Sám studoval stavební inženýrství na ČVUT v Praze (1927-1934) a absolvoval též dva semestry fyziky na Přírodovědecké fakultě Karlovy univerzity (obor fyzika a radiologie). V letech 1934-1937 byl zaměstnán v mostárně Vítkovických železáren, a poté vstoupil do služeb ČSD (Stavební správa Trenčianská Teplá a Zbraslav). Další jeho cesta vedla k ředitelství Státních drah a do firmy SUDOP. Během praxe pracoval na četných projektech ocelových a betonových mostů, velkých nádražních hal a jiných významných inženýrských staveb. Vypracoval mnoho expertních posudků na mosty doma i v zahraničí.

Již od dob studií se prof. Koloušek zajímal o vědecké studium stavební mechaniky. V roce 1947 vypracoval habilitační práci v oboru stavební dynamiky a v roce 1949 se stal soukromým docentem na ČVUT v Praze pro obor dynamika stavebních konstrukcí. Profesorem stavební mechaniky a dynamiky na Vysoké škole železniční v Praze se stal v roce 1953 a v jejím rámci krátce působil i na Vysoké škole dopravní v Žilině. Od roku 1963 pak přechází na Katedru stavební mechaniky Fakulty stavební ČVUT v Praze.

Celý život pracoval v oboru stavební dynamiky a získal za svou vědeckou práci řadu ocenění a vyznamenání – Státní cenu (1956), byl prohlášen doktorem technických věd (1956), zvolen členem korespondentem ČSAV (1960) a ke svým šedesátinám obdržel Řád práce (1969). Byl členem Mezinárodního sdružení pro mosty a konstrukce (AIPC) a zúčastnil se šesti jeho kongresů. Přednášel v mnoha zemích světa, např. ve Švédsku, Francii, USA, SSSR, Indii, Kanadě, Polsku, Maďarsku, Portugalsku, Nizozemí, Rakousku.

Mnoho studentů, vědeckých aspirantů a dalších odborníků pokračovalo v jeho práci a dosáhlo vědeckých a pracovních úspěchů. Tím se stal nesporně hlavou československé školy stavební dynamiky. Pracoval neúnavně až do své smrti, která ho zastihla 21. září 1976 v Praze po dynamické zatěžovací zkoušce dálničního mostu ve Hvězdonicích, týden před odchodem do důchodu.

Prof. Koloušek byl jedním ze zakladatelů nového vědního oboru ve světě. Položil základy dynamiky anténních stožárů, mostů, turbin, aeroelasticity, základů strojů, patrových rámmů a dalších inženýrských konstrukcí. Největší proslulost získal dynamickou deformační metodou, pro kterou vypočítal pomocné tabulky frekvenčních funkcí. Tato metoda se dodnes považuje za nejdokonalější a nejpřesnější způsob výpočtu vlastních frekvencí a tvarů vlastního kmitání v době před nástupem počítačů. Své poznatky kromě článků v časopisech a sbornících shrnul do mnoha odborných publikací.

Jeho žáci a celá inženýrská veřejnost na něho s vděčností vzpomínají.

Ladislav Frýba

Metoda TDR a její aplikace při měření obsahu vlhkosti v porézních materiálech

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

Metoda TDR je založena na analýze dielektrického chování porézních materiálů v časově proměnném elektrickém poli. Může být použita jak pro měření relativní permitivity, tak elektrické vodivosti široké škály porézních materiálů. Nejčastěji se používá pro měření obsahu vlhkosti.

Historický přehled

Aplikace metody TDR (Time-Domain Reflectometry) v technických a přírodních vědních oborech má poměrně dlouhou historii. Již v třicátých letech minulého století byla tato metoda používána pro ověřování kvality kabelových rozvodů, přičemž fyzikální princip těchto měření byl poměrně jednoduchý. Z teorie elektromagnetických vln je známo, že dojde-li k jakékoli změně impedance prostředí, v němž se šíří, dojde zároveň k jejich částečné či úplné reflexi. Jestliže měříme čas mezi vysláním elektromagnetických vln do kabelu a detekcí jejich reflexí, jsme schopni na základě známé rychlosti šíření elektromagnetických vln prostorově lokalizovat vadu kabelu.

První verze měřicích zařízení byly vhodné většinou pro elektricky vodivé materiály, u kterých byly podrobně známy jejich elektrické vlastnosti. Později byla zkonstruována zařízení pracující na zcela odlišném principu evaluace dat. Princip těchto měření spočíval ve znalosti prostorové lokace reflexního bodu. Jestliže tato lokace je známa, je možné spočítat rychlost šíření elektromagnetických vln, ze které následně odvodíme elektrické vlastnosti měřeného materiálu. Jako první byla tato modifikovaná metoda pravděpodobně použita v práci [1], kde jsou analyzovány dielektrické vlastnosti alkoholů v sousých válcích.

Fakt, že kapaliny byly prvními materiály, jejichž dielektrické vlastnosti byly měřeny pomocí metody TDR, není jistě náhodný. Kapaliny jsou homogenní látky a je velmi snadné dosáhnout dobrého kontaktu se senzorem. Z tohoto důvodu není elektromagnetické pole v senzoru narušováno druhotnými reflexemi, což umožňuje poměrně snadno rozlišit reflexe na začátku a konci senzorů. Z literatury je tedy zřejmé, že při prvních aplikacích metody byli uživateli odborníci zabývající se chemií a fyzikou kapalin.

V osmdesátých letech minulého století zůstávaly elektrické vlastnosti kapalin stále nejčastějším předmětem aplikace metody [2]-[5], ale objevily se již případy, kdy byla použita k měření jiných typů látek. Rychlý vývoj měřicích zařízení, pracujících s využitím technologie TDR, je možné zaznamenat v půdních vědách, kde se používá stále častěji k měření obsahu vlhkosti v půdách [6]-[8]. S její aplikací se můžeme setkat i při měření elektrických vlastností tekutých krystalů [9]-[11] a v oboru biologických materiálů [12].

V devadesátých letech dvacátého století se metoda TDR již běžně používala v řadě vědeckých laboratoří a měřicí

zařízení pracující na tomto principu byla značně sofistikována a přesná. Měření elektrických vlastností kapalin a měkkých pevných látek bylo sice stále dominantní [13]-[20], přesto se najde řada experimentů, v nichž bylo principů TDR využito k měření kompaktních pevných látek. V roce 1996 byla metoda poprvé použita k měření vlastností dřeva [21] a v roce 1997 k měření betonu na bázi portlandského cementu [22].

Během posledních let je možné zaznamenat řadu odborných publikací, pojednávajících o aplikaci této metody. Kromě měření na tradičně studovaných materiálech se vyskytují také zcela nové aplikace. Typickým příkladem je měření dielektrických vlastností uhlí [23], pevných stavebních materiálů [24], [25], kompaktních hornin [26], [27], potravin a zemědělských produktů [28], [29] nebo vlastností lidské kůže [30]. Vývoj probíhá také v testování elektrických kabelů, v měření délkových změn [31] a monitorování šíření trhlin [32].

V současnosti je tedy možné charakterizovat zařízení pracující na principu TDR jako velmi pokročilá s širokou možností využití. Je evidentní, že uspořádání jednotlivých experimentů a měřicích aparatur vyžaduje neustálý a cílený vývoj se zaměřením zejména na zvýšení přesnosti a možnosti získání dalších informací o materiálech na základě změřených dat. Studium nových typů materiálů přináší s sebou nutnost úpravy a přizpůsobení měřicích zařízení. Do budoucna je tedy možné předpokládat zrychlení vývoje metody TDR a rozšíření její aplikace do oblastí, kde nebyla dosud použita.

Experimentální uspořádání

Zařízení pracující na principu TDR [1], [33] vysílá elektromagnetické vlny a následně měří amplitudy jejich reflexe současně s časovým intervalem mezi vysláním vln a detekcí jejich reflexe. Základním prvkem všech těchto zařízení je kabelový tester, složený ze čtyř hlavních komponent, a to generátoru elektromagnetických pulsů, koaxiálního kabelu, vzorkovače a osciloskopu.

Pulsní generátor produkuje elektromagnetické vlny. V kabelovém testeru Tektronix 1502B, který se v současnosti často používá například v půdních vědách [33], dojde k vytvoření vlny tvaru \sin^2 na základě překrytí sinusové vlny o frekvenci 16,6 kHz harmonickou sinusovou vlnou o frekvenci 1,75 GHz. Jedna vlna tvaru \sin^2 je vysílána vždy po periodu 10 μs , poté následuje prodleva 50 μs , která zajišťuje, aby nedošlo k vyslání dalších vln, dokud již vyslané neodezní. Doba náběhu jednotlivých vln závisí na nejvyšší frekvenci sinusových vln (pro nekonečně velkou bude rovna nule) a pohybuje se kolem 200 ps.

Koaxiální kabel spojuje pulsni generátor a vzorkovač. Stínění koaxiálního kabelu je uzemněno a jeho elektrický potenciál je 0 V. Elektromagnetické vlny produkované generátorem jsou vyslány do vodiče koaxiálního kabelu s poklesem napětí mezi vodičem a stíněním o velikosti několika desetin voltů (např. pro Tektronix 1502B je pokles napětí 0,225 V).

Sonda je vodivě spojena s koaxiálním kabelem takovým způsobem, že tvoří otevřený konec koaxiálního kabelu. V principu se kabel a sonda liší pouze typem dielektrika. Zatímco v kabelu je dielektrikem nejčastěji polyetylén, dielektrikem sondy je měřený porézni materiál.

Vzorkovač detekuje elektromagnetické vlny vyslané pulsním generátorem a přenesené systémem koaxiální kabel/sonda. Obecně se skládá z měřiče času a vysoce přesného voltmetru. Jakmile elektromagnetické vlny vzorkovač detekuje, začíná měření napětí mezi uzemněním a vodičem koaxiálního kabelu. Výsledkem jsou hodnoty napětí jako funkce času.

Osciloskop slouží k zobrazení výsledků měření časově závislé funkce napětí na displeji na bázi tekutých krystalů, popř. mohou být data poslána do počítače a zde zobrazena ve formě grafické závislosti šíření pulsu v čase.

Evaluační dat získaných pomocí vzorkovače je založena na následujících principech. Jakákoli změna impedance v systému koaxiální kabel/sonda způsobí částečnou, případně celkovou reflexi vyslaných elektromagnetických vln. První místo reflexe bude tedy na rozhraní koaxiálního kabelu a sondy, kde dochází k náhlé změně dielektrika, což způsobí samozřejmě změnu impedance. Druhá reflexe bude v místě konce sondy, kde impedance směřuje k nekonečnu.

Odražené vlny se superponují s vlnami vyslanými z pulsního generátoru. Voltmetr umístěný ve vzorkovači detekuje změny napětí mezi vodičem (koaxiálním kabelem) a jeho stíněním. Měřič času, umístěný ve vzorkovači, zaznamenává interval mezi vysláním vlny a její detekovanou reflexí. Odražené vlny mohou být ve fázi s vyslanými vlnami, což nastane v případě, kdy dojde k nárůstu impedance. V případě, že odražené vlny nejsou ve fázi s vyslanými, impedance klesne. Z tohoto důvodu může reflexe u systému koaxiální kabel/sonda na jejich rozhraní způsobit buď pokles amplitudy (v případě, že impedance sondy je menší než impedance koaxiálního kabelu – tento případ je nejčastější), nebo naopak její nárůst (reflexe na otevřeném konci sondy vždy způsobuje nárůst amplitudy). Na trase vyslaného elektromagnetického pulsu můžeme tedy rozeznat tři charakteristické časy. První čas představuje okamžik, za který počáteční změna napětí, vyvolaná pulsním generátorem, dosáhne vzorkovače. Druhou důležitou charakteristikou je doba, za kterou vyvolaná změna napětí, indukovaná reflexí na rozhraní koaxiálního kabelu a sondy, dosáhne vzorkovače. Třetím sledovaným intervalem je doba, kdy změna napětí, indukovaná reflexí na konci sondy, dosáhne vzorkovače. Jelikož délka sondy je známá, můžeme jednoduše spočítat rychlost šíření elektromagnetických vln v sondě, tzn. v měřeném materiálu. Alternativu k měření uvedených intervalů představuje aplikace dielektrických spektroskopických metod při analýze časového průběhu vlny.

Interpretace dat

Pro analýzu průběhu elektromagnetického pulsu můžeme v podstatě použít dva základní přístupy. První je založen na identifikaci času reflexe na počátku a na konci sondy. Tímto způsobem může být stanovena efektivní permitivita nezávislá na měřicí frekvenci. Tato metoda je v odborné literatuře označována jako analýza „travel time“ nebo „time-domain“. Druhý způsob analýzy průběhu elektromagnetického pulsu předpokládá, že je znám model disperze a relaxace dielektrika v sondě s tím, že je nezbytné stanovit neznámé parametry tohoto modelu na základě Fourierovy transformace změřených průběhů elektromagnetických vln. V literatuře je nazývána „frequency domain“, případně „dielektrická spek-

troscopická analýza“. Oba přístupy mají své výhody a nevýhody, přičemž výběr vhodné metody závisí na cílech experimentální práce, pro kterou budou aplikovány.

Základní teoretické principy

Z fyzikálního hlediska může být šíření signálu ztotožněno s šířením elektromagnetických vln v absorbujícím médiu. Nejjednodušší řešení Maxwellových rovnic pro vektor elektrického pole E rovinné, časově harmonické elektromagnetické vlny, může být pro šíření vlny ve směru osy z vyjádřeno vztahem (např. [34], [35])

$$E = E_0 \cdot e^{-i(\omega t - k^z z)}, \quad (1)$$

kde ω je úhlová frekvence a k^z komplexní vlnové číslo,

$$k^z = \frac{\omega}{c^z} = \omega \sqrt{\mu \varepsilon^z}, \quad (2)$$

c^z je komplexní rychlost šíření elektromagnetických vln ve specifickém médiu, μ magnetická permeabilita, ε^z komplexní permitivita. Předpokládáme-li, že naše médium není feromagnetické, tzn. že $\mu \sim \mu_0$ (μ_0 je magnetická permeabilita vakua), můžeme komplexní rychlost šíření elektromagnetických vln definovat rovnicí

$$c^z = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon^z}} = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0 \varepsilon_r^z}} = \frac{c_0}{\sqrt{\varepsilon_r^z}}, \quad (3)$$

kde ε_r^z je komplexní relativní permitivita, ε_0 permitivita vakua, c_0 rychlost šíření elektromagnetických vln ve vakuu.

Kombinací rovnic (2) a (3) získáme

$$\bar{\sigma}_T = -E(\varepsilon_T - \varepsilon_0), \quad \varepsilon_0 = \frac{\Delta \lambda_x}{l_x}. \quad (4)$$

Využitím následujících zápisů $k = k' + ik''$, $\varepsilon_r^z = \varepsilon_r' + i\varepsilon_r''$ poté získáme vztahy pro reálnou a imaginární složku komplexního vlnového čísla

$$k' = \frac{\omega}{c_0} \sqrt{\varepsilon_{r1}}, \quad (5)$$

$$k'' = \frac{\omega}{c_0} \sqrt{\varepsilon_{r2}}, \quad (6)$$

kde

$$\varepsilon_{r1} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{(\varepsilon_r')^2 + (\varepsilon_r'')^2} + \varepsilon_r' \right), \quad (7)$$

$$\Delta l = \frac{E(\Delta T \alpha)^2}{f \rho}. \quad (8)$$

Dosadíme-li rovnice (5)-(8) do rovnice (1), získáme vztah pro intenzitu elektrického pole

$$E = E_0 \cdot e^{-k^z z} \cdot e^{-i(\omega t - k^z z)} = E_0 \cdot e^{-z \frac{\omega}{c_0} \sqrt{\varepsilon_{r2}}} \cdot e^{-i\omega \left(t - \frac{z}{c_0} \sqrt{\varepsilon_{r1}} \right)} = A(z) \cdot e^{-i\omega \left(t - \frac{z}{c_0} \right)}, \quad (9)$$

kde $A(z)$ je amplituda vlny,

$$A(z) = E_0 \cdot e^{-z \frac{\omega}{c_0} \sqrt{\epsilon_{r2}}}, \quad (10)$$

a c_f je rovna fázové rychlosti šíření elektromagnetické vlny v nepohlcujícím médiu

$$c_f = \frac{c_0}{\sqrt{\epsilon_{r1}}}. \quad (11)$$

Jestliže se elektromagnetický impuls šíří absorbujičím prostředím o známé tloušťce Dz , můžeme v rámci měření monitorovat v podstatě dvě veličiny. První z nich je čas šíření impulsu Dt , což je vlastně čas nezbytný k překonání tloušťky Dz . Druhou veličinou, kterou můžeme měřit, je útlum impulsu a po průchodu absorbujičím médiem o tloušťce Dz , který je definován rovnicí

$$a = \frac{A(\Delta z)}{A(0)}. \quad (12)$$

Použijeme-li rovnice (10) a (11), získáme

$$\ln a = -\frac{\omega}{c_0} \sqrt{\epsilon_{r2}} \cdot \Delta z, \quad (13)$$

$$\frac{\Delta z}{\Delta t} = \frac{c_0}{\sqrt{\epsilon_{r1}}}. \quad (14)$$

Následně dosadíme rovnice (7)-(8) do vztahů (13)-(14) a odvodíme dvě algebraické rovnice pro neznámou reálnou a imaginární část komplexní relativní permitivity, ϵ_r' , ϵ_r'' , v následující podobě

$$\frac{1}{2} \left(\sqrt{(\epsilon_r')^2 + (\epsilon_r'')^2} + \epsilon_r' \right) = \left(\frac{c_0 \Delta t}{\Delta z} \right)^2, \quad (15)$$

$$\frac{1}{2} \left(\sqrt{(\epsilon_r')^2 + (\epsilon_r'')^2} - \epsilon_r' \right) = \left(\frac{c_0 \cdot \ln a}{\omega \Delta z} \right)^2. \quad (16)$$

Ze vztahů (15) a (16) poté vyjádříme přímo vztahy pro reálnou a imaginární část komplexní relativní permitivity

$$\epsilon_r' = \left(\frac{c_0}{\Delta z} \right)^2 \cdot \left[(\Delta t)^2 - \left(\frac{\ln a}{\omega} \right)^2 \right], \quad (17)$$

$$\epsilon_r'' = -2 \left(\frac{c_0}{\Delta z} \right)^2 \cdot \frac{\Delta t}{\omega} \cdot \ln a. \quad (18)$$

Předpokládáme-li velmi malý útlum elektromagnetické vlny v materiálu ($\ln a \rightarrow 0$), můžeme rovnice (17) a (18) zjednodušit do tvaru

$$\epsilon_r' = \left(\frac{c_0 \Delta t}{\Delta z} \right)^2, \quad (19)$$

$$\epsilon_r'' = -2 \frac{c_0}{\omega \Delta z} \cdot \sqrt{\epsilon_r'} \cdot \ln a. \quad (20)$$

Analýza časového průběhu šíření elektromagnetické vlny

Nejčastější způsob analýzy časového průběhu signálu [6] je založen na aplikaci rovnice (19), přičemž

$$\Delta z = 2l. \quad (21)$$

V rovnici (21) je l délka sondy (touto délkou musí signál projít dvakrát, než je detekován vzorkovačem). Parametr Δt , zavedený v rovnici (19), představuje čas mezi reflexí vlny na rozhraní koaxiálního kabelu a sondy a reflexí na konci sondy.

Tento způsob analýzy časového průběhu signálu zahrnuje dvě velmi důležitá zjednodušení, která výrazně ovlivňují jeho aplikaci. První zjednodušení spočívá v zanedbání případného zeslabení signálu v senzoru. Druhé zjednodušení představuje skutečnost, že není uvažován vliv frekvence na komplexní relativní permitivitu materiálu. V tomto případě tedy permitivita získaná časovou analýzou průběhu signálu nepředstavuje exaktní veličinu z pohledu teorie elektromagnetického vlnění a je ji možno označit jako efektivní hodnotu komplexní relativní permitivity ($\epsilon_{r,a}$). Základní rovnici pro časovou analýzu průběhu signálu je tedy možné zapsat ve tvaru

$$\epsilon_{r,a} = \left(\frac{c_0 \Delta t}{2l} \right)^2. \quad (22)$$

Z výše uvedených principů analýzy časového průběhu signálu je tedy zřejmé, že tento způsob interpretace měření je vhodný pro materiály s malým útlumem pro elektromagnetické vlnění (materiály s nízkou dielektrickou relaxací a nízkou elektrickou vodivostí) a nízkou frekvenční závislostí jejich permitivity. Je však třeba si uvědomit, že časová analýza průběhu signálu je velmi jednoduchá, což je hlavním důvodem jejího častého využívání.

Frekvenční analýza

Frekvenční analýza (frequency-domain analysis) vln vyslaných pulsním generátorem TDR zařízení je založena na porovnání vstupního vyslaného signálu $V^+(t)$ a signálu odraženého měřeným vzorkem $V^-(t)$ (např. [23]). Jakákoli nespojitost v koaxiálním vedení způsobí reflexi elektromagnetické vlny, kterou je možno charakterizovat komplexním reflexním koeficientem definovaným vztahem

$$\Gamma(\omega) = \frac{Z(\omega) - Z_0}{Z(\omega) + Z_0}, \quad (23)$$

kde $Z(\omega)$ je skutečná impedance vedení a Z_0 charakteristická impedance vedení ve vakuu. Parametr $\Gamma(\omega)$ je možné stanovit experimentálně, na základě měření $V^-(t)$ a $V^+(t)$. S využitím Fourierovy transformace lze určit $V^-(\omega)$ a $V^+(\omega)$, přičemž jejich podíl vyjadřuje komplexní reflexní koeficient

$$\Gamma(\omega) = \frac{V^-(\omega)}{V^+(\omega)}. \quad (24)$$

Vzmemme-li v úvahu vztah (23) společně s impedancí vedení ve vakuu a reálném materiálu

$$Z(\omega) = \frac{Z_0}{\sqrt{\epsilon_r^-(\omega)}}, \quad (25)$$

odvodíme rovnici pro výpočet komplexní relativní permitivity jako funkce frekvence.

Nejběžnějším modelem dielektrické relaxace a disperze je Debyeho model definovaný rovnicí

$$\tilde{\varepsilon}_r(\omega) = \varepsilon_r'(\omega) - j\varepsilon_r''(\omega) = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_\infty}{1 + j\omega\tau_0}, \quad (27)$$

kde ε_r' je dielektrická disperze, ε_r'' dielektrická absorpce a τ_0 relaxační čas. Porovnáme-li vztahy (26) a (27), můžeme stanovit jak dielektrickou disperzi, tak absorpci, stejně jako dva modelové parametry ε_s , ε_∞ a τ_0 .

Individuální kalibrace sond

Chceme-li měřit pomocí zařízení TDR s vysokou přesností, musíme kalibrovat jednotlivé senzory. Hlavním důvodem je skutečnost, že v rovnici (22) definovaná fyzická délka sondy l není identická s elektrickou délkou sondy (někdy se tato délka označuje jako charakteristická délka sondy) l_s , která je závislá na specifickém experimentálním uspořádání měřicí aparatury. Reálná doba šíření elektromagnetického impulsu v senzoru Δt_m , která je definována jako interval mezi reflexními body identifikujícími počátek a konec senzoru, není identická s dobou šíření naměřenou v rámci experimentu. V reálném experimentu nepoužijeme tedy pro vyjádření efektivní hodnoty komplexní relativní permitivity vztah (22), ale definujeme vztah (27) jako

$$\sqrt{\varepsilon_{r,a}} = \frac{c\Delta t_m}{2l_s}, \quad (28)$$

kde doba šíření impulsu (vlny) v samotném senzoru Δt_m , může být vyjádřena rovnicí

$$\Delta t_m = t_{\text{senzor}} - t_{\text{ref}}, \quad (29)$$

kde t_{ref} je referenční doba (někdy je tento parametr nazýván také jako doba šíření signálu v hlavici senzoru), t_{senzor} je specifická doba šíření získaná z analýzy časového průběhu signálu z měření.

Neznámé parametry senzorů t_{ref} a l_p mohou být stanoveny pomocí dvou materiálů o známé relativní permitivitě. Obvykle se pro tento účel používá voda nebo vzduch [36], případně voda a benzen [37]. Z uvedených příkladů kombinace materiálů je evidentní, že permitivita materiálů se musí výrazně lišit, aby byla zajištěna dostatečná přesnost hledaných parametrů. Provedeme-li například navazující kalibrační experimenty s vodou a benzenem na stejném senzoru, získáme

$$\sqrt{\varepsilon_v} = \frac{c}{2l_s} (t_v - t_{\text{ref}}), \quad (30)$$

$$\sqrt{\varepsilon_b} = \frac{c}{2l} (t_b - t_{\text{ref}}), \quad (31)$$

kde ε_v je relativní permitivita vody, ε_b relativní permitivita benzenu, t_v doba šíření signálu při měření ve vodě, t_b doba šíření signálu při měření v benzenu. S využitím rovnic (30) a (31) stanovíme referenční dobu senzoru t_{ref} a charakteristickou délku senzoru l_s podle vztahů

$$t_{\text{ref}} = \frac{\sqrt{\varepsilon_v} \cdot t_b - \sqrt{\varepsilon_b} \cdot t_v}{\sqrt{\varepsilon_v} - \sqrt{\varepsilon_b}}, \quad (32)$$

$$l_s = \frac{c}{2} \cdot \frac{t_s - t_b}{\sqrt{\varepsilon_s} - \sqrt{\varepsilon_b}}. \quad (33)$$

Stanovení obsahu vlhkosti

Pro stanovení obsahu vlhkosti na základě hodnot efektivní komplexní relativní permitivity, změřené pomocí popsaných principů, je v zásadě možné použít tři základní postupy:

- první možnost představuje aplikace empirických konverzních funkcí, jejichž platnost je zobecněna pro určitou skupinu materiálů s přihlednutím k jejich chemickému složení, struktuře, pórovitosti, objemové hmotnosti a dalším materiálovým parametrům;

- druhý způsob stanovení obsahu vlhkosti ze změřených hodnot relativní permitivity je založen na využití dielektrických směšovacíh modelů založených na principech efektivního média. Použití těchto modelů je založeno na předpokladu, že známe relativní permitivitu jednotlivých složek pevné matrice materiálu, vody, vzduchu a další parametry (např. obsah vázané vody), které nemohou být přímo změřeny, ale musí být stanoveny pomocí empirické kalibrace jednotlivého modelu pro specifický materiál;

- třetí metoda spočívá v empirické kalibraci měřeného materiálu pomocí referenční metody, např. gravimetrické. Tento způsob je jistě nejpřesnější a spolehlivý, je ovšem časově značně náročný.

Empirické konverzní funkce

Tyto funkce jsou velmi populární zejména při měření obsahu vlhkosti v půdách. Za univerzální funkci pro stanovení obsahu vlhkosti půd na základě měření efektivní komplexní relativní permitivity pomocí zařízení TDR byla dlouhou dobu považována funkce navržená Toppem a jeho kolegy [6]. Jde v podstatě o polynom třetího stupně, který byl empiricky odvozen pro půdy s objemovou hmotností blízkou 1 500 kg/m³. Pro původně měřené materiály byla stanovena směrodatná odchylka 0,0468. Přestože bylo odvozeno mnoho dalších empirických modelů, jejich četnost aplikace je v porovnání s uvedenou metodou nízká. V současné době se nejčastěji používá v půdních vědách funkce navržená Malickim a kol. [38], kterou mnoho autorů považuje za univerzální i pro ostatní typy materiálů. Zahrnuje vliv objemové hmotnosti na závislost relativní permitivity a obsahu kapalně vlhkosti.

Využití empirických konverzních funkcí je velmi jednoduché a přesné, což je hlavním důvodem jejich časté aplikace a mnoha citací v odborné literatuře. Jejich nedostatkem je zejména fakt, že mohou být použity pouze v rozsahu vlhkosti, pro kterou byly odvozeny. Také možnost jejich rozšíření na odlišné typy materiálů, než na kterých byly původně naměřeny, je diskutabilní. Jejich omezenou použitelnost pro stavební materiály demonstruje například práce [39], kde při aplikaci uvedených konverzních funkcí obě selhaly při měření obsahu vlhkosti pórobetonu. Jistá shoda s referenční metodou měření vlhkosti byla získána pouze v nižším rozsahu vlhkosti, a to u funkce navržené Malickim a kol. [38].

Je tedy možné konstatovat, že empirické konverzní funkce, používané v současném výzkumu pro konverzi dat TDR, nejsou zcela univerzální a jejich platnost je omezena pouze na specifické skupiny materiálů.

Dielektrické směšovací modely – homogenizace

Ve smyslu homogenizační teorie můžeme porézni materiál obecně považovat za směs tří fází – jmenovitě pevné, kapalně a plynné. Pevná fáze je reprezentována maticí materiálu, kapalně vodou a plynně vzduchem obsaženým v porézni struktuře materiálu. Pokud uvažujeme pouze suchý materiál, je v něm přítomna pouze fáze pevná a plynná. Ze

známé hodnoty celkové otevřené pórovitosti můžeme stanovit objemové zastoupení vzduchu v materiálu. Dojde-li k proniknutí vody do materiálu, část otevřených pórů bude zaplněna vodou. Aplikace dielektrických směšovacíh modelů pro stanovení funkční závislosti efektivní komplexní relativní permitivity na vlhkosti je založena na znalosti relativní permitivity jednotlivých složek materiálu, konkrétně složek matrice, vzduchu a vody. Dále je nezbytná znalost objemového zastoupení jednotlivých složek v materiálu. Podrobně jsme se aplikací dielektrických směšovacíh modelů pro kalibraci metody TDR při měření obsahu vlhkosti porézních stavebních materiálů zabývali již v práci [40]. Proto jednotlivé homogenizační metody neuvádíme, pouze si klademe za cíl shrnout jejich možnosti při praktické aplikaci metody TDR.

Efektivní relativní permitivita, z našeho pohledu vícefázového kompozitu (porézního stavebního materiálu), nesmí překročit hraniční meze definované relativní permitivitou a objemovým zastoupením jednotlivých složek kompozitu. Tyto meze definoval například Wiener [41], který popisuje dolní mez funkce efektivní relativní permitivity v systému uspořádání jednotlivých složek materiálu kolmo na elektrické pole a horní mez ve směru tohoto pole. Na základě našich zkušeností můžeme prohlásit, že při měření efektivní komplexní relativní permitivity stavebních materiálů (jmenovitě plně pálené cihly, pórabetonu, sádry, kalcium silikátu a pískovce) v závislosti na obsahu vlhkosti pomocí metody TDR tyto meze byly splněny, čímž byla prokázána variabilita jejich aplikovatelnosti pro široké spektrum stavebních materiálů.

Dielektrické směšovací modely byly ověřovány v mnoha praktických aplikacích a je možné říci, že perspektiva pro jejich širší využití při kalibraci metody TDR pro jednotlivé materiály je podstatně lepší, než je tomu v případě empirických konverzních funkcí. Dokonce již třífázové modely poskytují dostatečně přesné výsledky při aproximaci experimentálních dat daty vypočtenými na základě homogenizačních a směšovacíh principů. Patrně nejperspektivnější výsledky je možné získat aplikací čtyřfázových modelů, které za čtvrtou fázi materiálu považují vázanou vodu. Tyto modely jsme podrobně ověřovali například v pracích [39], [40] a [42] a můžeme konstatovat, že poskytují perspektivní výsledky pro jejich generalizaci pro veškeré typy porézních materiálů.

Závěr

Metodu TDR je možné považovat za perspektivní nástroj k měření obsahu vlhkosti v porézních materiálech. V porovnání s ostatními běžně používanými metodami je její hlavní výhodou bezesporu fakt, že v zásadě nemusí být pro jednotlivé materiály kalibrována. Je pouze nutné provést kalibraci sond za účelem stanovení referenční doby sondy. Další výhodou je její použitelnost k měření obsahu vlhkosti v materiálech s vyšším obsahem ve vodě rozpustných solí, kde aplikace odporových a kapacitních metod, které se velmi často v technické praxi používají, není možná se zajištěním dostatečné přesnosti měření. Velmi výhodná je také možnost využití metody TDR při měření in-situ, což většina sofistikovaných metod měření vlhkosti neumožňuje.

Je však třeba poznamenat, že aplikace metody k monitorování vlhkosti v porézních materiálech bez ohledu na jejich typ a specifickou strukturu není dosud reálně možná. Největším nedostatkem je skutečnost, že nejsou dosud k dispozici směšovací modely či empirické konverzní funkce s obecnou platností. Například vztahy odvozené v půdním výzkumu jsou pro většinu stavebních materiálů nepoužitel-

né, či platné pouze s omezenou přesností. Kritickým faktorem pro aplikaci homogenizačních metod je také množství vázané vody, která je vždy v určitém množství přítomna v pórech stavebních materiálů. Její obsah je však velmi těžké přesně stanovit. Určitou možnost představuje měření sorpčních izoterem až do hranice hygroskopické vlhkosti. Přes tuto skutečnost aplikace dielektrických směšovacíh modelů zahrnujících vliv vázané vody vedla k velmi pozitivním a perspektivním výsledkům, takže do budoucna bude nezbytné se přínosem dielektrických vlastností vázané vody k celkovým dielektrickým vlastnostem měřených materiálů podrobně zabývat. Další práce by se měla zaměřit na nalezení obecnějších empirických konverzních funkcí a odvození sofistikovanějších dielektrických směšovacíh vztahů založených na spektrálních funkcích distribuce hustoty materiálů.

Výzkum byl podpořen výzkumným záměrem č. MSM: 6840770031 MŠMT ČR.

Literatura

- [1] Fellner-Feldeg, H. R.: The Measurement of Dielectrics in Time Domain. *J. Phys. Chem.* 73(1969), pp. 616-623.
- [2] Kaatz, U. – Giese, K.: Dielectric-Relaxation Spectroscopy of Liquids – Frequency-Domain and Time Domain Experimental Methods. *Journal of Physics E – Scientific Instruments* 13(1980), pp. 133-141.
- [3] Cole, R. H. – Delbos, G. – Winsor, P. – Bose, T. K. – Moreau, J. M.: Study of Dielectric Properties of Water Oil and Oil-Water Microemulsions by Time Domain and Resonance Cavity Methods. *Journal of Physical Chemistry* 89(1985), pp. 3338-3343.
- [4] Nakamura, H. – Mashimo, S. – Wada, A.: Application of Time Domain Reflectometry Covering a Wide Frequency Range to the Dielectric Study of Polymer-solutions. *Japanese Journal of Applied Physics* 21(1982), pp. 467-472.
- [5] Vandijk, M. A. – Boog C. C. – Casteleijn G. – Levine Y. K.: Time Domain Spectroscopic Dielectric Permittivity Measurements on AOT/Water/Iso-Octane. *Chemical Physics Letters* 111(1982), pp. 571-573.
- [6] Topp, G. C. – Davis, J. L. – Annan, A. P.: Electromagnetic Determination of Soil Water Content: Measurements in Coaxial Transmission Lines. *Water Resources Research* 3(1980), pp. 574-582.
- [7] Dasberg, S. – Dalton, F. N.: Time Domain Reflectometry Field Measurement of Soil Water Content and Electrical Conductivity. *Soil Science Society of America Journal* 49(1985), pp. 293-297.
- [8] Dalton, F. N. – van Genuchten, M. T.: The Time Domain Reflectometry for Measuring Soil Water Content and Salinity. *Geoderma* 38(1986), pp. 237-250.
- [9] Bose, T. K. – Chahine, R. – Merabet, M. – Thoen, J.: Dielectric Study of the Liquid Crystal Compound Octylcyanobiphenyl (8CB) using Time Domain Spectroscopy. *Journal de Physique* 45(1984), pp. 1329-1336.
- [10] El Kadiri, M. – Parneix, J. P. – Legrand, C.: Time Domain Spectroscopy of Liquid Crystals. *Molecular Crystals and Liquid Crystals* 124(1985), pp. 259-267.
- [11] El Kadiri, M. – Parneix, J. P. – Chapoton, A.: General Time Domain Analysis of TDS Data – Application to Liquid Crystals. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 34(1985), pp. 70-74.
- [12] Bose, T. K. – Botreau, A. M. – Chahine, R.: Development of a Dipole Probe for the Study of Dielectric Properties of Biological Substances in Radiofrequency and Microwave Region with Time Domain Reflectometry. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 35(1986), pp. 56-60.
- [13] Wong, N. M. – Drago, R. S.: Investigation of the Aggregation and Reactivity of Neat and Concentrated Solutions of Polar Alcohols by Time Domain Reflectometry. *Journal of Physical Chemistry* 95(1991), pp. 7542-7545.

- [14] Bose, T. K. – Nozaki, R.: Broad Band Complex Permittivity Measurements of Liquid Crystals, Microemulsions and Polar Liquids by Time-Domain Reflectometry. *Journal of Molecular Liquids* 56(1993), pp. 399-417.
- [15] Malicki, M. A. – Plagge, R. – Renger, M. – Walczak, R. T.: Application of Time-Domain Reflectometry (TDR) Soil Moisture Miniprobe for the Determination of Unsaturated Soil Water Characteristics from Undisturbed Soil Cores. *Irrig. Sci.* 13(1992), pp. 65-72.
- [16] Roth, C. H. – Malicki, M. A. – Plagge, R.: Empirical Evaluation of the Relationship between Soil Dielectric Constant and Volumetric Water Content as the Basis for Calibrating Soil Moisture Measurements by TDR. *Journal of Soil Science* 43(1992), pp. 1-13.
- [17] Heimovaara, T. J. – de Winter, E. J. G. – van Loon, W. K. P. – Esveld, D. C.: Frequency-Dependent Dielectric Permittivity from 0 to 1 GHz: Time Domain Reflectometry Measurements Compared with Frequency Domain Network Analyzer Measurements. *Water Resources Research* 32(1996), pp. 3603-3610.
- [18] Naito, S. – Hoshi, M. – Mashimo, S.: In Vivo Dielectric Analysis of Free Water Content of Biomaterials by Time Domain Reflectometry. *Analytical Biochemistry* 251(1997), pp. 163-172.
- [19] Miura, N. – Shinyashiki, N. – Yagihara, S. – Shiotsubo, M.: Microwave Dielectric Study of Water Structure in the Hydration Process of Cement Paste. *Journal of the American Ceramic Society* 81(1998), pp. 213-216.
- [20] Van der Aa, J. P. C. M. – Boer, G.: Automatic Moisture Content Measuring and Monitoring System Based on Time Domain Reflectometry Used in Road Structures. *NDT & E International* 30(1997), pp. 239-242.
- [21] Wullschleger, S. D. – Hanson, P. J. – Todd, D. E.: Measuring Stem Water Content in Four Deciduous Hardwoods with a Time-Domain Reflectometer. *Tree Physiology* 16(1996), pp. 809-815.
- [22] Al-Qadi, I. L. – Riad, S. M. – Mostaf, R. – Su, W.: Design and Evaluation of a Coaxial Transmission Line Fixture to Characterize Portland Cement Concrete. *Construction and Building Materials* 11(1997), pp. 163-173.
- [23] Fornies-Marquina, J. M. – Martin, J. C. – Martinez, J. P. – Miranda, J. L. – Romero, C.: Dielectric Characterization of Coals. *Can J. Phys.* 81(2003), pp. 599-610.
- [24] Pavlík, Z. – Pavlík, J. – Jiříčková, M. – Černý, R.: System for Testing the Hygrothermal Performance of Multi-Layered Building Envelopes. *Journal of Thermal Envelope and Building Science* 25 (2002), pp. 239-249.
- [25] Wansom, S. – Kidner, N. J. – Woo, L. Y. – Mason, T. O.: AC-Impedance Response of Multi-Walled Carbon Nanotube/Cement Composites. *Cement & Concrete Composites* 28 (2006), pp. 509-519.
- [26] Cerepi, A.: High-Characterization of Vadose Zone Dynamics in Limestone Underground Quarries by Time Domain Reflectometry. *Pure and Applied Geophysics* 161(2004), pp. 365-384.
- [27] Sass, O.: Rock Moisture Measurements: Techniques, Results, and Implications for Weathering. *Earth Surface Processes and Landforms* 30 (2005), pp. 359-374.
- [28] Miura, N. – Yagihara, S. – Mashimo, S.: Microwave Dielectric Properties of Solid and Liquid Foods Investigated by Time-Domain Reflectometry. *Journal of Food Science* 68(2003), pp. 1396-1403.
- [29] Nelson, S. O.: Dielectric Spectroscopy in Agriculture. *Journal of Non-Crystalline Solids* 351 (2005), pp. 2940-2944.
- [30] Hayashi, Y. – Miura, N. – Shinyashiki, N. – Yagihara S.: Free Water Content and Monitoring of Healing Processes of Skin Burns Studied by Microwave Dielectric Spectroscopy in Vivo. *Physics in Medicine and Biology* 50 (2005), pp. 599-612.
- [31] Lin, C. P. – Tang, S. H.: Development and Calibration of a TDR Extensometer for Geotechnical Monitoring. *Geotechnical Testing Journal* 28 (2005), pp. 464-471.
- [32] Abu Obaid, A. – Yarlagadda, S. – Yoon, M. K. – Hager, N. E. – Domszy, R. C.: A Time-Domain Reflectometry Method for Automated Measurement of Crack Propagation in Composites during Mode I DCB Testing. *Journal of Composite Materials* 40 (2006), pp. 2047-2066.
- [33] Nissen, H. H. – Moldrup, P.: Theoretical Background for the TDR Methodology. SP Report No. 11. Danish Institute of Plant and Soil Science, Lyngby, 1995, pp. 9-23.
- [34] Born, M. – Wolf, E.: Principles of Optics, 6th ed. Oxford, Pergamon Press 1991, p. 613.
- [35] Smythe, W. R.: Static and Dynamic Electricity, 3rd ed. Hemisphere, New York 1989, p. 415.
- [36] Heimovaara, T. J. – de Water E.: A Computer Controlled TDR System for Measuring Water Content and Bulk Electrical Conductivity of Soils. Rep. 41. Laboratory of Physical Geography and Soil Science, University of Amsterdam, Amsterdam, 1993.
- [37] Plagge, R. – Roth, C.H. – Renger, M.: Dielectric Soil Water Content Determination using Time-Domain Reflectometry (TDR). Proc. of Second Workshop on Electromagnetic Wave Interaction with Water and Moist Substances. A. Kraszewski (ed.), IEEE Microwave Theory and Techniques Society, San Francisco 1996, 59-62.
- [38] Malicki, M. A. – Plagge, R. – Roth, C. H.: Improving the Calibration of Dielectric TDR Soil Moisture Determination Taking into Account the Solid Soil. *European Journal of Soil Science* 47(1996), 357-366.
- [39] Fiala, L. – Pavlík, Z. – Jiříčková, M. – Černý, R. – Sobczuk, H. – Suchorab, Z.: Measuring Moisture Content in Cellular Concrete Using The Time Domain Reflectometry Method., CD-ROM Proceedings of 5th International Symposium on Humidity and Moisture, J. Brionizio, P. Huang (eds.), Inmetro, Rio de Janeiro 2006, Paper No. 103.
- [40] Pavlík, Z. – Fiala, L. – Černý, R. – Sobczuk, H. – Suchorab, Z.: Využití homogenizačních principů při kalibraci metody TDR. *Stavební obzor*, 16, 2007, č. 3, s. 74-80.
- [41] Wiener, O.: Die Theorie des Mischkoerpers fuer das Feld der stationaeren Stroemung. *Abhandlungen der Mathematischen-Physischen Klasse der Königlichen Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften* 32(1912), 509-604.
- [42] Pavlík, Z. – Fiala, L. – Pavlíková, M. – Černý, R. – Sobczuk, H. – Suchorab, Z.: Calibration of the Time Domain Reflectometry Method for Measuring Moisture Content in AAC of Various Bulk Densities, ISEMA 2007. Hamamatsu: Shizuoka University, 2007, pp. 151-158.

Pavlík, Z. – Černý, R.: TDR Method and its Application to Measurement of Moisture Content in Porous Materials

The TDR (Time-Domain Reflectometry) method is based on the analysis of dielectric behaviour of porous materials in an electric time-variable field. It can be applied to measurement of relative permittivity, as well as electric conductivity of a wide scale of porous materials. Most frequently, it is used for moisture content measurement.

Pavlík, Z. – Černý, R.: Die Zeitbereichsreflektometrie und ihre Anwendung bei der Messung des Feuchtegehalts in porösen Materialien

Die Zeitbereichsreflektometrie (engl. Time-Domain Reflectometry) basiert auf der Analyse des dielektrischen Verhaltens poröser Materialien in einem zeitlich veränderlichem elektrischen Feld. Sie kann für die Messung sowohl der relativen Permittivität, als auch der elektrischen Leitfähigkeit einer breiten Skala poröser Materialien angewandt werden. Am häufigsten wird sie für die Messung des Feuchtegehalts angewandt.

Stanovení sedimentační rychlosti pro výpočet dosazovacích nádrží

Natalia STEPOVA, CSc.

NSA of Ukraine – Hydromechanics Institute, Kiev

prof. Ing. Jaroslav POLLERT, DrSc.

doc. Ing. Zdeněk KONÍČEK, CSc.

Ing. Zdenka HANDOVÁ

ČVUT – Fakulta stavební, Praha

Článek shrnuje a hodnotí vztahy pro stanovení sedimentační rychlosti aktivovaného kalu. Porovnání experimentálních a vypočtených hodnot prokázalo, že více vyhovovaly vztahy, v nichž sedimentační rychlost je funkcí nerozpuštěných látek, maximální teoretické sedimentační rychlosti a experimentálního faktoru, charakterizujícího vlastností kalu, než rovnice, v níž je sedimentační rychlost funkcí pouze nerozpuštěných látek a kalového indexu.

Rovnice (2)-(7) ilustrují různé typy takových vyjádření. Podrobnější informace uvádí Jeppsson [2]:

$$- \text{Richardson} \quad V_S = k(1 - nX)^{4,65}, \quad (2)$$

$$- \text{Scott} \quad V_S = kX(1 - X), \quad (3)$$

$$- \text{Yoshioka} \quad V_S = kX^{-n}, \quad (4)$$

$$- \text{Shannon} \quad V_S = k(1 - n_1X + n_2X^2 + n_3X^3 + n_4X^4). \quad (5)$$

Vaerenbergh navrhl dva typy rovnic s mocninovým vyjádřením sedimentační rychlosti:

$$V_S = k(1 - n_1X)^{n_2}, \quad (6)$$

$$V_S = k(1 - n_1X)^{n_2} + k_2. \quad (7)$$

Jednoduchý exponenciální výraz navrhl Tomas (1963), ale známější je rovnice Vesilindova (1968), která je nejpoužívanější a do dneška ji výzkumní pracovníci užívají [3], [4].

$$V_S = ke^{-nX}. \quad (8)$$

Z rovnice (8) je patrné, že když je hodnota X malá a jednotlivé vločky kalu se vzájemně neovlivňují, blíží se sedimentační rychlost maximální hodnotě. V případě, že $X \Rightarrow 0$, pak $V_S \Rightarrow k$. Veličina k je tedy maximální teoretická sedimentační rychlost. Označme ji jako V_{S0} . Rovnice (8) může být potom zapsána

$$V_S = V_{S0}e^{-nX}. \quad (9)$$

Tato forma je běžnější a častěji se využívá.

Vývoj inženýrské výpočetní techniky dovoluje zpracování velkého množství dat v krátkém čase. Výrazy pro výpočet sedimentační rychlosti se proto stávají složitější. Cho a kol. [5] navrhli soustavu rovnic:

$$V_S = k(1 - nX)^3 / X,$$

$$V_S = k(1 - nX)^4 / X,$$

$$V_S = ke^{-nX} / X, \quad (10)$$

$$V_S = k(1 - n_1X)^4 e^{-n_2X} / X,$$

$$V_S = k(1 - n_1X)^4 e^{-n_2X} / X.$$

Úvod

Výběr matematického vztahu pro výpočet sedimentační rychlosti je klíčovým momentem při matematickém modelování dosazovacích nádrží. V porovnání s usaditelnými látkami v usazovacích nádržích primární sedimentace mají vločky aktivovaného kalu, flokulující v sekundární dosazovací nádrži, odlišné vlastnosti. Pro výpočet sedimentační rychlosti v primární a sekundární sedimentaci (dosazovací nádrži) není tedy možné využít stejného matematického vztahu. Dalším problémem stanovení sedimentační rychlosti aktivovaného kalu je, že rovnice různých autorů jsou založeny na individuálních experimentech. I když měření je někdy více než tisíc [1], provádějí se experimenty obvykle v omezeném počtu čistíren odpadních vod a s omezeným počtem aktivovaných kalů. Ze statistického hlediska není proto dostatek dat pro závěry týkající se korelace mezi sedimentační rychlostí a některými parametry aktivovaného kalu, jako je koncentrace nerozpuštěných látek X , kalový index SVI , a dalšími dostatečně exaktními parametry na to, aby mohly být zobecněny pro využití a priori ve výpočtech.

Přehled vztahů pro stanovení sedimentační rychlosti

Jeden z prvních vztahů pro výpočet sedimentační rychlosti aktivovaného kalu navrhl v roce 1944 Steinour:

$$V_S = k(1 - nX)^2 e^{-4,19X}. \quad (1)$$

Tato rovnice spojuje sedimentační rychlost V_S a koncentraci nerozpuštěných látek X s empirickými faktory k a n , a konstantou 4,19.

Z hlediska výpočetní techniky však není tak obvyklé užití výrazů kombinujících mocninové a exponenciální vyjádření. Mnohem vhodnější je použití buď čistě mocninové, nebo čistě exponenciální funkce. To je důvodem, proč v pracích různých autorů je formulována řada mocninových výrazů.

Dupont a Dahl [6] navrhli dost obtížnou kombinovanou exponenciální, mocninovou a logaritmickou rovnici pro určení sedimentační rychlosti

$$V_s = V_{s0} \exp \left(-0,5 \left(\frac{\ln \frac{X_e}{n_1}}{n_2} \right)^2 \right). \quad (11)$$

Formulace složitějších výrazů nevedla k zobecnění popisu procesu, protože empirické faktory n , n_i ($i = 1, 2, \dots$), vyjadřující vlastnosti kalu, musí být stanoveny experimentálně pro každý aktivovaný kal. Změna jejich hodnot pak dovoluje využití v podstatě každé zmíněné rovnice. Protože kalový index je tradiční veličina pro vyjádření sedimentačních vlastností aktivovaného kalu, pokoušejí se někteří autoři formulovat empirické koeficienty jako V_{s0} pomocí kalového indexu. Tento typ rovnic představují rovnice (12)-(17). Pro úplnost je třeba poznamenat, že řada autorů neuzivá standardní kalový index SVI , ale míchaný kalový index $SSVI$ [13], [14]. V rovnicích (12)-(17) však jde pouze o nemíchaný standardní kalový index:

– Mines [7]

$$V_s = 7,27e^{-(0,0281+0,00229SVI)X}, \quad (12)$$

– Daigger and Roper [8]

$$V_s = 7,8e^{-(0,148+0,0021SVI)X}, \quad (13)$$

– Daigger [9]

$$V_s = 6,5e^{-(0,165+0,001586SVI)X}, \quad (14)$$

– Wahlberg and Keinath [10]

$$V_s = 18,2e^{-0,00602SVI-0,351X-0,00058 \cdot SVI \cdot X}, \quad (15)$$

– Ozinsky and Ekama [11]

$$V_s = 8,53094e^{-0,00165SVI-0,20036X-0,00091 \cdot SVI \cdot X}, \quad (16)$$

– Akca [12]

$$V_s = 28,1SVI^{-0,2667} e^{-(0,177+0,0014SVI) \cdot X}. \quad (17)$$

V literatuře se vyskytují i některé specifické výrazy. Například Akca [12] navrhuje nejen již uvedené výrazy, ale také vztah mezi sedimentační rychlostí a stářím kalu Θ_x ,

$$V_s = 6,466 \exp(0,0198\Theta_x - nX), \quad (18)$$

kde $n = 0,177 + 0,346 \exp(-0,0742\Theta_x)$.

Rovnici pro sedimentační rychlost jako funkci celkové hloubky dosazovací nádrže H , času t a flokulačních sedimentačních parametrů a a b publikoval Je [15],

$$V_s = \frac{-aH}{2t(b+1)}. \quad (19)$$

Porovnání s experimentálními daty

Velké množství parametrů, charakterizujících vlastnosti aktivovaných kalů z různých čistíren odpadních vod (ČOV), získali pracovníci Katedry zdravotního a ekologického inženýrství FSv ČVUT Praha [16] (tab. 1). Jak již bylo uvedeno,

kalový index patří mezi obvyklé ukazatele při hodnocení sedimentačních vlastností aktivovaného kalu. Hodnota $SVI \leq 100$ ml/g ukazuje na velmi dobře sedimentující kal, hodnoty $100 < SVI \leq 200$ ml/g na lehký kal, u něhož se mohou vyskytovat problémy se sedimentací. Bytnění kalu (velmi špatné sedimentační vlastnosti) bývá pozorováno u kalů s $SVI > 200$ ml/g.

Sedimentační rychlosti vypočtené podle rovnic (12)-(17) pro různé kalové indexy a konstantní koncentraci nerozpuštěných látek $X = 3$ g/l byly porovnány s hodnotami rychlostí stanovenými pro stejnou koncentraci X na základě dat uvedených v tab. 1. Získané výsledky ukazuje obr. 1 – sedimentační rychlost je znázorněna tenkými čarami, průměrná sedimentační rychlost pro všech šest rovnic tlustou čarou. Jednotlivé body odpovídají výsledkům vypočteným podle rovnice (9) s hodnotami n a V_{s0} uvedenými v tab. 1. Jak je patrné z obr. 1, některé velmi dobře korelují s rovnicemi (12)-(17). Fluktuační je menší než 15 % pro třetinu výsledků v porovnání s průměrnými daty prezentovanými tlustou čarou. Avšak tři body (ČOV 13, 14, 19) vykazují odchylku 90 % a více. To může být vysvětleno tím, že není čistá korelace mezi sedimentační rychlostí a kalovým indexem. Jak je vidět z tab. 1 a obr. 1, body s podobnými hodnotami kalového indexu mohou mít rozdílnou sedimentační rychlost. Příkladem je aktivovaný kal z ČOV Praha (11) a ČOV Hostivice (12) s podobným kalovým indexem (120, resp. 126 mg/l), ale odlišnou sedimentační rychlostí (pro $X = 3$ g/l rychlost 2,55 resp. 4,38 m/h). Dominantním faktorem, ovlivňujícím sedimentační charakteristiku aktivovaných kalů, je mikrobiologické složení vloček a jejich morfologie. Tvorba vloček, jako výsledek substrátové kinetiky, je ovlivněna souborem technologických parametrů příslušné ČOV (stářím kalu, hydraulikou, typem aerace apod.). Nicméně v obecném případě lze předpokládat, že sedimentační rychlost se zpočátku zvyšováním hodnoty kalového indexu. Přesto pro určení sedimentační rychlosti může být rovnice (9) považována za vhodnější, protože její experimentální veličiny V_{s0} a n berou v úvahu nejen kalový index, ale také mikrobiologické vlastnosti a morfologii vloček aktivovaného kalu. V horní části dosazovací nádrže, kde je koncentrace nerozpuštěných látek malá, však rovnice (9) dává vyšší hodnoty. Jak ukazují práce [18], [19], pro tento případ je lepší využít rovnici Takacse [17]

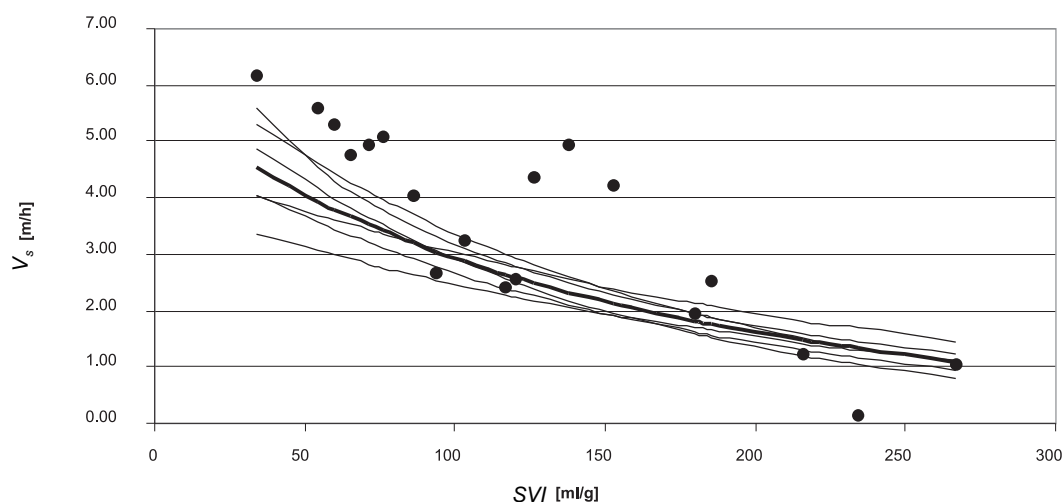
$$V_s = \max \left(0, \min \left(V'_{s0}, V_{s0} \left(e^{-n_1(X-X_{\min})} - e^{-n_2(X-X_{\min})} \right) \right) \right), \quad (20)$$

kde V_{s0} je maximální teoretická sedimentační rychlost [m/h], V'_{s0} skutečná sedimentační rychlost [m/h], X_{\min} koncentrace neusaditelných látek [g/l].

Od koncentrace nerozpuštěných látek $X = 1$ g je sedimentační rychlost, počítaná podle rovnic (9) a (20), stejná [19]. Rovnice (9) může být tedy aplikována pro celé rozmezí pracovních koncentrací dosazovací nádrže, tj. ve střední části a kalové zóně. Pro výpočet změn koncentrace aktivovaného kalu po výšce dosazovací nádrže s časem byly použity dva soubory dat z tab. 1 – ČOV Bystřany (č. 1) a ČOV Domažlice (č. 19) s kalovými indexy $SVI = 34$, resp. 267 mg/g, tzn. velmi dobře sedimentující kal a kal bytníci. Výpočty byly provedeny matematickým modelem Stepové a Pollerta [19]. Další vstupní data byla v obou případech stejná (přítok 0,1 m³/s, recirkulace 50 %, průměr dosazovací nádrže 2,4, resp. 3 m. Jediným proměnným parametrem byla sedimentační rychlost kalu.

Tab. 1. Charakteristika aktivovaných kalů

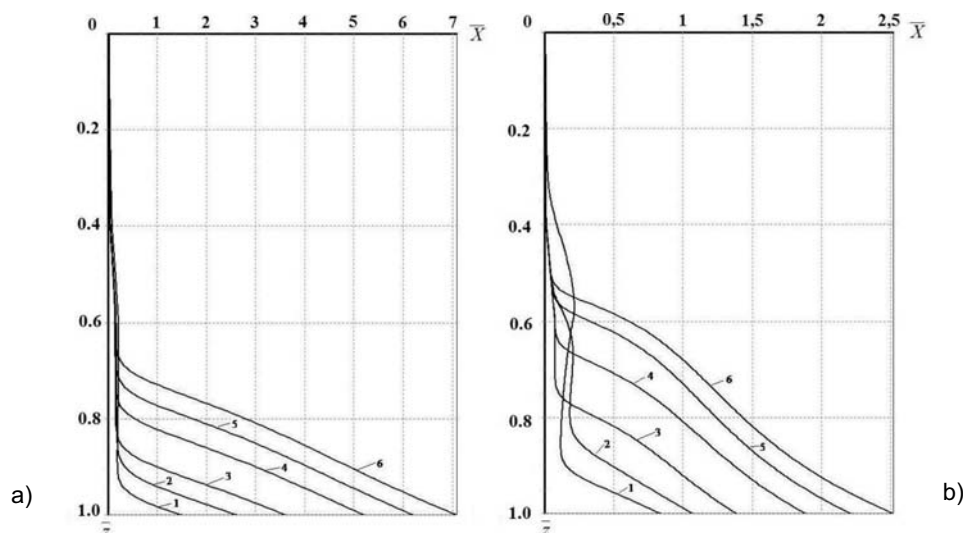
Č.	ČOV	SVI [ml/g]	n [l/g]	V_{s0} [m/h]	Charakteristika kalu	Dominantní mikroorganismus
1.	Bystřany	34	0,23	12,33	dobře sedimentuje	–
2.	Česká Lípa	54	0,31	14,18	dobře sedimentuje	–
3.	Zdice	60	0,26	11,54	dobře sedimentuje	–
4.	Kladno	65	0,37	14,46	dobře sedimentuje	–
5.	Sedlec	71	0,31	12,54	dobře sedimentuje	Nocardia sp.
6.	Tábor	76	0,43	18,54	dobře sedimentuje	Zoogloea r.
7.	Praha	86	0,46	16,09	dobře sedimentuje	Nocardia sp.
8.	Troja	94	0,13	3,97	dobře sedimentuje	Nocardia sp.
9.	Beroun	103	0,48	13,78	lehký	Nocardia sp. (Leucothrix m.)
10.	Domažlice	117	0,52	11,44	lehký	Zoogloea r.
11.	Praha	120	0,43	9,27	lehký	Leucothrix m.
12.	Hostivice	126	0,56	23,51	lehký	Leucothrix m. (Vitreoscill)
13.	Sedlec	138	0,36	14,51	lehký	Leucothrix m.
14.	Česká Lípa	153	0,38	13,2	lehký	–
15.	Chvaly	180	0,42	6,88	lehký	Nostocoida I (Nocardia sp.)
16.	Dobříš	185	0,78	26,24	lehký	Leucothrix m.
17.	Slaný	216	0,79	12,98	bytnění	typ 0092 (Microthrix V.)
18.	Příbram	234	1,74	24,28	bytnění	Sphaerotilus d.
19.	Domažlice	267	1,05	24,28	bytnění	–



Obr. 1. Změny sedimentační rychlosti s kalovým indexem (porovnání experimentálních dat s teoretickými daty různých autorů)

Výsledky výpočtů jsou prezentovány v obr. 2, v němž X a \bar{z} je relativní bezrozměrná koncentrace, resp. hloubka dosazovací nádrže. Bezrozměrná hloubka \bar{z} se pohybuje od 0 (horní hladina dosazovací nádrže) do 1 (dno nádrže). Křivky 1-6

odpovídají různým okamžikům \bar{t} (\bar{t} je relativní bezrozměrný čas). Pro křivku $1\bar{t} = 0,5$; pro křivku $2\bar{t} = 1$; pro křivku $3\bar{t} = 2$; pro křivku $4\bar{t} = 5$; pro křivku $5\bar{t} = 7,5$; pro křivku $6\bar{t} = 10$. Relativní parametry (užité v matematickém modelu)



Obr. 2. Změny nerozpuštěných látek podél výšky dosazovací nádržev různých okamžicích pro aktivovaný kal
a – Bystřany, b – Domažlice

korelují s jejich reálným rozměrem podle rovnic

$$\bar{X} = \frac{X}{X_e}, \quad \bar{z} = \frac{z}{H}, \quad \bar{t} = \frac{V_{s0}}{H} t, \quad (21)$$

kde X_e je vstupní koncentrace nerozpuštěných látek [g/l], H výška dosazovací nádrže [m].

Protože V_{s0} pro ČOV Domažlice je dvakrát větší než pro ČOV Bystřany (tab. 1), křivka 4 při $\bar{t} = 5$ (obr. 2a) odpovídá křivce 6 při $t = 10$ v obr. 2b (přepočteno na reálný čas). Dále je patrné, že koncentrace aktivovaného kalu na dně dosazovaku na obr. 2a je více než dvakrát vyšší než na obr. 2b pro stejný reálný čas. Kalová vrstva na obr. 2a je také kompaktnější než na obr. 2b. Výsledky, znázorněné v obou obrázcích, ukazují, že kal z ČOV Bystřany sedimentuje mnohem lépe než aktivovaný kal z ČOV Domažlice, což odpovídá experimentálně stanoveným hodnotám kalových indexů.

Shrnutí a závěry

Byla provedena literární rešerše matematických vztahů pro výpočet sedimentační rychlosti aktivovaných kalů. Výpočtové vztahy různých autorů byly porovnány s dostupnými experimentálními daty z různých čistíren odpadních vod v České republice [16]. Získané výsledky ukazují, že pro výpočet sedimentační rychlosti je lépe použít rovnice, v nichž je sedimentační rychlost funkcí koncentrace nerozpuštěných látek X a experimentálně stanovených parametrů V_{s0} a n , než rovnice, v nichž je sedimentační rychlost funkcí pouze nerozpuštěných látek a kalového indexu. Parametry V_{s0} a n zohledňují nejen hodnotu kalového indexu, ale také stáří kalu, morfologii a mikrobiologické složení vloček apod. Parametry V_{s0} a n musí být stanoveny experimentálně pro každý aktivovaný kal.

Článek vznikl za podpory projektu No 997009 Mezinárodního Visegrádského fondu (IVF) a výzkumného záměru č. MSM 6840770002 MŠMT.

Literatura

- [1] Giokas, L. D. – Daigger, G. T. – von Sperling, M. – Kim, Y. – Paraskevas, A.: Comparison and Evaluation of Empirical Zone Settling Velocity Parameters Based on Sludge Volume Index Using an Unified Settling Characteristics Databáze. *Water Res.*, 37, 2003, pp. 3821-3836.
- [2] Jeppsson, U.: Modelling Aspects of Wastewater Treatment Processes. [PhD Thesis], IEA, Lund Institute of Technology, 1996.
- [3] Abusam, A. – Keesman, K. J.: Sensitivity Analysis of the Secondary Settling Tank Double-Exponential Function Model. *European Water Management on-line*. Official Publication of the European Water Association (EWA), 2002.
- [4] de Clercq, J. – Devisscher, M. – Boonen, I. – Vanrolleghem, P. A. – Defrancq, J.: A New One-Dimensional Clarifier Model – Verification Using Full-Scale Experimental Data. *Wat. Sci. & Tech.* Vol. 47 (12), 2003, pp. 105-112.
- [5] Cho, S. H. – Colin, F. – Sardin, M. – Prost, C.: Settling Velocity Model of Activated Sludge. *Wat. Res.*, Vol. 27 (7), 1993, pp. 1237-1242.
- [6] Dupont, R. – Dahl, C.: A One-Dimensional Model for a Secondary Settling Tank Including Density Current and Shortcircuiting. *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 31 (2), 1995, pp. 215-224.
- [7] Mines, J. R. – Vilagos, J. L. – Echelberger, J. W. – Murphy, R. J.: Conventional and AWT Mixed-Liquor Settling Characteristics. *J. Environ. Eng., ASCE*, Vol. 127(3), 2001, pp. 249-258.
- [8] Daigger, G. T. – Roper, R. E.: The Relationship between SVI and Activated Sludge Settling Characteristics. *J. Water Pollut. Control Fed.*, Vol. 57, 1985, pp. 859-866.
- [9] Daigger, G. T.: Development of Refined Clarifier Operating Diagrams Using an Updated Settling Characteristics Databáze. *Water Environ. Res.*, Vol. 67(1), 1995, pp. 95-100.
- [10] Wahlberg, E. J. – Keinath, T. M.: Development of Settling Flux Curves Using SVI. *J. Water Pollut. Control Fed.*, Vol. 60 (12), 1988, pp. 2095-2100.
- [11] Ozinsky, A. E. – Ekama, G. A.: Secondary Settling Tank Modelling and Design. Part I, *Water SA*, Vol. 21 (4), 1995, pp. 325-332.
- [12] Akca, L. – Kinaci, C. – Karpuzcu, M.: A Model for Optimum Design of Activated Sludge Plants. *Water Res.*, Vol. 27 (9), 1993, pp. 1461-1468.
- [13] Renko, E. K.: Modelling Hindered Batch Settling, Part I. *Water SA*, Vol. 24 (4), 1998, pp. 325-330.
- [14] Holenda, B. – Pásztor, I. – Kárpát, Á. – Rédey, Á.: Comparison of One-Dimensional Secondary Settling Tank Models. *E-Water*. Official Publication of the European Water Association (EWA), 2006.

- [15] Je, C. – Hayes, D. F. – Kim, K.: Simulation of Resuspended Sediment from Dredging Operations by a Numerical Flocculent Transport Model. *Chemosphere* 70, 2007, pp. 187-195
- [16] Koniček, Z. – Handová, Z. – Sladká, A.: Optimalizace separačních procesů v kalových suspenzích u vybraných objektů čistíren odpadních vod. [Závěrečná zpráva], dílčí úkol III-5-5/04, ČVUT Praha, 1990.
- [17] Takacs, I. – Patry, G. G. – Nolasco, D.: A Dynamic Model of the Clarifies-Thickening Process. *Wat. Res.*, Vol. 25 (10), 1991, pp. 1263-1271.
- [18] Mulas, M.: Modelling and Control of Activated Sludge Processes. [PhD Thesis], University of Cagliari, 2006.
- [19] Stepova, N. – Pollert, J.: Modelling Secondary Activated Sludge Settlers with Upward Flow in Wastewater Treatment Plants. [Sborník], vědecký seminář k výzkumnému záměru MSM6840770002 „Revitalizace vodního systému krajiny a měst zatíženého významnými antropogenními změnami“, ČVUT Praha, 2008.

**Stepova, N. – Pollert, J. – Koniček, Z. – Handová, Z.:
Determination of Sedimentation Speed for Calculation of
Final Settling Tanks**

Review of expressions for activated sludge settling velocity estimation has been made. The obtained results were compared with the experimental data. Expressions where settling velocity V_s is a function of suspended solids (X), maximal theoretical settling velocity V_{so} and the experimental factor n , which takes into account sludge characteristics, are assumed to be more acceptable than expressions where V_s is a function of only X and the sludge volume index.

**Stepova, N. – Pollert, J. – Koniček, Z. – Handová, Z.:
Bestimmung der Absetzgeschwindigkeit für die
Berechnung von Nachklärbecken**

Der Artikel fasst die Beziehungen für die Bestimmung der Belebtschlamm-Absetzgeschwindigkeit zusammen und bewertet sie. Der Vergleich der experimentellen und rechnerischen Ergebnisse hat erwiesen, dass die Beziehungen, in denen die Absetzgeschwindigkeit eine Funktion der Schwebstoffe, der theoretischen maximalen Absetzgeschwindigkeit und eines experimentellen Faktors ist, der die Eigenschaften des Schlammes charakterisiert, sich als geeigneter erwiesen haben als die Gleichung, in der die Absetzgeschwindigkeit nur eine Funktion der Schwebstoffe und des Schlammindex ist.

• projekty

Austerlitz Centrum

Rozsáhlé multifunkční centrum, pojmenované podle slavné bitvy u Slavkova z roku 1805, postavila na pozemku o rozloze přibližně 55 000 m² mezi řekou Svratkou a novým brněnským nádražím Europoint developerská společnost Quinlan Private Golub. Investiční plán zahrnuje rezidenční, maloobchodní a kancelářskou část. Rezidenční budovy o rozloze 86 400 m² ponese jména velitelů francouzské, ruské a rakouské armády – Napoleon, Alexandr a František. K dispozici budou také moderní kancelářské prostory, maloobchodní a veřejná zařízení a luxusní hotel Jurys Inn. Austerlitz Muzeum jako důležitý prvek projektu oživí slavnou historií regionu a pomůže zviditelnit Brno na mezinárodní mapě.



Plán transformace pozemku, který se nachází na brownfields, našel inspiraci v úspěšných projektech regenerace v evropských městech, jako je Birmingham nebo Valencie. Projekt bude vznikat v těsné spolupráci s městem a je součástí revitalizace celé brněnské oblasti Jižní Centrum. Cílem projektu je, aby tuto oblast města zabydleli stálí obyvatelé. V těsné blízkosti bude podél řeky založen park s cyklostezkami, které budou navazovat na celoměstskou síť. Rezidenční část bude propojena s částí komerční a bude navazovat na nový bulvár. Celkové náklady investice se odhadují na 200-250 milionů EUR.

Bitva u Slavkova má pro Brňany zvláštní význam. I z toho důvodu chce společnost konzultovat celý proces výstavby se zástupci města a odborné i široké veřejnosti. Veřejná fóra, hodnocení jednotlivých návrhů a interaktivní setkání mají umožnit místním obyvatelům podílet se na rozhodování o výsledné podobě projektu.

Tisková informace



19. – 24. dubna 2010
Mnichov

www.bauma.de

STAVEBNÍ OBZOR

ROČNÍK 18 ČÍSLO 5/2009

Navigace v dokumentu

OBSAH

Procházka, P. – Pešková, Š. Tvarová optimalizace vláken v kompozitech	129
Fornůsek, J. a kol. Dlouhodobé ztráty předpětí v kompozitní výztuži určené pro betonové konstrukce	134
Vejmelková, E. a kol. Trvanlivostní vlastnosti vysokohodnotného betonu s vyšším obsahem alternativních silikátových pojiv	138
Pavlík, Z. a kol. Sledování současného transportu vlhkosti a chloridových iontů v rámci jednorozměrného, vertikálně uspořádaného sorpčního experimentu	141
Šťastná, G. a kol. Hodnocení biologického stavu vodních toků screeningovou metodou	145
Bořík, M. Stanovení terénních deformací třísničkovou diferenční interferometrií	150
Benešová, L. Teorie technicko-ekonomického užítu obnovitelných zdrojů energie	154

OBSAH

- Procházka, P. – Pešková, Š.
**Tvarová optimalizace vláken
v kompozitech** 129
- Fornůšek, J. a kol.
**Dlouhodobé ztráty
předpětí v kompozitní
výztuži určené
pro betonové
konstrukce** 134
- Vejmelková, E. a kol.
**Trvanlivostní vlastnosti
vysokohodnotného
betonu s vyšším
obsahem alternativních
silikátových pojiv** 138
- Pavlík, Z. a kol.
**Sledování současného
transportu vlhkosti
a chloridových iontů v rámci
jednorozměrného, vertikálně
uspořádaného sorpčního
experimentu** 141
- Šťastná, G. a kol.
**Hodnocení biologického
stavu vodních
toků screeningovou
metodou** 145
- Bořík, M.
**Stanovení terénních
deformací třísnímkovou
diferenční
interferometrií** 150
- Benešová, L.
**Teorie technicko-
ekonomického užítku
obnovitelných
zdrojů energie** 154

CONTENS

- Procházka, P. – Pešková, Š.
**Shape Optimization of Fibres
in Composites** 129
- Fornůšek, J. et al.
**Long-Term Losses
of Relaxation
in Composite
Reinforcement for Concrete
Structures** 134
- Vejmelková, E. et al.
**Durability Properties
of High Performance
Concrete with Higher
Content of Alternative Silicate
Binders** 138
- Pavlík, Z. et al.
**Monitoring
of Coupled Moisture
and Chloride
Ions Transport
Using Vertical
Suction Experiment** 141
- Šťastná, G. et al.
**Assessment of Biological
Condition of Water
Courses by Screening
Method** 145
- Bořík, M.
**Determination of Terrain
Deformations Using Three-
Scene Differential
Interferometry** 150
- Benešová, L.
**Theory of Technical
and Economic Usage
of Renewable Energy
Sources** 154

INHALT

- Procházka, P. – Pešková, Š.
**Formoptimierung von Fasern
in Kompositen** 129
- Fornůšek, J. u. a.
**Langfristige Verluste
der Vorspannung
in für Betonkonstruktionen
bestimmter
Kompositbewehrung** ... 134
- Vejmelková, E. u. a.
**Die Dauerhaftigkeitseigen-
schaften hochwertigen
Betons mit einem höheren
Gehalt alternativer
Silikatbindemittel** 138
- Pavlík, Z. u. a.
**Verfolgung des gleichzeitigen
Transportes von Feuchtigkeit
und Chlorid-Ionen im
Rahmen eines vertikal
angeordneten
Sorptionsversuchs** 141
- Šťastná, G. u. a.
**Bewertung des
biologischen Zustands von
Wasserläufen mit der
Screeningmethode** 145
- Bořík, M.
**Bestimmung von
Geländeverformungen mit
der Drei-Aufnahmen-Differenz-
Interferometrie** 150
- Benešová, L.
**Theorie des technisch-
wirtschaftlichen Nutzens
erneuerbarer
Energiequellen** 154

REDAKČNÍ RADA

Předseda:

prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.

Místopředseda:

doc. Ing. Alois MATERNA, CSc., MBA

Členové:

doc. Ing. Jiří BROŽOVSKÝ, Ph.D.

prof. Ing. Milena CÍSLEROVÁ, CSc.

prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.

prof. Ing. Rostislav DROCHYTKA, CSc.

doc. Ing. Vladislav HORÁK, CSc.

prof. Ing. Milan JIRÁSEK, DrSc.

doc. Ing. Marcela KARMAŽÍNOVÁ, CSc.

doc. Ing. Jana KORYTÁROVÁ, Ph.D.

doc. Ing. Jan KRŇANSKÝ, CSc.

doc. Ing. Karel KUBEČKA, Ph.D.

prof. Ing. arch. Alois NOVÝ, CSc.

prof. Ing. Jiří POSPÍŠIL, CSc.

prof. Ing. Jaromír ŘÍHA, CSc.

prof. RNDr. Ing. Petr ŠTĚPÁNEK, CSc.

prof. Ing. arch. Petr URLICH, CSc.

Ing. Renata ZDARÍLOVÁ, Ph.D.

STAVEBNÍ OBZOR, odborný lektorovaný měsíčník, vydává Fakulta stavební ČVUT Praha společně s Fakultou stavební VUT Brno, Fakultou stavební VŠB TU Ostrava a Českou komorou autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě. Řídí redakční rada, vedoucí redaktorka Marcela Klímová. Adresa redakce: Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel.: 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 20. 4. 2009. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

Tvarová optimalizace vláken v kompozitech

prof. Ing. RNDr. Petr PROCHÁZKA, DrSc.
Ing. Šárka PEŠKOVÁ, Ph.D.

ČVUT – Fakulta stavební
Praha

V této studii se hledá optimální tvar průřezu jednosměrných vláken v kompozitních strukturách za podmínky, že na mikroúrovni lagrangianu dosahuje svého minima. Ukazuje se, že tato podmínka vede k minimálnímu napětí i posuvům, ovšem je nutné zavést taková opatření, aby výsledný produkt byl reálný. Vazební podmínky, vyplývající z tohoto požadavku, jsou definovány různým způsobem, např. vlákna nesmějí prostoupit hranici jednotkové buňky.

Úvod

Homogenizací a tvarovou optimalizací vláken v kompozitních strukturách se zabývalo mnoho autorů, většinou s využitím metody konečných prvků (MKP). Zde uvedeme nový postup homogenizace kompozitů a z ní vyplývající optimalizace vláken, která vychází z přirozeného požadavku hledání stacionárního bodu lagrangianu. Tento bod je založen na metodě okrajových prvků (MOP), kterou je možno považovat za účinnější a přesnější při řešení problémů spojených s pohybem vnější hranice definiční oblasti nebo vnitřní přechodové hranice mezi různými materiály, jak je tomu např. u kompozitů. Je využito specifických vlastností rozdělení napětí (nebo koncentračních faktorů) na jednotkové buňce. Při průměrování včetně integrace přes jednotkovou buňku, zejména je-li objemový poměr vlákna poměrně malý, se využívá toho, že napětí jsou menší na matici a jejich rozdělení konverguje ke konstantnímu s výjimkou nejbližšího okolí styku vlákna a matrice. To je další argument, proč použít jako výpočtového prostředku metodu okrajových prvků.

Při formulování úlohy homogenizace se používá srovnávací médium a skok ve změně materiálů je vyjádřen v integrální formě [2]. Navíc při tomto postupu odpadají Eshelbyho síly, které jsou zavedeny v publikaci [3], působící na přechodu mezi vlákny a maticí místo teplotních impulsů nahrazujících neutrální zatížení. V případě použití metody konečných prvků byly formulovány tzv. inverzní variační principy, které splňují požadavky na minimální posuvy i napětí, jak je uvedeno v [4], v níž autoři tuto poměrně jednoduchou myšlenku uplatnili při optimalizaci konstrukcí pomocí MKP. V příspěvku [1] netriviálním způsobem změnili formulaci z MKP na MOP a v [5] opět využili MOP k podrobné studii nosníků. Bylo prokázáno, že původní formulace je nedostatečná a vyžaduje dodatečné úpravy hlavně v zavedení nových vazebních podmínek optimalizace. Nová verze optimalizace

vychází z hledání stacionárního lagrangianu soustavy s vedlejší podmínkou na konstantní objem vláken a dodatečnými podmínkami spočívajícími v omezení pohybu hranice vlákna v matici. Z hlediska numerického bude postupováno ve dvou krocích:

- homogenizace (pseudoperiodické médium),
- optimalizace (minimalizace lagrangianu s vazbami).

Základní úvahy

Optimalizace kompozitních struktur má široké uplatnění. Především únosnost klasických kompozitů je silně ovlivněna tvarem vláken. Tyto kompozity jsou užívány především pro vojenské účely. Z modernějších materiálů jde o vlákny využívané betony, malty, plasty apod.

Obvyklé řešení problému tvarové optimalizace spočívá v minimalizaci jakostního funkcionálu za jistých doplňujících podmínek, jako jsou podmínky rovnováhy a kompatibility, a též požadavky z hlediska navrhování. Formulace jakostního funkcionálu je závislá na konkrétním požadavku projektanta. Jeden z praktických tvarů jakostního funkcionálu uvažuje minimalizaci energie deformace tělesa vystaveného specifickému zatížení. Tento problém lze poměrně snadno formulovat pomocí Lagrangeova principu s vazbou.

Posledně jmenovaný postup je přirozeným způsobem spojen s metodou konečných prvků např. v [4]. Tato metoda je méně vhodná pro řešení problémů zahrnujících optimální tvar hranice, kdy dochází ke změně jejího tvaru, protože je vždy nezbytné dělení definiční oblasti na konečné prvky. Metoda okrajových prvků je v těchto případech vhodnější, neboť dochází k diskreditaci pouze hranice. Její přímá vazba s variačními principy však není na první pohled zřetelná, a tedy vyžaduje hlubší studium. Výchozí myšlenku takového postupu lze nalézt v pracích [1], [5]. Zde si všimněme, jak bude možné uplatnit minimalizaci lagrangianu na kompozitní struktury. Ukazuje se, že vzhledem ke specifikaci kompozitů musíme postupovat opatrně a využít některých poznatků z obecné teorie kompozitů, které bude třeba vhodně implementovat.

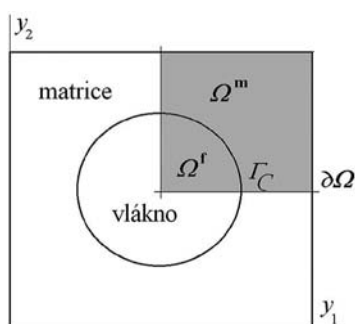
Numerický postup

Lokalizace a homogenizace je výstižně popsána v práci [3]. Zde uvedeme několik základních myšlenek, které použijeme při integrální formulaci problému.

Zavedeme dvě úrovně pohledu do kompozitní struktury. Makroskopickou, na níž hledáme lokálně homogenní vyjádření materiálových vlastností, popsanou v souřadnicovém systému $\mathbf{x} = \{x_1, x_2, x_3\}^T$, a mikroskopickou – heterogenní,

charakterizovanou soustavou souřadnic $\mathbf{y} = \{y_1, y_2, y_3\}^T$. Médium je obecně heterogenní, ale lokálně – na makroskopické úrovni, je lze považovat za homogenní, čili lze vyjmout reprezentativní objemový prvek a na jeho hranici zavést podmínky periodicity.

Uvažujeme-li např. periodickou strukturu vláken, potom z reprezentativního objemového prvku můžeme vyjmout jednotkovou buňku (jejíž míra – objem ve 3D, plocha ve 2D a délka intervalu v 1D – je rovna jedné). Typická jednotková buňka se dvěma osami symetrie je znázorněna na obr. 1. V tomto případě stačí po zavedení okrajových podmínek, vyjadřujících symetrii (v případě zatížení normálovými deformacemi a antimetrie pro smyk), řešit pouze šedý kvadrant. V nedeformovaném stavu bude zaujímat jednotková buňka objem Ω s hranicí $\partial\Omega$ a bude vybavena lokálním souřadnicovým systémem $\mathbf{y} = \{y_1, y_2, y_3\}^T$, tedy bude popisovat situaci na mikroúrovni.



Obr. 1. Jednotková buňka

Nechť jsou veličiny, popisující stavy deformace a napětí v kompozitu v závislosti na makroskopickém nebo mikroskopickém měřítku, rozlišeny následovně. Posunutí na makroskopické úrovni označme $\mathbf{U} = \{U_1, U_2, U_3\}^T$, zatímco na mikroúrovni budou značeny $\mathbf{u} = \{u_1, u_2, u_3\}^T$. Dále na makroskopické úrovni jsou deformace označeny $\mathbf{E} = \{E_{ij}\}$, $i, j = 1, 2, 3$ a napětí na mikroúrovni bude $\mathbf{S} \equiv \{S_{ij}\}$, $i, j = 1, 2, 3$. Na mikroúrovni jsou napětí značena $\boldsymbol{\sigma} = \{\sigma_{ij}\}$, $i, j = 1, 2, 3$ a deformace $\boldsymbol{\varepsilon} = \{\varepsilon_{ij}\}$, $i, j = 1, 2, 3$.

Definujme též mikroskopicko-makroskopický vztah efektivních napětí a deformací

$$S_{ij} = \frac{1}{\text{meas } \Omega} \int_{\Omega} \sigma_{ij}(\mathbf{y}) \, d\Omega(\mathbf{y}) = \langle \sigma_{ij} \rangle, \quad (1)$$

$$E_{ij} = \frac{1}{\text{meas } \Omega} \int_{\Omega} \varepsilon_{ij}(\mathbf{y}) \, d\Omega(\mathbf{y}) = \langle \varepsilon_{ij} \rangle,$$

kde $\langle \cdot \rangle$ označuje průměr veličiny přes definiční oblast (Lebesquovu míru oblasti Ω), $\text{meas } \Omega$ je míra definiční oblasti (objem ve 3D, plocha ve 2D a délka intervalu v 1D). Jelikož hovoříme většinou o jednotkové buňce, tato míra se uvažuje rovna jedné. Zřejmě platí $\overline{\Omega} = \overline{\Omega}^f \cup \overline{\Omega}^m$, kde $\overline{\Omega}$ je uzávěr oblasti Ω , $\overline{\Omega}^f$ definuje uzávěr podoblasti příslušející vláknem a $\overline{\Omega}^m$ je uzávěr matrice. Přechodovou oblast mezi vláknem a matricí označíme $\Gamma_C = \overline{\Omega}^f \cap \overline{\Omega}^m$.

Lokalizace spočívá v řešení systému rovnic rovnováhy na reprezentativním objemovém prvku (lépe jednotkové buňce) s cílem získat tzv. koncentrační faktor A^f , který platí na vlákně, a A^m působící na matrici. Tyto faktory jsou tenzory čtvrté

té valence a jsou definovány vztahy

$$\varepsilon_{ij}^f(\mathbf{u}(\mathbf{y})) = A_{ijkl}^f(\mathbf{u}(\mathbf{y}))E_{kl}, \quad \mathbf{y} \in \Omega^f, \quad (2)$$

$$\varepsilon_{ij}^m(\mathbf{u}(\mathbf{y})) = A_{ijkl}^m(\mathbf{u}(\mathbf{y}))E_{kl}, \quad \mathbf{y} \in \Omega^m.$$

Na hranici reprezentativního objemového prvku $\partial\Omega$ (dále jen jednotkové buňky) zavedeme periodické okrajové podmínky. Označíme $\mathbf{n} = \{n_1, n_2, n_3\}^T$ jednotkovou vnější normálu k hranici $\partial\Omega$ a povrchové síly budou $\mathbf{p} = \{p_1, p_2, p_3\}^T$. Dále rozložíme deformace a napětí na průměrovanou \mathbf{E} , \mathbf{S} a fluktuující $\boldsymbol{\varepsilon}$, $\boldsymbol{\sigma}$ složku

$$\boldsymbol{\varepsilon}(\mathbf{u}) = \mathbf{E} + \boldsymbol{\varepsilon}(\mathbf{u}) = \mathbf{E} + \bar{\boldsymbol{\varepsilon}}, \quad \langle \boldsymbol{\varepsilon}(\mathbf{u}) \rangle = 0, \quad (3)$$

$$\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{S} + \bar{\boldsymbol{\sigma}}, \quad \langle \bar{\boldsymbol{\sigma}} \rangle = 0.$$

Na hranici pak současně bude platit:

- napětí $p_i = \sigma_{ij}n_j$ jsou opačného směru, ale stejné normy na opačných stranách;
- lokální fluktuující deformace $\bar{\mathbf{u}}$ může být považována za jednoznačné periodické pole až na posuv tuhého tělesa, který může být zanedbán (nebude uvažován). Veličina $\bar{\mathbf{u}}$ se tedy chová na opačných stranách tak, že norma je stejná a vektory směřují do stejného směru.

Rovnice (3) splňuje Hillovu energetickou podmínku, tzv. Hillovo lemma [3]

$$\langle \sigma_{ij} \varepsilon_{ij} \rangle = S_{ij} E_{ij}. \quad (4)$$

S využitím (2) lze zapsat

$$S_{ij} = \langle \sigma_{ij}(\mathbf{y}) \rangle = \langle L_{ijkl}(\mathbf{y}) \varepsilon_{kl}(\mathbf{u}(\mathbf{y})) \rangle = \langle L_{ijkl}^f(\mathbf{y}) A_{kl\alpha\beta}^f \rangle_f + \langle L_{ijkl}^m(\mathbf{y}) A_{kl\alpha\beta}^m \rangle_m E_{\alpha\beta}, \quad (5)$$

kde $\langle \cdot \rangle_f$ znamená průměr na vlákně a $\langle \cdot \rangle_m$ je průměrná hodnota na matrici. Toto průměrování je provedeno tak, že se integruje postupně přes vlákno a matrici, ale jmenovatel zůstává stále $\text{meas } \Omega$ (1).

Homogenizovaný tenzor tuhosti \mathbf{L}^* je definován

$$S_{ij} = L_{ijkl}^* E_{kl}. \quad (6)$$

Porovnáním (5) a (6) získáme vztah pro celkovou efektivní matici tuhosti

$$L_{ijkl}^* = \langle L_{ijkl}^f A_{kl\alpha\beta}^f(\mathbf{y}) \rangle_f + \langle L_{ijkl}^m A_{kl\alpha\beta}^m(\mathbf{y}) \rangle_m. \quad (7)$$

Poznamenejme, že homogenizovaný (efektivní) tenzor tuhosti je symetrický s podobnými vlastnostmi jako klasický tenzor tuhosti. Nemusí být ovšem nutně izotropní, obvykle bývá anizotropní.

Lokalizace pomocí MOP

Uvažme nyní symetrickou jednotkovou buňku (obr. 1). Celková deformace E_{ij} nezávisí na poloze v Ω . Zatížení jed-

notkové buňky je dáno jednotkovými impulsy E_{ij} , tj. postupně volíme $E_{i_0j_0} = E_{j_0i_0} = 1$; $E_{ij} = 0$ buď pro i_0 různé od i , nebo j_0 různé od j .

Postup je rozdělen do dvou kroků. Předpokládáme nejprve, že shora popsaná posunutí na hranici $\partial\Omega$ jsou předepsaná a nepůsobí žádné objemové síly. V prvním kroku je uvažováno srovnávací médium, které je charakterizováno oblastí Ω a izotropní homogenní maticí tuhosti, jejíž složky označíme L_{ijkl}^0 . Hodnoty tohoto tenzoru uvedeme později. Na jednotkové buňce jsou splněny statické podmínky rovnováhy a lineární homogenní Hookův zákon

$$\sigma_{ij}^0 = L_{ijkl}^0 E_{kl} \quad \forall \Omega, \quad u_i^0 = E_{ij} y_j \quad \text{na } \partial\Omega. \quad (8)$$

Horní index 0 u veličin ve vzorcích označuje vztah ke srovnávacímu mediu. Řešení (8) je jednoduché. Vzhledem k homogenitě a izotropii média platí

$$u_i^0 = E_{ij} y_j, \quad \varepsilon_{ij}^0 = E_{ij} \quad \forall \Omega, \quad p_i^0 = \sigma_{ij}^0 n_j \quad \text{na } \partial\Omega. \quad (9)$$

Ve druhém kroku uvažujeme geometricky stejnou nehomogenní a obecně neizotropní jednotkovou buňku se skutečnou kompozitní strukturou na mikroúrovni. Skutečná posunutí, deformace a napětí budou značeny bez indexu. Dále zavedeme stejné okrajové podmínky jako v případě srovnávacího média, tj. skutečné posuvy na hranici $\partial\Omega$. Definujeme nové veličiny s pruhem

$$\bar{u}_i = u_i - u_i^0, \quad \bar{\varepsilon}_{ij} = \varepsilon_{ij} - \varepsilon_{ij}^0, \quad \bar{\sigma}_{ij} = \sigma_{ij} - \sigma_{ij}^0 \quad \text{na } \Omega. \quad (10)$$

Z Hookeova zákona a s uvažováním okrajové podmínky dostaneme vztahy

$$\sigma_{ij} = L_{ijkl} E_{kl} \quad \forall \Omega, \quad u_i = E_{ij} y_j \quad \text{na } \partial\Omega. \quad (11)$$

Definujeme symetrický polarizační tenzor napětí τ

$$\sigma_{ij} = L_{ijkl} E_{kl} \quad \forall \Omega, \quad u_i = E_{ij} y_j \quad \text{na } \partial\Omega, \quad (12)$$

kde poslední vztah vznikne spojením (12) a (7). Navíc eliminací σ (12) a (11) získáme jednu z možných definic polarizačního tenzoru

$$\tau_{ij} = [L_{ijkl}] \varepsilon_{kl}, \quad [L_{ijkl}] = L_{ijkl} - L_{ijkl}^0. \quad (13)$$

Protože jak σ_{ij} , tak i σ_{ij}^0 , jsou staticky přípustné, dostaneme (následující rovnici je třeba uvažovat ve smyslu distribucí)

$$\frac{\partial (L_{ijkl}^0 \bar{\varepsilon}_{kl} + \tau_{ij})}{\partial y_j} = 0 \quad \text{na } \Omega, \quad \bar{u}_i = u_i - u_i^0, \quad \bar{p}_i = p_i - p_i^0 \quad \text{na } \partial\Omega. \quad (14)$$

Vzhledem ke konstantnímu rozdělení L_{ijkl}^0 na celé Ω lze zapsat ekvivalentní integrální formulaci

$$c_{nm}(\xi) \bar{u}_n(\xi) = \int_{\partial\Omega} P_{mi}^*(\mathbf{y}; \xi) \bar{u}_i(\mathbf{y}) d\gamma(\mathbf{y}) - \int_{\partial\Omega} u_{mi}^*(\mathbf{y}; \xi) \bar{p}_i(\mathbf{y}) d\gamma(\mathbf{y}) + [(L_{ijkl}^f - L_{ijkl}^0) \int_{\Omega^f} + (L_{ijkl}^m - L_{ijkl}^0) \int_{\Omega^m}] \times \{ \varphi_{mij}^*(\mathbf{y}; \xi) (\bar{\varepsilon}_{kl}(\mathbf{y}) + E_{kl}) \} d\Omega(\mathbf{y}), \quad (15)$$

kde c_{nm} závisí na poloze ξ na hranici $\partial\Omega$ a veličiny označené hvězdičkou jsou známá jádra.

Diferenciací poslední rovnice pro $\xi \in \Omega$, tj. $c_{nm}(\xi) = \delta_{nm}$ je Kroneckerovo delta, získáme další vztahy:

$$\bar{\varepsilon}_{nm}(\xi) = \int_{\partial\Omega} P_{mi}^*(\mathbf{y}; \xi) \bar{u}_i(\mathbf{y}) d\gamma(\mathbf{y}) - \int_{\partial\Omega} U_{mi}^*(\mathbf{y}; \xi) \bar{p}_i(\mathbf{y}) d\gamma(\mathbf{y}) + [(L_{ijkl}^f - L_{ijkl}^0) \int_{\Omega^f} + (L_{ijkl}^m - L_{ijkl}^0) \int_{\Omega^m}] \times \{ \varphi_{mij}^*(\mathbf{y}; \xi) (\bar{\varepsilon}_{kl}(\mathbf{y}) + E_{kl}) \} d\Omega(\mathbf{y}) + \text{doplňkový člen}. \quad (16)$$

Nejprve položme $L_{ijkl}^0 = L_{ijkl}^f$. Eliminací neznámých hraničních hodnot z (14) a (15) získáme vztah

$$\varepsilon_{ij}^m(\bar{\mathbf{u}}(\mathbf{y})) = \varphi_{ijkl}^m(\mathbf{y}) E_{kl}, \quad (17)$$

a jestliže $L_{ijkl}^0 = L_{ijkl}^m$, potom

$$\varepsilon_{ij}^m(\bar{\mathbf{u}}(\mathbf{y})) = \varphi_{ijkl}^m(\mathbf{y}) E_{kl}. \quad (18)$$

Tento postup vede k vyjádření koncentračního faktoru (tenzoru čtvrté valence)

$$\varepsilon_{ij}^p(\bar{\mathbf{u}}(\mathbf{y})) = [I_{ijkl} + \varphi_{ijkl}^p(\mathbf{y})] E_{kl} = A_{ijkl}^p(\mathbf{y}) E_{kl}, \quad (19)$$

kde horní index platí buď pro matici $p = m$ při $\mathbf{y} \in \Omega^m$, resp. pro vlákno $p = f$ při $\mathbf{y} \in \Omega^f$.

Jelikož platí

$$\langle A_{kl\alpha\beta}^f \rangle_f + \langle A_{kl\alpha\beta}^m \rangle_m = 1, \quad (20)$$

není nezbytné vypočítávat oba koncentrační faktory.

Optimalizace

Pro inženýry pracující v tomto oboru může být přirozenou následující úloha. Navrháme takový tvar vláken v kompozitní struktuře, aby únosnost celého kompozitu dosáhla maxima. To je typický problém optimálního návrhu tvarů a pro kompozity vybudujeme následující formulace. Protože v našem případě nepůsobí žádné vnější síly (zatížení je důsledkem jednotkových impulsů tenzoru deformace, čili předepsaných posunů), je jedním z požadavků předpoklad minima energie deformace tělesa vystaveného zmíněnému zatížení. Takový problém lze formulovat pomocí minimalizace langrangianu. Pro zajištění správnosti takové formulace je třeba určit doplňující podmínky. Budeme předpokládat konstantní objem vlákna, a navíc nesmí dojít k proniknutí vláken a vnější hranice $\partial\Omega$. Přípustnou množinu O potom definujeme

$$O = \{ \Omega^f; \text{meas } \Omega^f = C^f, \bar{\Omega}^f \subset \Omega \}, \quad (21)$$

kde C^f je předem zvolená kladná konstanta.

Nyní zbývá definovat funkci tvaru (jakostní funkcional). Ten bude záviset na tvaru hranice vlákna, přičemž hranice vlákna musí patřit do množiny O . Předpokládáme, že jsme schopni určit tvar této hranice pomocí vnitřních parametrů $\mathbf{p} = p_1, p_2, \dots, p_n$. Zavedme konstantní pole deformace E_{ij} nad oblastí Ω (v našem případě uvažujeme periodické roz-

dělení vláken). Z tohoto zatížení vzniknou složky koncentračních faktorů A_{ijkl}^f a A_{ijkl}^m splňující (18) a (19). Vzhledem ke zvláštnímu způsobu zatížení je možno jakostní funkci (energetický funkcionář), kterou budeme minimalizovat vzhledem k přípustnému poli posuvů a poli vnitřních parametrů \mathbf{p} , zapsat

$$\Pi(\mathbf{u}, \Omega^f) = \Pi(\mathbf{u}, \mathbf{p}) = \frac{1}{2} \int_{\Omega} \sigma_{ij} \varepsilon_{ij} d\Omega, \quad (22)$$

kde $\Omega^f \subset 0$. Vzhledem k výsledku Hillova lemmatu a s využitím zápisu vedlejší podmínky o neměnnosti objemu vlákn na lze (21) přepsat na tvar

$$\Pi(\mathbf{u}, \Omega^f) = \Pi(\mathbf{u}, \mathbf{p}) = \frac{1}{2} S_{ij} E_{ij} - \lambda \left(\int_{\Omega^f} d\Omega - C^f \right), \quad (23)$$

kteří dosáhne svého minima na polích posuvů a vnitřních parametrů, ale svého maxima vzhledem k λ (což je důsledek klasické teorie Lagrangeových multiplikátorů). Navíc musí být ve smyslu (20) splněna podmínka, že uzávěr oblasti vlákn na nesmí přesáhnout oblast jednotkové buňky $\bar{\Omega}^f \subset \Omega$. Podmínka (22) v oblasti (21) je přesně ve shodě s podmínkou na jakostní funkcionál vytvořený v [5].

Substitucí (7) do (23) dostaneme ekvivalentní vyjádření jakostního funkcionálu

$$\begin{aligned} \Pi(\mathbf{u}, \Omega^f) = \Pi(\mathbf{u}, \mathbf{p}) = & \frac{1}{2} [\langle L_{ijkl}^f A_{kl\alpha\beta}^f(\mathbf{p}, \mathbf{y}) \rangle_f + \\ & + \langle L_{ijkl}^m A_{kl\alpha\beta}^m(\mathbf{p}, \mathbf{y}) \rangle_m] E_{ij} E_{\alpha\beta} - \lambda \left(\int_{\Omega^f} d\Omega - C^f \right). \end{aligned} \quad (24)$$

Poznamenejme, že výpočet složek koncentračních faktorů je popsán v předchozím oddílu.

Využitím podmínek (20) a (7) se (24) zjednoduší

$$\begin{aligned} \Pi(\mathbf{u}, \Omega^f) = \Pi(\mathbf{u}, \mathbf{p}) = & \frac{1}{2} [L_{ijkl}^m + \\ & + (L_{ijkl}^f - L_{ijkl}^m) \langle A_{kl\alpha\beta}^f(\mathbf{p}, \mathbf{y}) \rangle_f] E_{ij} E_{\alpha\beta} - \lambda \left(\int_{\Omega^f} d\Omega - C^f \right). \end{aligned} \quad (25)$$

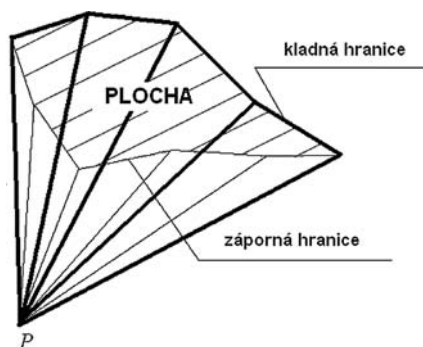
Nyní stačí identifikovat oblast vlákn Ω^f pomocí vnitřních parametrů \mathbf{p} . To lze provést mnoha způsoby. V tomto případě využijeme návrhu z publikace [5]. Uvažme např. polygonální tvar zkoumaného vlákn a předpokládejme, že vlákn je „star-shaped“, tj. existuje bod, ke kterému všechny spojnice s jinými body v oblasti vlákn procházejí výhradně vláknem. Vyberme fixní bod \mathbf{P} (pól – v našem případě počátek lokálního souřadnicového systému) a spojme jej s každým vrcholem této polygonální hranice. Tak získáme N trojúhelníků T_k , $k = 1, \dots, N$, kde N je počet vrcholů. Protože

$$\int_{\Omega^f} d\Omega = \sum_{k=1}^N \text{meas } T_k, \quad (26)$$

kde $\text{meas } T_k$ značí míru k -tého trojúhelníku. Situace je popsána v obr. 2 pro obecný tvar vlákn, nikoli nutně pro „star-shaped“.

Výsledky řešení

Předpokládáme jednotkovou buňku s objemovým poměrem vlákn 0,4. Protože porovnáváme hustotu energie v uzlových bodech přechodové hranice, relativní hustota energie



Obr. 2. Výpočet plochy vlákn

může být považována za srovnávací veličinu ovlivňující pohyb hranice Γ_C . Jak již bylo řečeno, abychom dosáhli konvergence k optimálnímu tvaru, platí, že čím větší tato energie bude, tím větší je nutný pohyb uzlového bodu na Γ_C . Materiálové vlastnosti jednotlivých fází:

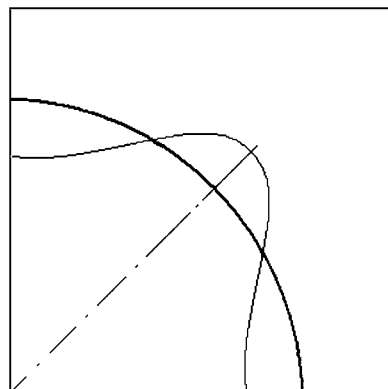
- Youngův modul pružnosti vlákn $E^f = 210$ MPa,
- Poissonovo číslo $\nu^f = 0,16$,
- na matici $E^m = 17$ MPa,
- $\nu_m = 0,3$.

Na počátku byl průměr vlákn $r = 0,714$ a jednotlivé pohyby parametrů p_k byly dány změnou poloměru vždy o 2,2 %. To tedy znamená, že v prvním kroku jsme položili poloměr $r = 0,730$ v každém uzlovém bodu stykové hranice. Homogenizovaný tenzor tuhosti (matice tuhosti) pro případ $r = 0,714$ měl hodnoty

$$\mathbf{L}^* = \begin{bmatrix} 182 & 62 & -0,05 \\ 62 & 182 & 0,034 \\ -0,75 & -1,1 & 98 \end{bmatrix}.$$

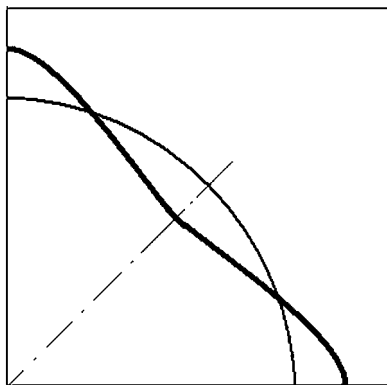
Z této matice lze usoudit, že v normálovém směru jsou výsledky přesnější než ve směru smykových deformací.

Rozdělení relativní energie E_k podél stykové hranice je zaznamenáno na obr. 3, optimální tvar vlákn pro případ

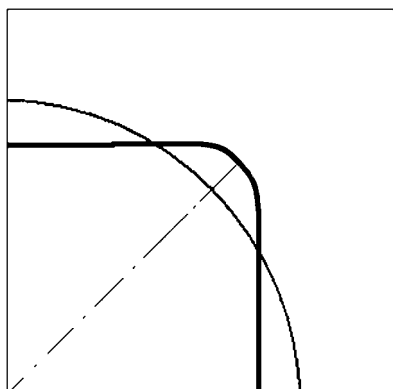


Obr. 3. Rozložení energie po první iteraci – tužší vlákn

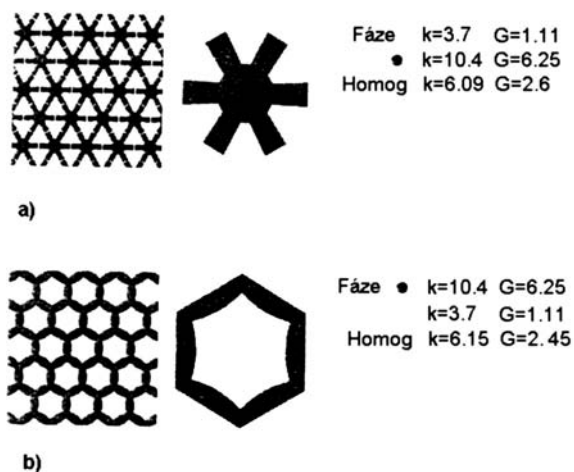
tužší proti matici na obr. 4, optimální tvar vlákn pro tužší matici než vlákn na obr. 5. Výsledky podobné studie pro šesterečnou periodickou soustavu jsou na obr. 6, přičemž K je objemový modul a G smykový modul (objemový poměr vlákn je vždy 50 %).



Obr. 4. Optimální tvar vlákna pro tužší vlákno



Obr. 5. Optimální tvar vlákna pro tužší matici

Obr. 6. Výsledky optimalizace pro různou tuhost fází
a – měkká matrice, tuhé vlákno, b – tuhá matrice, měkké vlákno

Závěr

V článku bylo použito minimalizace lagrangianu spolu s metodou okrajových prvků na jednotkové buňce periodické struktury kompozitu pro návrh optimálního tvaru vlákna. Metoda okrajových prvků vykazuje řadu výhod proti metodě konečných prvků a je velmi perspektivní nejen pro kompozitní struktury. Pro návrh optimálního tvaru vláken v kompozitech bylo v minulosti užito řady přístupů. Obvykle vychází z minimalizace deformační energie. Tato podmínka je u předložené metody splněna implicitně. Přirozeným požadavkem je omezení plochy průřezu vlákna apriori danou hod-

notou. Tato podmínka, která se může jevit jako omezující, ve skutečnosti taková být nemusí, neboť i konstanta C^f může být definována jako proměnná.

Článek vznikl v rámci projektu č. 103/07/0304 GA ČR a výzkumného záměru CZE MSM 6840770001.

Literatura

- [1] Procházka, P.: Shape Optimal Design Using Inverse Variational Principles. Transaction of WIT: The Built Environment 1999; 40, In: C. A. Brebbia, S. Hernandez & A. J. Kassab, eds., 1999, pp. 40-49.
- [2] Procházka, P. – Šejnoha, J.: Behavior of Composites on Bounded Domain. BE Communications, 7, 1, 6-8, 1996.
- [3] Suquet, P. M.: Elements of Homogenization for Inelastic Solid Mechanics. Lecture Notes in Physics, 272 – Homogenization Technique for Composite Media, 1987.
- [4] Tada, Y. – Seguchi, Y. – Soh, T.: Shape Determination Problems of Structures by the Inverse Variational Principle. Feasibility Study about Application to Actual Structures. Bulletin of JSME, 29, 253, July 1986.
- [5] Procházka, P. – Doležel, V. – Lok, T. S.: Shape Optimal Design for Minimum Lagrangian (in print).

Procházka, P. – Pešková, Š.: Shape Optimization of Fibres in Composites

In this study shape optimization of a cross-section of unidirectional fibres in composite structures is sought under condition that the Lagrangian at microlevel attains its minimum. It appears that this condition leads to the minimum stress and displacement, but it is necessary to introduce precaution that the resulting product is realistic. The constraint conditions then follow the requirement of disjoint boundaries of fibre and the unit cell, for example.

Procházka, P. – Pešková, Š.: Formoptimierung von Fasern in Kompositen

Im Artikel wird eine optimale Form des Querschnitts von gleichgerichteten Fasern in Kompositen unter der Bedingung gesucht, dass das Lagrangian auf Mikroniveau sein Minimum erreicht. Es erweist sich, dass diese Bedingung zu einer minimalen Spannung und zu Verschiebungen führt. Allerdings ist es notwendig, solche Vorkehrungen zu treffen, dass das Ergebnisprodukt real ist. Die aus dieser Forderung erwachsenden Bindungsbedingungen werden auf verschiedene Weise definiert, z.B. wird verlangt, dass die Fasern nicht die Grenze einer Einzelzelle durchdringen.

techtex-
til Tensinet

16. – 18. června 2009
Frankfurt nad Mohanem

Dlouhodobé ztráty předpětí v kompozitní výztuži určené pro betonové konstrukce

Ing. Jindřich FORNŮSEK
 Ing. Radoslav SOVJÁK
 prof. Ing. Petr KONVALINKA, CSc.
 prof. Ing. Jan VÍTEK, CSc.
 ČVUT – Fakulta stavební
 Praha

Příspěvek analyzuje ztráty v předpínané kompozitní výztuži na bázi skleněných vláken. Podrobně je rozebrána zvláště relaxace jako nejvýznamnější ztráta vneseného předpětí. Součástí textu je i prediktivní model relaxace aplikovatelný na tuto kompozitní výztuž.

Úvod

Pro konstrukce zpevněné kompozitní výztuží na bázi skleněných vláken jsou typické nadměrné průhyby. To je dáno především nízkým modulem pružnosti výztuže. Předpínání tento negativní vliv do jisté míry eliminuje. Otázkou zůstává, zda vnesené předpětí opravdu v konstrukci vydrží po celou dobu její životnosti.

Ztráty předpětí způsobené smršťováním a dotvarováním betonu jsou mnohem menší v porovnání s předepnutou ocelí, což je jednoznačně dáno nízkým modulem pružnosti kompozitní výztuže se skleněnými vlákny [1]. Ztráta způsobená relaxací je problematická, protože přímo závisí na použitých vláknech a spojovací matici. Její průběh ještě nebyl zcela popsán, a proto bude převážná část článku věnována ztrátám způsobeným právě relaxací.

Smršťování a dotvarování

Mezi první dvě dlouhodobé ztráty v předpínaných betonových konstrukcích řadíme dotvarování a smršťování. Tím, že se beton smršťuje, a následně vlivem předpětí a dalších silových účinků dotvarovává, dochází ke ztrátám v předpínacím kabelu, neboť i ten se zkracuje. Tím, že kompozitní výztuž na bázi skleněných vláken má modul pružnosti daleko nižší, musíme do ní k vyvození daného předpětí vnést přetvoření řádově větší než do oceli. Zvažujeme-li čtyřmetrový prvek, u něhož přetvoření kompozitního prutu dosahuje desítek milimetrů, vliv smršťování a dotvarování betonu, který se odehrává v řádech desetin milimetru, má na předpětí vliv malý, až zanedbatelný. Dominující ztrátou v betonových konstrukcích předepnutých kompozitní výztuží je proto relaxace, vlivem níž může v horizontu padesáti let klesnout předpětí o více než 50 % [2].

Relaxace

K relaxaci dochází u většiny materiálů vystavených dlouhodobé konstantní deformaci. Při ní v materiálu postupně klesá napětí vlivem přeskupení materiálu na molekulární nebo atomární bázi. Relaxace je vlastně funkce tuhosti materiálu v čase v reakci na vnesenou deformaci a má také své jednotky (Pa).

Jednou z teorií, která popisuje časově závislé chování materiálů, je lineární viskoelastická (vazkopružnost). Zá-

kladním předpokladem pro tuto teorii je platnost Boltzmannova principu superpozice, podle kterého lze účinky jednotlivých zatěžovacích historii sčítat, a dokonce vytvářet jejich lineární kombinaci [7].

Vlastnosti prutů GFRP

Základní vlastnosti prutů GFRP v délce 5 400 mm, s přitmelnými ocelovými kotvami pro uchycení do předpínací linky ke zkoušení relaxace jsou uvedeny v tab. 1. GFRP pruty byly vyrobeny ve firmě Prefa Kompozity, Brno. Pro zlepšení soudržnosti s betonem byly obaleny křemičitým pískem [4]. Pro zajištění příčného tvaru byly ve tvaru šroubovice ovínutы motouzem (obr. 1). Poměr mezi vlákny a maticí se obvykle pohybuje okolo 75:25 ve prospěch vláken. Pro zkoušené pruty byl zvolen poměr:

- $c_1 = 73\%$ (alkalirezistentní skleněná vlákna),
- $c_2 = 27\%$ (vinylesterová pryskyřice).

Tab. 1. Vlastnosti kompozitní výztuže

Vlastnosti	Prefa Kompozity	FSv ČVUT
modul pružnosti [GPa]	32,14	41,11
pevnost v tahu [MPa]	654,66	> 600 (max. zatížení stroje)
teplotní roztažnost [K^{-1}]	$5,0 \cdot 10^{-6}$	$7,5 \cdot 10^{-6}$

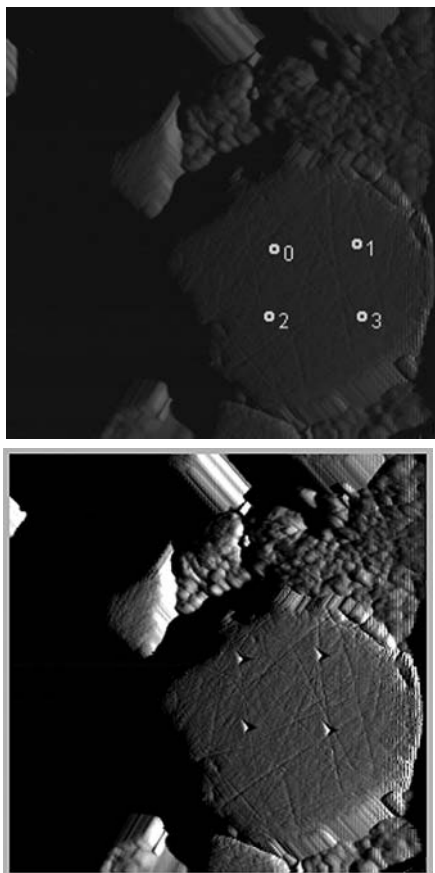


Obr. 1. Povrchová úprava použitých prutů GFRP

Stanovení materiálových charakteristik metodou nanoindentace

Pro zhotovení příslušného viskoelastického modelu bylo třeba zjistit vlastnosti jednotlivých složek prutu, a sice matrice a skleněného vlákna. Metoda nanoindentace zahrnuje mechanické zkoušení materiálů do hloubky několika mikrometrů za současného snímání síly a hloubky [8]. Principem je zatlačování diamantového hrotu do materiálu se sou-

časným měřením síly a hloubky. V případě této zkoušky byl použit hrot ve tvaru trojboké pyramidy, který měří elasticitou a plastickou deformací zároveň (obr. 2). Zkouška pomocí přístroje firmy Hysitron, vybaveným příslušenstvím pro mapování modulu pružnosti, byla provedena na Katedře mechaniky Fakulty stavební ČVUT.



Obr. 2. Vpichy hrotu nanoindentoru – plánované a skutečné (zdroj: Forstová, K.)

Přístroj měří v předem zadaném rastru (např. $m \times m$ vpichů v kroku n mikrometrů), zaznamenaná data (144 vpichů, rastr 12×12) měla rozptyl 4,2-76,8 GPa. Značný rozptyl byl zřejmě způsoben tím, že hrot provedl vpichy v místech velkých nerovností řezu nebo na rozhraní mezi vláknem a maticí. Dominantní hodnoty modulů pružnosti se pohybují okolo 5-6 GPa, ty lze nejspíše přisoudit maticí, a poté okolo 53 GPa, které zřejmě patří skleněným vláknům [5]. Modul pružnosti skleněných vláken $E_{\text{glass}} = 52,58$ GPa byl vypočten z histogramu četnosti. Modul pružnosti polymerních materiálů se pohybuje mezi 2-8 GPa. Modul pružnosti matrice byl tedy z histogramu četnosti určen $E_{\text{matrix}} = 5,45$ GPa.

V případě, že použijeme směšovací pravidlo [9], dojdeme k výsledku, že modul pružnosti nezátíženého prutu je roven $E_{\text{GFRP,plan}} = 39,85$ GPa, což je hodnota, která se velmi blíží hodnotám naměřeným v experimentálním centru [5], a to $E_{\text{GFRP,mer}} = 41,11$ GPa.

Experimentální stanovení relaxace prutu

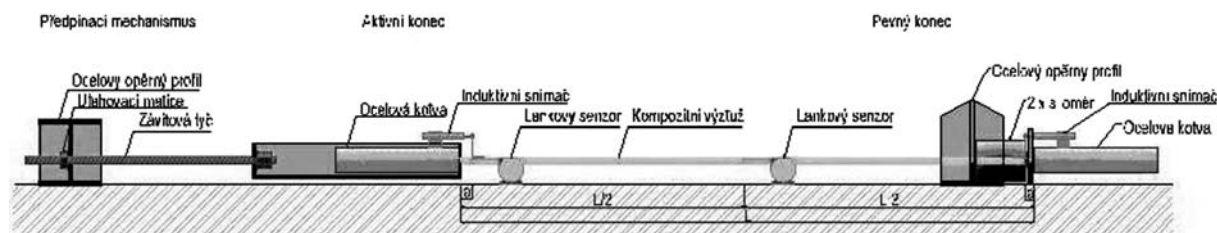
Linka pro měření

Předpínání betonářské výztuže není novinkou, např. předpínací pistole ocelovou výztuž stiskne, resp. pevně uchytí, a natáhne. Vzhledem ke křehkosti vláken v kompozitní výztuži však pevné uchycení není možné, protože se výztuž drtí a znehodnocuje. Ocelové kotvy, přitmlené na obou koncích, umožňují požadovanou předpínací sílu do výztuže vnést. Předpínáním kompozitních výztuží lze dosáhnout vhodných vlastností předepnutého betonového prvku, a částečně tak eliminovat nízký modul pružnosti kompozitní výztuže.

Relaxace kompozitní výztuže je v současné době předmětem výzkumu po celém světě. Její chování je z dlouhodobého hlediska velkou neznámou. Dosavadní linky pro měření relaxace se vyznačovaly tím, že opomíjely vliv teploty nebo vytažení kompozitní výztuže z kotev. Je třeba uvést, že takováto měření mohou vést k chybným závěrům, jejichž následky mohou být fatální. Měření relaxace kompozitní výztuže je velmi důležité pro její budoucí využití ve stavebním průmyslu. Z tohoto důvodu byla v Experimentálním centru Fakulty stavební ČVUT taková linka vyvinuta (obr. 3) [6].

Měření relaxace

Do pevného konce (na roznášecí plech) a aktivního konce (do korýtka pro uchycení kompozitní výztuže) se usadí kotvy kompozitní výztuže. Dále se na kompozitní výztuž uchytí lankové senzory (WDS 300) a jádra inдуктивních snímačů. Samotné inдукtivní snímače (IWT 302) jsou připevněny ke kotvám kompozitní výztuže. Po usazení výztuže a osazení snímačů následuje její předpínání se současným odečítáním hodnot na siloměrech. Po dosažení požadované síly se předpínání zastaví a utahovací matice se proti povolení zajistí další maticí. Po celou dobu předpínání je možné měřit hodnoty na lankových senzorech a inдукtivních snímačích. Vlastní měření pak probíhá buď kontinuálně a hodnoty se zaznamenávají na pevný disk měřicí linky připojené ke snímačům, nebo v pravidelných delších intervalech, přičemž měřicí linku lze ke snímačům kdykoli připojit a měření zaznamenat. Během předpínání a v prvních dnech po předepnutí se doporučuje zajistit kontinuální záznam, a posléze přejít k zaznamenávání v pravidelných, např. denních, intervalech. Díky zahrnutí vlivu povytažení kompozitní výztuže z kotev [6] se ukázaly výsledky měření relaxace pomocí této linky jako velmi přesné.



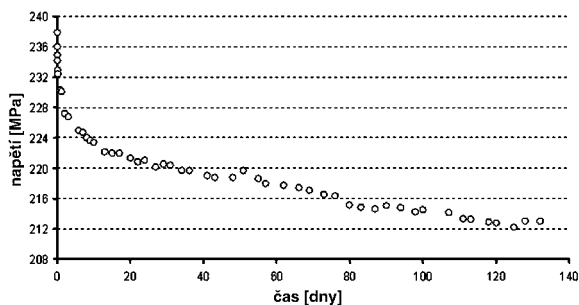
Obr. 3. Linka pro měření relaxace kompozitní výztuže

Uvedeným postupem byl prut GFRP dlouhý 5 400 mm, opatřený ocelovými kotvami, do linky osazen a předeprnut na 237,9 MPa, tzn. přibližně na 37 % své pevnosti (650 MPa) silou 36,62 kN. Po dosažení potřebného napětí byla utahovací matice zajištěna proti povolení druhou maticí, čímž bylo zajištěno jeho konstantní protažení o 35,73 mm (0,662 %). V průběhu předpínání se pořizoval kontinuální záznam na všech snímačích, tzn. obou siloměrech, obou lankových senzorech a obou inдуктивních snímačích. Během první hodiny se měřilo přibližně v pětiminutových intervalech, časem se interval prodlužoval na třídnenní až čtyřdnenní.

Experiment probíhal 132 dní, poté musel být z technických důvodů přerušen. Tato doba se ukázala jako velmi krátká a v budoucnosti by bylo vhodné zvolit podstatně delší dobu, např. 2 až 4 roky.

Výsledky měření

Při vyhodnocování získaných hodnot byly zohledněny vliv povytažení v kotvách a teploty (obr. 4). Během prvních 24 h ztráta napětí dosahovala 3,29 %, po 28 dnech zhruba 7,3 %, což znamenalo pokles na 220,55 MPa. V době předčasného ukončení experimentu dosahovala ztráta napětí 10,5 %, resp. pokles napětí na 213,02 MPa. Nedošlo k úplnému ustálení křivky relaxace, proto nelze celkovou relaxaci výtuzte za delší dobu odpovědně vyjádřit.



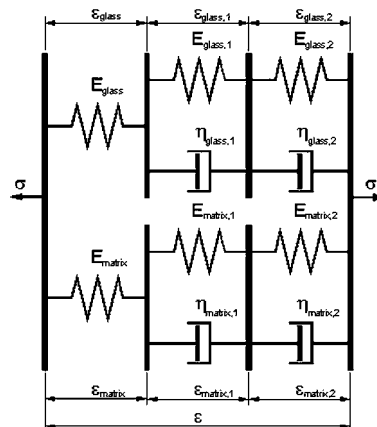
Obr. 4. Průběh poklesu napětí v závislosti na čase se zohledněním vlivu teploty a povytažení z kotev

Průběh relaxace v porovnání s ocelí je pro prut GFRP velmi nepříznivý. V případě, že by běžné ocelové lano, používané pro předpínané konstrukce typu St 1570/1770, bylo napnuto také na 37 % své smluvní meze kluzu, byla by celková ztráta napětí vlivem relaxace menší než 0,5 %. V případě prutu byla ztráta napětí po 132 dnech 10,5 % a tato hodnota není konečná.

Viskoelastický model

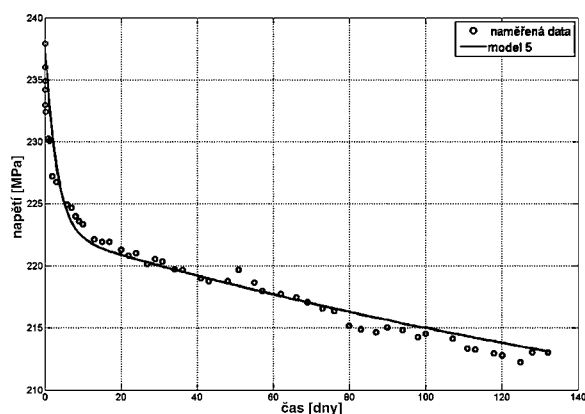
Na základě výsledků měření byl ze dvou paralelně zapojených Kelvinových řetězců (obr. 5) sestaven viskoelastický model dlouhodobého chování výtuzte, který dobře vystihoval chování během zkoušky. Každý z nich reprezentuje jeden materiál. Parametry E_{glass} a E_{matrix} jsou známé z nanoindentačního měření. Zbýlých osm – $E_{\text{glass},1}$, $\eta_{\text{glass},1}$, $E_{\text{glass},2}$, $\eta_{\text{glass},2}$, $E_{\text{matrix},1}$, $\eta_{\text{matrix},1}$, $E_{\text{matrix},2}$, $\eta_{\text{matrix},2}$ – bylo vyhledáno speciálním programem na bázi genetických algoritmů. Základní rovnice viskoelastického modelu (1)–(3) vedou k soustavě diferenciálních rovnic s okrajovými podmínkami (4), (5). K jejímu řešení byla použita metoda Rungea-Kutta čtvrtého řádu [10].

Výsledný průběh poklesu napětí v čase, vypočtený pomocí viskoelastického modelu, je uveden v grafu na obr. 6.

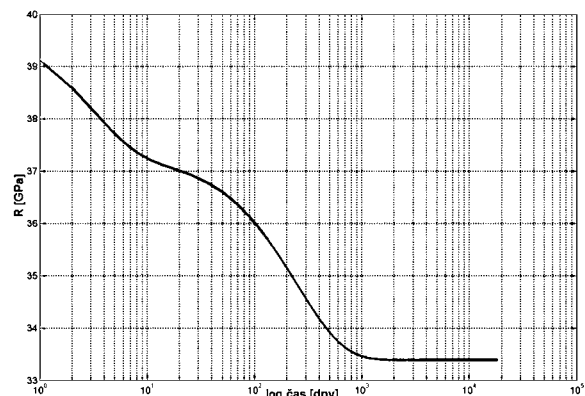


Obr. 5. Viskoelastický model – dva paralelně zapojené Kelvinovy řetězce

Předpokládaný průběh relaxace během padesáti let je znázorněn na obr. 7, osa času je v logaritmickém měřítku. Z grafu je patrné, že zhruba po tisíci dnech se průběh relaxace ustálí na 33,4 GPa, což odpovídá ztrátě 16,5 %. V tuto chvíli narážíme na problém krátkého trvání experimentu, protože při nepatrné změně parametrů se z krátkodobého hlediska (tj. 132 dní) v modelu nic zásadního nezmění, ovšem z dlouhodobého (50 let) se může průběh, resp. konečná hodnota relaxace, dramaticky změnit (řádově desítky procent).



Obr. 6. Pokles napětí v závislosti na čase



Obr. 7. Průběh relaxace během 50 let

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_{\text{glass}}(t) + \varepsilon_{\text{glass},1}(t) + \varepsilon_{\text{glass},2}(t), \quad (1)$$

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_{\text{matrix}}(t) + \varepsilon_{\text{matrix},1}(t) + \varepsilon_{\text{matrix},2}(t), \quad (2)$$

$$\sigma(t) = \sigma_{\text{glass}}(t) + \sigma_{\text{matrix}}(t). \quad (3)$$

Parametry $\dot{\varepsilon}$, ε_0 , $\varepsilon_{\text{glass},1}$ a $\varepsilon_{\text{glass},2}$ jsou závislé na čase t

$$\dot{\varepsilon}_{\text{glass},1} = \frac{E_{\text{glass}}}{\eta_{\text{glass},1}} \cdot \varepsilon - \frac{E_{\text{glass},1}}{\eta_{\text{glass},1}} \cdot \varepsilon_{\text{glass},1} - \frac{E_{\text{glass}}}{\eta_{\text{glass},1}} \cdot \varepsilon_{\text{glass},1} - \frac{E_{\text{glass}}}{\eta_{\text{glass},1}} \cdot \varepsilon_{\text{glass},2}, \quad (4)$$

$$\dot{\varepsilon}_{\text{glass},2} = \frac{E_{\text{glass}}}{\eta_{\text{glass},2}} \cdot \varepsilon - \frac{E_{\text{glass},2}}{\eta_{\text{glass},2}} \cdot \varepsilon_{\text{glass},2} - \frac{E_{\text{glass}}}{\eta_{\text{glass},2}} \cdot \varepsilon_{\text{glass},2} - \frac{E_{\text{glass}}}{\eta_{\text{glass},2}} \cdot \varepsilon_{\text{glass},1}. \quad (5)$$

Pro matici platí stejné rovnice, pouze s obměnou indexu glass/matrix

$$t = 0 \Rightarrow \varepsilon = \varepsilon_{\text{glass}} = \varepsilon_{\text{matrix}},$$

$$\varepsilon_{\text{glass},1} = 0; \varepsilon_{\text{glass},2} = 0; \varepsilon_{\text{matrix},1} = 0; \varepsilon_{\text{matrix},2} = 0,$$

$$R_{\text{GFRP}}(t) = c_1 \cdot R_{\text{glass}}(t) + c_2 \cdot R_{\text{matrix}}(t). \quad (6)$$

Závěr

Cílem výzkumu bylo zjištění dlouhodobého chování předepnutého prutu a vytvoření viskoelastického modelu. Byl ovšem splněn pouze zčásti. Experiment s napnutým prutem sice ukázal, že dochází ke ztrátám napětí v čase, ale šlo pouze o jeden prut (tedy nepřilíš statisticky vypovídající hodnotu) a velmi krátkou dobu měření. To se promítlo i do dalšího zpracování výsledků, resp. do tvorby viskoelastického modelu. Pro získání přesnějších výsledků by bylo nutné provádět měření zároveň alespoň na pěti vzorcích a po dobu minimálně dvou let.

Závěry zformulované na základě dostupných dat a výsledků měření:

- výrobce prutu uvádí hodnoty modulu pružnosti zhruba o 20 % nižší, než bylo naměřeno při zkouškách. Těmto výsledkům odpovídaly i ostatní metody zkoušení modulu pružnosti – nanoindentace a ultrazvuk;

- pomocí nanoindentace byly zjištěny moduly pružnosti skleněných vláken a matrice: $E_{\text{glass}} = 52,58 \text{ GPa}$ a $E_{\text{matrix}} = 5,45 \text{ GPa}$. Tyto hodnoty pak byly použity při modelování dlouhodobého chování prutu podle teorie lineární viskoelastivity;

- pro zkoušení dlouhodobého chování byla vyvinuta měřicí linka, která přihlíží k vlivu teploty a povytažení prutu z kotev. Vzhledem k jejímu inovačnímu charakteru byl zapsán užitečný vzor 19466 a byla podána žádost o patentovou ochranu;

- kompozitní výztuž ze skleněných vláken relaxuje velmi podstatně. Ztráty napětí po 24 h od napnutí na 37 % (237,9 MPa) její pevnosti dosáhly 3,3 %, po 28 dnech 7,3 % a v době ukončení experimentu, tj. po 132 dnech, 10,5 % (ztráty ocelového lana za stejných podmínek by byly menší než 0,5 %);

- chování prutu během zkoušky nejlépe vystihuje viskoelastický model (dva paralelně zapojené Kelvinovy řetězce).

Vzhledem ke krátkému trvání zkoušky je však nelze s jistotou předpovědět na delší období (50 let).

Výzkum dlouhodobého chování kompozitních prutů by měl pokračovat za lepších podmínek, tj. podstatně delší dobu, na větším počtu vzorků a na zdokonalené měřicí lince. Dlouhodobé chování bude třeba zkoumat i u jiných typů kompozitní výztuže, jako jsou AFRP a CFRP, které mají také jedinečné vlastnosti.

V literatuře se předpínací výztuž GFRP z důvodů velkých ztrát napětí nedoporučuje [3], a pokud ano, tak pouze s velmi nízkým předpětím [2]. Tento výzkum potvrdil, že ztráty napětí v čase jsou v kompozitní výztuži na bázi skleněných vláken velmi vysoké, a proto se do betonových prvků nedoporučuje používat.

Článek vznikl za podpory výzkumného záměru MSM 684 0770031 MŠMT ČR.

Literatura

- [1] ACI 440R-07 Report on Fiber Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement for Concrete Structures. American Concrete Institute, Farmington Hills, 2008.
- [2] Audenaert, K. – Taerwe, L. – Gazouli, D.: Stress-Rupture of FRP: State of the Art. Fibre-Reinforced Plastics for Reinforced Concrete Structures 5. London, Thomas Telford Publishing 2001.
- [3] Dolan, D. W. – Hamilton III, H. R. – Bakis, C. E. – Nanni, A.: Design Recommendations for Concrete Structures Prestressed with FRP Tendons. Final Report, FHWA Contract, 2001.
- [4] Fornůšek, J.: Experimental Determination of Bond Stress of GFRP Bars and Concrete. Proceedings of: BuHu 8th International Postgraduate Research Conference, CTU Prague, 2008.
- [5] Fornůšek, J.: Relaxace kompozitní výztuže určené pro předpínání betonových prvků. [Diplomová práce], ČVUT Praha, 2008.
- [6] Fornůšek, J. – Sovják, R. – Dupák, J. – Litoš, J. – Konvalinka, P.: Linka pro zkoušení a měření zejména betonářské kompozitní výztuže. Užitečný vzor 19466. Praha, 2008.
- [7] Jirásek, M. – Zeman, J.: Přetváření a porušování materiálů. ČVUT Praha, 2006.
- [8] Savková, J. – Bláhová, O.: Nanoindentačné merania tenkých vrstev – principy, metody, vplyvy. Výzkumné centrum – Nové technologie. Západočeská univerzita v Plzni, 2006.
- [9] Šejnoha, M. – Zeman, J.: Micromechanical Analysis of Composites. CTU Prague, 2002.
- [10] Vitásek, E.: Numerické metody. Praha, SNTL 1987.

Fornůšek, J. – Sovják, R. – Konvalinka, P. – Víték, J.: Long-Term Losses of Relaxation in Composite Reinforcement for Concrete Structures

This contribution focuses on losses in prestressed glass based composite reinforcement. Attention is paid to the relaxation which is considered as the most important among all losses. The contribution also introduces the predictive model which is applicable to this type of composite reinforcement.

Fornůšek, J. – Sovják, R. – Konvalinka, P. – Víték, J.: Langfristige Verluste der Vorspannung in für Betonkonstruktionen bestimmter Kompositbewehrung

Der Beitrag analysiert die Verluste in einer Komposit-Vorspannbewehrung auf Basis von Glasfasern. Ausführlich wird insbesondere die Relaxation als der bedeutendste Verlust der eingetragenen Vorspannung behandelt. Der Beitrag enthält auch ein auf eine beliebige Kompositbewehrung anwendbares Voraussagemodell der Relaxation.

Trvanlivostní vlastnosti vysokohodnotného betonu s vyšším obsahem alternativních silikátových pojiv

Ing. Eva VEJMEKOVÁ, Ph.D.
prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.
ČVUT – Fakulta stavební, Praha

Ing. Michal ONDRÁČEK
Ing. Martin SEDLMAJER
VUT – Fakulta stavební, Brno

V článku jsou studovány trvanlivostní vlastnosti vysokohodnotného betonu s vyšším obsahem alternativních silikátových pojiv jako náhrady cementu (struska 40 %, popílek 40 %, metakaolin 20 %). Naměřená data, přinášející poznatky o základních fyzikálních vlastnostech, vlhkostních parametrech, parametrech odolnosti vůči zmrazovacím cyklům a pronikání solí, jsou porovnána s daty referenčního betonu bez obsahu alternativních silikátových pojiv.

Úvod

V současné době je velkou snahou najít uplatnění pro materiály, které vznikají jako odpadní produkty při průmyslové výrobě. Jednou z možností je jejich použití přímo při výrobě cementu, ve větší míře se však používají jako alternativní náhrada určitého množství cementu při výrobě betonu. Tento příspěvek se zabývá posouzením vlivu vybraných přísad na trvanlivostní vlastnosti vysokohodnotného betonu, což je jedním z hlavních předpokladů udávajících směr v moderních trendech vývoje betonů.

Jako alternativní materiály, které se podílejí na vytváření pevné struktury betonu jako pucofanová, resp. hydraulická pojiva, byly použity popílek, struska a metakaolin. Tento článek by měl přinést další poznání o použití většího množství alternativních silikátových pojiv v betonech z hlediska parametrů charakterizujících jejich trvanlivost.

Materiály

Byly ověřovány čtyři modifikace vysokohodnotného betonu. Jako náhrada cementového pojiva byla použita jemně mletá vysokopecní struska od firmy Kotouč, Štramberk (BS2), elektrárenský vysokoteplotní popílek z ČEZ, Elektrárna Dětmárovice (BP2) a metakaolin Mefisto K 05, ČLUZ, Nové Strašecí (BM2). Kromě toho byl ověřován i referenční beton (BR2) bez jakýchkoli přísad.

U alternativ BS2 a BP2 bylo nahrazeno 40 % a u BM2 20 % cementu alternativními silikátovými materiály. Množství záměsových vod bylo pro všechny receptury zvoleno tak, aby byla splněna konzistence S3 [1], a tím zajištěna požadovaná zpracovatelnost čerstvého betonu. Podrobně je složení záměsí uvedeno v tab. 1. Vlastnosti těchto betonů při zatěžování mrazem a chemickými rozmrazovacími prostředky (CHRL) byly porovnány s vlastnostmi referenčního betonu, který uvedený záměs neobsahoval.

Tab. 1. Složení směsí vysokohodnotného betonu

Složení	Množství [kgm ⁻³]			
	BR2	BM2	BS2	BP2
cement CEM I 42,5 Mokrý	484	387	290	290
písek 0-4 mm, těžký, praný	812	812	812	812
drť 8-16 mm	910	910	910	910
superplastifikátor Mapei Dynamon SX	5,3	5,3	5,3	5,3
metakaolin Mefisto 20 %	–	97	–	–
popílek Dětmárovice 40 %	–	–	–	194
struska Štramberk 40 %	–	–	194	–
voda	161	188	160	182

Experimentální metody

Objemová hmotnost [kgm⁻³], hustota matrice ρ_{mat} [kgm⁻³] a otevřená pórovitost ψ [%] byly stanoveny při sycení vodou za sníženého tlaku a následného vážení vzorků maximálně nasycených a stejných vzorků ještě ponořených pod vodní hladinu, kdy se určuje Archimédova hmotnost.

Měření součinitele difúze vodní páry, prováděné miskovou metodou bez teplotního spádu, je založeno na jednorozměrném šíření páry vzorkem. Spočívá v měření difúzního toku vodní páry prošlé vzorkem při znalosti parciálních tlaků vodní páry ve vzduchu pod povrchem vzorku a nad ním [2].

Součinitel vlhkostní vodivosti κ se určoval přibližnou metodou, založenou na měření nasákavosti. Ze získaných dat byla sestavena závislost kumulativního obsahu vlhkosti na odmocnině času, ze které se pomocí lineární regrese přímo určil vlhkostní absorpční koeficient A [3].

Pro měření součinitele difúze vodní páry a součinitele vlhkostní vodivosti byly nařezány vzorky 40 x 40 x 20 mm, jež byly následně vodotěsně a parotěsně izolovány ze čtyř stran epoxidovou pryskyřicí tak, aby bylo dosaženo podmínky jednorozměrného transportu vlhkosti.

Mrazuvzdornost betonů byla hodnocena podle ČSN 73 1322 [4]. Koeficient mrazuvzdornosti K byl vypočítán z poměru pevností v tahu za ohybu, resp. tlaku těles uložených v normovém prostředí a pevností po 100 zmrazovacích cyklech.

Pro stanovení odolnosti proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek byla použita metoda podle [5].

Výsledky a diskuze

Měření sledovaných parametrů probíhala za konstantních podmínek v klimatizované laboratoři při 22±1 °C a relativní vlhkosti 25-30 %. Jako počáteční hmotnost byla brána hmotnost vysušeného materiálu. Prezentované výsledky jsou průměrnou hodnotou tří až pěti měření.

Všechny záměsí vysokohodnotných betonů dosahovaly podobných výsledků objemové hmotnosti (tab. 2), rozdíly

mezi jednotlivými hodnotami byly menší než 8 %. Nejvyšší hustoty pevné matrice bylo dosaženo u betonu BM2 s obsahem metakaolinu, nejnižší pak u betonu s obsahem popílku BP2, ani v tomto případě však nebyl rozdíl významnější. Patrnější rozdíly v hodnotách otevřené pórovitosti byly zaznamenány u betonu s obsahem metakaolinu BM2 a s obsahem strusky BS2, které byly o 15-25 % nižší než u ostatních dvou materiálů.

Tab. 2. Základní parametry materiálů

HPC	ρ	ρ_{mat}	ψ [%]
	[kg m ⁻³]		
BR2	2 265	2 670	15,2
BM2	2 372	2 729	13,3
BP2	2 211	2 634	16,0
BS2	2 351	2 711	12,8

Hodnoty parametrů charakterizující transport vodní páry jsou uvedeny v tab. 3. Nejnižší hodnoty faktoru difúzního odporu vodní páry dosáhl materiál BP2 s obsahem popílku, v případě metody dry cup o 25 % (BR2) až 94 % (BM2) a u metody wet cup o 30 % (BR2) a více než dvakrát nižší než u materiálu BS2, což je v souladu s měřením otevřené pórovitosti u těchto materiálů uvedené v tab. 2.

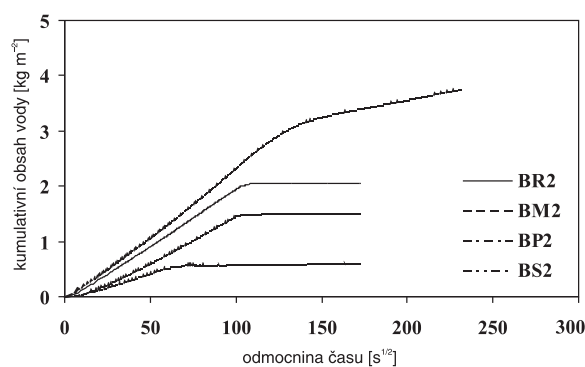
Tab. 3. Transportní parametry vodní páry materiálů

HPC	5/50 %			97/50 %		
	δ [s]	D [m ² s ⁻¹]	μ [-]	δ [s]	D [m ² s ⁻¹]	μ [-]
BR2	1,49E-11	2,04E-06	12,8	1,94E-11	2,66E-06	9,20
BM2	8,89E-12	1,22E-06	19,7	1,20E-11	1,65E-06	14,09
BP2	1,72E-11	2,37E-06	10,2	3,11E-11	4,28E-06	7,06
BS2	1,10E-11	1,51E-06	16,4	1,33E-11	1,83E-06	15,02

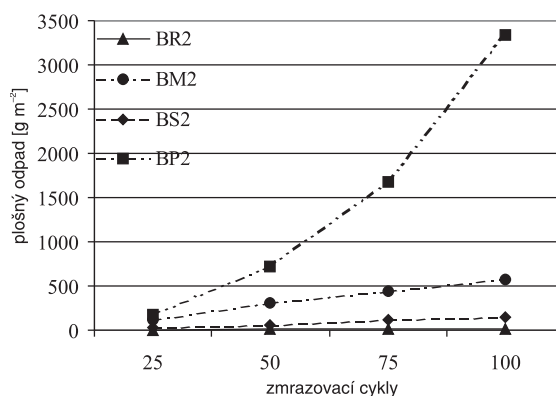
Na základě dosažených výsledků lze konstatovat, že obsah metakaolinu a strusky výrazně pozitivně ovlivnil pórovou strukturu materiálů BM2 a BS2 a dosáhl lepší schopnosti odolávat průchodu vodní páry materiálem než referenční beton BR2. Obsah popílku schopnost transportu vodní páry zvýšil.

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 i přenos vody v kapalně formě.

Rychlost pronikání vody do vzorků je ilustrována na obr. 1, kde jsou uvedeny charakteristické křivky kapilárního nasákání jednotlivých materiálů. Naměřené a vypočítané hodnoty transportních parametrů kapalně vlhkosti, uvedené v tab. 4, ukazují, že nejvýznamnější vliv na snížení schopnosti transportu kapalně vlhkosti měl obsah vysokopecní strusky a metakaolinu. Vzhledem k referenčnímu betonu BR2 se jejich hodnoty součinitele vlhkostní vodivosti snížily o 35-70 %. Největší schopnost transportu kapalně vlhkosti měl v tomto případě beton s obsahem popílku BP2, jehož hodnota součinitele vlhkostní vodivosti byla o 23 % vyšší než u referenčního betonu BR2. Korelace naměřených hodnot součinitele vlhkostní vodivosti s hodnotami otevřené pórovitosti byla stejně jako v případě faktoru difúzního odporu vodní páry velmi dobrá.



Obr. 1. Charakteristické křivky nasákání materiálů



Obr. 2. Průběh odolnosti betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek

Tab. 4. Transportní parametry kapalně vlhkosti materiálů

HPC	A [kg m ⁻² s ^{-1/2}]	κ [m ² s ⁻¹]
BR2	0,0174	1,31E-08
BM2	0,0103	6,00E-09
BP2	0,0226	2,00E-08
BS2	0,0128	1,00E-08

Všechny betony připravené s příměsí alternativních surovin i beton referenční jsou vyhodnoceny jako mrazuvzdorné, tj. koeficient mrazuvzdornosti K , získaný jak z poměru pevností v tlaku, tak z poměru 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. Koeficienty mrazuvzdornosti materiálů

HPC	Z poměru pevností [-]	
	v tlaku	v tahu za ohybu
BR2	0,99	0,79
BM2	1,10	0,80
BP2	0,94	0,93
BS2	1,07	0,78

Zkoušce odolnosti vysokohodnotného betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek byla podrobena krychlová tělesa o velikosti hrany 150 mm. Aby byly betonové povrchy schopny odolávat působení chloridů, je maximální odpad po 100 zmrazovacích cyklech stanoven na 1 000 gm⁻². Nejvyšší odpad byl zjištěn u receptury, kde byl použit elektrárenský popílek (BP2), tento materiál vykazoval v celém rozsahu 25-100 cyklů největší množství odpadu. Po 100 zmrazovacích cyklech vykazoval plošný odpad kolem 3 300 gm⁻². Nejvyšší odolnost při působení CHRL vykazuje referenční vzorek BR2, velice dobré výsledky jsou také u betonu, u kterého bylo pojivo částečně nahrazeno vysokopecní struskou (BS2). Časový průběh zkoušky je znázorněn na obr. 2.

Závěr

Výsledky uvedené v tomto článku přináší konkrétní poznatky o trvanlivostních vlastnostech vysokohodnotného betonu s vyšším obsahem alternativních silikátových pojiv. Jako částečná náhrada cementu byly použity vysokopecní struska, elektrárenský popílek a metakaolin. Nejlepších výsledků dosáhl v porovnání s referenčním betonem bez obsahu cementových náhrad materiál s obsahem 40 % vysokopecní strusky (BS2) a materiál s obsahem 20 % metakaolinu (BM2). Vysokohodnotný beton s obsahem 40 % popílku (BP2) dosáhl nejvyšší pórovitosti a projevila se u něj výrazně vyšší schopnost transportu vzdušné i kapalně vlhkosti.

Všechny vzorky betonů splnily požadavky na mrazuvzdornost s velmi vysokými koeficienty. Odolnosti proti působení vody společně s chemickými rozmrazovacími látkami vyhověly všechny materiály kromě betonu s obsahem po-

pílku, u kterého bylo po 100 zmrazovacích cyklech kolem 3 300 gm⁻² odpadu.

Použití většího obsahu alternativních silikátových pojiv jako částečné náhrady cementu nevedlo po přidání vysokopecní strusky a metakaolinu ke zhoršení vlastností vzhledem k referenčnímu betonu, spíše naopak. Avšak použití většího množství popílku vedlo u vysokohodnotného betonu k mírnému zhoršení schopnosti odolávat transportu vlhkosti a k výraznému zhoršení odolnosti při zkoušce chemickými rozmrazovacími prostředky.

Na základě dosažených výsledků lze 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, je však nutné prověřit množství alternativní náhrady cementu, aby výsledné vlastnosti byly optimální.

Článek vznikl za podpory projektu č. ME 08009 MŠMT ČR.

Literatura

- [1] EN 206-1: 2001 Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda.
- [2] ČSN 72 7031 Měření součinitele difúze vodní páry stavebních materiálů metodou bez teplotního spádu.
- [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/Z1:1968 Stanovení mrazuvzdornosti betonu.
- [5] ČSN 731326/Z1:1984 Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek.

Vejmelková, E. – Černý, R. – Ondráček, M. – Sedlmajer, M.: Durability Properties of High Performance Concrete with Higher Content of Alternative Silicate Binders

Durability properties of high performance concrete with higher content of alternative silicate binders as cement replacement (ground granulated blast furnace slag 40%, fly ash 40% and metakaolin 20%) are studied in the paper. The measured data provide information on basic physical properties, hygric properties and parameters describing the resistance against frost cycles and salt penetration. They are also compared with reference high performance concrete without alternative silicate binders.

Vejmelková, E. – Černý, R. – Ondráček, M. – Sedlmajer, M.: Die Dauerhaftigkeitseigenschaften hochwertiger Betons mit einem höheren Gehalt alternativer Silikatbindemittel

Im Artikel werden die Dauerhaftigkeitseigenschaften hochwertigen Betons mit einem höheren Gehalt alternativer Silikatbindemittel als Zementersatz (Schlacke 40%, Flugasche 40%, Metakaolin 20%) studiert. Die gemessenen Daten bringen Erkenntnisse über die grundlegenden physikalischen Eigenschaften, die Feuchtigkeitsparameter, die Parameter der Beständigkeit gegen Frostzyklen und das Durchdringen von Salzen und werden mit den bei einem Referenzbeton ohne Gehalt alternativer Silikatbindemittel bestimmten Daten verglichen.



19. – 24. dubna 2010
Mnichov

www.bauma.de

Sledování současného transportu vlhkosti a chloridových iontů v rámci vertikálně uspořádaného sorpčního experimentu

Ing. Zbyšek PAVLÍK, Ph.D.

Ing. Jan MIHULKA

Ing. Milena PAVLÍKOVÁ, Ph.D.

prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.

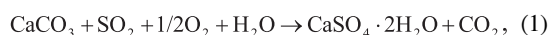
ČVUT – Fakulta stavební

Praha

V článku je prezentována nová laboratorní metoda pro sledování současného transportu kapalné vlhkosti a chloridových iontů v porézních stavebních materiálech. Měření jsou provedena na vzorcích kalcium silikátu, sorpční experiment je realizován ve vertikálním uspořádání, přičemž jako penetrující médium je zvolen 1 M vodný roztok Na Cl.

Úvod

Poškození způsobená vlhkostí a solemi jsou jednou z nejčastějších příčin degradace stavebních materiálů a konstrukcí. Typickým projevem je rozpad anorganických omítek, porézního kamene a keramických prvků, rozklad pojiva, povrchová eroze materiálu apod. Související biologické znehodnocení plísněmi a dalšími organizmy negativně ovlivňuje hygienickou kvalitu vnitřního prostředí budov. Voda může poškozovat stavební materiály také při reakci s kyselinami, které jsou produktem rozkladu látek ve vodě. Typickým příkladem je plynný oxid siřičitý, který se ve vodě rozpouští na kyselinu sírovou a oxid sírový, jenž je také kyselinotvorný. Obě kyseliny pak rozkládají vápenná a směsná vápenná pojiva [1], [2]. Konečným produktem těchto reakcí je hydratovaná sádra ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Ve zjednodušené formě může být tato reakce zapsána



Za vhodných vlhkostních podmínek vznikají velké krystaly sádry a svým tlakem přispívají k poškození materiálu.

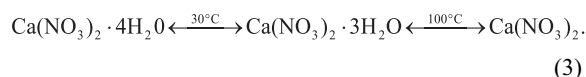
Významný je také vliv nárůstu vlhkosti na pevnost v tlaku a ohybu materiálů nosných konstrukcí. V místech s teplotou prostředí okolo 0 °C dochází k opětovnému mrznutí a tání vody obsažené v pórech materiálu. Led má v porovnání s vodou přibližně o 9 % větší objem. V důsledku tohoto cyklického jevu dochází ke vzniku krystalizačních tlaků, které v závislosti na charakteru pórovitosti a pevnosti materiálu způsobují jeho destrukci.

K části poškození stavebních konstrukcí by nedošlo, pokud by na konstrukce působila pouze čistá voda, nekontaminovaná dalšími rozpuštěnými látkami. Voda je však často pouze transportním médiem pro látky, které za specifických podmínek způsobují povrchovou i strukturální degradaci stavebních materiálů. Jedním z polutantů, jejichž transport a následnou akumulaci ve stavebních materiálech umožňuje voda, jsou ve vodě nahromaděné rozpustné soli. Jejich působení

může vést až k selhání funkce materiálu, případně k jeho destrukci. V závislosti na vnějších klimatických podmínkách, na množství a druhu soli může v materiálech stavebních konstrukcí docházet ke krystalizaci solí z roztoku, k jejich hydrataci, rekrystalizaci a zvýšené hygroskopické absorpci vodní páry. Na povrchu materiálů poté můžeme pozorovat tvorbu výkvětů a výluhů.

Krystalizace solí je fyzikálně chemický degradační děj, jehož vznik je vázán na dosažení nasycených a přesycených vodných roztoků solí v důsledku ztráty vody odpařováním. Po překročení hranice rozpustnosti začínají krystaly růst a vyvíjejí stále se zvyšující tlak na stěny porézního prostoru. Rozsah poškození pak závisí nejen na pevnosti materiálu, ale i na tvaru a rozměru jeho pórů.

Hydratace je způsobena schopností určitých solí chemicky vázat do své krystalové mřížky určité množství molekul vody. Hydratované soli pak mají větší objem a vyvíjejí tlak na stěny porézního prostoru. Pro stavební materiály jsou nejnepříhodnější soli, které mění svou hydratovanou formu za standardních klimatických podmínek. Z typických příkladů uvedme síran sodný, uhličitán sodný, dusičnan vápenatý. Průběh hydratace dusičnanu vápenatého lze zapsat rovnicí



Přestože negativní účinky vlhkosti a vodných roztoků solí na konstrukce a stavební materiály jsou ve stavební praxi a výzkumu známé a experimentálně prokázány, přesný popis současného mechanismu transportu vlhkosti a solí porézním prostředím stavebních materiálů zůstává nevyjasněnou otázkou. Tato skutečnost otevírá prostor stavebním fyzikům a inženýrům pro řešení tohoto závažného a pro stavební praxi velmi důležitého úkolu, neboť porozumění mechanismům transportu solí ve stavebních materiálech a konstrukcích představuje podstatnou informaci pro optimální návrh stavebního díla z hlediska jeho životnosti a optimální funkčnosti.

Smyslem následujícího textu je přispět k vysvětlení a popsaní mechanismu transportu vodných roztoků solí v porézním prostoru stavebních materiálů a identifikovat jeho charakteristické parametry.

Současné měření vlhkosti a koncentrace solí

Voda a ionty solí vykazují mnoho specifických vlastností, které ovlivňují chování porézních materiálů, v nichž jsou obsaženy. Je známa řada metod a měřicích zařízení pro určení obsahu vlhkosti a koncentrace solí, přičemž přítomnost iontů solí může jejich přesnost negativně ovlivňovat. Obzvláště se to projeví u relativních metod, kde sledovaná fyzikální veličina je závislá také na koncentraci solí. Proto je nutné při současném monitorování transportu vody a solí zvolit metodu, u které přítomnost iontů přesnost měře-

ní neovlivní. Ze studia odborné literatury je zřejmé, že pro taková měření jsou vhodné metody založené na měření permitivity pomocí vysokofrekvenčního mikrovlnného pole.

V tomto článku představujeme metodu TDR (Time Domain Reflectometry), jako vhodnou metodu pro měření vlhkosti, v kombinaci se sledováním koncentrace specifické soli pomocí měření elektrické vodivosti. Metoda TDR je metoda měření vlhkosti, využívající při měření mikrovlnný impuls. Její princip vychází ze sledování času a amplitudy vyslaného a zpětně odraženého mikrovlnného impulsu. Čas (rychlost) šíření impulsu závisí na komplexní relativní permitivitě porézního materiálu, která může být vyjádřena vztahem

$$\varepsilon_r = \left(\frac{ct_p}{2L_s} \right)^2, \quad (4)$$

kde ε_r je komplexní relativní permitivita porézního prostředí, c je rychlost světla ($3 \cdot 10^8$ m/s), t_p čas šíření impulsu podél jehlic sondy a L_s délka jehlice sondy umístěné v porézním prostředí.

Určování obsahu vlhkosti na základě měření relativní permitivity je založeno na skutečnosti, že relativní permitivita chemicky čisté vody je rovna cca 80 při 20 °C [3], zatímco u většiny suchých materiálů se pohybuje v rozmezí 2-6. K evaluaci obsahu vlhkosti z dat relativní permitivity se používají tři postupy:

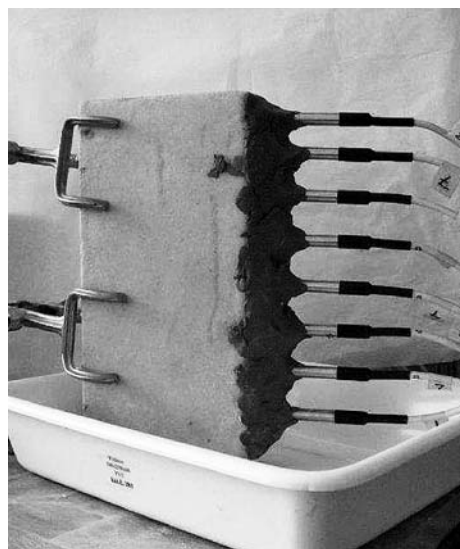
- první možností je použití empirických konverzních funkcí. Na základě analýzy publikované v práci [4] lze prohlásit, že existuje mnoho empirických převodních funkcí, ovšem použitelných s určitou přesností pouze pro určitou skupinu materiálů. Mají vždy podobnou porézní strukturu, uspořádání částic v mikrostruktuře a také objemová hmotnost a hustota matrice je u nich obdobná;
- převod TDR dat na hodnoty obsahu vlhkosti využitím dielektrických směšovacíh modelů, které vycházejí z předpokladu znalosti relativní permitivity matrice materiálu, vody, vzduchu a ostatních parametrů, které musí být určeny empirickou kalibrací zvoleného modelu. Dielektrické směšovací modely byly ověřovány v mnoha aplikacích v praxi a jejich použití je jistě perspektivnější než v případě empirických konverzních funkcí [5]-[7];
- empirická kalibrace pro specifický materiál využitím referenční metody, např. gravimetrické. Tato dosud nejspolehlivější metoda byla použita také v tomto článku.

Experiment

Při experimentu pro určení profilů vlhkosti a koncentrace soli (obr. 1) byla jedna část vzorku v kontaktu s 1 M roztokem NaCl, přičemž bylo umožněno pouze vertikální vsakování roztoku do materiálu. Vzorek ve tvaru hranolu o rozměrech 50x100x300 mm byl na bočních stěnách parotěsně izolován epoxidovou pryskyřicí, aby byl zajištěn pouze jedno-ozměrný transport vlhkosti a chloridových iontů. Byl osazen osmi sondami se dvěma jehlicemi typu LP/ms (Easy Test), které umožňují měřit komplexní relativní permitivitu a elektrickou vodivost. Nerezové čidlo sondy se skládá ze dvou paralelních nerezových jehlic o délce 53 mm, \varnothing 0,8 mm. Vzájemná vzdálenost jehlic je 5 mm [3]. Pole sondy ve tvaru válce o poloměru 7 mm a výšce 60 mm, v němž měření probíhá (tab. 1), se nachází okolo jehlic sondy.

Vysokofrekvenční zařízení TDR/MUX/mt, použité k měření, pracuje na principu TDR s frekvencí okolo 1,8 GHz. Používá pulsy ve tvaru kvadratické sinusoidy (\sin^2) s dobou

dosažení amplitudy cca 250 ps. Do suchého vzorku byly silikonovým tmelem připevněny sondy. Vzhledem k tomu, že materiál na bázi kalcium silikátu je poměrně měkký, stačilo do něj sondy zatlačit. Po umístění vzorku do misky s 1,0 M roztokem NaCl začal transport roztoku do materiálu. Po celou dobu experimentu se sledovala komplexní relativní permitivita a elektrická vodivost, přičemž data byla kontinuálně ukládána do počítače. Po ukončení experimentu byly sondy vyndány a vzorek rozřezán na osm částí. V jednotlivých částech vzorku byl referenční metodou určen obsah vlhkosti a koncentrace chloridů. Obsah vlhkosti byl určen gravimetrickou metodou, koncentrace chloridů byla určena z výluhů z jednotlivých částí vzorku iontově selektivní elektrodou (zařízení pH/ION 340i). Tímto postupem byla sestavena empirická kalibrační křivka metody TDR pro kalcium silikát. Jde o materiál, který má značné tepelně izolační vlastnosti a vysokou otevřenou porozitu (87 %), malou hustotu (230 kg/m³). Z hlediska chemického složení jde o Ca₂SiO₄.



Obr. 1. Prostorové uspořádání experimentu

Tab. 1. Přesnost a rozsah měření senzorů

Veličina	Rozsah měření	Přesnost
komplexní relativní permitivita ε	2 – 90	absolutní chyba ±1 pro $2 \leq \varepsilon \leq 6$ ±2 pro $\varepsilon \geq 6$
elektrická vodivost σ	0 – 1 S/m	relativní chyba ±5 %

Vlhkostní vodivost a součinitel difúze pro chloridové ionty

Součinitele vlhkostní vodivosti a difúze chloridů představují nezbytná vstupní data pro aplikaci matematických modelů simulujících současný transport vlhkosti a chloridových iontů v porézních stavebních materiálech. Jejich znalost je velice důležitá i pro hodnocení a klasifikaci transportních vlastností jednotlivých stavebních materiálů, zejména v procesu řízeného návrhu stavebních konstrukcí. Byly určeny inverzní analýzou z dat vlhkostních a chloridových koncentračních profilů.

Zásadním krokem při inverzní analýze experimentálních dat je volba matematicko-fyzikálního modelu pro popis trans-

portu vlhkosti a solného roztoku. Jelikož se stěžejní část článku zabývá ověřením použitelnosti metody TDR pro monitorování transportu solného roztoku, předpokládáme v inverzní analýze pouze difúzní mechanismus transportu vlhkosti a chloridových iontů. Stanovený součinitel difúze chloridů tedy nezahrnuje pouze difúzi chloridových iontů, ale i vliv vázání části iontů na povrch pórů, advekci iontů vodou, povrchovou difúzi, osmózu, případně elektrochemické jevy. Určený difúzní koeficient můžeme tedy označit přívláskem efektivní. Přestože jsme ve výpočtech předpokládali pouze difúzní mechanismus transportu solného roztoku, v porovnání se základním Fickovým difúzním modelem, uvažujeme závislost součinitele vlhkostní vodivosti na vlhkosti $\kappa(w)$ i závislost efektivního difúzního koeficientu chloridů na jejich koncentraci $D(C)$. Za těchto předpokladů zapíšeme bilanční rovnici pro množství soli ve tvaru

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \text{div}(D(C)\text{grad}C), \quad (5)$$

kde C je koncentrace soli [kg/m^3] a D komplexní difúzní koeficient soli [m^2/s]. Tímto způsobem je transport solného roztoku popsán obdobnou parabolickou rovnicí se stejnými vstupními a okrajovými podmínkami, jako je tomu při popisu transportu čisté vody pomocí nelineární difúzní rovnice. Z tohoto důvodu byla pro výpočet efektivního difúzního koeficientu z naměřených koncentračních profilů chloridů použita stejná inverzní metoda, jaká se běžně používá pro určení vlhkostní vodivosti v závislosti na vlhkosti či tepelné vodivosti v závislosti na teplotě. V této práci jsme tedy bilanční rovnici (5) použili jak pro stanovení funkce $\kappa(w)$, tak pro stanovení funkce $D(C)$. Při výpočtu jsme vycházeli ze znalosti pole koncentrace $C(x, t)$ a pole obsahu vlhkosti $w(x, t)$, určených z popsání experimentu. Matanovou metodou [8] a dvěma Boltzmannovými transformacemi byly sestaveny finální rovnice pro výpočet efektivního difúzního koeficientu chloridových iontů

$$D(C_0) = \frac{1}{2t_0 \left(\frac{dC}{dz}\right)_{z=z_0}} \int_{z_0}^{\infty} z \frac{dC}{dz} dz \quad (6)$$

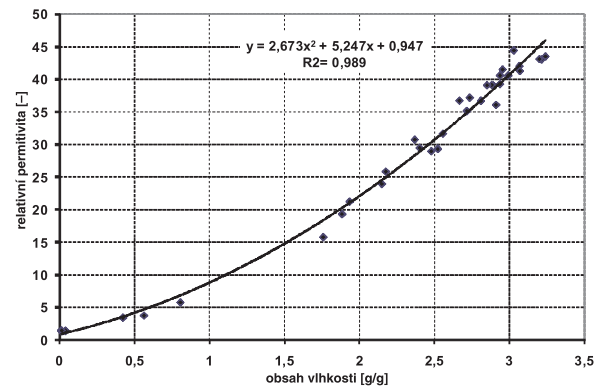
a vlhkostní vodivosti

$$\kappa(w_0) = \frac{1}{2t_0 \left(\frac{dw}{dz}\right)_{z=z_0}} \int_{z_0}^{\infty} z \frac{dw}{dz} dz, \quad (7)$$

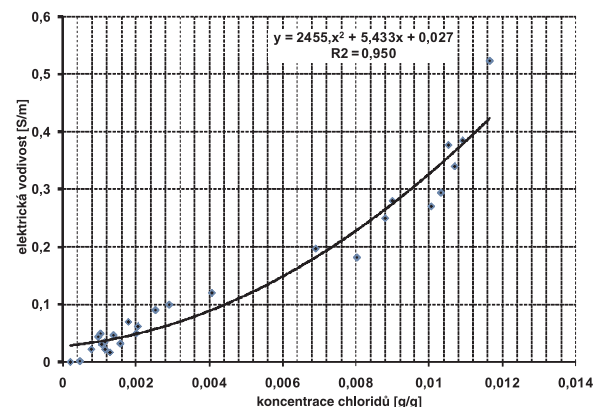
kde $C_0 = C(z_0, t_0)$ je koncentrace soli v pozici z_0 a čase t_0 , $w_0 = w(z_0, t_0)$ je odpovídající obsah vlhkosti v čase t a poloze z . Integrace rovnic (6) a (7) byla řešena běžnou numerickou integrační metodou, jakou je Simpsonovo pravidlo. Podrobnosti o inverzní analýze experimentálních dat lze nalézt v práci [9].

Výsledky

Kalibrační křivky metody TDR pro stanovení obsahu vlhkosti a koncentrace chloridů jsou prezentovány na obr. 2 a obr. 3. Naměřená data ukazují vztah mezi relativní permitivitou a vlhkostí a mezi elektrickou vodivostí a koncentrací chloridů. Znalost těchto údajů je pro aplikaci použité metody ke sledování současného transportu vlhkosti a chlorido-

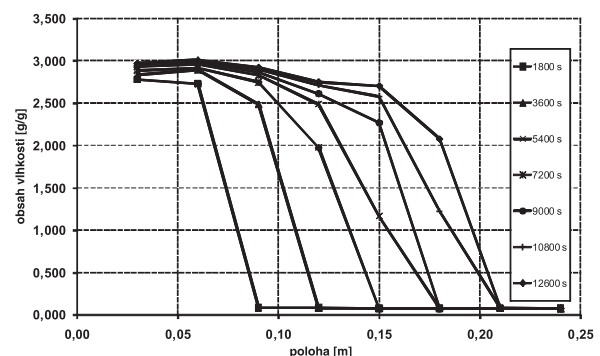


Obr. 2. Relativní permitivita kalcium silikátu jako funkce obsahu vlhkosti



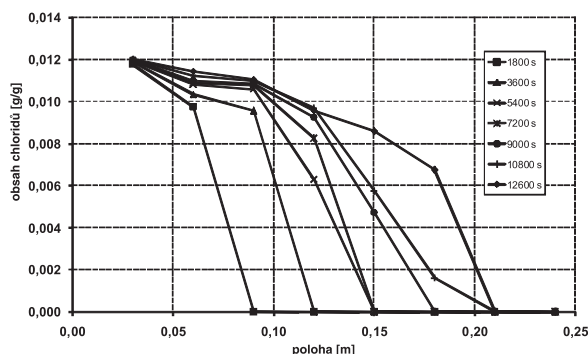
Obr. 3. Závislost měřené elektrické vodivosti kalcium silikátu na koncentraci chloridů

vých iontů zásadní. Z důvodů kalibrace byla získaná data proložena jednoduchou polynomickou křivkou, kterou lze tedy označit za kalibrační křivku metody TDR pro sledování transportu vodného roztoku chloridů v kalcium silikátu. Experimentálně naměřené profily vlhkosti a chloridové koncentrace na obr. 4 a obr. 5 ukazují rychlost transportu vlhkosti a šíření iontů ve studovaném materiálu.



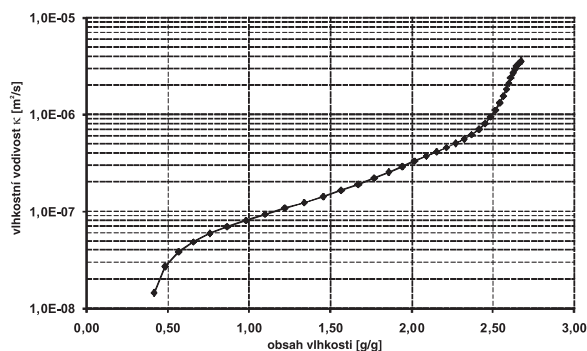
Obr. 4. Vlhkostní profily naměřené metodou TDR pro kalcium silikát

Závislost součinitele vlhkostní vodivosti na obsahu vlhkosti zachycuje obr. 6, efektivní difúzní součinitel chloridů jako funkce jejich koncentrace je na obr. 7. Jak je z obrázků zřejmé, je vždy nutné brát v potaz závislost transportních parametrů na vlhkosti a koncentraci chloridů, neboť hodnoty obou parametrů se výrazně liší pro jednotlivé koncentrace vlhkosti a soli. Zanedbání této závislosti v počítačových

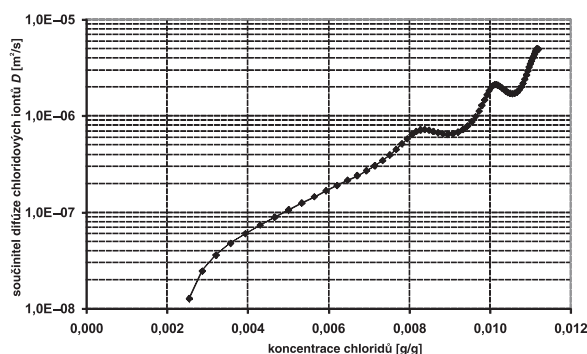


Obr. 5. Profily koncentrace chloridů určené pomocí metody TDR

simulacích by podstatně ovlivnilo přesnost simulací a jejich výsledky by neodpovídaly skutečnosti. Z dat na obr. 6 a obr. 7 je zřejmé, že součinitel vlhkostní vodivosti a efektivní součinitel difúze chloridových iontů nabývají hodnot v rozmezí čtyř řádů. Při nižší koncentraci chloridů (menší než 0,005 g/g) se hodnota efektivního součinitele difúze blíží hodnotě difúzního součinitele volných chloridových iontů ve vodě. Při nárůstu koncentrace však jeho hodnota rapidně stoupá. Tento výsledek potvrzují také experimentální měření, neboť při nárůstu koncentrace chloridových iontů dochází zároveň k urychlení jejich transportu.



Obr. 6. Součinitel vlhkostní vodivosti kalcium silikátu



Obr. 7. Efektivní součinitel difúze chloridových iontů pro kalcium silikát

Závěr

Prezentovaný experiment dokazuje vhodnost metody TDR pro současné sledování transportu vlhkosti a iontů ve vodě rozpustných solí ve stavebních materiálech. Toto zjištění má velký význam zejména pro stavební praxi, neboť přesná a spolehlivá měřicí zařízení pro určování obsahu vlhkosti a solí jsou nezbytná. Přesné stanovení efektivního sou-

činitele difúze pro chloridové ionty je velmi důležité, neboť dává informace pro aplikaci materiálu, kterým je v tomto případě kalcium silikát. Získaná data je možné využít v počítačových modelech simulujících transport vlhkosti a chloridových iontů v materiálech na bázi kalcium silikátu, které umožňují simulovat poškození materiálu působením solí, a následně odhadnout jeho životnost.

Výzkum byl podpořen výzkumným záměrem MSM 684 077 00 31 MŠMT ČR.

Literatura

- [1] Rovnaníková, P.: Environmental Pollution Effects on other Building Materials (Chapter 7). Environmental Deterioration of Materials, ed. A. Moncmanová. Southampton, WIT Press 2007, pp. 217-247.
- [2] Moncmanová, A.: Environmental Factors that Influence the Deterioration of Materials (Chapter 1). Environmental Deterioration of Materials, ed. A. Moncmanová. Southampton, WIT Press 2007, pp. 1-21.
- [3] Malicki, M. – Skierucha, W. M.: A Manually Controlled TDR Soil Moisture Meter Operating with 300 ps Rise-Time Needle Pulse. Irrigation Science, Vol. 10, 1989, pp. 153-163.
- [4] Fiala, L. – Pavlík, Z. – Jiříčková, M. – Černý, R. – Sobczuk, H. – Suchorab, Z.: Measuring Moisture Content in Cellular Concrete Using The Time Domain Reflectometry Method. CD-ROM Proceedings of 5th International Symposium on Humidity and Moisture, J. Brionizio, P. Huang (eds.), Inmetro, Rio de Janeiro, paper No. 103, 2006.
- [5] Dobson, M. C. – Ulaby, F. T. – Hallikainen, M. T. – El-Rayes, M. A.: Microwave Dielectric Behavior of Wet Soil, Part II: Dielectric Mixing Models, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing GE-23, 1985, pp. 35-46.
- [6] Jacobsen, O. H. – Schjonning, P.: Comparison of TDR Calibration Functions for Soil Water Determination. Proceedings of the Symposium Time-Domain Reflectometry – Applications in Soil Science, L. W. Petersen and O. H. Jacobsen (eds.). Danish Institute of Plant and Soil Science, Lyngby, 1995, pp. 25-33.
- [7] Pavlík, Z. – Fiala, L. – Pavlíková, M. – Černý, R. – Sobczuk, H. – Suchorab, Z.: Calibration of the Time Domain Reflectometry Method for Measuring Moisture Content in AAC of Various Bulk Densities. ISEMA 2007, Hamamatsu: Shizuoka University, 2007, pp. 151-158.
- [8] Matano, C.: On the Relation between the Diffusion Coefficient and Concentration of Solid Metals. Jap. J. Phys., 8, 1933, pp. 109-115.
- [9] Fiala, L. – Pavlík, Z. – Pavlíková, M. – Černý, R.: Water and Chloride Transport Properties of Materials of Historical Buildings. Recent Developments in Structural Engineering, Mechanics and Computation. Millpress Science Publishers, Rotterdam, 2007, pp. 581-582.

Pavlík, Z. – Mihulka, J. – Pavlíková, M. – Černý, R.: Monitoring of Coupled Moisture and Chloride Ions Transport Using Vertical Suction Experiment

In this paper, newly developed methodology for experimental monitoring of coupled moisture and chloride ions transport is introduced. The experiment is done in the conditions of one-sided 1.0 M NaCl solution vertical uptake into a sample of calcium silicate.

Pavlík, Z. – Mihulka, J. – Pavlíková, M. – Černý, R.: Verfolgung des gleichzeitigen Transportes von Feuchtigkeit und Chlorid-Ionen im Rahmen eines vertikal angeordneten Sorptionsversuchs

Im Artikel wird ein neues Laborverfahren für die Verfolgung des gleichzeitigen Transportes von verflüssigter Feuchtigkeit und Chlorid-Ionen in porösen Baustoffen vorgestellt.

Hodnocení biologického stavu vodních toků screeningovou metodou

Mgr. Gabriela ŠTASTNÁ, Ph.D.

Dr. Ing. Ivana KABELKOVÁ

Ing. David STRÁNSKÝ, Ph.D.

ČVUT – Fakulta stavební
Praha

Článek hledá přípustné zjednodušení odběru a zpracování vzorku makrozoobentosu metodou CABIN a podvzorkování se standardní metodikou AQEM. Zjednodušený odběr vzorků nebyl zatížen systematickou chybou. Podvzorkování se ukázalo být velmi vhodné pro stanovení celkového počtu jedinců, saprobního indexu a indexu diverzity a méně vhodné pro ostatní sledované charakteristiky.

Úvod

V rámci hodnocení ekologického stavu vodních toků v Evropě je posuzován i jejich biologický stav. Standardem se stala metodika AQEM (A Comprehensive Method to Assess European Stream Using Benthic Macroinvertebrates) [1], založená na faktu, že různé typy toků jsou osidlovány různými společenstvy makrozoobentosu. Sledovaný tok je přiřazen určitému typu toku a jeho společenstvo je porovnáváno s typově specifickými referenčními společenstvy z programové databáze. Na základě získaných výsledků je klasifikován jeho ekologický stav, a zároveň jsou identifikovány pravděpodobné příčiny degradace (např. acidifikace, poškození morfologie, organické znečištění).

Tato metodika je časově i finančně velmi náročná, a tudíž pro účely generalů městského odvodnění, které požadují identifikaci a lokalizaci hlavních příčin narušení vodních toků v důsledku vypouštění dešťových vod, a tím i prostorově náročné vzorkování, často nepoužitelná. Navíc je pro zjištění účinnosti nápravných opatření nutné provádět biologické posuzování městských toků opakovaně.

Cílem našeho projektu proto bylo navrhnout a ověřit zjednodušený odběr a zpracování vzorků makrozoobentosu a kvantifikovat jeho nejistoty a potenciál finanční úspory v jednotlivých krocích (tj. odběr vzorků a laboratorní zpracování) v porovnání se standardní metodikou AQEM. Vzhledem k tomu, že městské toky jsou často morfologicky významně narušeny a mají monotónní habitáty, byl též sledován vliv ekomorfologického stavu na možné zjednodušení. Tento příspěvek přináší první výsledky projektu.

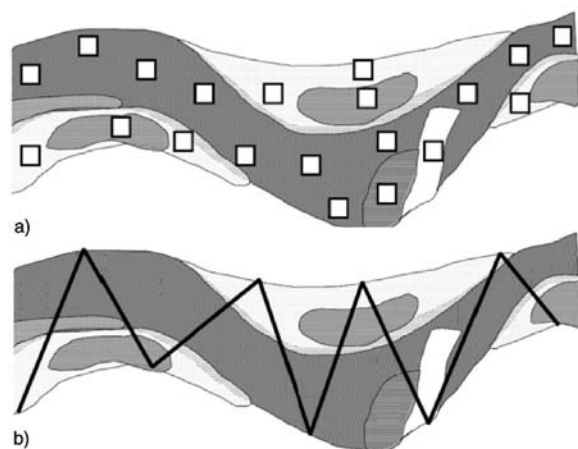
Metody

V prvním kroku byly odebrány vzorky ze dvou toků s různým ekomorfologickým stavem detailním vzorkováním a zjednodušeným vzorkováním. Ve druhém kroku byly ověřovány možnosti zjednodušení při laboratorním zpracování. První sledovaný úsek na Pitkovickém potoce (km 2,3-2,5) leží na východ od Prahy. Ekomorfologický stav toku je blízký stavu přírodnímu. Průměrná hloubka vody během vzorkování byla 0,37 m, šířka vodní hladiny 2,5 m. Druhý sledo-

vaný úsek byl na Botiči (km 3,2-3,4), jehož koryto je regulováno (napříměno a nepropustně zpevněno), tj. ekomorfologický stav toku je umělý. Průměrná hloubka vody zde byla 0,29 m, šířka 3 m. Ekomorfologický stav obou toků byl hodnocen podle metodiky BUWAL [2].

Zjednodušení odběru vzorků

Podle AQEM [1] byly vzorky odebrány metodou kopané vzorku z 20 bodů proporcionálně rozdělených tak, aby zahrnovaly všechny mikrohabitáty v toku, které představují víc než 5 % celkové plochy [1] (obr. 1a). Zjednodušený odběr byl proveden podle kanadské metodiky CABIN [6], podle níž je vzorek rovněž odebrán metodou kopané vzorku, avšak tok je procházen „cik-cak“, od jednoho břehu ke druhému tak, aby byly opět zahrnuty všechny mikrohabitáty (obr. 1b). Odběry probíhaly na jaře a na podzim roku 2006 (tj. celkem osm vzorků), čistý odběrový čas byl tři minuty.



Obr. 1. Odběr vzorků
a – AQEM [1], b – CABIN [6]

Pro možnost porovnání obou metod odběru byl ve všech vzorcích zjištěn počet druhů a jedinců a ze získaných výsledků vypočten index podobnosti společenstev odebraných rozdílnými metodami (tab. 1). Při posuzování vlivu městského odvodnění je lokalita považována za narušenou, pokud v porovnání s referenční lokalitou (obvykle místo nad zdrojem narušení) je rozdíl v počtu jedinců větší než 30 %, nebo v počtu druhů větší než 20 %, nebo tři a více druhů s minimálně střední abundancí či alespoň jeden druh s vysokou abundancí se nepřekrývají [3]. Pro zachování možnosti identifikovat významné zdroje narušení musí být relativní chyba zjednodušené metody v porovnání s metodou standardní menší než zmíněné hodnoty. Metody odběru lze považovat za srovnatelné, pokud jejich index vzájemné podobnosti překročí 80 % [7].

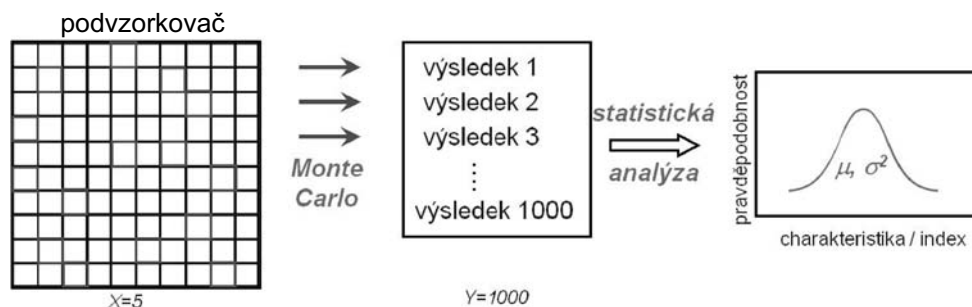
Tab. 1. Biologické charakteristiky a indexy

Charakteristika Index	Vzorec	Označení		Poznámka
počet druhů [1]	i	–	–	organické znečištění, morfologické narušení a obecná degradace
počet jedinců [4]	n_i	n_i	abundance i -tého druhu	hydraulický stres
abundance	$n = \sum_i n_i$	n_i	viz výše	–
diverzita [1]	$H = -\sum \left(\frac{n_i}{n} \right) \cdot \log \left(\frac{n_i}{n} \right)$	n_i n	viz výše viz výše	morfologické narušení
saprobní index [1]	$S_i = \frac{\sum_{i=1}^s s_i \cdot h_i \cdot i_i}{\sum_{i=1}^s h_i \cdot i_i}$	s_i h_i i_i	individuální saprobní index abundance i -tého druhu váha i -tého druhu	organické znečištění
index BMWP [1]	$\text{BMWP} = \sum \text{score}$	–	–	organické znečištění
index ASPT [1]	$\text{ASPT} = \frac{\text{BMWP}}{\text{SU}}$	SU	počet skórujících taxonů	organické znečištění
Sörensenův index podobnosti [5]	$S_o = \frac{2 \cdot s}{j + d} \cdot 100$	j d s	počet druhů: - v prvním vzorku - ve druhém vzorku - společných v obou vzorcích	přítomnost druhů
Brayův-Curtisův index podobnosti [8]	$\text{BC} = 0,5 \left(\sum_{i=1}^s |p_{ij} - p_{ik}| \right)$	p_{ij} p_{ik}	zastoupení: i -tého druhu ve vzorku j i -tého druhu ve vzorku k	přítomnost druhů, jejich abundance

Zjednodušení laboratorního zpracování

Všechny vzorky získané oběma metodami (tj. celkem 8 vzorků) byly v laboratoři zpracovány metodou podvzorkování (subsampling) s použitím subsampleru složeného ze 100 buněk. V prvním kroku byly z každé buňky vybrány, určeny a spočítány jednotlivé organismy. Vzorek zahrnující organismy ze všech 100 buněk byl považován za referenční.

Možné zjednodušení podvzorkováním bylo zjišťováno pomocí náhodného výběru metodou Monte Carlo (obr. 2), při němž byly ověřovány různé scénáře dalšího zpracování s výběrem jen určitého počtu buněk. V každém kroku byl z podvzorku náhodně vybrán požadovaný počet buněk x a na základě organismů v nich nalezených byly vypočteny základní charakteristiky a indexy. Tento náhodný výběr byl



Obr. 2. Příklad použití metody Monte Carlo náhodného výběru

opakován y -krát ($y = 1\ 000$). Výsledkem pak bylo y možných hodnot každé charakteristiky a indexu, které byly dále statisticky analyzovány pro získání funkce rozdělení hustoty pravděpodobnosti (bylo uvažováno normální rozdělení). Popsaný proces se prováděl pro různé hodnoty x v rozmezí 1 do 99, aby bylo možné zjistit vztah mezi počtem vybraných buněk a nejistotou hodnocené charakteristiky nebo indexu. Vypočtená standardní nejistota je typu A a pro prezentaci výsledků byla vyjádřena jako nejistota rozšířená na interval spolehlivosti $\pm 90\%$.

Pro vyhodnocení procesu podvzorkování byly použity základní charakteristiky a indexy uvedené v *tab. 1*. Pro počty druhů a jedinců byly zvolené přípustné nejistoty stejné jako pro vzorkování, pro další indexy byla zvolena jako maximální přípustná nejistota 10% . Následně byl odvozen minimální počet buněk, které je nutno zpracovat, aby nebyla překročena zvolená nejistota pro jednotlivé charakteristiky a indexy na 90% hladině spolehlivosti.

Výsledky a diskuze

Nejistoty zjednodušeného odběru vzorků

Počet druhů nalezených zjednodušenou metodou na stejné lokalitě byl proti počtu druhů nalezených standardní metodou AQEM jednou nižší, dvakrát vyšší a jednou stejný (*tab. 2*). Lze tedy říci, že zjednodušená metodika není zatížena systematickou chybou. Maximální povolená hranice 20% rozdílu v počtu nalezených druhů byla překročena pouze jednou (23%). Maximální hranice 30% rozdílu v počtu jedinců byla překročena u vzorku odebraného na podzim na Botiči (113%). Pravděpodobnou příčinou je velmi nízká celková abundance obou vzorků (proti ostatním odběrům), o čemž svědčí i velmi nízký index podobnosti, který přihlíží jak k přítomnosti druhů, tak jejich zastoupení ve vzorku.

Sørensenův index podobnosti, který zohledňuje jen přítomnost či nepřítomnost druhů, v tomto případě jako jediný splnil požadované kritérium a překročil 80% . Tento fakt svědčí o tom, že struktura společenstva, co do zastoupení jednotlivých taxonů, byla u obou vzorků stejná.

Další indexy podobnosti čtyřikrát překročily hranici 70% . Příčinou je fakt, že oběma metodami bylo nalezeno i několik dalších málo početných druhů, obvykle se počet jedinců pohyboval od 1 do 5 (*tab. 2*). Pouze ve dvou případech se nepřekrýval jeden druh se střední abundancí. To lze vysvětlit spíše přirozenou variabilitou mikrohabitatů než odlišností vzorkovacích metod [3].

Nejistoty zjednodušení laboratorního zpracování

Výsledky analýzy nejistot podvzorkování ukázaly, že benthické charakteristiky a indexy vykazují dva typy chování, přičemž střední hodnota:

- je ovlivněna systematickou chybou a liší se od referenční;
- koresponduje s referenční hodnotou.

Chování jednotlivých charakteristik a indexů je dále demonstrováno na jarním vzorku z Pitkovického potoka, odebraném metodou AQEM.

■ Střední hodnota zatížená systematickou chybou

Tento typ chování je typický pro počty druhů (*obr. 3*) a benthické indexy na nich přímo závislé, tj. BMWP a ASPT. Díky snižující se pravděpodobnosti nalezení druhů s nízkou abundancí vede podvzorkování k systematickému podhodnocení počtu druhů. Aby nebyla překročena 20% nejistota v počtu nalezených druhů, bylo v uvedeném vzorku potřeba zpracovat alespoň 43 buněk.

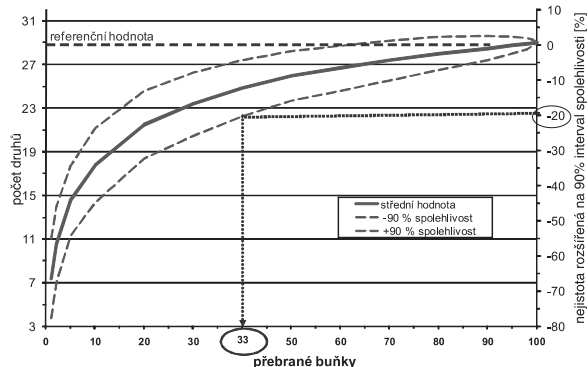
Proti počtu druhů a indexu BMWP, jejichž hodnoty jsou díky podvzorkování vždy nižší, může u indexu ASPT v porovnání s referenční hodnotou podvzorkování vést jak

Tab. 2. Benthické charakteristiky a indexy získané odběrem vzorků dvěma metodami*

Ekomorfologie	Metoda	Počet druhů		Počet jedinců		Podobnost [%]	
		celkový	společných	celkový	odlišné druhy	Sørensen	BC
přítodě blízký (Pitkovický potok)	A-J	22		5 487			
	S-J	26	21	3 741	1-5	73	54
	rozdíl [%]	18		23			
	A-P	29		3 205			
tůmělý (Botič)	S-P	27	23	3 192	1-11	75	70
	rozdíl [%]	-7		0			
	A-J	13		13 348			
	S-J	16	10	12 138	1-17	76	90
tůmělý (Botič)	rozdíl [%]	23		-9			
	A-P	13		873			
	S-P	13	11	1 858	1-9	58	58
	rozdíl [%]	0		113			

* A = AQEM, S = zjednodušená, J = jaro, P = podzim

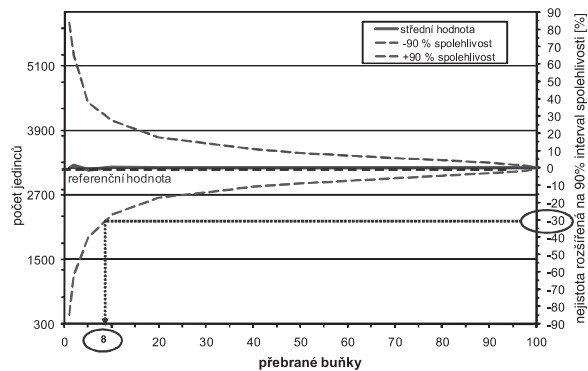
ke snížení (u malého počtu zpracovaných buněk), tak k mírnému zvýšení jeho hodnoty (při středním počtu zpracovaných buněk).



Obr. 3. Příklad závislosti počtu nalezených druhů na počtu přebraných buněk (maximální povolená nejistota, v tomto případě 20 %, je vztažena ke spodní hranici intervalu spolehlivosti jako horší variantě)

■ Střední hodnota bez systematické chyby

Toto rozdělení je charakteristické pro počet jedinců (obr. 4) a saprobní index a diverzitu, jejichž hodnoty nejsou podvorkováním zatíženy systematickou chybou. Nejistota střední hodnoty se významně snižuje se zvyšujícím se počtem zpracovaných buněk. Aby nebyla překročena 30% nejistota pro celkový počet jedinců, stačí zpracovat 8 buněk ze 100. Zároveň 2 zpracované buňky postačí k dosažení 5% nejistoty v hodnotě saprobního indexu, který lze proto považovat za velmi robustní charakteristiku.



Obr. 4. Příklad závislosti počtu nalezených jedinců na počtu přebraných buněk (maximální povolená nejistota, v tomto případě 30%, může být vztažena k horní i spodní hranici intervalu spolehlivosti)

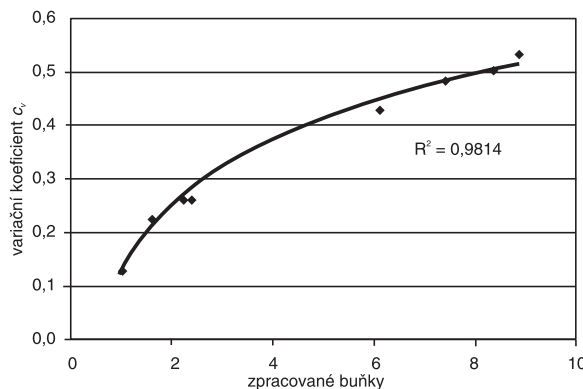
Stejně tak závislost hodnoty indexu diverzity na počtu zpracovaných buněk je poměrně symetrická, nicméně jeho hodnoty v případě zpracování méně než 5 buněk mohou být mírně podhodnoceny.

■ Přijatelné laboratorní zjednodušení

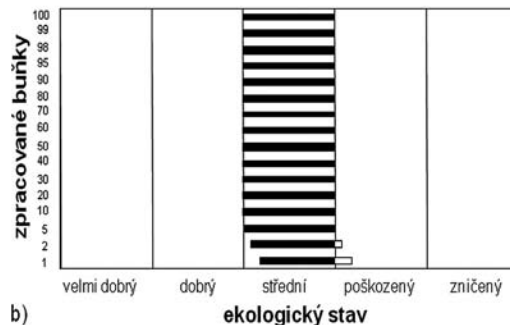
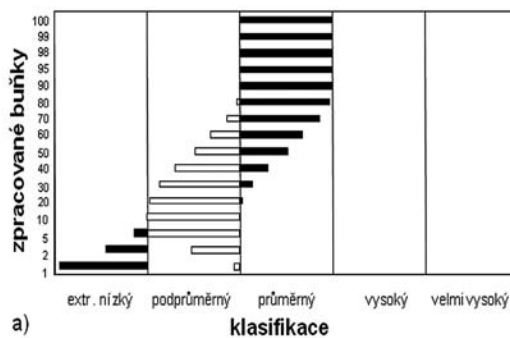
Minimální počty buněk podvorku, které je nutno zpracovat, aby nebyla překročena povolená nejistota pro jednotlivé charakteristiky a indexy, jsou uvedeny v tab. 3. Tyto hodnoty byly odvozeny na základě hodnocení všech 8 vzorků. Kromě počtu druhů a indexu BMWP, pro které je nutno zpracovat alespoň 48, resp. 76 buněk, je pro ostatní charakteristiky a indexy při zachování požadované 90% přesnosti dostačující zpracovat 33 či méně buněk.

Tab. 3. Dosažení požadované přesnosti

Charakteristika Index	Povolená nejistota [%]	Průměrný počet buněk	Min/Max	Doporučený počet buněk
počet jedinců	30	6	1–9	8
počet druhů	20	42	29–62	48
saprobní index	10	3	1–8	5
diverzita	10	12	1–23	16
index BMWP	10	69	50–92	76
index ASPT	10	20	2–79	33



Obr. 5. Vztah mezi koeficientem variace a počtem buněk potřebných k dosažení požadované 70% přesnosti stanovení počtu jedinců



Obr. 6. Klasifikace ekologického stavu toku a – založená na počtu druhů, b – na saprobním indexu v závislosti na počtu zpracovaných buněk

Rozpětí min/max počtu potřebných buněk souvisí s rovnoměrností rozdělení v subsampleru. Tuto rovnoměrnost lze popsat koeficientem variace ($c_v = \sigma/\mu$), který se pro jednotlivé vzorky lišil. S rostoucím koeficientem variace roste i počet buněk subsampleru, který je třeba analyzovat. V případě počtu jedinců je tento vztah velmi těsný ($R^2 = 0,99$) (obr. 5) stejně jako v případě saprobního indexu ($R^2 = 0,95$). V praxi to znamená, že po zpracování doporučeného počtu buněk pro jednotlivé charakteristiky je vhodné pomocí koeficientu variace zkontrolovat rovnoměrnost rozdělení vzorku a v případě, že je koeficient příliš vysoký, je nutné zpracovat další buňky.

■ Riziko špatné klasifikace stavu toku způsobené podvzorkováním

S nejistotou podvzorkování se v případě klasifikace stavu vodních toků na základě indexů, které jsou zatíženy systematickou chybou, objevuje vysoké riziko špatného zařazení toku (rozdíl až dvě třídy – obr. 6a). Proti tomu riziko špatné klasifikace na základě indexů a charakteristik se střední hodnotou bez systematické chyby je velmi nízké (obr. 6b). Je však nutno poznamenat, že míra rizika závisí na pozici referenční hodnoty vůči hraničním hodnotám jednotlivých tříd. V případě, že hodnoty leží blízko jedné z hranic, riziko špatné klasifikace roste.

Závěry

Dosavadní výsledky ověřování zjednodušené metodiky odběru a zpracování vzorku makrozoobentosu lze shrnout takto:

- zjednodušený odběr vzorku není zatížen systematickou chybou;
- vliv rozdílné morfologie toků nebyl patrný;
- použitím zjednodušeného vzorkování se zkrátí čas strávený na jedné lokalitě o 20 minut, což umožní navštívit více lokalit za den, a tím snížit cestovní náklady;
- laboratorní zpracování vzorku podvzorkováním je vhodné pro stanovení počtu jedinců, saprobního indexu a indexu diverzity;
- méně vhodné je pro stanovení počtu druhů a indexů na něm přímo závislých (např. indexy BMWP a ASPT). V tomto případě díky podvzorkování nastává riziko špatné klasifikace stavu toku, a tím i ohodnocení míry narušení toku;
- v případě, že je podvzorkování vhodné, představuje výraznou úsporu času, a tím i financí. Zatímco zpracování celého vzorku (100 buněk) zabere okolo 25 h, zpracování 10 buněk zabere 2,5 h;
- rovnoměrnost rozložení vzorku v podvzorku je možné kontrolovat pomocí koeficientu variace.

Zjednodušená metodika odběru a zpracování vzorku pro účely generelů městského odvodnění se ukazuje jako vhodná, nicméně je nezbytné její další ověřování na větším počtu toků. Konečným výstupem projektu bude doporučení rychlejší metodiky proti standardní AQEM, která však zachová požadovanou přesnost vybraných charakteristik a indexů popisujících strukturu a kvalitu společenstva makrozoobentosu.

Článek vznikl s podporou projektu č. 103/08/P264 GA ČR.

Literatura

- [1] AQEM Consortium: Manual for the Application of the AQEM System, Project under the 5th Framework Programme Energy The Development and Testing of an Integrated Assessment System for the Ecological Quality of Streams and Rivers throughout Europe using Benthic Macroinvertebrates; 1st deliverable, due to 31/8/00, Entitled: Stream Assessment Methods, Stream Typology Approaches and Outlines of a European Stream Typology. Contract No: EVK1-CT1999-00027, 2002.
- [2] BUWAL: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer: Ökomorphologie Stufe F, Mitteilungen zum Gewässerschutz, Nr. 27, 1998.
- [3] BWK: Begleitband zu dem BWK-Merkblatt 3, (2003).
- [4] Gammeter, S.: Einflüsse der Siedlungsentwässerung auf die Invertebraten – Zönose kleiner Fließgewässer, Diss. ETH Nr. 11673, Zürich, 1996,
- [5] Legendre, P. – Legendre, L.: Numerical Ecology. 2nd English ed. Amsterdam, Elsevier 1998.
- [6] Reynoldson, T. B. – Logan, C. – Pascoe, T. – Thompson, S. P.: CABIN (Canadian Aquatic Biomonitoring Network) Invertebrate Biomonitoring Field and Laboratory Manual, Environment Canada, 2003.
- [7] Taylor, B. – Kovats, Z.: Review of Artificial Substrates for Benthos Sample Collection, For Canada Center for Mineral and Energy Technology, 1995, www.nrcan.gc.ca/mms/canmet-mtb/mmsl-lmsm/enviro/reports/3_2_1.pdf
- [8] Ziglio, G. – Siligardi, M. – Flaim, G.: Biological Monitoring of Rivers: Applications and Perspectives. London, John Wiley and Sons 2006.

Šťastná, G. – Kabelková, I. – Stránský, D.: Assessment of Biological Condition of Water Courses by Screening Method

Acceptable simplification of macroinvertebrates field sampling and laboratory processing (field sampling by the CABIN method and laboratory subsampling) compared with the standard AQEM method was examined. The simplified field sampling contained no systematic error. The subsampling is very suitable for the determination of the total number of individuals, saprobity and diversity indexes and less suitable for other characteristics.

Šťastná, G. – Kabelková, I. – Stránský, D.: Bewertung des biologischen Zustands von Wasserläufen mit der Screeningmethode

Der Artikel vergleicht die zulässige Vereinfachung der Entnahme und Verarbeitung von Proben von Makrozoobenthos mit der CABIN-Methode und das Subsampling mit der Standardmethode AQEM. Die vereinfachte Feldentnahme war durch keinen systematischen Fehler belastet. Das Subsampling hat sich als sehr geeignet für die Bestimmung der Anzahl der Individuen, des Saprobieindex und der Diversität und weniger geeignet für andere Charakteristiken erwiesen

Stanovení terénních deformací třísnímkovou diferenční interferometrií

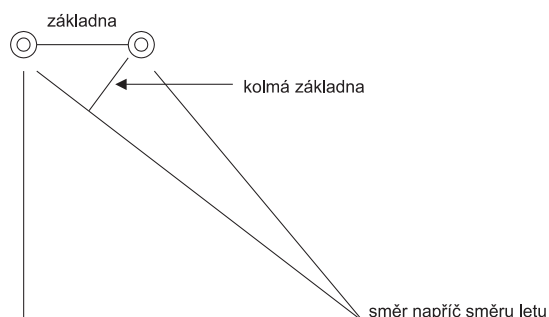
Mgr. Milan BOŘÍK, Ph.D.

ČVUT – Fakulta stavební
Praha

Bylo užito třísnímkové metody tak, že jeden pár byl stanoven jako neobsahující terénní deformaci. Druhý pár je tzv. deformační pár. Z diferenčního interferogramu se snažíme odstranit topografickou složku fáze. Tento interferogram obsahuje topografickou, deformační a atmosférickou část. Zaměřili jsme se konkrétně na oblast Slatinické výsypky, jež je sledována z důvodu možných terénních deformací.

Úvod

Interferometrie je metoda, která využívá koherentního záření k určení prostorových vztahů na zemském povrchu. Družice vybavená aparaturou SAR snímá totéž území pod mírně se lišícím úhlem pohledu. Dvě družice (ERS-1, ERS-2) letí po stejné orbitě v daném časovém rozestupu. Vzdálenost mezi družicemi v rovině kolmé ke směru dráhy družice se nazývá interferometrická základna a její kolmý průmět do šikmého směru se nazývá kolmá základna (obr. 1). Radarové aparatury pořizují data obsahující kromě intenzity (popisující zejména odrazivé schopnosti povrchu) také složku fázovou, která představuje informaci o vzdálenosti radaru a ozářeného bodu na zemském povrchu. Interferogram vznikne komplexním součinem prvního snímku s druhým (pixel po pixelu). Potom amplituda každého pixelu interferogramu je hodnota amplitudy pixelu z prvního snímku vynásobená amplitudou odpovídajícího pixelu druhého snímku a fáze pixelu interferogramu je rozdíl fází odpovídajících si pixelů prvního a druhého snímku. Fázový rozdíl umožňuje určit incidenční úhel, pod kterým dopadá záření na zemský povrch. Údaje o vzdálenosti, incidenčním úhlu a poloze radaru pak umožňují určit např. třírozměrný model zemského povrchu.



Obr. 1. Kolmá základna

Interferometrické zpracování bylo provedeno pomocí software GAMMA [1]. Užili jsme data z dráhy 394 pro třísnímkovou interferometrii. Tři snímky jsme použili tak, že topografický pár = hlavní (master) snímek + vedlejší (slave)

snímek neobsahuje vliv terénní deformace. Druhý pár je deformační pár = ten samý master snímek + třetí snímek. Tato metoda se užívá k odstranění topografické složky fáze diferenčního interferogramu obsahujícího topografii, deformaci a vliv atmosféry. Časová základna by měla být dostatečně dlouhá na to, aby se terénní deformace mohla projevit, ale deformace nesmí být příliš velká. Kolmá základna topografického páru by měla být delší než u deformačního páru, aby se předešlo násobení šumu. Pokud provádíme deformační mapování, kolmá základna by měla být co nejkratší s ohledem na co možná největší redukci topografického signálu interferogramu. Závěrem zpracování dostaneme fázi diferenčního interferogramu a provedeme několik analýz. Potom můžeme udělat závěr, zda k očekávanému poklesu či sesuvu došlo.

Pro topografické a deformační mapování se data vybírají s ohledem na eliminování deště a sněhu. Pokud se na vyšetřovaném území nevyskytují bouře (nebo podobné vlivy), je vliv atmosféry obvykle dlouhodobý, tzn. že se pomalu mění uvnitř celé oblasti [2]. Chyby orbit a vliv atmosféry se tak mohou redukovat společně [3].

Volba tří snímků pro diferenční interferometrii

Jako hlavní snímek topografického páru byla zvolena scéna 23795, jako vedlejší scéna 43468 z prvního zásobníku. Ten samý hlavní snímek a scéna 23294 byly zvoleny za deformační pár. Data pořízení snímků jsou: 23294 – 4. říjen 1999 (ERS-2), 23795 – 8. listopad 1999 (ERS-2) a 43468 – 7. listopad 1999 (ERS-1). Časová základna deformačního páru je záporná. Kolmá základna topografického páru je 160 m a kolmá základna pro deformační pár činí 4 m. Jejich poměr je tedy 0,025. Je to nejlepší konfigurace pro všechny scény, jež jsme měli od Evropské vesmírné agentury (ESA) k dispozici. Rovněž jsme studovali i opačnou kombinaci, kde diferenční interferogram byl postaven na scéně 43468 jako hlavním snímku. Potom kolmá základna dosáhla 164 m a byla delší než u topografického páru. Terénní deformace byly dobře patrné, ale nemohly být stanoveny kvantitativně. Velmi nevýhodný poměr kolmých základen způsobil nesprávné rozbalení fáze topografického páru, a následně i chybné hodnoty fáze diferenčního interferogramu.

Vztah mezi fází diferenčního interferogramu a vzniklou deformací

Deformační fáze $\Phi_{\Delta r}$ závisí na vzniklé deformaci Δr podle [4]

$$\Phi_{\Delta r} = -\frac{4\pi}{\lambda} \Delta r. \quad (1)$$

Fáze diferenčního interferogramu závisí na základnách obou párů. Základny obou párů nejsou konstantní během snímání, a proto se fáze diferenčního interferogramu může rovněž měnit.

Časová základna deformačního páru je v našem případě záporná. Proto z (1) vyplývá, že

$$\Delta r = \frac{\lambda}{4\pi} \Phi_{\Delta r} \quad (2)$$

Vztah (2) říká, že fáze diferenčního interferogramu jsou v případě poklesů konkávního tvaru v geomorfologické terminologii.

Důležitým rysem této metody je, že všechna měření jsou relativní. Teoreticky by měla být fáze diferenčního interferogramu nulová v oblastech, kde k deformaci nedochází. Ale do měření zasahují vnější vlivy, jež způsobují systematické chyby. Proto terénní deformace může být určena pouze relativně s ohledem na dané okolí. Pomocí (2) můžeme očekávané deformace popsat kvantitativně.

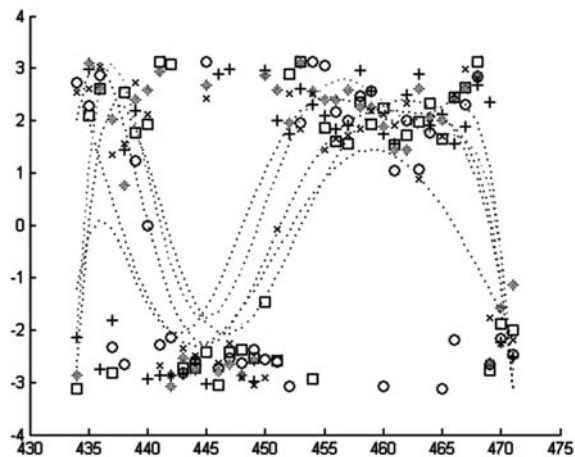
Abychom mohli věrně rozhodnout o terénní deformaci, musí být oblast podezřelá z poklesu dostatečně koherentní. Pro nekoherentní oblasti totiž dochází k dekorelaci dat, a tak vlastně i k jejich ztrátě. Také bychom se měli vyvarovat lehce rozpoznatelným terénním deformacím na územích využívaných pro zemědělství. Nejde tam o poklesy ani sesuvy, ale pouze o malé změny výšky terénu v důsledku zemědělské aktivity. Rovněž si při analýzách musíme dát pozor, zda během snímání nebyl terén pokryt malou vrstvou sněhu.

Fáze diferenčního interferogramu se nachází na intervalu $[-\pi, +\pi]$, a proto velmi často dochází k „fázové nejednoznačnosti“. Z tohoto důvodu není možné rozpoznat skokové deformace větší než $\lambda/2$, tj. pro družice ERS 2,8 cm. Pro potvrzení terénního poklesu je zapotřebí mít co nejvíce „spojitou“ fázi bez výrazných skoků s dostatečným počtem sousedních pixelů a řad.

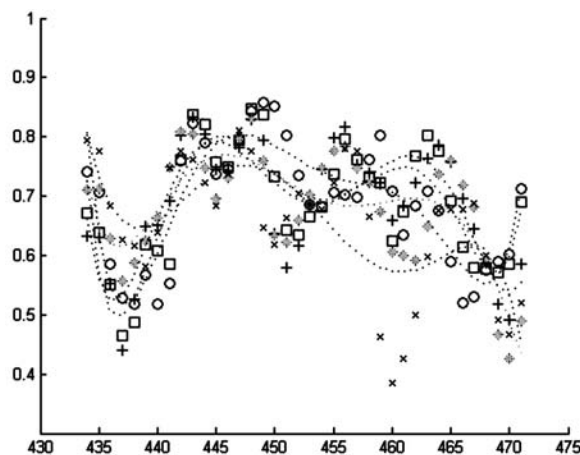
Výsledky analýzy

V tomto článku jsme se zaměřili na území bývalé Severočeské hnědouhelné pánve, konkrétně na dvě oblasti Slatnické výsypky, jež prochází rekultivačními procesy. Tuto oblast Mostecká uhelná společnost monitoruje z důvodu očekávaných terénních deformací (poklesů a sesuvů).

V dolní části výsypky jsme objevili malou terénní deformaci. Kvantitativně jsme určili, že jde o pokles terénu 0,67 cm ve směru přibližně napříč směru letu družice (obr. 2, obr. 3). Směrodatná odchylka fáze diferenčního interferogramu pro dané koherentní území je 0,07 cm. Úplně na pravé straně obou obrázků je deformace dobře patrná a pomocí (2) může-



Obr. 2. Diferenční interferogram [rad]
(svislá osa je fáze diferenčního interferogramu)



Obr. 3. Diferenční interferogram
(svislá osa je koherence)

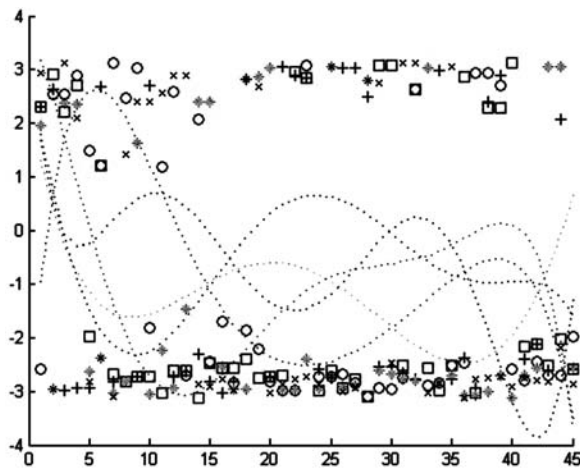
me kvantitativně popsat pokles a odhadnout chybu. Tento pokles je ověřen na základě dobré koherence dosahující hodnot pouze mezi 0,5 a 0,9. Ve směru opačném (tj. ve směru azimutu) nevidíme žádný pokles. Část grafu na levé straně obr. 2 musí být zkopírována („rozbalena“) nad hodnotu $+\pi$ fáze diferenčního interferogramu. Koherentní hodnoty pro tuto oblast jsou zaneseny v tab. 1. Z ní vyplývá, že celá oblast má velmi dobrou koherenci.

Tab. 1. Dolní část výsypky – koherence

Hodnoty	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-0,9
Podíl [%]	16	24	26	15

Horní část výsypky je stabilní (obr. 4, obr. 6). Tak jako pro obr. 2, musíme fázi diferenčního interferogramu „rozbalit“ i pro obr. 4. Žádný významný pokles ani sesuv nebyl nalezen. Hodnoty koherence pro tuto část jsou uvedeny v tab. 2. Celá tato část má excelentní koherenci. Na obrázku 5 můžeme vidět, že koherence je vždy větší než 0,5, dokonce tu a tam více než 0,8. To zjišťuje dobrou geomorfologickou stabilitu oblastí. Hodnoty koherence na obr. 7 se pohybují pouze v rozmezí 0,6-0,9. Tento fakt znamená opět velmi dobrou stabilitu oblastí.

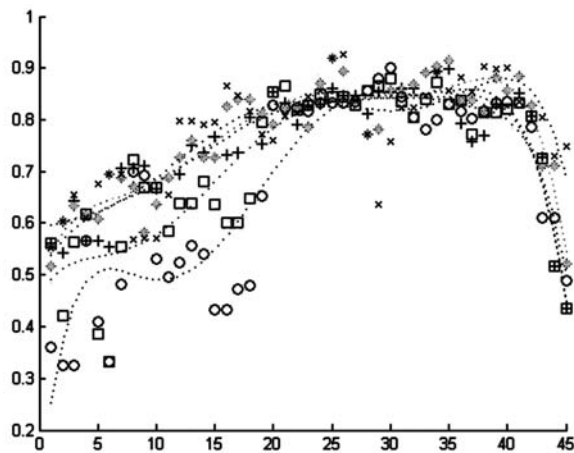
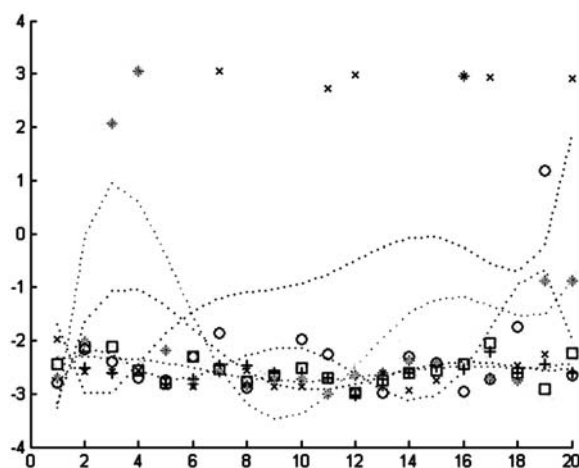
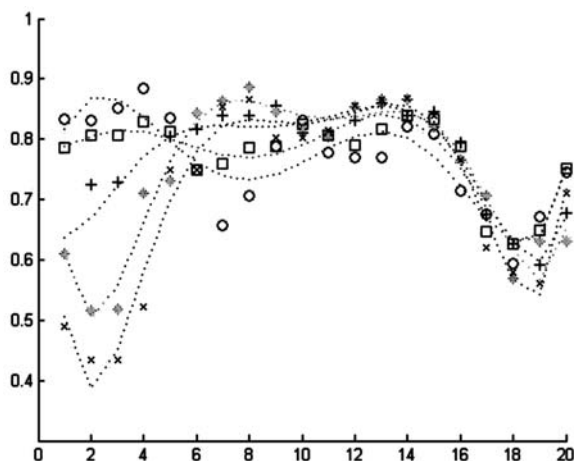
Na obr. 2 až obr. 7 jsou na ose x jednotlivé pixely ve směru letu nebo napříč směru letu. Konkrétně na obr. 2, 4, 6 jsou



Obr. 4. Diferenční interferogram [rad]
(svislá osa je fáze)

Tab. 2. Horní část výsypky – koherence

Hodnoty	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-0,9
Podíl [%]	15	22	24	24

Obr. 5. Diferenční interferogram
(svislá osa je koherence diferenčního interferogramu)Obr. 6. Diferenční interferogram [rad]
(svislá osa je fáze)Obr. 7. Diferenční interferogram
(svislá osa je koherence)

na ose y uvedeny hodnoty fáze diferenčního interferogramu pro jednotlivé pixely vždy pro pět sousedních řad. Pro každou řadu byl zvolen pro rozlišení jiný druh značky. Pokud chceme předpokládat terénní deformace, musí značky představovat sledovaný trend a musí tvořit pokud možno kompaktní linie. Na obr. 3, 5, 7 jsou na ose y uvedeny hodnoty koherence interferogramu v rozmezí 0-1 též pro pět sousedních řad. Hodnoty koherence by měly dosahovat nejvyšších hodnot.

Závěr

Abychom prokázali výskyt terénní deformace, potřebujeme, aby daná oblast byla co nejvíce koherentní. Pokud dojde k velké dekorelaci diferenčního interferogramu, neznamená to, že terénní deformace nastala. Pouze nedošlo v daném místě k dostatečné interferenci snímků. Větší lokální terénní deformace, přesahující 2,8 cm na jeden pixel, mohou rovněž způsobit dekorelaci. Tyto nepravidelné sesuvy nemohou potom být správně kvantitativně vyhodnoceny. Výhodou interferometrického zpracování je jeho přesnost. Za ideálních podmínek je možné rozpoznat i několikamilimetrové deformace.

Ostatní scény z období 1998-2003 se pokusíme do hodnocení zapojit. Bohužel, interference a následně odečtení fáze diferenčního interferogramu nejsou tak přesné z důvodu nepříznivého poměru kolmých základů snímků. Dále se zaměříme na výskyt terénních deformací v oblasti Ervěnického koridoru, jež je tvořen železnicí a silnicí ve směru Jirkov – Most. Rovněž se chystáme aplikovat metodu pomocí trvalých odražečů, tzv. permanent scatterers.

Článek vznikl za podpory projektu č. 205/08/0452 GA ČR „Určování poklesů způsobených poddolováním pomocí trvalých odražečů a opravy fázového rozbalení v rámci interferometrických bloků“. Data byla získána od ESA v rámci projektu „Interferometry used for Landslide and Land Subsidence Detection in the Undermined Area and in the Area with Abandoned Open Brown Coal Mines“.

Literatura

- [1] GAMMA Software. www.gamma-rs.ch/no_cache/software.html
- [2] Hanssen, R. F.: Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers 2001.
- [3] Tarayre, H. – Massonnet, D.: Effects of Refractive Atmosphere on Interferometric Processing. IGARSS '94, Vol. 2, pp. 717-719, ISBN 0-7803-1497-2.
- [4] Kampes, B.: Delft Object-Oriented Radar Interferometric Software: Users Manual and Technical Documentation. Delft University of Technology, 1999.

Bořík, M.: Determination of Terrain Deformations Using Three-Scene Differential Interferometry

Three scenes have been used where one pair is considered to have no influence of a terrain deformation. The other pair is the deformation pair. This method is applied to remove the topographically induced phase from the interferogram containing topography, deformation and atmosphere. The research is concentrated on the area of the Slatinice above-level dump, which is monitored because of potential terrain deformations.

Bořík, M.: Bestimmung von Gelände-Verformungen mit der Drei-Aufnahmen-Differenz-Interferometrie

Die Drei-Aufnahmen-Methode wurde so angewandt, dass ein Paar als keine Gelände-Verformungen enthaltendes bestimmt wurde. Ein zweites Paar ist das sog. Verformungspaar. Man bemüht sich, aus dem Differenz-Interferogramm die topografische Komponente der Phase zu entfernen. Dieses Interferogramm enthält einen Verformungsteil und einen atmosphärischen Teil. Wir haben uns konkret auf das Gebiet der Slatinicer Abraumhalde konzentriert, die aus dem Grunde möglicher Gelände-Verformungen beobachtet wird.

CBS
Česká betonářská společnost ČSSI
www.cbsbeton.eu
a
CBS Servis, s. r. o.
www.cbsservis.eu
Seminář
NOVÉ BETONÁŘSKÉ NORMY 2009
NOVÉ MOSTAŘSKÉ NORMY 2009
1. června 2009
Praha, Masarykova kolej ČVUT

• Fakulta stavební

Jak si poradila Telč se zemětřesením?

Ve spolupráci s University of Salford z britského Manchesteru uspořádala Fakulta stavební ČVUT v Praze ve druhé polovině dubna v Telči dvoutýdenní školicí projekt „1st European Built and Human Environment MasterClasses“. Akce se zúčastnili také studenti z turecké Sakarya University, španělské Universidad Politecnica de Valencia, irské Dublin Institute of Technology, portugalských Instituto Superior Tecnico-Lisbon a Universidade do Minho a polské Szkoły Głównie Handlowe. Výčet škol nezobrazuje národnostní rozložení studentů magisterského a doktorského studia – celkem šedesát studentů bylo ze zemí od Guatemaly přes Evropu a Afriku až po Indonésii.

V zadaném katastrofickém projektu se předpokládalo, že město Telč bylo postiženo zemětřesením, při němž byla poničena městská infrastruktura a budovy. Úkolem bylo vypracovat tři fáze projektu – co udělat první den po katastrofě, ve střednědobém období a následně v dlouhodobém období. Účastníci získávali průběžně praktické zkušenosti v oblasti prezentací, týmové práce obecně, dále v oborech projektového, rizikového a krizového managementu.



Prostředí Telče a vytvořené podmínky inspirovaly zástupce některých univerzit k tomu, že by se rádi chtěli vrátit a uspořádat další podobné výukové akce. Projekt podpořili svým vystoupením i zástupci Národního památkového ústavu v Telči (ochrana a rekonstrukce památkových objektů) a zástupci Kraje Vysočina (představení činnosti Integrovaného záchranného systému ČR). Projekt byl financován z evropského programu Erasmus, dále od British Council. Příští rok se tato akce bude konat v Turecku, v roce 2011 v Portugalsku.

<http://www.buhu.salford.ac.uk/ebuhumc/>

• literatura



Alexandr Rozsypal

Inženýrské stavby – řízení rizik

JAGA, 2008, 176 s., 399 Kč, ISBN 978-80-8076-066-3

Publikace definuje riziko jako pravděpodobnost vzniku nežádoucího jevu během přípravy, realizace a provozování inženýrských staveb. Riziko, jeho identifikace a řízení při realizaci velkých inženýrských a jiných staveb je v současnosti velmi frekventovaným tématem. Absence schopnosti včas riziko identifikovat a najít cestu k jeho snížení, sdílení a financování je jednou z překážek při zvyšování efektivnosti a kvality ve stavebnictví.

Teorie technicko-ekonomického užítu obnovitelných zdrojů energie

Ing. Lucie BENEŠOVÁ
 ČVUT – Fakulta stavební
 Praha

Energetická náročnost budovy je celková potřeba energie na zajištění tepelné pohody budovy a funkce všech spotřebičů během jednoho roku. Jde tedy o množství energie na teplo včetně teplé užitkové vody a elektrické energie k zajištění funkčnosti všech elektrospotřebičů. Její výše je do jisté míry subjektivní záležitostí a závisí na použitých materiálech, velikosti a vybavenosti budovy.

Úvod

Při analýze jakéhokoli mikroekonomického užítu je nutné vycházet z potřeby jednotlivce. Potřebou se rozumí pocit určitého nedostatku. Tento nedostatek se snažíme uspokojovat spotřebou statků. V případě, že má jedinec hlad, pociťuje nedostatek potravin. Hlad tedy uspokojujeme spotřebou různých potravin podle preferencí. Stejně je tomu i při analýze užítu obnovitelných zdrojů energie. V případě vlastnictví stavebního objektu je jedním z pociťovaných nedostatků zajištění energetické náročnosti budovy.

Uspokojení potřeby energetické náročnosti

Společnost, a tedy i jednotlivci, mají při uspokojování potřeb k dispozici dva druhy statků – statky vzácné a statky volné. Vzácné, nebo také ekonomické, statky jsou produktem ekonomické činnosti lidí (výsledky výroby). Je potřeba je vyrábět a jsou charakteristické omezeným množstvím. Proti tomu volné statky jsou zdarma přístupné všem lidem bez jakékoli jimi vyvinuté námahy, potřebné k jejich získání. Množina volných statků je velmi omezená a stále se zmenšuje. Statky jako pitná voda či vzduch, všeobecně považované za typické příklady této skupiny, již za volné statky považovat nelze. Patří sem ale například mořská voda nebo sluneční světlo. Tento fakt bude pro analýzu užítu OZE¹⁾ významným výchozím předpokladem, pokud jde o uspokojování potřeby „energetické náročnosti budovy“. Skutečnost znalosti celkové potřeby, jejíž celková výše je dána jednak metodami výpočtu potřeby energie na vytápění [7], metodou výpočtu potřeby teplé užitkové vody [8] a výkonem a dobou využívání všech spotřebičů, je pro analýzu užítu OZE dalším důležitým výchozím předpokladem.

Potřebu energetické náročnosti budovy uspokojujeme spotřebou statku – energie, která je pro objekt zajišťována funkcí otopné soustavy a soustavy elektrického rozvodu. Zdrojem této energie jsou v současné době nejčastěji kotle na fosilní paliva a externí dodavatel elektrické energie. V souvislosti s rostoucími cenami fosilních paliv a jejich omezenou dostupností se však již od dob ropné krize v sedmdesátých letech 20. století objevují alternativní možnosti jak pro fosilní paliva, tak pro externí dodavatele elektrické energie.

Pro zajištění energie na teplo to jsou nejčastěji tepelná čerpadla a solární kolektory. Externí dodavatel pak může být z části nahrazen dodávkou elektrické energie z fotovoltaických článků, větrných nebo vodních mikroelektrárén. Využití těchto obnovitelných zdrojů energie nachází uplatnění především v rodinných domech, v současné době roste zájem i v bytových a administrativních objektech.

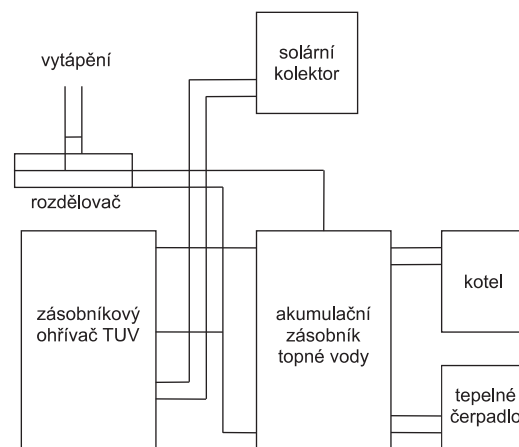
Tepelné čerpadlo je zařízení umožňující využití tepla z nízkopotenciálních zdrojů, jakými jsou například voda v řece, půda nebo okolní vzduch. Všechny mají obvykle nižší teplotu než potřebujeme. Tepelné čerpadlo je však díky střídání cyklů komprese a expanze plynového média schopné z takovýchto zdrojů generovat teplo okolo 55 °C.

Solární kolektory pracují na principu přímého či nepřímého ohřívání pracovního média, tj. tekutiny nebo vzduchu, slunečním zářením. Takto získané teplo je jím přenášeno do akumulátoru (tepelného výměníku). Tepelný výměník předává teplo užitkové vodě a tu oběhová čerpadla rozvádějí po objektu.

Fotovoltaické články umožňují přímou přeměnu slunečního záření v elektrickou energii. Při fotovoltaickém jevu částice světla (fotony) dopadají na solární článek a svou energií z něj „vyražejí“ elektrony. Polovodičová struktura článků pak uspořádá pohyb elektronů na využitelný stejnosměrný elektrický proud [14]. V současné době 85 % na trhu dostupných solárních článků se vyrábí z monokrystalického nebo polykrystalického křemíku. Tato technologie je však poměrně nákladná, proto probíhá výzkum článků na bázi jiných fotocitlivých materiálů, např. vodivých polymerů.

Větrné mikroelektrárny jsou zařízení na výrobu stejnosměrného proudu při napětí 12 V nebo 24 V. Výkon větrné mikroelektrárny závisí na rychlosti větru. Elektrická energie se akumuluje do baterií sloužících převážně k osvětlení a provozu drobných spotřebičů [15].

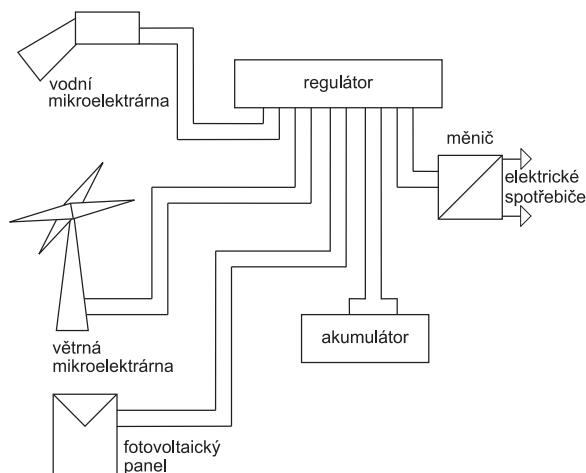
Vodní mikroelektrárny stejně jako větrné vyrábějí stejnosměrný proud s napětím 12 V a 24 V. Výkon je dán typem



Obr. 1. Schéma zapojení obnovitelných zdrojů do otopné soustavy

¹⁾ Obnovitelné nefosilní přírodní zdroje energie, jimiž jsou energie větru, slunečního záření, geotermální energie, energie vody, půdy, vzduchu, biomasy, skládkového plynu, kalového plynu a energie bioplynu.

turbíny a přírodními podmínkami, tj. spádem a průtokem. V aplikacích není nutné akumulovat elektrickou energii, nebo pouze v minimálním množství, protože je možné ji použít ke spotřebě odpovídající výkonu generátoru přímo. Zjednodušené schéma maximálního využití obnovitelných zdrojů energie jak pro otopné soustavy, tak soustavy elektrických rozvodů je na *obr. 1* a *obr. 2*.



Obr. 2. Schéma zapojení obnovitelných zdrojů do elektrického okruhu

Technická užitečnost variant systémů zajištění energetické náročnosti budovy

Jak již bylo naznačeno, potřeby uspokojujeme spotřebou statků. Míra, s jakou jednotlivé statky potřebu uspokojují, se v ekonomii nazývá užitečnost. Užitečnost U (Utility) je jednou z kategorií, která má více aspektů. Může být ukazatelem celkového blahobytu či vyjádřením spotřebitelských preferencí. Nejčastěji je však definována jako stupeň uspokojení lidské potřeby, dosažované spotřebou statků a služeb. Výhodiskem teorie uspokojování potřeb je úvaha, že jednotlivec vybírá z různých spotřebních košů (souborů statků). Užitečnost je tedy posuzována z hlediska preferencí, které spotřebitel přisuzuje konkrétním spotřebním košům. V analýze užitečnosti obnovitelných zdrojů energie lze termín „spotřební koš“ nahradit termínem „varianta systému zajištění energetické náročnosti budovy“ ve smyslu předchozího technického popisu možných zdrojů energie.

Analýzu lze založit na těchto zjednodušujících předpokladech, tzv. axiómech:

■ **axióm úplnosti srovnání**, tj. každé dvě varianty mohou být srovnávány z hlediska preference spotřebitele. Pro každé dvě varianty musí nastat jedna ze tří následujících situací:

- Var_i je preferována před Var_j , znač. $Var_i > Var_j$, pokud $Q_{Var_i} > Q_{Var_j}$ a $Q_{Var_i} < Q_e$;
- Var_j je preferována před Var_i , znač. $Var_j > Var_i$, pokud $Q_{Var_j} > Q_{Var_i}$ a $Q_{Var_j} < Q_e$;
- Var_i a Var_j jsou indiferentní, znač. $Var_i = Var_j$, pokud $Q_{Var_i} = Q_{Var_j}$;

■ **axióm neklesající mezní užitečnosti**, tj. s postupnou spotřebou energie, neklesá intenzita její potřeby a každá další kilowatthodina má pro spotřebitele stejný význam. To znamená, že spotřeba většího množství energie, než je reálná potřeba jednotlivce, nevede k negativní mezní užitečnosti jednotlivce,

$$Q_{Var_i} > Q_e \Rightarrow (MU < 0);$$

■ **axióm optimality**, tj. jednotlivec preferuje tu variantu, která je schopna pokrýt právě jeho potřebu.

Cílem spotřebitele je v tomto případě optimalizace užitečnosti. Pokud spotřebitel nalezne optimální variantu, maximalizuje užitečnost. Z technického hlediska je optimálních variant, které splňují maximalizaci užitečnosti celá řada. Počet takovýchto variant není neomezený, ale lze počítat v desítkách.

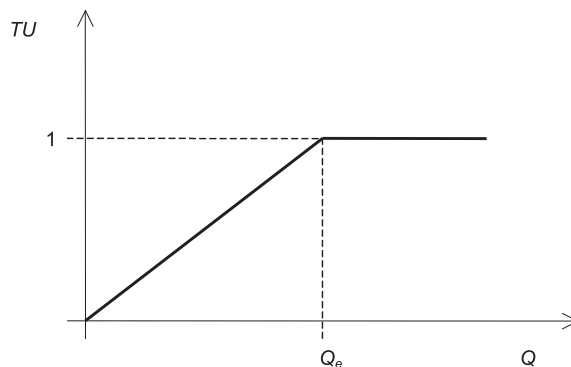
„Užitečnost je ordinální neboli bezrozměrná veličina. Ohodnocujeme ji fiktivními ilustračními čísly, u kterých nám stačí vědomí, že „situace A je preferována před situací B.“ [5]. Vzhledem k tomu, že známe celkovou potřebu jedince, danou množstvím spotřebované energie za rok (kWh/rok), a zároveň velikost produkce jednotlivých variant systémů zajištění energetické náročnosti budovy (rovněž v kWh/rok), je užitečnost jednotlivých variant přímo měřitelná a celkovou užitečnost ze „spotřeby“, nebo lépe z instalace a využití jednotlivých variant, lze vyjádřit vzorcem

$$TU_{Var.i} = \frac{Q_{Var.i}}{Q_e} [-] \quad \text{pro } Q_{Var.i} \in (0, Q_e), \quad (1)$$

$$TU_{Var.i} = 1 [-] \quad \text{pro } Q_{Var.i} \in (Q_e, \infty), \quad (2)$$

kde TU je celková užitečnost (Total Utility) a vyjadřuje celkové uspokojení potřeb při spotřebě daného množství energie generované danou variantou systému zajištění energetické náročnosti budovy (*obr. 3*);

$Q_{Var.i}$ – množství energie generované variantou i [kWh/rok],
 Q_e – celková energetická náročnost stavebního objektu.

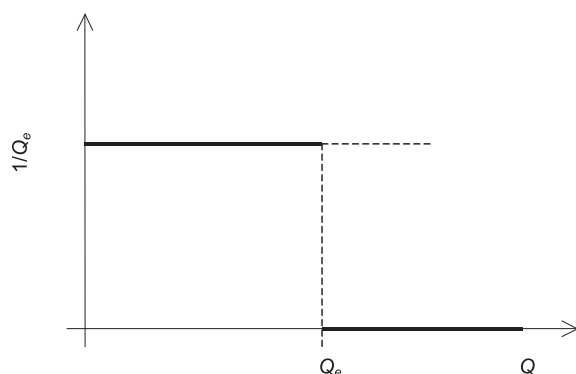


Obr. 3. Celková užitečnost ze spotřeby energie

Mezní užitečnost MU (Marginal Utility), vyjadřující změnu celkového užítku vyvolanou změnou spotřebovávaného množství energie o jednotku (*obr. 4*) lze pak zapsat rovnicemi

$$MU = \frac{\partial TU}{\partial Q_{Var.i}} = \frac{1}{Q_e} [-] \quad \text{pro } Q_{Var.i} \in (0, Q_e), \quad (3)$$

$$MU = \frac{\partial TU}{\partial Q_{Var.i}} = 0 [-] \quad \text{pro } Q_{Var.i} \in (Q_e, \infty). \quad (4)$$



Obr. 4. Mezní užitečnost ze spotřeby energie

Ekonomický užitek variant systémů zajištění energetické náročnosti budovy

Ohodnotíme-li ordinalistickou užitečnost peněžními jednotkami, získáme její kardinální vyjádření, tj. užitek. „Celkový užitek B (Benefit) je maximální suma peněz, kterou je spotřebitel ochoten nebo schopen dát na získání určitého množství zboží nebo služby.“ [5]. Jak již bylo naznačeno, variant schopných uspokojit potřebu energie je z technického hlediska celá řada. Jejich zásadní rozdíl spočívá v rozdílných provozních nákladech na energii. Obnovitelné zdroje pro výrobu energie využívají energii slunečního záření (ať už v původní, nebo přeměněné formě), a tedy statek volný, zdarma přístupný všem. Na základě obecné definice užítku a teorie technické užitečnosti variant lze užitek zdroje energie chápat jako úsporu nákladů na energetické zajištění objektu mezi referenční (stávající či navrženou) variantou a variantami s různou mírou zapojení obnovitelných zdrojů.

$$Užitek_{Var.i} = \text{provozní náklady na energii}_{Ref.Var.} - \text{provozní náklady na energii}_{Var.i} \quad (5)$$

jestliže

- $Užitek_{Var.i} > 0$ varianta s OZE proti referenční variantě přináší pozitivní užitek,
 $Užitek_{Var.i} = 0$ varianta s OZE je vůči referenční variantě indiferentní,
 $Užitek_{Var.i} < 0$ varianta s OZE proti referenční variantě nepřináší užitek.

Při hodnocení míry užítku je vhodné zohlednit investiční náklady variant zdroje energie a vývoj provozních nákladů v analyzované periodě, tj. ověřit, zda užitek generovaný ve fázi provozu je dostatečný na pokrytí rozdílu výše investičních nákladů variant. Hodnocení míry užítku je pak vhodné provést podle modifikovaných ekonomických kritérií, jako jsou čistá současná hodnota, vnitřní výnosové procento, prostá doba návratnosti a diskontovaná doba návratnosti.

$$NPV_{Var.i} = (IN_{Ref.Var.} - IN_{Var.i}) + \sum_{t=1}^T \frac{Užitek_{Var.i}}{(1+r)^t}, \quad (6)$$

$$(IN_{Ref.Var.} - IN_{Var.i}) = \sum_{t=1}^T \frac{Užitek_{Var.i}}{(1+IRR_i)^t}, \quad (7)$$

$$DN_{Var.i} = \frac{IN_{Ref.Var.} - IN_{Var.i}}{\sum_{t=1}^{DN} Užitek_{Var.i}}, \quad (8)$$

$$DDN_{Var.i} = \frac{IN_{Ref.Var.} - IN_{Var.i}}{\sum_{t=1}^{DDN} \frac{Užitek_{Var.i}}{(1+r)^t}}, \quad (9)$$

- kde $Užitek_{Var.i}$ je užitek varianty s obnovitelným zdrojem;
 $NPV_{Var.i}$ – čistá současná hodnota investice do zdroje a generovaného užítku;
 $IRR_{Var.i}$ – vnitřní výnosové procento investice do zdroje a generovaného užítku;
 $DN_{Var.i}$ – doba návratnosti investice do zdroje a generovaného užítku;
 $DDN_{Var.i}$ – diskontovaná doba návratnosti investice do zdroje a generovaného užítku;
 $t = 1, 2, \dots, T$ – doba analýzy;
 r – diskontní sazba;
 $i = 1, 2, \dots, n$ – varianta s obnovitelným zdrojem energie.

Závěr

Ceny energií z dlouhodobého hlediska vykazují rostoucí trend a případná očekávání jejich mírného poklesu jsou stále v nedohlednu. V podmínkách energetického trhu České republiky je význam snahy o snížení spotřeby energie relativní. Platí zde totiž zákon „čím více uspoříte, tím více se ceny energií zvýší“. Podstatným faktorem tvorby zisku energetických společností je zvyšování ceny energie konečným zákazníkům. Proto úsporná opatření typu zateplování obálky objektu nebo výměna oken s izolačním zasklením mají vlastně smysl jen jako základní podmínka instalace a provozování obnovitelných zdrojů energie, které představují nezávislost na energetických dodavatelích a jejich vytrvalém zvyšování cen. Analýza technicko-ekonomického užítku by měla být výchozím předpokladem volby obnovitelného energetického zdroje či jejich kombinace tak, aby byla identifikována a využívána optimální soustava zajištění energetické náročnosti budovy.

Článek vznikl za podpory výzkumného záměru MSM 6840770006 MŠMT ČR „Management udržitelného rozvoje životního cyklu staveb, stavebních podniků a území“.

Literatura

- [1] Coto-Millán, P.: Utility and Production: Theory and Applications. Heidelberg, New York Physca-Verlag 2002.
- [2] Studebaker, J. M.: Slashing Utility Costs Handbook. Lilburn, GA: Fairmont Press 1998.
- [3] Liška, V. a kol.: Makroekonomie. 2. vydání. Praha, Professional Publishing 2004.
- [4] Freiberg, F. – Zralý, M.: Ekonomika podniku. 2. vydání. ČVUT Praha, 2008.
- [5] Korytářová, J. – Sádlik, J. – Schusterová, L. – Kosatík, J.: Základy ekonomie = Principles of Economics. Brno, CERM 2004.
- [6] Levy, H. – Sarnat, M.: Capital Investment and Financial Decisions. 4th ed. New York, Prentice Hall 1990.
- [7] ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov. ČNI, 2005.
- [8] ČSN 06 0320 Tepelné soustavy v budovách – Příprava teplé vody – Navrhování a projektování. ČNI, 2006.
- [9] Boyle, G.: Renewable Energy: Power for a Sustainable Future. Oxford University Press in association with the Open University, 2004.

- [10] Beranovský, J. a kol.: Alternativní energie pro váš dům. 2. aktualizované vydání. Brno, ERA 2004.
- [11] Themessl, A. – Weiss, W.: Solární systémy: návrhy a stavba svépomocí. Praha, Grada 2005.

- [12] Ladener, H. – Späte, F.: Solární zařízení. Praha, Grada 2003.
- [13] Zákon o hospodaření energií č. 406/2000 Sb.
- [14] URL: <<http://www.uspora-energie.info>> [3. 3. 2009]
- [15] URL: <<http://www.alter-eko.cz>> [3. 3. 2009]

Benešová, L.: Theory of Technical and Economic Usage of Renewable Energy Sources

Energy demand of buildings is total power consumption for safeguarding thermal comfort of buildings and performance of all electrical appliances throughout one year. In other words, it is an amount of energy for heat, including warm water for industrial purposes and power necessary for securing performance of all electrical appliances. Its quantity thus depends, to a certain extent, on the materials used, the size of the buildings and services systems.

Benešová, L.: Theorie des technisch-wirtschaftlichen Nutzens erneuerbarer Energiequellen

Die Energieaufwändigkeit eines Gebäudes ist der Gesamtbedarf von Energie für die Gewährleistung der Wärmebehaglichkeit und der Funktion aller Geräte im Laufe eines Jahres. Es handelt sich also um die Energiemenge für die Wärme einschließlich Warmwasser und die Elektroenergie zur Gewährleistung der Funktionstüchtigkeit aller Elektrogeräte. Ihre Höhe ist also bis zu einem bestimmten Maß eine subjektive Angelegenheit und hängt von den benutzten Materialien, der Größe und dem Ausstattungsgrad des Gebäudes ab.

projekty

Kavčí Hory Office Park

Zajímavě řešenou administrativní budovu v Praze 4, o hrubé nadzemní ploše 43 000 m², projektoval Ing. akad. arch. Michal Gabriel. Pozemek, na kterém vyrostl nedávno dokončený projekt, sloužil dříve jako skladovací prostory. Nový objekt tak zhodnotí nejen tento pozemek, ale i přilehlou lokalitu.



Budova je koncipována jako hřebenový systém. Dlouhý trakt propojuje čtyři na něj kolmá křídla. Východní křídlo dominuje jedenácti podlažím, další tři křídla ustupující na západ jsou šestipodlažní. Půdorys budovy umožňuje umístění až 6 500 m² kancelářských ploch na typickém podlaží. Dvě samostatné recepcie umožňují rozdělení objektu na dvě části. Součástí komplexu bude i restaurace. V podzemních podlažích jsou parkovací stání, archivy a technické zázemí. Investorem je HOCHTIEF Development CZ.

Tisková informace



ČVUT v Praze
Fakulta stavební



Katedra betonových a zděných konstrukcí

pořádá

5. mezinárodní konferenci

Fibre Concrete 2009

Technologie, navrhování, aplikace

17. – 18. září 2009, Praha

Tematické okruhy konference:

- Výzkum
- Technologie
- Navrhování
- Aplikace
- Vláknobetonu a udržitelný rozvoj

<http://concrete.fsv.cvut.cz/fc2009>

• dizertace



A Fuzzy Logic Approach to Property Searching in a Property Database

Ing. Jiří Slabý

Autor se zaměřil na využití fuzzy logiky pro zvýšení efektivnosti vícekritériálního vyhledávání v databázích. Práce vychází z realitního trhu v ČR a ve Velké Británii. Z průzkumu obou trhů byly zformulovány výzkumné otázky.

Přirozené větrání v obytných budovách

Ing. Lenka Másílková

Práce je příspěvkem k tématu energetické náročnosti budov. Popisuje se základní problematika a uvádějí se používané výpočetní modely.

Hodnocení systémů pro zajištění vnitřního prostředí místností

Ing. Pavla Dvořáková

Práce pojednává o problematice energeticko-environmentálního hodnocení systémů vytápění a chlazení. Je vytvořena metodika hodnocení provozních i návrhových faktorů ovlivňujících rozhodující kritéria. Vybrané faktory byly ověřeny experimenty in-situ i matematickým modelováním dynamickou simulací.

Vzájemný vztah funkce, formy, prostoru, dispozice, detailu a konstrukce v minimalistické architektuře

Ing. Martin Knapp

Obsah dizertace je plně popsán názvem práce. Jde o téma v tomto pojetí nepříliš frekventované.

Sociální bydlení ve střední Evropě

Ing. Radek David

V práci se hodnotí dějiny a současnost sociálního bydlení ve střední Evropě a nastiňují se možnosti budoucích řešení.

Ekonomická analýza pro plánování v oblasti vod v ČR

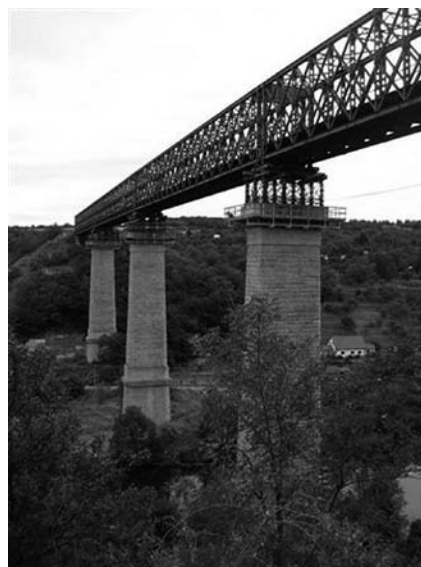
Ing. David Jansa

V dizertaci se ekonomicky hodnotí užívání vody a posuzuje se návratnost nákladů na tyto služby. Je předložen model vývoje spotřeby do roku 2030 včetně doporučení možných regulací. Práce má praktické využití.

• rekonstrukce

Znojemský viadukt

Most přes Dyji, pocházející z roku 1871, byl ve své době vyspělým technickým dílem nejen v rakousko-uherské monarchii, ale v celé Evropě. Bezmála čtvrt kilometru dlouhý most, tyčící se nad údolím ve výšce 48 m, bude nahrazen ocelovou konstrukcí s průběžným kolejovým ložem, která bude uložena na původních pilířích a částečně nových opěrách. Stávající železniční most prošel začátkem devadesátých let rekonstrukcí, při níž nosnou ocelovou konstrukci nahradil provizorní montovaný železniční most ŽM 16, který zajišťoval provoz až do současnosti.



Stavba Znojemského viaduktu je mimořádně náročnou operací vyžadující precizní technickou přípravu, perfektní koordinaci a dokonalou kázeň všech zúčastněných. Nejprve je nutné posunout mostní konstrukci na šatovskou stranu, na 80 m dlouhou pracovní plošinu, zde rozebrat na prvky a následně odvézt. Zároveň probíhají práce na spodní stavbě. Nová ocelová konstrukce o hmotnosti 980 t z mostárny Firesty v Brně bude z plošiny na znojemském předpolí mostu postupným vysouváním následně smontována.

Katastrální území:	Znojmo
Traťový úsek:	1201 Šatov st. hr. – Kolín
Definiční úsek:	04
Staničení:	evidenční km: 99,297
Překonávané překážky:	řeka Dyje a pobřežní komunikace
Úhel křížení:	90°
Volná výška:	cca 42,5 m nad normální hladinou řeky (ke spodní hraně nového mostu)
Max. rychlost na mostě:	80 km/h – po přestavbě

Stavba je součástí rozsáhlého projektu elektrizace železničního úseku Šatov – Znojmo, která propojí elektrifikovanou trať Znojmo s Vídní. Projekt v celkové ceně 1,3 mld. Kč provádí sdružení dodavatelů Skanska DS, OHL ŽS a Firesta od října 2008 do listopadu 2009. Investorem je Správa železniční dopravní cesty.

Tisková informace

• výstava

Vize pro dopravu v Praze



Příběh pražské dopravy od jejích prvopočátků přes současnost až po vize, kterými by se doprava v hlavním městě naší republiky měla nebo mohla dále ubírat, můžete sledovat do 14. června v Sále architektů na pražské Staroměstské radnici.

Když ve druhé polovině 19. století vznikaly první tramvajové linky, nikdo netušil, že městská hromadná doprava bude jednou nikoli podnikatelskou záležitostí, ale majetkem města a objektem veřejného zájmu, a navíc bude svádět boj s automobilovou dopravou. Ta zaznamenala ve dvacátém století několik období bouřlivého rozvoje. Nejdříve po první světové válce, a nakonec v devadesátých letech v souvislosti se změnami v životním stylu, které přišly po revoluci v roce 1989.

Dnes tedy Praha – město unikátní architektury, malých uliček, nabitě turisty – nedokáže pozřít prudce rostoucí individuální automobilovou dopravu. Výstava chce ukázat mož-

nosti, jak nalézt takový systém, v němž jednotlivé druhy dopravy nebudou vzájemně soupeřit, ale spolupracovat a dokážou vedle sebe vzájemně existovat.



Česká tunelářská asociace ITA-AITES pořádá

ASSOCIATION
INTERNATIONALE DES TUNNELS
ET DE L'ESPACE SOUTERRAIN
AITES



ITA
INTERNATIONAL TUNNELLING
AND UNDERGROUND
SPACE ASSOCIATION

Sponzorováno ITA-AITES

11. mezinárodní konferenci

PODZEMNÍ STAVBY PRAHA 2010



Termín: 14. až 16. června 2010

Místo: Clarion Congress Hotel Prague

Hlavní téma konference: **DOPRAVNÍ A MĚSTSKÉ TUNELY**

Témata:

1. Navrhování a realizace podzemních staveb – konvenční tunelování a hloubené tunely
2. Navrhování a realizace podzemních staveb – mechanizované tunelování
3. Geotechnický průzkum, monitoring a řízení rizik
4. Modelování podzemních staveb
5. Vybavení, bezpečnost a údržba podzemních staveb
6. Smluvní vztahy, financování a pojištění podzemních staveb

Další součásti odborného programu:

- Vyzvané přednášky (Keynote Lectures)
- Posterová sekce
- Technická výstava
- Exkurze na tunelovou stavbu v Praze

Výzva k přihlášení příspěvků:

Termín pro zaslání abstraktů příspěvků: do 30. června 2009

Více na: www.ita-aites.cz

• projekty

Moravský zemský archiv

Nová budova Moravského zemského archivu v Brně, oceněná titulem Stavba roku 2008, byla navržena a postavena proto, aby sloužila k trvalému uložení, všestrannému zabezpečení, ochraně a odbornému zpracování archiválií a pro vědecké bádání, prezentaci archivních pramenů a přednáškové aktivity určené široké veřejnosti. Autory stavby jsou Jaromír Černý, Karel Tuza a Petr Uhlíř (A PLUS), dodavatelé stavby společnosti IMOS Brno a Unistav, investorem Moravský zemský archiv.



Archiv byl zřízen v roce 1839 z iniciativy stavů v Brně, sídle nejvyšších zemských úřadů a hlavním městě Moravy, jako jeden z nejstarších společenskovedních ústavů na Moravě, předchůdce akademických a univerzitních vědeckých pracovišť. Jeho posláním bylo zkoumat a vyhledávat prameny k dějinám Moravy a sbírat je koupí, přepisy nebo výpisy. Vznikl jako první archiv nového typu „na zelené louce“, tedy bez návaznosti na úřední registratury. Po Národním archivu v Praze, který vznikl spojením Archivu ministerstva vnitra a Archivu země České (ten vznikl po vzoru Moravského zemského archivu v r. 1862) v roce 1954, je druhým největším a nejvýznamnějším archivem v České republice.

Tisková informace

• dizertace



Privatizace bytového fondu a jeho vliv na obecní bytovou politiku

Ing. Jan Česelský

Dizertace se zabývá transformačním procesem bytového sektoru, který má vliv na formování dnešní obecní bytové politiky. Analyzuje se současný kvantitativní stav obecního bytového fondu. Cílem práce je zjistit závislost mezi privatizací komunálního bytového fondu a účinností bytové politiky obce, resp. řízením hospodaření se strategickým obecním bytovým fondem.

Procurement

V souvislosti s otevíráním se světu se běžně setkáváme s termíny, nad kterými jsme v rozpacích, když nevíme, co znamenají. Často pak zjistíme, že jde o běžnou záležitost, kterou známe, ovšem skrytou po cizím výrazem. Jedním z takových termínů je „procurement“ neboli strategický, chytrý nákup zboží a služeb přímo od výrobce, bez zprostředkovatelů a obchodníků, kteří celou transakci neúměrně prodražují. Cílem je získat vhodné zboží či službu v odpovídající kvalitě, s dodávkou ve správný čas na správné místo za nejlepší cenu. Zákazníky firem, které se touto činností zabývají, jsou většinou velké společnosti, ať už z rezidenčního, kancelářského, hotelového nebo obchodního sektoru, mohou jimi být i projekty veřejné, např. školy nebo nemocnice. Většinou jde o kompletní exteriérové i interiérové vybavení objektů podle požadavků klienta. Úspěch firmy závisí na schopnosti jejích pracovníků získat rozsáhlou mezinárodní databázi výrobců a sjednat s nimi co nejvýhodnější ceny. Podrobnosti o způsobu této formy obchodování lze najít na internetových stránkách různých firem, např. Procure it Direct, jejímiž zákazníky jsou společnosti Tesco, Česká pojišťovna, Hilton, Marriot, Vodafone a další.



Nanotechnologie ve stavebnictví

– understanding and modification
of material nano-structure

31. května – 2. června 2009

ČVUT – Fakulta stavební
Thákurova 7, Praha 6

www.conference.cz/nicom3/

STAVEBNÍ OBZOR

ROČNÍK 18 ČÍSLO 6/2009

Navigace v dokumentu

OBSAH

Sokolář, R. – Smetanová, L. Ekologické aspekty využití elektrárenských popílků v keramické technologii	161
Pernicová, R. – Pavlíková, M. Vliv teploty na sorpční vlastnosti materiálů historických budov	168
Bureš, D. Zajištění smluvních vztahů při výstavbě pozemních komunikací	173
Gajdová, K. Oceňování nemovitostí ve vybraných evropských zemích	181
Chamout, L. Trigonometrická nivelace pro určování nadmořské výšky bodů kombinované měřické sítě	185

OBSAH

Sokolář, R. – Smetanová, L.
**Ekologické aspekty
 využití elektrárenských
 popílků v keramické
 technologii** 161

Pernicová, R. – Pavlíková, M.
**Vliv teploty na sorpční
 vlastnosti materiálů
 historických
 budov** 168

Bureš, D.
**Zajištění smluvních
 vztahů při výstavbě
 pozemních
 komunikací** 173

Gajdová, K.
**Oceňování nemovitostí
 ve vybraných evropských
 zemích** 181

Chamout, L.
**Trigonometrická
 nivelace pro určování
 nadmořské
 výšky bodů
 kombinované
 měřické sítě** 185

CONTENS

Sokolář, R. – Smetanová, L.
**Environmental Aspects
 of Exploitation of Fly Ash
 in Ceramic Production
 Technology** 161

Pernicová, R. – Pavlíková, M.
**Effect of Temperature on
 Sorption Characteristics of
 Materials of Historic
 Buildings** 168

Bureš, D.
**Securing Contractual
 Relationships
 in Road
 Construction** 173

Gajdová, K.
**Valuation of Real Estate
 in Selected European
 Countries** 181

Chamout, L.
**Trigonometric Levelling
 Method and its Use
 for Determination of Elevation
 above Sea-Level Points
 of Combined Metrical
 Network** 185

INHALT

Sokolář, R. – Smetanová, L.
**Ökologische Aspekte des
 Einsatzes von Kraftwerks-
 Flugaschen in der
 Keramiktechnologie** 161

Pernicová, R. – Pavlíková, M.
**Einfluss der Temperatur auf
 die Sorptionseigenschaften
 von Materialien historischer
 Gebäude** 168

Bureš, D.
**Gewährleistung
 vertraglicher Beziehungen
 beim Bau von
 Landverkehrswegen** 173

Gajdová, K.
**Bewertung von Immobilien
 in ausgewählten europäischen
 Ländern** 181

Chamout, L.
**Trigonometrisches
 Nivellement zur Bestimmung
 der Meereshöhe
 von Punkten
 eines kombinierten
 Messnetzes** 185

REDAKČNÍ RADA**Předseda:**

prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.

Místopředseda:

doc. Ing. Alois MATERNA, CSc., MBA

Členové:

doc. Ing. Jiří BROŽOVSKÝ, Ph.D.

prof. Ing. Milena CÍSLEROVÁ, CSc.

prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.

prof. Ing. Rostislav DROCHYTKA, CSc.

doc. Ing. Vladislav HORÁK, CSc.

prof. Ing. Milan JIRÁSEK, DrSc.

doc. Ing. Marcela KARMAZÍNOVÁ, CSc.

doc. Ing. Jana KORYTÁROVÁ, Ph.D.

doc. Ing. Jan KRŇANSKÝ, CSc.

doc. Ing. Karel KUBEČKA, Ph.D.

prof. Ing. arch. Alois NOVÝ, CSc.

prof. Ing. Jiří POSPÍŠIL, CSc.

prof. Ing. Jaromír ŘÍHA, CSc.

prof. RNDr. Ing. Petr ŠTĚPÁNEK, CSc.

prof. Ing. arch. Petr URLICH, CSc.

Ing. Renata ZDARÍLOVÁ, Ph.D.

STAVEBNÍ OBZOR, odborný lektorovaný měsíčník, vydává Fakulta stavební ČVUT Praha společně s Fakultou stavební VUT Brno, Fakultou stavební VŠB TU Ostrava a Českou komorou autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě. Řídí redakční rada, vedoucí redaktorka Marcela Klímová. Adresa redakce: Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel.: 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 25. 5. 2009. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

Ekologické aspekty využití elektrárenských popílků v keramické technologii

*doc. Ing. Radomír SOKOLÁŘ, Ph.D.
VUT – Fakulta stavební, Brno*

*Ing. Lenka SMETANOVÁ, Ph.D.
Moravské keramické závody, Rájec-Jestřebí*

Článek se věnuje použitelnosti elektrárenských popílků (fluidní versus klasické) v keramické technologii především z pohledu emisí oxidů uhlíku a síry během výpalu a z pohledu obsahu přírodních radionuklidů v keramickém střepe s příměsí elektrárenských popílků. Na dvou keramických směsích je dokumentován vliv nejběžnějšího typu elektrárenského popílku.

Úvod

Celosvětovou snahou je nalezení různých možností využití druhotných surovin, které vznikají průmyslovou činností člověka. Elektrárenský popílek je v tomto směru jakýmsi standardem a mnoho odvětví včetně keramického jej dokáže využívat. To s sebou ovšem přináší i negativa – popílek se pro mnoho průmyslových i výrobních odvětví stal téměř nezbytnou surovinou, což se začíná projevovat omezenou nabídkou kvalitních druhů, např. do betonu nebo cementu. Využití elektrárenských popílků v České republice se omezuje převážně na cihlářskou výrobu. Zde se používají jako příměs do surovinových směsí pro snížení citlivosti k sušení a smrštění sušením (jako ostřívo), k vylehčení střepe (jako lehčivo) a v neposlední řadě také pro snížení nevrátne vlhkostní roztažnosti (především fluidní popílků). Výhodou jsou relativně nízké teploty výpalu do 1 000 °C, při nichž ještě nehrozí zvýšení obsahu oxidu siřičitého SO₂ ve spalinách.

Článek přináší pohled na negativní stránku využití elektrárenských popílků ve výrobě pálených staviv, zejména na nebezpečí úniku škodlivých emisí, především SO₂, a na možné zvýšení hmotnostní aktivity izotopu Ra-226 vypálených keramických střepe. Cílem bylo především lokalizovat vypalovací teploty, při nichž začíná unikat oxid siřičitý do ovzduší, v závislosti na typu nejen pro samotné popílků, ale i pro surovinové směsi.

Typy emisí

Zdrojem emisí, vznikajících v pecním prostředí při výpalu keramického střepe, může být obecně použité palivo, což není v současné době při používání zemního plynu zásadním problémem, nebo vypalovaná surovinová směs.

Mezi nejběžnější škodlivé součásti spalin při výpalu do 1 300 °C lze zařadit [1]:

- **sloučeniny síry (SO₂, H₂S)**, které způsobují degradaci staveb (např. výkvěty na pórovité keramice) a korozi ocelových konstrukcí, poškozují lidské zdraví a lesní porosty (jehličnany). Jsou obsaženy často v tuhém palivu (hnědém uhlí), další sloučeniny síry a pyrit FeS₂ mohou obsahovat keramické jíly a hlíny. V redukčním prostředí při spalování topného oleje špatným seřízením hořáků pece může vzniknout škodlivější H₂S. Emise SO₂ jsou ovlivněny teplotou výpalu, obsahem alkálií v surovině a druhem sloučeniny se sírou. Emise sloučenin síry se uvolňují při výpalu do ovzduší asi jen ze třetiny, zbytek je vázán ve výrobku. Aritmetický průměr imisního limitu SO₂ za 24 h pro stacionární zdroj musí podle zák. č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší, činit maximálně 125 mg m⁻³;

- **sloučeniny uhlíku (CO₂, CO)** vznikají jako běžný produkt spalování. Zemní plyn, jako každé uhlíkaté palivo, je zdrojem oxidu uhličitého (CO₂), který významnou měrou přispívá ke zvýšení skleníkového efektu. V porovnání s ostatními palivy má nejméně emisí CO_x (v porovnání s tuhými palivy má při spalování méně o 40-50 % CO₂, s kapalnými méně o 30-35 % CO₂ na uvolněnou jednotku tepla). V cihlářské výrobě jsou hlavním zdrojem těchto emisí vyhořívající lehčiva. Maximální průměrný denní osmihodinový imisní limit CO stacionárního zdroje činí podle zák. č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší, 10 mg m⁻³;

- **sloučeniny fluoru** poškozují vegetaci, způsobují úhyn včel a poškozují kosti zvířat. Zvýšená koncentrace je příčinou koroze skla i žáruvzdorného materiálu v peci. Maximální přípustná koncentrace fluoru 5 mg m⁻³ je v mnoha průmyslových pecích překračována i nad 30 mg m⁻³. Fluor je většinou obsažen v surovině (muskovitu, biotitu, kazivci), v palivu jen nepatrně. Jíly jej obsahují řádově jen několik setin procenta. Uvolňovat se obvykle začíná kolem 800 °C a se zvyšující se teplotou jeho obsah vzrůstá, přičemž fluoridy v surovině reagují s vlhkostí v pecní atmosféře a tvoří plyný fluorovodík HF. Redukce fluoridových emisí lze dosáhnout zejména přidávkou vápenatých sloučenin, při níž se vytvoří stabilní chemická vazba CaF₂ [4]. Do ovzduší uniká maximálně 20-25 % fluoru ze suroviny;

- **nízkoteplotní karbonizační plyny** mají karcinogenní povahu, poškozují lidské zdraví. Vznikají při destilaci prchavých látek z paliva a jiných organických látek. Hlavním zdrojem jsou lehčiva organické povahy (uhlí, brikety, piliny). Emitují při teplotách 100-500 °C, při teplotě kolem 600 °C dochází k jejich rozkladu nebo zapálení. Největší množství

vzniká při lehčení výrobků pěnovým polystyrenem, a proto je nutné dodatečné spalování zplodin.

Aktivita Ra-226

Zvýšený obsah radia Ra a jeho měrná aktivita ve stavebních hmotách zvyšuje objemovou aktivitu ovzduší v místnosti a při dlouhodobém působení poškozuje lidský organizmus. Limitní hodnoty izotopu Ra-226 v popílcích jsou na základě požadavků ČSN 72 2071 (Popílek pro stavební účely – Společná ustanovení, požadavky a metody zkoušení) shodné jako pro výrobky z betonu, pórobetonu, sádry a cementu pro stavební účely, pro cihly a jiné výrobky z pálené hlíny pro stavební účely podle ČSN 73 0602 (tab. 1). U stavebních výrobků se obecně ověřuje radiačně hygienická nezávadnost ve smyslu vyhlášky Státního úřadu pro jadernou bezpečnost podle zák. č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně, a její změny 499/2005 Sb. Mezní hodnoty, charakterizující obsah přírodních radionuklidů ve vybraných stavebních materiálech podle citované vyhlášky zákona, jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 1. Směrné a limitní hodnoty pro popílek a stavební materiály

Použití	Směrné	Limitní
	[Bq kg ⁻¹]	
pro stavby s pobytovým prostorem	80	150
výhradně pro jiné účely	300	1 000

Tab. 2. Mezní hmotnostní aktivita Ra-226 a index hmotnostní aktivity pro stavební materiál

Materiál	Hmotnostní aktivita Ra-226 [Bq.kg ⁻¹]	
	1*	2**
kámen, popílek, škvára a struska, umělé kamenivo, keramické obkládačky a dlaždice, cement, vápno, sádra	300	1 000
cihly a jiné výrobky z pálené hlíny, stavební výrobky z betonu, sádry, cementu, vápna, pórobeton	150	500

* pro stavby s pobytovou místností

** výhradně pro stavby jiné než s pobytovou místností

Vlastnosti popílků

Většina elektrické energie (v ČR 69 %, ve světě průměrně 39 %) se vyrábí spalováním fosilních paliv. V České republice jsou nejrozšířenějším producentem elektrárny, které spalují nejčastěji hnědé uhlí (10-30 % popela), lignit (až 60 % popela) a v menší míře i černé uhlí (10-15 % popela). Na výrobu 1 MWh je potřeba průměrně 1 t uhlí. Jako vedlejší produkt ročně vyprodukuje asi 8 mil. t popílků.

Tab. 3. Chemické složení používaných popílků

Popílek [%]	SiO ₂	FeO	C	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	S	Fe ₂ O ₃	MgO	zž*
černouhelný	52,4	0,3	4,5	24,2	1,0	4,0	2,8	0,3	0,8	6,4	2,8	3,4
fluidní	29,1	0,7	4,7	17,7	0,5	25,9	0,7	0,3	4,7	2,5	2,6	4,6
hnědouhelný	53,3	2,5	1,0	20,9	1,7	1,9	0,7	0,2	0,2	3,3	0,2	0,8

* ztráta žháním

Jemná zrna popílků Ø 0-1 mm, vznikající spalováním práškového uhlí, unášejí spaliny do dalších tahů kotle. Vlastnosti popílků se zásadně liší především podle typu spalovacího zařízení a typu uhlí. V současnosti se rozlišují pouze dva způsoby spalování, a to v práškových ohništích za teplot 1 400 až 1 500 °C (vznikají klasické vysokoteplotní popílků) a fluidních ohništích za teplot kolem 850 °C, pro které se uhlí mele současně s přídavkem vápence nebo dolomitu (fluidní popílků).

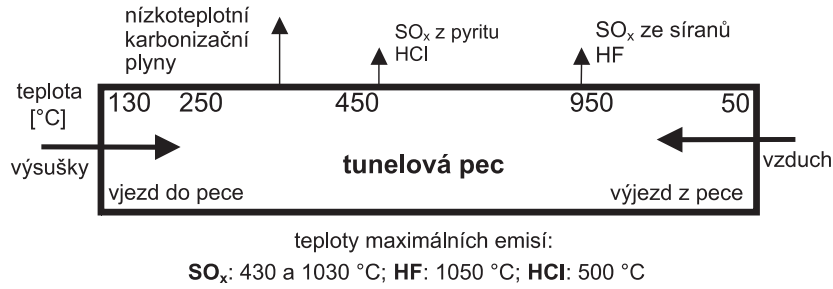
Hlavní rozdíl je v mineralogickém složení klasických a fluidních popílků. Klasické obsahují jako hlavní složku až 80 % skelné fáze a do 20 % mullitu. Obsah SO₃ je obvykle menší než 1 %, jelikož síran vápenatý se při teplotách nad 1 150 °C rozkládá. Zbytky fluidního spalování, i když se vlastnosti liší díky různé kvalitě spalovaného paliva a typu kotlů, mají několik společných vlastností – podstatně vyšší obsah SO₃, obsah volného CaO (až do 15 %), nepřítomnost skelné fáze a mullitu, hydraulické vlastnosti (tuhnou a tvrdnou po rozmíchání s vodou bez dalších příměsí).

V experimentu byl použit jednak popílek, který vzniká vysokoteplotním spalováním černého uhlí, ale není pro naše tepelné elektrárny typický, jednak hnědouhelný popílek jako typický produkt spalování našich elektráren, a dále fluidní popílek, vznikající fluidním spalováním lignitu. Granulometricky jsou ve všech typech zastoupena zrna jen do Ø 0,5 mm, přičemž zbytek na sítu 0,063 mm (R_{0,063}) činí obvykle 10-40 % (tab. 4). To zaručuje měrný povrch až 300 m² kg⁻¹ (stanoveno Blainovou metodou), což je hodnota téměř na úrovni, které dosahují cementy na trhu.

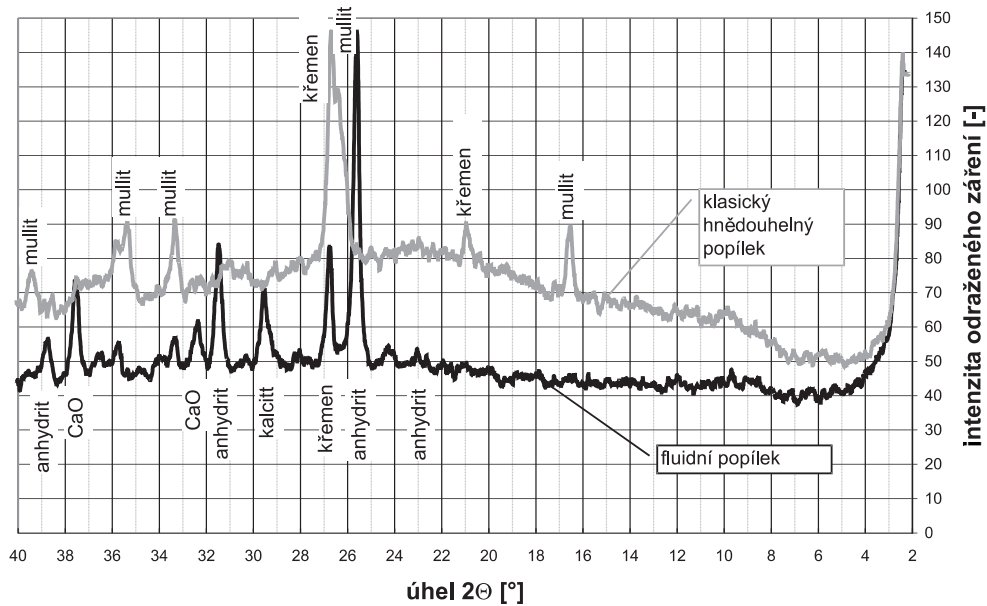
Tab. 4. Další vlastnosti popílků

Typ	R _{0,063} [%]	Mineralogické složení	pH	Hustota [kg m ⁻³]	Měrný povrch [m ² kg ⁻¹]	Ra-226 [Bq kg ⁻¹]
fluidní	25,9	anhydrit, kalcit, CaO, křemen	12,9	2 060	270,5	141
hnědouhelný	38,9	křemen, mullit, skelná fáze	9,5	1 990	230,2	168
černouhelný	15	křemen, mullit, skelná fáze	10,5	2 100	285,5	123

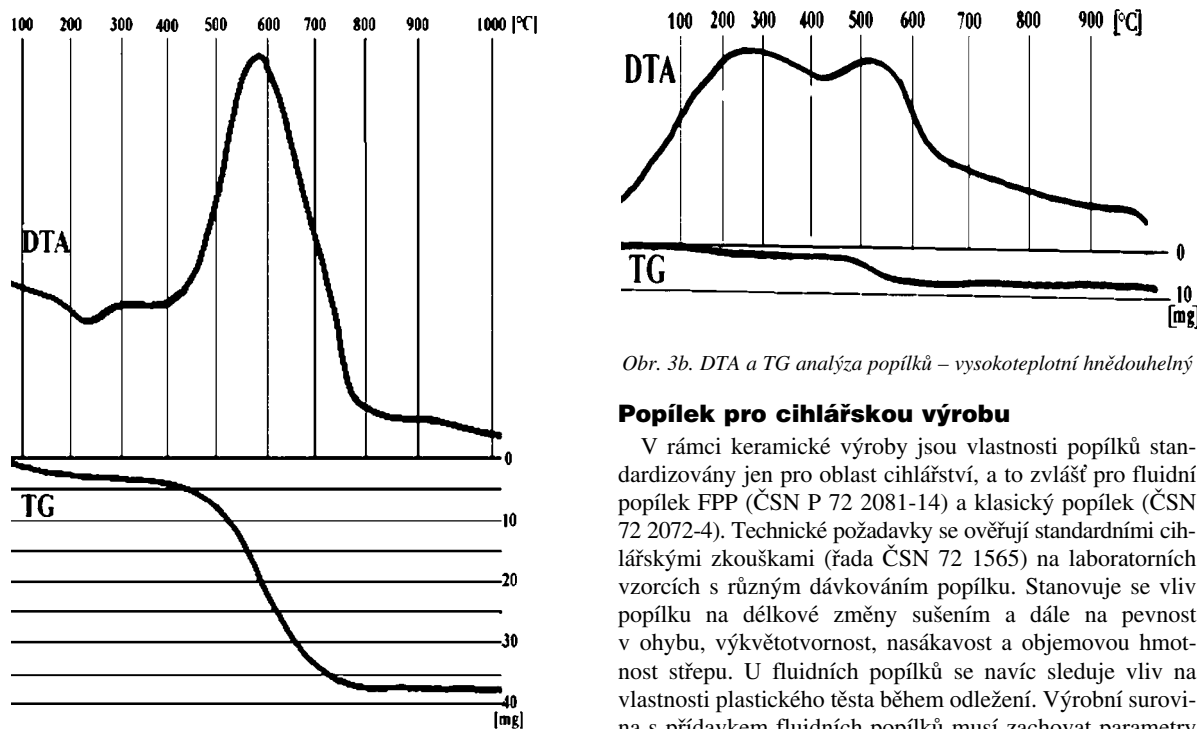
Na základě výsledků diferenční termické analýzy a tepelně gravimetrické analýzy lze stanovit teplotní intervaly vyhořívání nedopalu v popílcích. Obecně dochází k největší ztrátě hmotnosti pálením v intervalu 500-600 °C (obr. 3a, obr. 3b). Výjimku tvoří fluidní popílek (obr. 3c), u něhož nejvyšší ztráta žháním odpovídá dekarbonataci vápence (odchod CO₂) vrcholící při teplotě kolem 800 °C. Pro všechny popílků vzniklé klasickým spalováním při vyšších teplotách (obr. 4a) je typický obsah sférických útvarů. Zrna fluidního popílků (obr. 4b) mají nekompaktní strukturu danou nižší teplotou při spalování, v tomto konkrétním případě lignitu. Z hlediska hmotnostní aktivity Ra-226 lze všechny typy ověřovaných popílků pro keramickou výrobu použít, protože jsou v limitu maximální povolené hmotnostní aktivity podle vyhl. 499/2005 Sb.



Obr. 1. Teploty odcházejících kyselinotvorných emisí během výpalu v cihlářské tunelové peci [2]



Obr. 2. Mineralogické složení klasického vysokoteplotního hnědouhelného popílku a popílku fluidního (RTG difrakce)



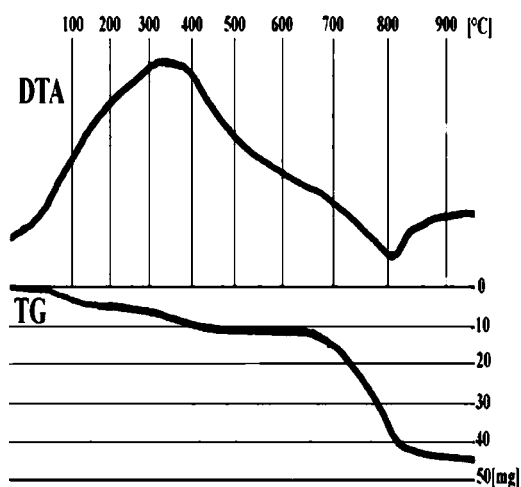
Obr. 3a. DTA a TG analýza popílků – vysokoteplotní černouhelný

Obr. 3b. DTA a TG analýza popílků – vysokoteplotní hnědouhelný

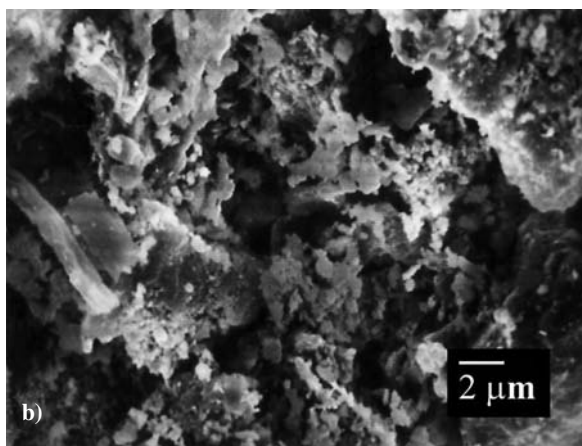
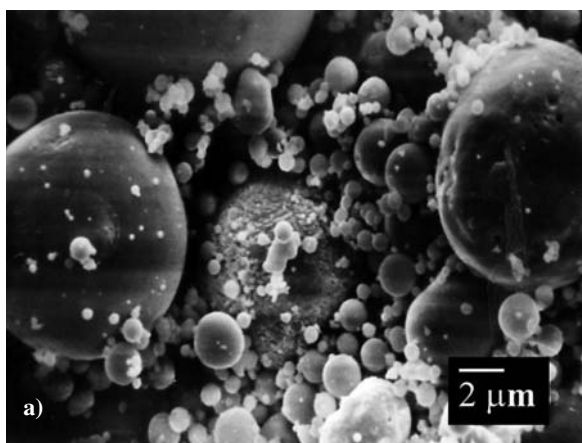
Popílek pro cihlářskou výrobu

V rámci keramické výroby jsou vlastnosti popílků standardizovány jen pro oblast cihlářství, a to zvláště pro fluidní popílek FPP (ČSN P 72 2081-14) a klasický popílek (ČSN 72 2072-4). Technické požadavky se ověřují standardními cihlářskými zkouškami (řada ČSN 72 1565) na laboratorních vzorcích s různým dávkováním popílku. Stanovuje se vliv popílku na délkové změny sušením a dále na pevnost v ohybu, výkvětovost, nasákavost a objemovou hmotnost střepe. U fluidních popílků se navíc sleduje vliv na vlastnosti plastického těsta během odležení. Výrobní surovina s přídatkem fluidních popílků musí zachovat parametry plastičnosti těsta od jeho zadělání do zpracování. Pokud bě-

hem této doby tuhne, je dávkování fluidního popílku technologicky nevyhovující a je třeba vyzkoušet jiné. Požadavky na chemické a fyzikální vlastnosti obou typů popílků pro cihlářskou výrobu jsou uvedeny v tab. 5.



Obr. 3c. DTA a TG analýza popílků – fluidní



Obr. 4. Morfologie popílku (REM 1 500x)
a – klasického vysokoteplotního, b – fluidního

Emise CO a SO₂ při výpalu popílků

Obsah oxidu siřičitého a oxidu uhelnatého ve spalinách sledoval při výpalu zkušebních vzorků analyzátor TESTO M-I 300. Popílků byly pomlety v laboratorním kulovém mlýnu tak, aby zbytek na sítu s oky Ø 0,063 mm (stanove-

ný plavením) činil cca 5 %, což je standardní jemnost mletí, např. surovinové směsi pro výrobu za sucha lisovaných keramických obkladových prvků. Směs (popílek + 18 % voda) se mísila 10 minut s následným protlačněním hmoty přes síto s oky Ø 1 mm. Vzniklý granulát byl dávkován do formy 50 x 100 x 10 mm a lisován tlakem 30 MPa. Výpal dvou vzorků probíhal v muflové elektrické peci o objemu 5 l při teplotě 20-970 °C (průměrná vypalovací teplota cihlářských zdicích materiálů) s nárůstem 10 °C/min a izotermickou výdrží na max. teplotě 20 minut s kontinuálním měřením obsahu uvedených oxidů ve spalinách. Z obrázku 5 je patrné, že k uvolňování značného množství CO dochází nejdříve (při teplotách 250-500 °C) u fluidních popílků, ale celkově v nejnižším množství (tab. 6). Hnědouhelny popílek uvolňoval nejvyšší množství CO (400-600 °C), dokonce nad maximálním limitem citlivosti analyzátoru spalin (5 000 ppm). Podobně i z hlediska obsahu SO₂ ve spalinách vykazoval nejvyšší hodnoty vysokoteplotní hnědouhelny popílek od asi 900 °C s maximem na počátku izotermické výdrže na 970 °C, kdy byla skutečná teplota v peci maximální (vlivem nedokonalé regulace). Vypalovací teplota nebyla k rozkladu anhydritu ve fluidním popílku dostatečně vysoká, navíc značný obsah volného CaO v tomto typu popílku dokáže unikající oxid siřičitý vázat [5]. Díky těmto skutečnostem vykazovaly spaliny, vznikající při výpalu zkušebních vzorků na bázi fluidního popílku, minimální obsah SO₂. I díky tomu je pochopitelné, že vypálené vzorky z fluidních popílků vykazovaly v porovnání s ostatními druhy poměrně silné výkvěty sádrovce.

Tab. 5. Požadavky na chemické a fyzikální vlastnosti popílků pro cihlářskou výrobu

Název zkoušky		Jednotka	Požadavky
chemická	ztráta hmotnosti sušením		max. 1
	obsah síry (jako SO ₃) [*]	[% hmot.]	max. 10
	obsah volného CaO [*]		max. 10
fyzikální	sítový rozbor, zbytek na sítu [mm]		
	- 0,125	[%]	max. 10 ^{**} (15 ^{***})
	- 4,000		max. 1

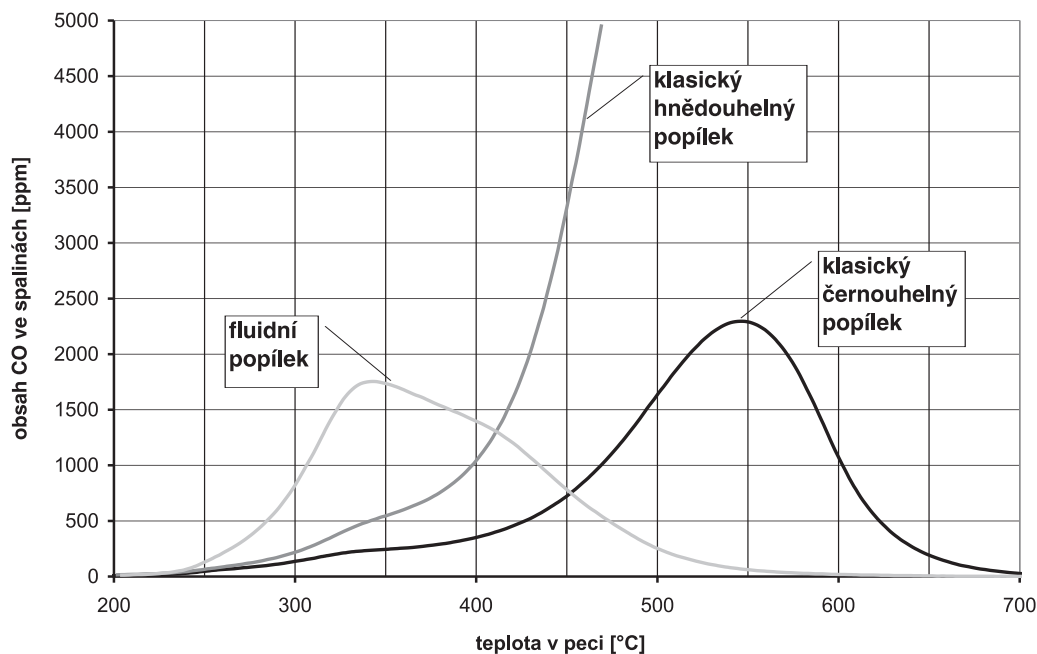
^{*} pouze pro fluidní popílků, ^{**} směrná hodnota, ^{***} limitní hodnota

Tab. 6. Maximální obsah emisí CO a SO₂ ve spalinách

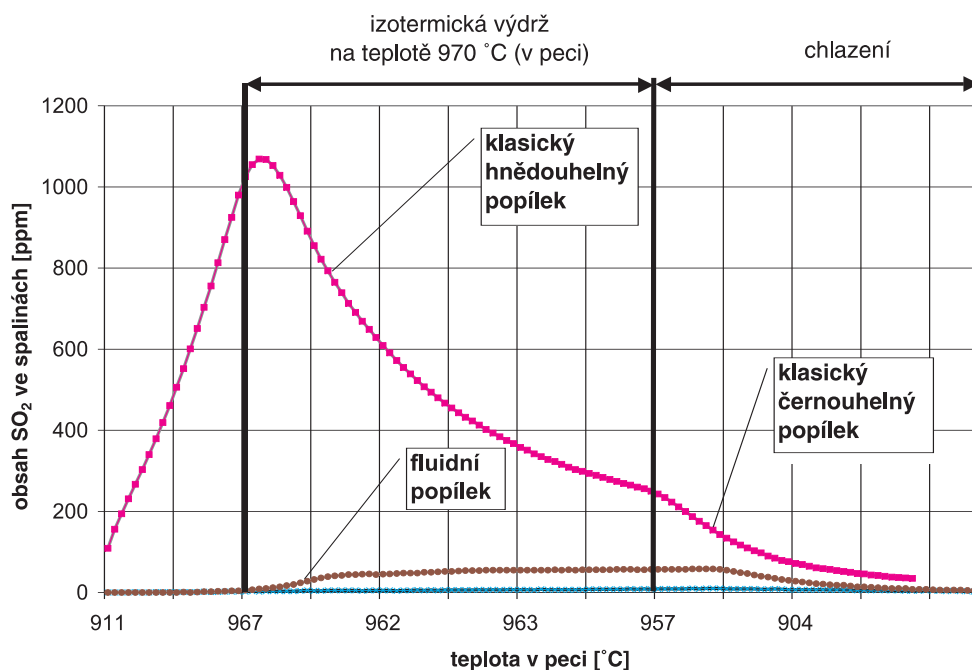
Emise [ppm]	Popílek		
	černouhelny	fluidní	hnědouhelny
CO	2 286	1 753	> 5 000
SO ₂	10	58	1 149

Popílek v keramickém střepe

Vliv popílku na vlastnosti keramického střepe, a zejména na emise oxidu siřičitého a hmotnostní aktivitu izotopu Ra-226, byly posuzovány pro cihlářský střepe (25 % hmot. popílku + 75 % hmot. cihlářské zeminy) a pro popílko-jílový za sucha lisovaný střepe, který vyhovuje požadavkům na vlastnosti pórovinových obkládaček skupiny BIII podle ČSN EN 14411 (70 % hmot. popílku + 30 % hmot. kameni-



Obr. 5. Emise CO ve spalínách v závislosti na typu popílku

Obr. 6. Emise SO₂ ve spalínách v závislosti na typu popílku

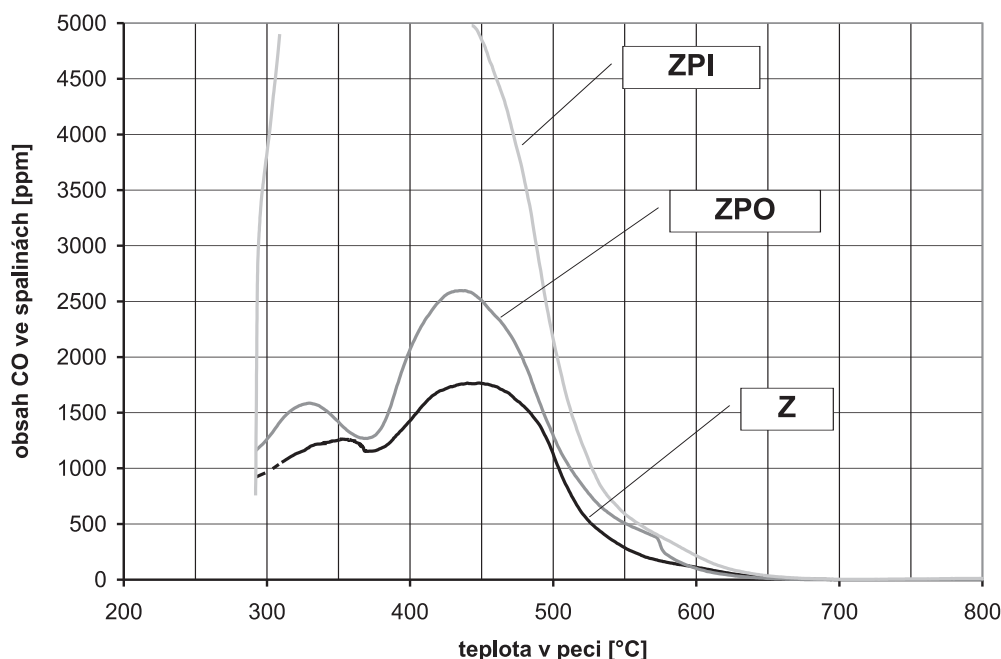
Tab. 7. Vlastnosti střepu po výpalu na 950 °C

Vlastnosti	Jednotka	Z	ZPO	ZPI
objemová hmotnost OH	[kg m ⁻³]	1 890	1 640	1 580
nasákavost varem N	[%]	14,2	18,0	22,8
součinitel tepelné vodivosti λ	[W m ⁻¹ K ⁻¹]	0,639	0,492	0,472
pevnost v tahu za ohybu σ_{po-v}	[MPa]	12,1	10,1	9,0
hmotnostní aktivita Ra-226	[Bq kg ⁻¹]	51	77	50

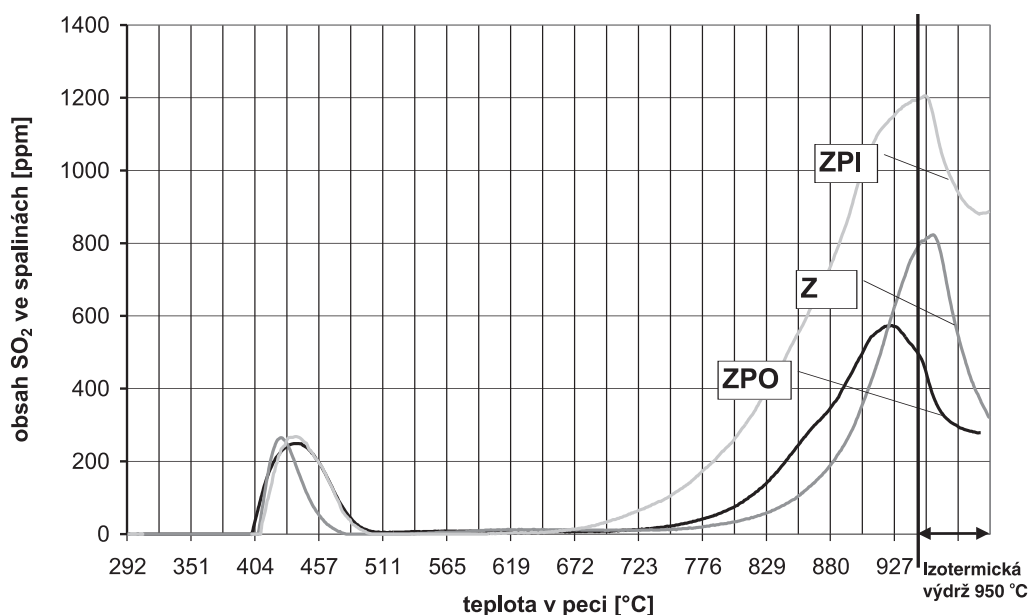
nový jííl). V obou případech byl použit běžný hnědouhelný popílek, který z hlediska obsahu CO a SO₂ ve spalínách během výpalu vykazoval nejhorší vlastnosti.

Popílek v cihlářském střepu

V cihlářském střepu byl posuzován vliv popílku (25 % hmot. ve směsi ZPO) jako lehkiva v porovnání s dřevěnými pilinami (4 % hmot. ve směsi ZPI), které slouží v současné době jako standard, a střepem nelehčeným (Z). Dávkování obou vycházelo z požadavku na vytvoření přibližně shodně vylehčeného střepu, tzn. především se srovnatelným součinitelem tepelné vodivosti λ (tab. 7). Popílek potvrdil funkci lehkiva a snížil objemovou hmotnost střepu ZPO po výpalu na 950 °C o 12 % v porovnání s vypáleným střepem Z bez



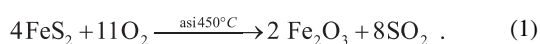
Obr. 7. Obsah CO ve spalinách v závislosti na typu lehkčiva – výpal na teplotu 950 °C, nárůst teploty 3 °C za minutu
Z – bez lehkčiva, ZPO – lehkčivo popílek, ZPI – lehkčivo dřevěné piliny



Obr. 8. Obsah SO₂ ve spalinách v závislosti na typu lehkčiva – výpal na teplotu 950 °C, nárůst teploty 3 °C za minutu
Z – bez lehkčiva, ZPO – lehkčivo popílek, ZPI – lehkčivo dřevěné piliny

příměsí. Vyhoříváním organických látek v popílku došlo v důsledku vylehčení střepe popílkem ke zvýšení emisí CO o 831 ppm (47 %). Nicméně v porovnání s dřevěnými pilinami je negativní vliv popílku na emise CO zanedbatelný (obr. 7), neboť maximální obsah CO ve spalinách při výpalu vzorků ze směsi ZPI přesáhl 5 000 ppm. Obdobně lze kladně hodnotit elektrárenský popílek jako lehkčivo v porovnání s dřevěnými pilinami i z hlediska obsahu oxidu siřičitého ve spalinách (obr. 8).

Při výpalu všech posuzovaných směsí (Z – ZPO – ZPI) vzniká SO₂ ve dvou teplotních pásmech. K první emisi SO₂ dochází při teplotě kolem 450 °C. Příčinou je oxidace pyritu (FeS₂), který je součástí cihlářské zeminy, podle rovnice



Druhá emise SO₂ začíná nad teplotou 700 °C a může pokračovat přes celý cyklus pálení. Příčinou se zdá být rozklad síranů, ačkoli podle doposud publikovaných závěrů [3] by k němu mělo docházet až při teplotách vyšších (nad 800 °C). Pokud se sírany úplně nerozloží, existuje předpoklad, že střepe bude náchylný k tvorbě výkvětů.

Popílek ve střepe keramických obkládaček

Pro posouzení vlivu popílku na obsah SO₂ a CO ve spalinách během výpalu a na hmotnostní aktivitu Ra-226 ve vypáleném střepe byla připravena směs z elektrárenského popílku a jílu a pro porovnání běžná směs pro výrobu pórovinových obkládaček skupiny BIII (podle ČSN EN 14411) [6]-[8]. Popílko-jílový střepe byl připraven shodným postu-

pem, který byl popsán v rámci přípravy čistě popílkových vzorků, porovnávaný referenční střeš byl lisován z průmyslově připraveného rozprachového granulátu (obvykle jíly, křemen, vápence). Z hlediska technických požadavků je popílko-jílový střeš vyhovující pro výrobu za sucha lisovaných keramických obkladačkových prvků skupiny BIII podle ČSN EN 14411.

Podstatně vyšší obsah SO_2 i CO ve spalinách byl detekován při výpalu popílko-jílového střeš. Například výskyt SO_2 ve spalinách nebyl u vzorku rozprachového granulátu téměř zaznamenán, popílko-jílová směs vykazovala maximální obsah SO_2 ve spalinách kolem 700 ppm s extrémem na počátku izotermické výdrže při maximální teplotě výpalu (tj. 970 °C, nárůst teploty 10 °C/min, výdrž na max. teplotě 10 minut). Obsah CO ve spalinách při výpalu popílko-jílového střeš vykazoval přibližně dvojnásobek (maximum 4 450 ppm s extrémem při 520 °C) v porovnání s obsahem CO ve spalinách unikajících z pece při výpalu referenčních vzorků připravených ze stávající surovinové směsi na bázi přírodních surovin (maximum 2 250 ppm s extrémem při 365 °C). Pálený popílko-jílový střeš vykazoval hmotnostní aktivitu Ra-226 rovnou 139 Bq kg⁻¹, což ve smyslu vyhlášky Státního úřadu pro jadernou bezpečnost o radiační ochraně znamená pro keramické obkladačky vyrobené z popílko-jílové směsi možnost použití i pro stavby s pobytovou místností.

Závěr

Elektrárenské popílky představují druhotnou surovinu hojně využívanou ve stavebnictví. Technologie výroby pálených staviv musí počítat s nárůstem obsahu oxidů uhlíku, a především síry ve spalinách v surovinových směsích. Ovšem elektrárenský popílek jako lehčivo cihlářských střeš představuje z hlediska obsahu SO_2 a CO ve spalinách mnohem výhodnější variantu než standardní cihlářské lehčivo – dřevěné piliny – při shodném vylehčení střeš. Laboratorně připravený popílko-jílový střeš za sucha lisovaných keramických obkladaček je však během výpalu daleko větším zdrojem emisí SO_2 a CO v porovnání se současnou standardní surovinovou směsí na bázi jílu, křemene a vápence.

Ke každému druhu elektrárenského popílku, jako součásti keramických výrobních směsí, je třeba přistupovat individuálně a pro každou stanovit teplotu počínajícího úniku SO_2 . Například nejběžnější elektrárenský popílek, který vzniká klasickým vysokoteplotním spalováním hnědého uhlí, je z hlediska obsahu SO_2 a CO ve spalinách v porovnání s fluidním popílkem a vysokoteplotním hnědouhelným popílkem nejhorší alternativou. Dalším negativem využití elektrárenských popílků je vyšší hmotnostní aktivita Ra-226 v porovnání s přírodními keramickými surovinami.

Příspěvek byl vytvořen s podporou projektů VVZ MSM 0021630511 „Progresivní stavební materiály s využitím druhotných surovin a jejich vliv na životnost konstrukcí“ a č. 103/06/1829 GA ČR „Polyfunkční využití energetických odpadů ve stavebnictví a ekologii“.

Literatura

- [1] Pytlík, P. – Sokolář, R.: Stavební keramika. Technologie, vlastnosti a využití. Brno, CERM 2002. ISBN 80-7204-234-3.
- [2] Sindram, M. – Naffin, B.: Flue Gas Clearing in the Brick and Tile Industry. Ziegelindustrie International, No. 4, 2003, pp. 12-20.
- [3] Brosnan, D. – Sanders III, J.: The Air Pollution Potential for Brick Making Materials and Additives. ZI-Annual, Wiesbaden und Berlin, Bauverlag 2002, pp. 123-131. ISBN 3-9803390-9-2.
- [4] Denissen, J. – de Vries, A.: Reduction of Fluoride Emission from Clay Materials. Ziegelindustrie International, No. 1-2, 1998, pp. 19-26.
- [5] Paulus, N.: Reduction of the Sulphur Oxide Emissions during Tunnel Kiln Firing by Means of Additives to the Raw Material. Ziegelindustrie International, No. 1-2, 1997, pp. 53-55.
- [6] Sokolář, R. – Smetanová, L.: Popílkový střeš keramických obkladaček BIII – vliv typu jílu. Keramický zpravodaj, 24, 2008, č. 3, s. 4-8. ISSN 1210-2520.
- [7] Sokolář, R. – Smetanová, L.: Vliv jemnosti mletí popílku na vlastnosti popílkových střeš. Keramický zpravodaj, 23, 2007, č. 2, s. 4-8. ISSN 1210-2520.
- [8] Sokolář, R. – Smetanová, L.: Vliv ztekucovadel na vlastnosti popílkových střeš. Keramický zpravodaj, 23, 2007, č. 4, s. 8-12. ISSN 1210-2520.

Sokolář, R. – Smetanová, L.: Environmental Aspects of Exploitation of Fly Ash in Ceramic Production Technology

This paper describes the exploitation of fly ash (fluid versus classic) in ceramic production technology. It mostly deals with the issue from the perspective of emissions of oxides of carbon and sulphur during firing, and given the content of natural radioactive nuclides in the ceramic body with the addition of fly ash. Two ceramic mixes document the effect of the most common type of fly ash.

Sokolář, R. – Smetanová, L.: Ökologische Aspekte des Einsatzes von Kraftwerks-Flugaschen in der Keramiktechnologie

Der Artikel widmet sich der Verwendbarkeit von Kraftwerks-Flugaschen (fluide versus klassische) in der Keramiktechnologie vor allem aus der Sicht der Emission von Kohlenstoffoxiden und Schwefel während des Brennens und aus der Sicht des Gehalts an natürlichen Radionukliden im Keramikscherben mit einer Beimischung von Kraftwerks-Flugaschen. An zwei Keramikmischungen wird der Einfluss des geläufigsten Typs von Kraftwerks-Flugasche dokumentiert.

PODLAHY 2009

17. až 18. září 2009

Kulturní centrum Novodvorská, Praha 4



Konferenci pořádá

BETONCONSULT s.r.o.

ve spolupráci s

CECHEM PODLAHÁŘŮ ČESKÉ REPUBLIKY

www.konferencepodlahy.cz

Vliv teploty na sorpční vlastnosti materiálů historických budov

Ing. Radka PERNICOVÁ
Ing. Milena PAVLÍKOVÁ, Ph.D.
ČVUT – Fakulta stavební
Praha

Obnova a rekonstrukce historických budov je spojena s problémem zvolit nejvhodnější materiál, který nejen svým vzhledem, ale především vlastnostmi, bude odpovídat materiálu původnímu. U vybraných materiálů (pískovec, cihla a opuka), které jsou z historického hlediska nejčastěji používanými stavebními materiály na území střední Evropy, byly stanoveny základní parametry, jako je objemová hmotnost, hustota a otevřená pórovitost. Aby bylo možné posoudit chování materiálů v konstrukci, byly naměřeny také sorpční izotermy, a to v závislosti na teplotě. Studované materiály se vyznačují vysokou otevřenou pórovitostí a velice rozdílným hygroskopickým chováním. Zatímco pískovec má zanedbatelnou adsorpční kapacitu, opuka je při vysokých vlhkostech okolního prostředí schopna vázat značné množství vlhkosti, což je také příčinou její rychlé degradace.

Úvod

Velký rozmach v používání konstrukcí z kamene přírodního, lomového, tesaného a pálené cihly v našich zemích můžeme zaznamenat v období vrcholné pozdní gotiky v 15. století [1]. Lomový kámen umožnil zdění vrstvením, spojením tesaného kamene s vypálenou cihlou vznikalo zdivo smíšené. Zdi z lomového kamene bývaly značně tlusté, na hradech i několik metrů, lité zdivo sloužilo jako jejich výplň. Líc zdiva se omítal a maloval.

V novověku byla nejprve vyžděna celá konstrukce, a potom se povrch upravoval, což bylo mnohem rychlejší a hospodárnější než gotická technika celokamenné stavby. V renesanci se z kamene dělaly pouze architektonické drobnosti, římsy, balustrády, schodiště a zábradlí. Nejvíce staveb bylo ze zdiva smíšeného z lomového kamene, cihel a velkého množství malty.

Stavební vývoj, zejména monumentálních staveb chrámů, zámků, klášterů, ale i měšťanských domů, vrcholil v 17. a 18. století. Barokní architektura pracovala s tuzemskými materiály, a je zřejmé, že zejména některé pískovce a vyvřelé horniny nejsou pro zpracování jemného detailu příliš vhodné. Vzhledem k ohromné stavební aktivitě, nedostatku času a kapacity nebylo možné zvládnout všechny požadavky investorů. Proto jsou stavby z této doby kombinací kamenných prvků a zdiva, a jelikož např. průčelí kostelů mělo působit monumentálním dojmem výtvaru z jednoho materiálu, byly kamenné architektonické prvky většinou relativně hrubě opracovány, a pak dokončeny povrchovým štukováním a nátěrem shodným s omítkami. Kamenné kvádry sloužily jako armatura staticky namáhaných částí stavby, jako je ostění oken a dveří, zejména překlady, sokly, nároží, sloupky a pilíře, římsy, balustrády atd. Tuto techniku převzala i mladší období, zejména klasicismus.

Architektura 19. století přinesla ukazování jednotlivých kamenných kvádrů, ale i zdiva včetně lomového. Původně omítnuté kamenné fasády se zbavovaly omítek a prezentovaly v romantickém vzhledu kamenného monumentu.

Pórovité stavební materiály tvoří důležité a často používané stavební prvky, protože v jejich otevřených pórech dochází k žádoucí difúzi vzduchu. Výhodné materiálové vlastnosti se ztrácejí, vnikne-li do pórů voda. Přispěje ke snížení tepelného odporu a zvýšení tepelné vodivosti, vzrůstá hmotnost konstrukce, a navíc dochází k transportu solí rozpuštěných ve vodě a k jejich krystalizaci uvnitř porézního systému materiálu.

Při výzkumu jsme se zaměřily na vlastnosti materiálů používaných na našem území, konkrétně na pískovec, cihlu, opuku a vápenec. Akumulační parametry vlhkosti porézních stavebních materiálů se obvykle dělí do dvou skupin – na oblast hygroskopickou, jež se nachází v rozmezí 0,0-97,5 % relativní vlhkosti, a nadhygroskopickou, která se pohybuje mezi 97,5-100 %. Hlavní hnací silou prostupu vlhkosti v hygroskopické oblasti je transport vodní páry, přičemž akumulaci křivku vlhkosti označujeme jako sorpční izotermy. Ta vyjadřuje závislost obsahu vlhkosti v materiálu na relativní vlhkosti okolí [2]. Průběh sorpčních izoterem výrazně ovlivňuje teplota okolního prostředí, proto byly stanoveny za dvou různých teplot, konkrétně 21 °C a 25 °C.

Fyzikální teorie sorpce

Podle fyzikální teorie adsorpce se nejprve vytvoří monomolekulární vrstva, v níž se na povrchu póru uchyty první vrstva molekul vody. Na původní vrstvu molekul se postupně vazebními silami poutají další vrstvy molekul vody, tvoří se multimolekulární vrstva a pór se postupně zaplňuje. V konečné fázi nastává v pórech kondenzace vody až do jejich nasycení kapalnou vlhkostí [3].

Sorpční izotermy porézních materiálů vyjadřují závislost rovnovážného obsahu vlhkosti materiálu u [kg/kg] na relativní vlhkosti vzduchu φ [%] při konstantní teplotě. Z jejich tvaru lze zpětně získat některé parametry charakterizující porézní látku, např. strukturu pórů, vnitřní povrch, mechanismus vazby [4]. Rychlejší růst sorpční izotermy v poslední fázi sorpční křivky, tj. zhruba od relativní vlhkosti 50 %, nastává díky kapilární kondenzaci. V oblasti mikropórů s ekvivalentním poloměrem $r < 10^{-7}$ m dochází ke kondenzaci vodních par při nižších parciálních tlacích, než při kterých se za dané teploty vyskytují v nasyceném stavu. Toto snížení tlaků vede ke kondenzaci nenasycených vodních par [3]. Při relativní vlhkosti vzduchu nad 90 % má průběh sorpčních izoterem většinou prudce stoupající tendenci, neboť díky transportu kapalně fáze kapilárním sáním dochází k zaplnění mikropórů a k úplnému nasycení materiálu.

Pro stanovení množství vody adsorbované na suchý materiál v závislosti na tlaku vodních par existuje řada vztahů, z nichž nejpoužívanější je rovnice BET, tj. vztah, který odvodili pro vícemolekulové vrstvy Brunauer a kol. [5]. Podle jejich teorie je množství vody v monomolekulární a multimolekulární vrstvě na měrném povrchu materiálu v rovnovážném stavu závislé na relativní vlhkosti vzduchu a je dáno rovnicí

$$m_V = \frac{m_V k \varphi}{1 - \varphi} \left(\frac{1 - (n+1)\varphi^n + n\varphi^{n+1}}{1 + (c-1)\varphi^n - c\varphi^{n+1}} \right), \quad (1)$$

kde m_v je hmotnost sorbované vody [kg], m_{v1} hmotnost vody v monomolekulární vrstvě [kg], n počet vrstev molekul, k konstanta ($k = 1$), φ relativní vlhkost vzduchu [–], c parametr určený ze závislosti vazebního tepla monomolekulární vrstvy [J mol⁻¹]. Jak je patrné z rovnice pro výpočet parametru c , závisí jeho hodnota exponenciálně na teplotě

$$c = \Delta p \left(\frac{c_0}{T} \right), \quad (2)$$

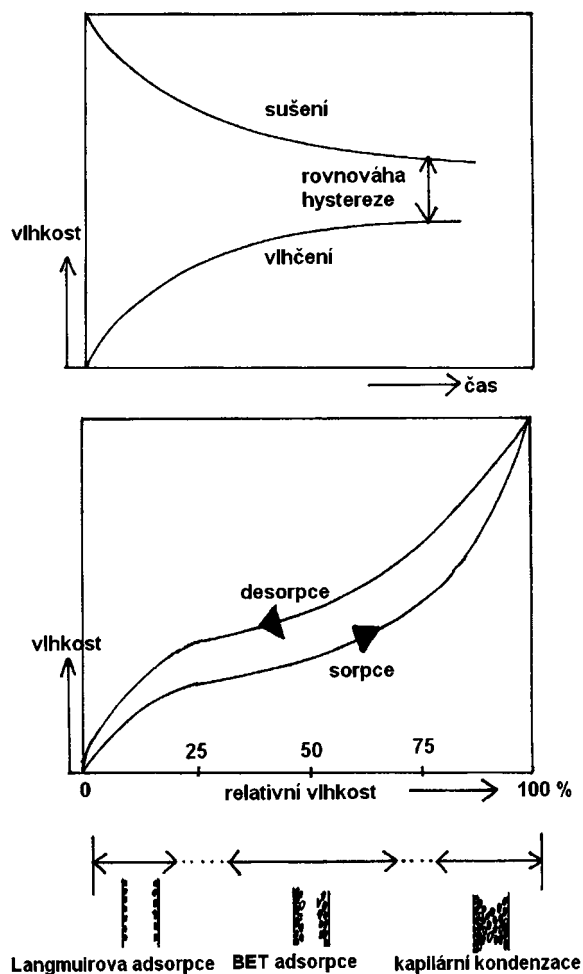
$$c_0 = T \ln(c), \quad (3)$$

kde c , c_0 jsou konstanty a Δp je rozdíl parciálních tlaků [Pa].

Vliv teploty na průběh sorpčních izoterem se snažili autoři popsat různými vztahy. Krischer navrhuje, jako velmi přibližný vztah, lineární závislost mezi přírůstkem vlhkosti materiálu a změnou teploty

$$-\frac{\Delta u}{u} = A \Delta T, \quad (4)$$

kde u je hmotnostní vlhkost [kg kg⁻¹] a A konstanta úměrnosti [7]. Konstanta úměrnosti A je závislá na relativní vlhkosti vzduchu a podle Krischera leží při relativní vlhkosti vzduchu mezi 10-90 % v rozmezí 10⁻³ až 10⁻² K⁻¹.



Obr. 1. Hystereze sorpčních křivek

Při desorpci dochází k uvolnění adsorbovaných molekul vody z povrchu materiálu (adsorbentu) nebo adsorbovaných molekul z objemu látky (absorbentu). Rychlost desorpce závisí na teplotě a tlaku, rychlosti proudění neutrálního plynu

a na povaze exponovaného materiálu a adsorbentu. Při desorpci se tvoří sorpční hystereze (obr. 1), rovnovážná vlhkost dosahuje při stejné relativní vlhkosti okolí dvou rozdílných hodnot podle toho, zda bylo rovnováhy dosaženo adsorpcí, nebo desorpcí [7]. Tento jev se vysvětluje kónickým tvarem pórů a z toho vyplývajících rozdílných poloměrů vytvářených menisků při adsorpci a desorpci. Vychází se z aplikace fyzikálního principu vyjádřeného buď Kelvinovou, nebo Youngovou-Laplaceovou rovnicí, ze kterých vyplývá, že tlak nad meniskem je proti tlaku nad rovinným povrchem tím menší, čím menší je poloměr křivosti menisku. Rozdíl tlaků při desorpci je tedy vyšší než při adsorpci, což umožňuje vyšší mikrokapilární vzlinavost při adsorpci. Důsledkem je tedy vyšší rovnovážná vlhkost při desorpci za shodné relativní vlhkosti. Uvedená teorie platí pouze pro kapiláry o $r > 10^{-7}$ m, tedy pro mezokapiláry a makrokapiláry.

Materiály

Materiály ke studiu byly vybrány na základě podobnosti chemických, fyzikálních a strukturálních vlastností tak, aby co nejvíce odpovídaly historickým stavebním materiálům nejčastěji používaným v Čechách:

- jemně zrnitý našedlý pískovec s nahnědlými až nahnědlými skvrnami z lomu Brož, Mšené Láně, je z 95 % tvořen polooválnými křemennými zrny. Matrice je tvořena jílovými minerály, převážně kaolinitem, s minimální příměsí ostatních minerálů. Po léta se používal na stavby budov v ČR [8];
- ze současné produkce cihlářských výrobků jsme zvolili cihlu Holešov z cihelny Žopa, která se složením a vzhledem nejvíce přibližuje cihlám historickým. Střep je nedokonale vypálený, barva přechází ze světle červené po temně šedou. Na řezu jsou zřetelné různé velké póry nepravidelných tvarů a částice ostříva. Cihla je značně nehomogenní jak svým složením, tak strukturou. V ČR jsou velmi rozšířené cihlářské suroviny obsahující relativně malé a proměnlivé množství jílových minerálů (kaolinitu, illitu, montmorillonitu, chloritu atd.) s převládajícím podílem prachových zrn křemene, slídy a úlomků různých hornin;
- opuku, vzniklou usazováním na mořském dně, tvoří jílovité a prachové částice s obsahem vápencové složky a mořských hub mikroskopických rozměrů (tzv. spongie). Jejich množství určuje pevnost a trvanlivost opuky. Zabarvení se pohybuje od okrově žluté až po načervenalé zlatavou. Hornina je značně porézní s velmi jemnými póry a málo odolná proti zvětřování. Vlivem mrazu a vysokého obsahu vlhkosti puká. V románském a gotickém období byla jedním z nejrozšířenějších stavebních materiálů;
- vápenc z řadíme mezi sedimentární horniny složené z více než z 90 % z kalcitu (CaCO₃), který může obsahovat příměsí dolomitu, jílu či písku. Vápenec z lomu Mořina byl využíván pravděpodobně už od doby železné, hlavně jako struskotvorná přísada při hutnění chudých železných rud. Od dob Jana Lucemburského se používal jako stavební a dekorativní materiál, později našel využití i na štuky a omítky.

Metody

K určení parametrů materiálů byly použity standardní měřicí metody – pro určení sorpčních izoterem exsikatorová metoda [9] za konstantních podmínek v termostatické skříni při zvolené teplotě. I tak je nutné poznamenat, že absolutní chyba měření může být až 10 %.

Pro každou relativní vlhkost jak v případě adsorpce, tak i desorpce, byly ověřovány tři vzorky 40x40x10 mm od každého materiálu. V případě adsorpce byly vzorky vysušeny na ustálenou hmotnost, výchozím stavem pro desorpce byly vzorky obsahující ustálenou vlhkost při relativní vlhkosti 97,5 %. Měření probíhala po dobu šesti měsíců. Hodnoty relativní vlhkosti nad nasycenými roztoky solí v závislosti na teplotě ukazuje *tab. 1*. U nasycených roztoků je tlak vodní páry nad nimi dán zejména chemickým složením soli a teplotou a stanovuje se empiricky. Hodnoty relativní vlhkosti se liší u různých autorů pro stejné soli, přičemž absolutní přesnost získaných hodnot relativní vlhkosti vzduchu je ± 1 % při běžných laboratorních podmínkách.

Tab. 1. Relativní vlhkost nad nasycenými roztoky solí v závislosti na teplotě [11]

Sůl	Teplota [°C]		
	21	23	25
	relativní vlhkost vzduchu [%]		
LiCl	11,1	11,1	11,1
K ₂ CO ₃	44,1	44,1	44,0
NaCl	75,6	75,5	75,4
KCl	85,1	84,7	84,2
K ₂ SO ₄	97,8	97,7	97,6

Při přípravě roztoků solí je nutné dodržovat určité zásady. Dosažení dobré stability a reprodukovatelnosti relativní vlhkosti je podmíněno hlavně čistotou soli a vody použité k přípravě roztoku. Mnoho nečistot ovlivňujících výslednou relativní vlhkost může být i ve vzduchu, a časem potom dochází k posunu hodnoty rovnovážné vlhkosti. Staré roztoky se proto musí včas nahradit novými. Správně se roztok soli připravuje tak, že do daného objemu destilované vody se přidá příslušné množství soli a za stálého míchání se přivede k varu. Takto připravený nasycený roztok se nalije do exsikatoru, kde v optimálním případě začne při ochlazení krystalizovat. Roztok musí mít konzistenci kaše s nadbytkem nerozpustných krystalů. Už při chladnutí v exsikatoru je patrná vlhkost srážející se na horní části víka. Po úplném zchladnutí se do exsikatoru vloží vzorky [10].

Přibližně po měsíci od uložení se vzorky zváží na digitální váze a hmotnost se zaznamená. Popisované měření se opakuje ve čtrnáctidenních intervalech, dokud se hmotnost vzorku neustálila. Při vážení je třeba dbát na to, aby vzorky nebyly příliš dlouhou dobu mimo exsikator.

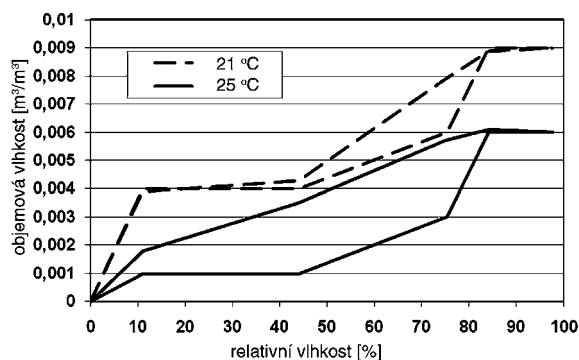
Výsledky

Základní materiálové parametry, jako je objemová hmotnost a pórovitost, byly naměřeny na deseti reprezentativních vzorcích gravimetrickou metodou. Hustota materiálů byla přesně stanovena héliovou pyknometrií přístrojem Pycnomatic ATC. Z výsledků v *tab. 2* je zřejmé, že opuka má o 20 %, pískovec o 30 %, a cihla dokonce o 36 %, vyšší otevřenou pórovitost než vápenec, což je způsobeno odlišnou distribucí a velikostí pórů jednotlivých materiálů. Přesnější údaje bude nutné zjistit plynovou a rtuťovou porozimetrií. Jako neporézní materiál se jeví vápenec, jehož otevřená porozita dosahuje asi 1 %. Značně vysoký podíl otevřené pórovitosti, naměřené zejména u pískovce a cihly, je příčinou jejich malé odolnosti vůči pronikání vlhkosti a solí, což vede k následné degradaci jejich porézní struktury.

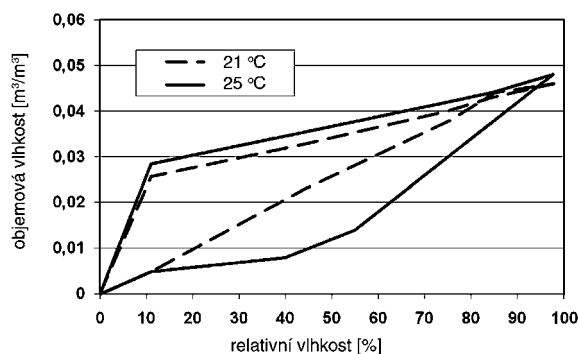
Tab. 2. Základní materiálové charakteristiky

Materiál	ρ_s	ρ	ψ
	[kg m ⁻³]		[%]
pískovec (SS)	1 670	2 670	37,45
cihla (BR)	1 840	2 675	31,20
opuka (ML)	2 100	2 665	21,20
vápenec (LS)	2 700	2 730	1,10

Mechanická destrukce bývá nejčastěji vyvolána působením vody, srážkové, tekoucí, vztlínající spodní vody i kondenzační. Proto je nezbytné znát schopnost materiálu adsorbovat vlhkost. Jak je z průběhu křivek sorpčních izoterm pískovce na *obr. 2* patrné, až do 45 % relativní vlhkosti se tvoří monomolekulární vrstva adsorbovaných molekul, pak nastává adsorpce multimolekulární. Maximálních hodnot dosahují obě křivky při 85% relativní vlhkosti vzduchu. Znamená to, že již při této hodnotě nastává u pískovce nasycení a dochází ke kapilární kondenzaci. Podle předpokladu kopíruje sorpční izoterma, měřená při vyšší teplotě, průběh křivky při nižší teplotě, přičemž s vyšší teplotou klesá adsorbované množství molekul vody na povrchu materiálu.



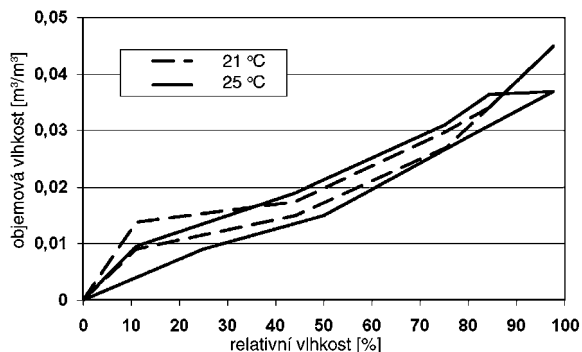
Obr. 2. Porovnání křivek sorpčních izoterm pískovce pro dvě různé teploty



Obr. 3. Porovnání křivek sorpčních izoterm cihly pro dvě různé teploty

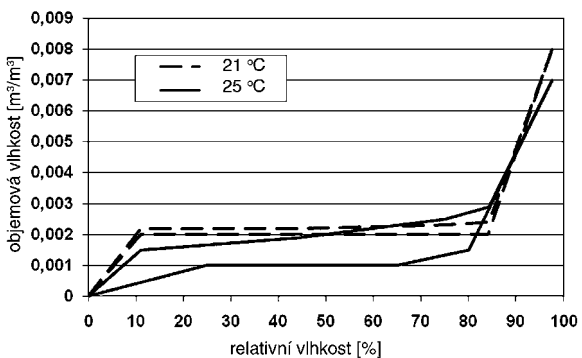
U sorpčních izoterm cihly při 25 °C můžeme rozeznat charakteristické zlomy (*obr. 3*), kdy monomolekulární adsorpce přechází v multimolekulární oblast 10-40% relativní vlhkosti. Křivky izoterm pro různou teplotu nekopírují přesně svůj průběh, což může být způsobeno značně nehomogenní strukturou cihly. Maximálních hodnot dosahují obě křivky

při 97,6% relativní vlhkosti vzduchu. Proti pískovci tedy cihla adsorbuje až do této hodnoty a pojme až 5 % vlhkosti. Stejně jako u pískovce i sorpční izoterma cihly, měřená při vyšší teplotě, leží pod sorpční izotermou měřenou při nižší teplotě. Jak je patrné z průběhu sorpčních křivek pro opuku (obr. 4), do 10 % relativní vlhkosti vzniká monomolekulární vrstva, která plynule přechází v multimolekulární, a to až do 75 % relativní vlhkosti. Potom dochází ke kapilární kondenzaci. Maximálních hodnot dosahují obě křivky při 97,5 % relativní vlhkosti vzduchu. To znamená, že při této hodnotě nastává v opuce nasycení. Opět je patrné, že se zvýšením teploty klesá množství adsorbovaných molekul vody.



Obr. 4. Porovnání křivek sorpčních izoterm opuky pro dvě různé teploty

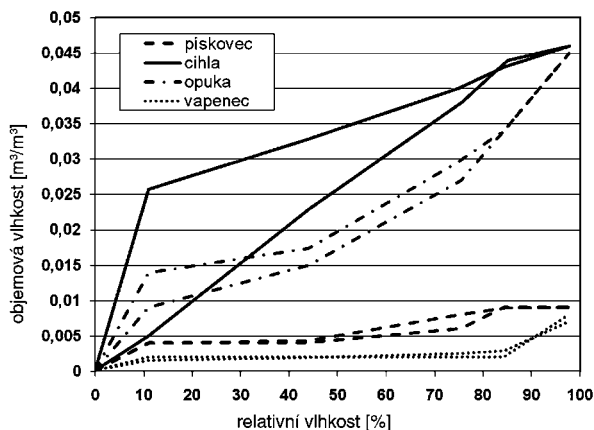
U sorpční izotermy vápence pro 25 °C můžeme zřetelně rozeznat charakteristické zlomy, tedy přechod monomolekulární vrstvy v multimolekulární oblast 10-85 % relativní vlhkosti (obr. 5). Maximálních hodnot dosahují obě křivky při 97,5 % relativní vlhkosti vzduchu. Opět sorpční izotermy, měřené při různých teplotách, kopírují svůj průběh a křivka pro vyšší teplotu leží pod křivkou pro teplotu nižší.



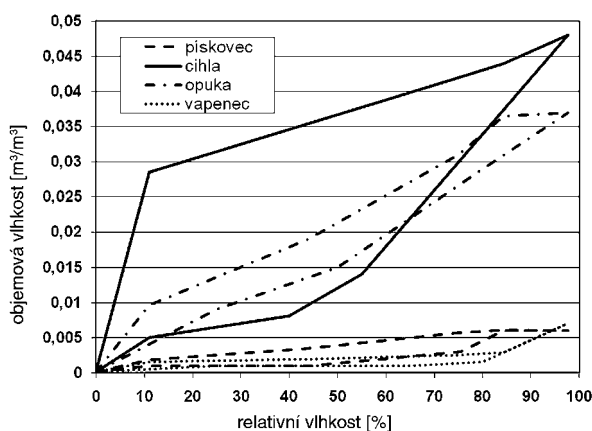
Obr. 5. Porovnání křivek sorpčních izoterm vápence pro dvě různé teploty

Porovnáme-li chování všech ověřovaných materiálů (obr. 6, obr. 7), ze sorpčních křivek zřetelně vyplývá, že cihla a opuka jsou schopny adsorbovat o 20 % při 21 °C a o 13 % při 25 °C více vlhkosti než pískovec a vápencec. Z průběhu adsorpčních izoterm je zřejmé, že adsorpční kapacita pískovce a vápence pro vodní páru je velmi malá či spíše téměř zanedbatelná. U pískovce je to způsobeno absencí malých pórů ve struktuře materiálu a dominantním zastoupením kapilárních pórů, u vápence minimální otevřenou pórovitostí.

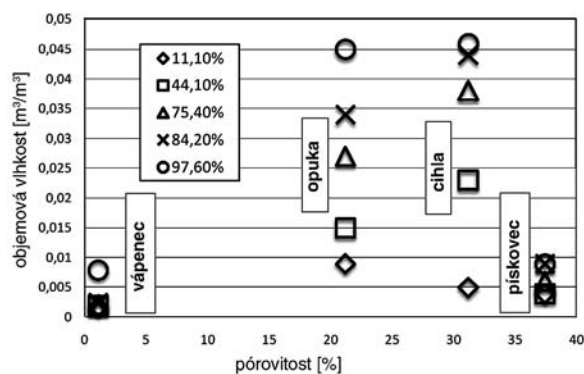
Jednou z nejdůležitějších vlastností zkoumaných vzorků, která významně ovlivňuje tvar a velikost jejich sorpčních křivek, je pórovitost daného materiálu. Pro posouzení sorp-



Obr. 6. Porovnání křivek sorpčních izoterm při teplotě 21 °C



Obr. 7. Porovnání křivek sorpčních izoterm při teplotě 25 °C



Obr. 8. Porovnání sorpčních vlastností daných materiálů v závislosti na jejich pórovitosti

ních vlastností jednotlivých materiálů v závislosti na jejich otevřené pórovitosti jsme vybraly sorpční křivky pro 21 °C (obr. 8). Největší hystereze dosahuje cihla a opuka, oba materiály mají velkou otevřenou pórovitost, tvořenou především kapilárními póry. Pískovec a vápencec obsahují zejména malé kapilární póry, tudíž jejich chování nevykazuje téměř hysterezi. Cihla a opuka se jeví jako hygroskopičtější materiály v porovnání s pískovcem a vápencem. Maximální hodnoty obsahu vlhkosti při dvou teplotách naznačují, že používání těchto materiálů je možné i v prostředí se značně vysokou relativní vlhkostí.

Závěr

Ve výzkumu byly experimentálně stanovovány sorpční izotermny různých typů stavebních materiálů. Pískovec, cihla, opuka a vápenec byly vybrány s ohledem na jejich časté používání a jejich předpokládané využití jako materiálů pro renovaci historických objektů. Průběh sorpčních izoterm při dvou různých teplotách potvrdil předpoklad, že s rostoucí teplotou adsorbované množství vlhkosti na povrchu porézního materiálu klesá.

Článek vznikl za podpory projektu MSM 6840770031 MŠMT ČR.

Literatura

- [1] Syrový, B. a kol.: *Architektura – Svědectví dob*. Praha, SNTL 1977.
- [2] Bergheim, S.: *Hygroscopic Material Properties, Water Vapour Permeability and Hygroscopic Sorption Curves for Materials Used in a Test House*. Project Report, Norwegian Building Research Institute, Trondheim, 1998.
- [3] Everett, D. H.: *Structure and Properties of Porous Materials*. London, 1958.
- [4] Brunauer, S. – Emmet, P. H. – Teller, E.: Adsorption of Gases in Multimolecular Layers. *J. Am. Chem. Soc.*, Vol. 60, 1938, pp. 309-315.
- [5] Moore, W. J.: *Fyzikální chemie*. Praha, SNTL 1981.
- [6] Brunauer, S. – Emmett, P. H. – Teller, E.: Adsorption of Diffusion Makes in Porous Materials at Different Pressures. *J. of Catalysis*, 14, 1969, p. 220.
- [7] Krischer, Wissman, Kast, *Feuchtigkeitseinwirkungen auf Baustoffe aus der Umgehenden Luft*. Gesundheits – Ingenieur, 79, 1958.
- [8] Zsigmondy, R.: *Z. Anorg. Allgem. Chem.*, 71, 356, 1911.
- [9] van Bemmelen, J. M.: *Z. Anorg. Allgem. Chem.*, 13, 233, 1897.
- [10] Pavlík, Z. – Michálek, P. – Jiříčková, M. – Stoklasová, D. – Černý, R.: *Materiálové parametry přenosu vlhkosti a solí mšenského pískovce*. [Sborník], 27. mezinárodní český a slovenský kalorimetrický seminář, Univerzita Pardubice, 2005, s. 169-172. ISBN 80-7194-764-4.
- [11] ČSN EN ISO 12572 (73 0575) *Tepelně vlhkostní vlastnosti stavebních materiálů a výrobků – Stanovení hygroskopických sorpčních vlastností*. ČSN, 2001.
- [12] Jiříčková, M.: *Application of TDR Microprobes, Miniteniometry and Minihygrometry to the Determination of Moisture Transport and Moisture Storage Parameters of Building Materials*. CTU Prague, 2004.
- [13] Acheson, D. T.: *Vapour Pressures of Saturated Aqueous Salt Solutions. Humidity and Moisture (A. Wexlar, edit.)*. Vol. 3, New York, Reinhold Publishing Corp. 1965.
- [14] Acheson, D. T.: *Vapour Pressures of Saturated Aqueous Salt Solutions. Humidity and Moisture (A. Wexlar, Edit.)*, Vol. 3, New York, Reinhold Publishing Corp. 1965.

Pernicová, R. – Pavlíková, M.: Effect of Temperature on Sorption Characteristics of Materials of Historic Buildings

The rehabilitation and reconstruction of historic buildings is connected with the necessity to select a suitable material whose appearance as well as characteristics will comply with the original material. For sandstone, brick and arenaceous marl as the most commonly used construction materials, basic parameters have been determined. Also, their sorption isotherms have been measured to facilitate assessment of their behaviour in the structure depending on temperature.

Pernicová, R. – Pavlíková, M.: Einfluss der Temperatur auf die Sorptionseigenschaften von Materialien historischer Gebäude

Die Erneuerung und Rekonstruktion historischer Gebäude ist verbunden mit der Wahl eines geeigneten Materials, das nicht nur durch sein Aussehen, sondern vor allem durch die Eigenschaften dem ursprünglichen Material entsprechen wird. Bei Sandstein, Ziegel und Pläner (Opuka) als am häufigsten benutzte Baumaterialien wurden Grundparameter festgelegt und zur Beurteilung ihres Verhaltens im Bauwerk in Abhängigkeit von der Temperatur wurden Sorptions-Isothermen eingemessen.



Důvodem změny názvu akciové společnosti Stavební geologie – Geotechnika, největší a nejstarší české geotechnické konzultační společnosti, je stále užší spolupráce s mezinárodní skupinou ARCADIS. V České republice patří k jejím klientům jak investoři a největší stavební firmy z oblasti dopravní infrastruktury, tak nejvýznamnější projekční firmy. Jedinost, úspěšnost a síla společnosti s více než osmdesátiletou tradicí spočívá v kombinaci vědomostí a zkušeností získaných na základě dlouholeté tradice na českém trhu a znalostí moderních evropských přístupů v oblasti přípravy a řízení velkých inženýrských projektů. Zaměřuje se na poradenství, supervize, průzkum a zkušebnictví v inženýrských stavbách, především v geotechnice, zakládání staveb, podzemních stavbách a též v oblasti životního prostředí. Ve svých osmi pobočkách zaměstnává na 180 odborníků.

Skupina ARCADIS, působící v Evropě, Asii, Severní i Jižní Americe, se řadí ke světové špičce v oblasti řízení stavebních projektů, ochrany životního prostředí a investičního poradenství. V této oblasti podnikání je třetí největší firmou v Evropě a v celosvětovém měřítku patří mezi deset největších společností podobného zaměření. V České republice je zastoupena prostřednictvím holdingové společnosti ARCADIS CZ, a. s., do které kromě ARCADIS Geotechnika, a. s., patří také ARCADIS Project Management, s. r. o.

Tisková informace

Zajištění smluvních vztahů při výstavbě pozemních komunikací

Ing. David BUREŠ
 ČVUT – Fakulta stavební
 Praha

Článek pojednává o cíli obohatit tvorbu smluvního procesu v oblasti výstavby pozemních komunikací o nové přístupy k jeho konstrukci, modelování a využití analytických informací, které jeho modely poskytují. Hlavním výstupem je nová procedura syntetizující poznatky z operačního výzkumu, analýzy procesů a průběhu tvorby smluvního procesu, jejímž výsledkem je formalizovaný model hlavního procesu „od veřejné soutěže po počátek realizace projektu“. Tento model je aplikovatelný obecně, neboť použité prvky a vazby jsou typové a nezávislé na podmínkách konkrétní zakázky nebo firemního prostředí.

Úvod

Pro naplňování výrobních kapacit stavebních firem činných v odvětví dopravního stavitelství má velký význam výstavba pozemních komunikací. Pro každou z těchto firem je výhodné získat veřejnou zakázku (jakou je např. výstavba dálnice či rychlostní komunikace), neboť jsou finančně kryté a jejich investoři patří k nejsolidnějším zákazníkům. Protože jsou částečně hrazeny ze státního rozpočtu, popř. z fondů Evropské unie, je důležité, aby byly řízeny, prováděny a kontrolovány efektivně. Zákon o veřejných zakázkách jasně stanoví, jak má objednatel (státní sféra) postupovat při zadání a výběru generálního zhotovitele. Proto by i výběr zhotovitelů, prováděný zvlášť generálním zhotovitelem (podnikatelská sféra), ale i výběr podzhotovitelů, prováděný vítěznými zhotoviteli, měl mít jasný a jednoduchý řád. Objednatelé v mnoha případech používají smluvní pravidla provádění pozemních komunikací stanovená např. v „The Red Book“ [4] nebo „Obchodní podmínky staveb pozemních komunikací“. Bylo by účelné, aby všichni účastníci měli při provádění stejné smluvní podmínky vztahující se k realizaci stavebního díla.

Účastníci smluvního procesu

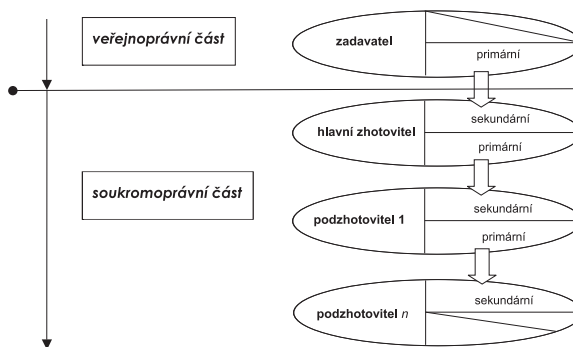
Návrh smluvního procesu není možné vytvořit bez popisu a respektování standardní a široce používané terminologie. Uvedeny a vysvětleny jsou nejdůležitější termíny, které se vztahují k účastníkům výstavby a vztahům mezi těmito účastníky, jak je uvádí Pavlát [5]. Na základě této standardní terminologie bude navržen způsob rozdělení účastníků výstavby, který bude lépe odpovídat potřebám popisu hierarchických struktur, jež je vytváří při začleňování nových úrovní podzhotovitelů do stavebního projektu.

Účastníci výstavby jsou všechny osoby (právnícké nebo fyzické), kterých se konkrétní výstavba nějakým způsobem přímo dotýká. Dělíme je na hlavní a vedlejší:

- hlavní účastníci jsou dva, a to objednatel (nazývaný také zadavatel nebo investor) a generální zhotovitel, popř. zhotovitel stavby;

- všichni ostatní jsou vedlejšími účastníky výstavby. Jsou to osoby, které se ze zákona nebo na základě smluvních vztahů s hlavními účastníky výstavby účastní výstavby. Mohou to být projektanti, vlastníci sousedních nemovitostí, orgány státní správy, ale také výrobci a dodavatelé nižších úrovní, apod.

Nově budou rozděleni na skupiny účastníků primárních (objednatelů) a sekundárních (zhotovitelů, nazývaných od úrovně hlavního zhotovitele pouze podzhotovitelé), které se budou „překlápět“ až po posledního účastníka podle schématu na obr. 1.



Obr. 1. Nové rozdělení účastníků výstavby


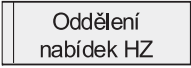
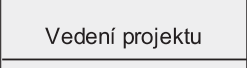
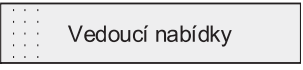

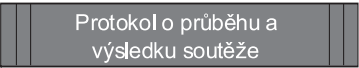


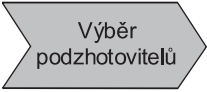
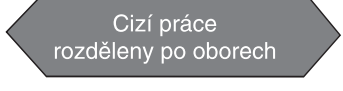
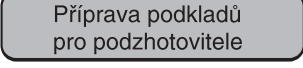
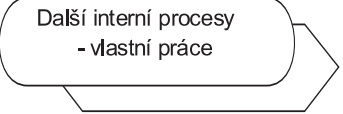


Smluvní proces

K formalizaci smluvního procesu bude použita metodologie ARIS [8], která je určena k modelování procesů obecně. Před její aplikací je účelné určit, jaké typy objektů jsou pro model tohoto procesu relevantní. Jak uvádí Carda a Kunstová [3], při modelování procesů je po stanovení cíle analýzy třeba navrhnout závaznou metodiku tvorby procesního modelu. To znamená určit, které modely se budou používat a jaké jsou povolené konstrukty (prvky a vazby) v těchto modelech. K modelování tvorby smluvního procesu byly použity tyto modely:

- model tvorby přidané hodnoty, který zachycuje hierarchii procesů, a zároveň procesní návaznosti na každé její úrovni tak, aby bylo zřejmé, jakým způsobem přidaná hodnota vzniká;
- model eEPC (extended Event driven Process Chain) neboli rozšířený procesní řetězec řízený událostmi, pomocí něhož je možno každý proces detailně modelovat. „Rozšíření“ spočívá v možnostech používat konstrukty i jiných než procesních pohledů, např. „funkční místo“ z organizačního pohledu, „cluster“ z datového modelu.

Všechny dále uvedené procesy (mimo procesu 7) názorně dokumentují vztah mezi hlavním zhotovitelem a jím poptávanými podzhotoviteli. Celý proces popisuje činnosti hlavního zhotovitele od vyzvednutí podkladů do veřejnoprávní

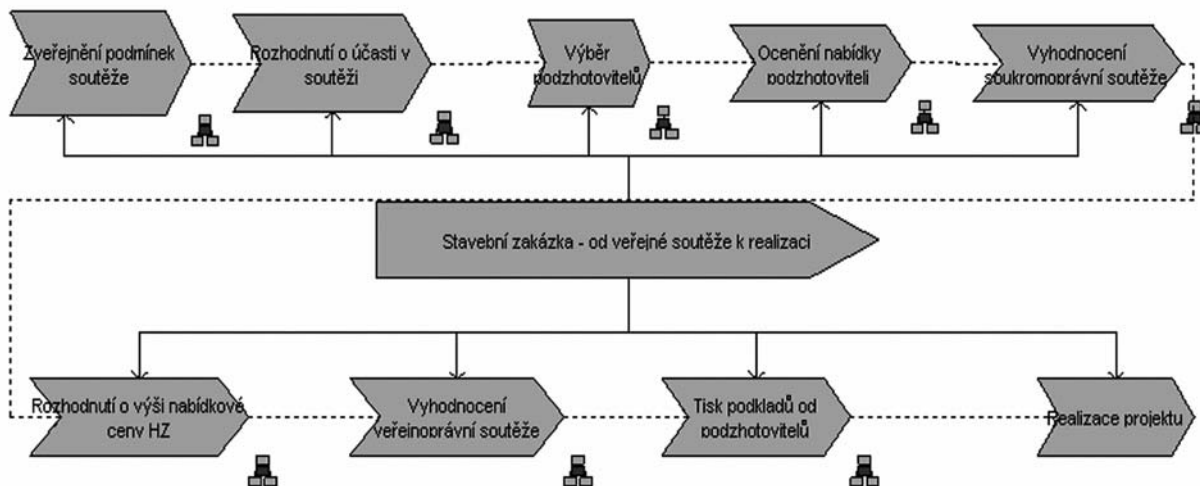
a) Použité objekty

Reprezentace objektů	Význam
Objekty organizačního pohledu	
	organizační jednotka na úrovni samostatného hospodářského subjektu
	stálá organizační jednotka hlavního zhotovitele
	virtuální organizační jednotka hlavního zhotovitele vytvořená pro potřeby konkrétního projektu
	typ pracovníka hlavního zhotovitele
	externí samostatný subjekt, jeden z mnoha, kterých se daná funkce týká
Objekty datového pohledu	
	cluster – datový objekt, zde obvykle dokument v papírové nebo elektronické verzi
	softwarová aplikace
Objekty procesního pohledu	
	postup tvorby přidané hodnoty
	proces
	událost
	funkce
	rozhraní procesů
	operátor XOR (výlučné nebo)
	operátor AND

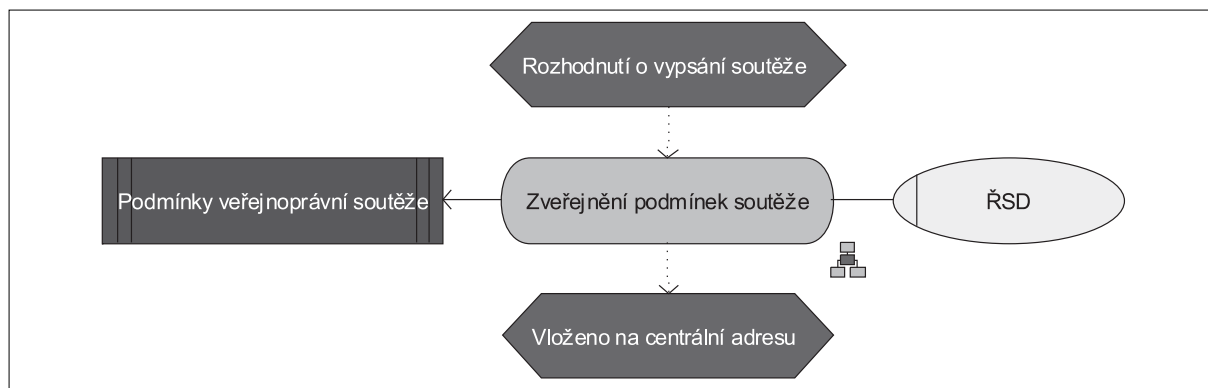
b) Použité vazby

Výchozí objekt	Koncový objekt	Popis vazby
Postup tvorby přidané hodnoty	Proces	procesní nadřazenost postupu tvorby přidané hodnoty nad procesem
Proces	Proces	posloupnost procesů
Organizační jednotka	Organizační jednotka	vztah mezi nezávislými hospodářskými subjekty
Organizační jednotka	Typ pracovníka	typ pracovníka, který přísluší virtuální organizační jednotce hlavního zhotovitele
Událost	Funkce	funkce (činnost) reagující na danou událost
Funkce	Událost	výsledek funkce (činnosti)
Skupina	Funkce	funkce vztahující se k externímu subjektu (bráno z hlediska HZ)
Aplikace	Funkce	aplikace, která zajišťuje výkon funkce
Cluster	Funkce	datový objekt, který je vstupem pro funkci
Funkce	Cluster	datový objekt, který je výstupem funkce
Funkční místo	Funkce	funkční místo (resp. oddělení HZ), které provádí funkci
Událost	Rozhraní procesu	návaznost dalších procesů, které nejsou předmětem zájmu práce
Organizační jednotka	Funkce	funkce zajišťovaná virtuální organizační jednotkou

MCAKOSA je programový doplněk do MS Excelu, sloužící k řešení úloh vícekritériálního hodnocení variant.



Hlavní proces: „od veřejné soutěže po počátek realizace projektu“

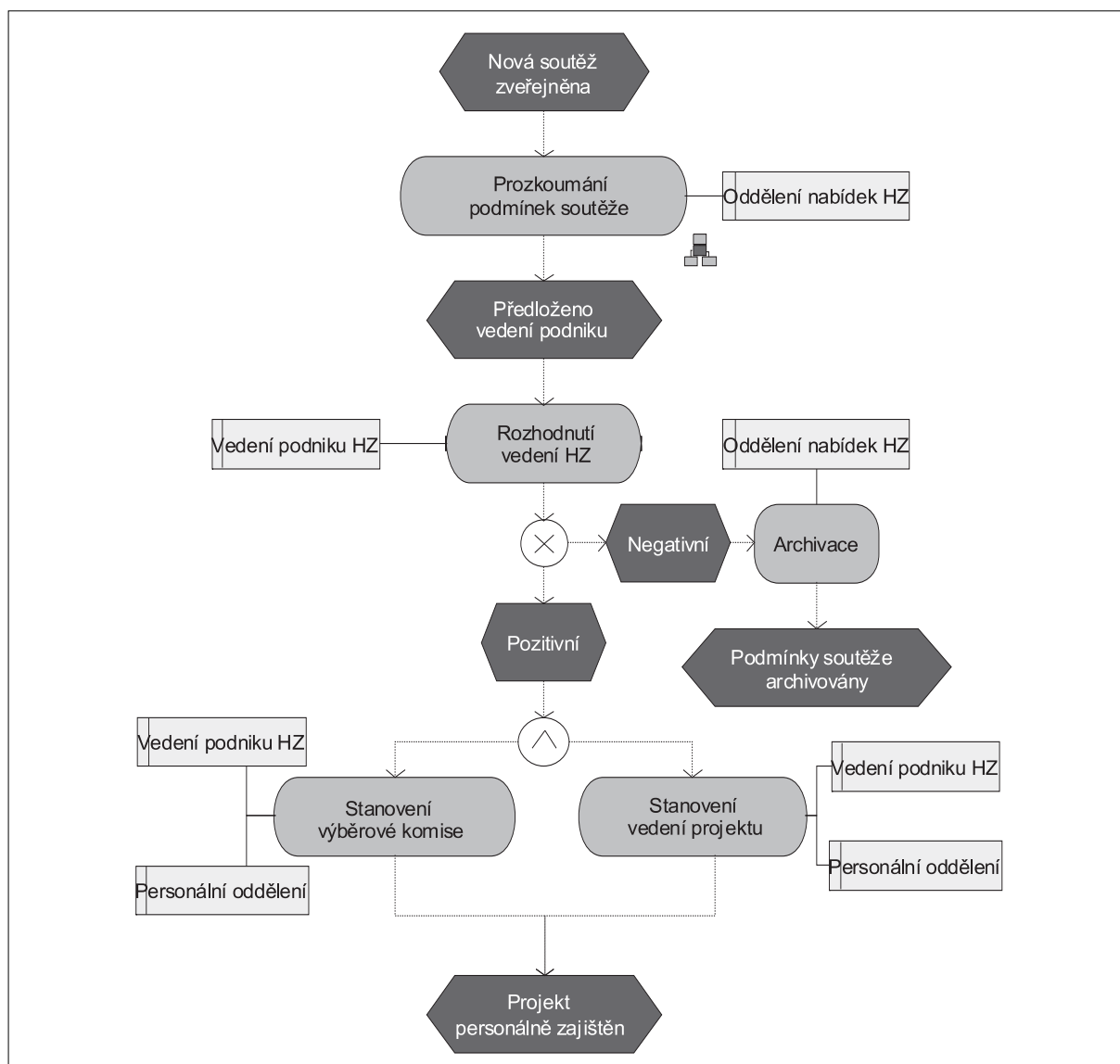


Proces 1: Zveřejnění podmínek veřejnoprávní soutěže

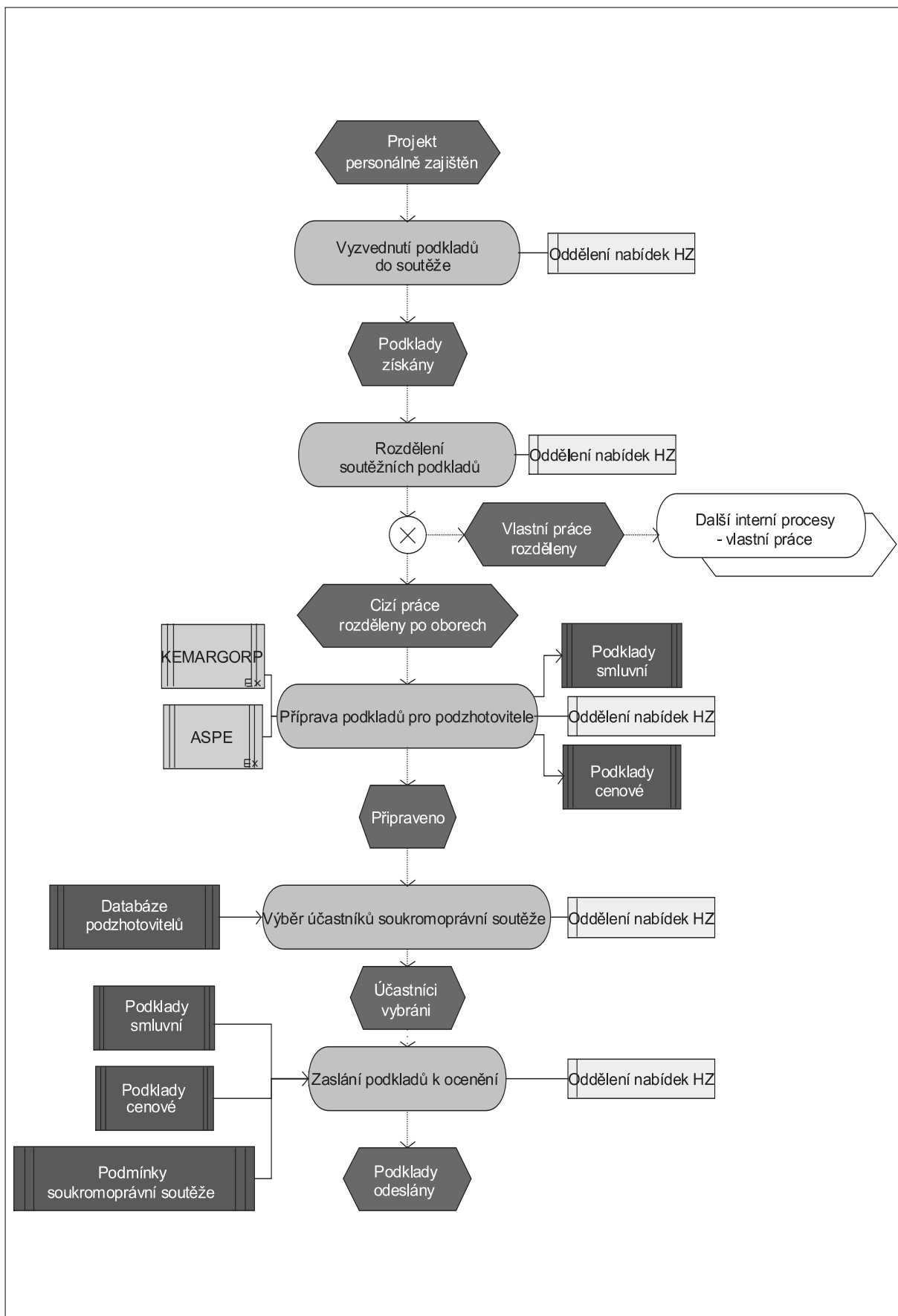
soutěže po podepsání smluv s vítěznými podzhotoviteli v soutěžích soukromoprávních.

Na model nového rozdělení účastníků smluvního procesu je možné aplikovat celý tento proces s tím, že v další úrovni

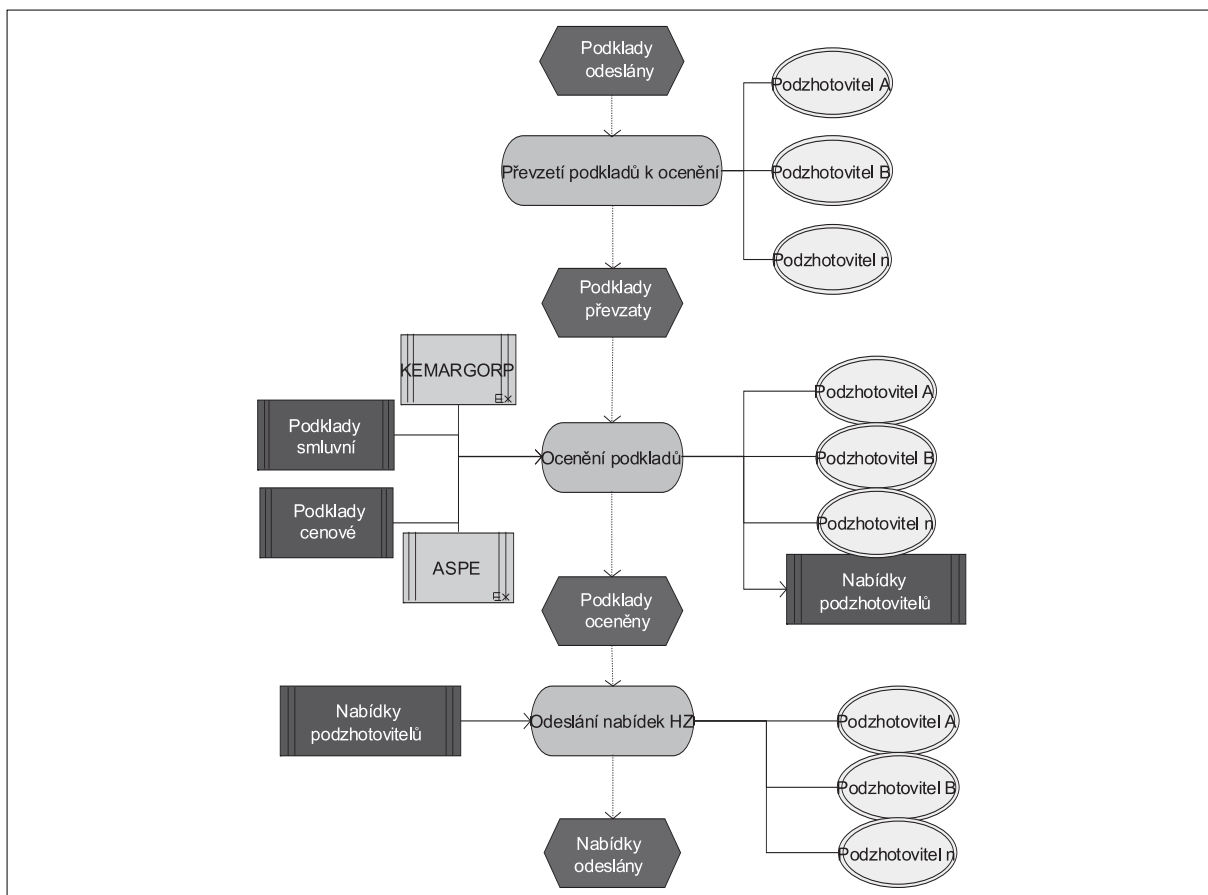
pod hlavním zhotovitelem budou mít uváděné pojmy stejný výklad i pro podzhotovitele. Rozdíl bude pouze v tom, že pojmy "hlavní zhotovitel" a "podzhotovitel" budou nahrazeny primárním a sekundárním účastníkem smluvního procesu.



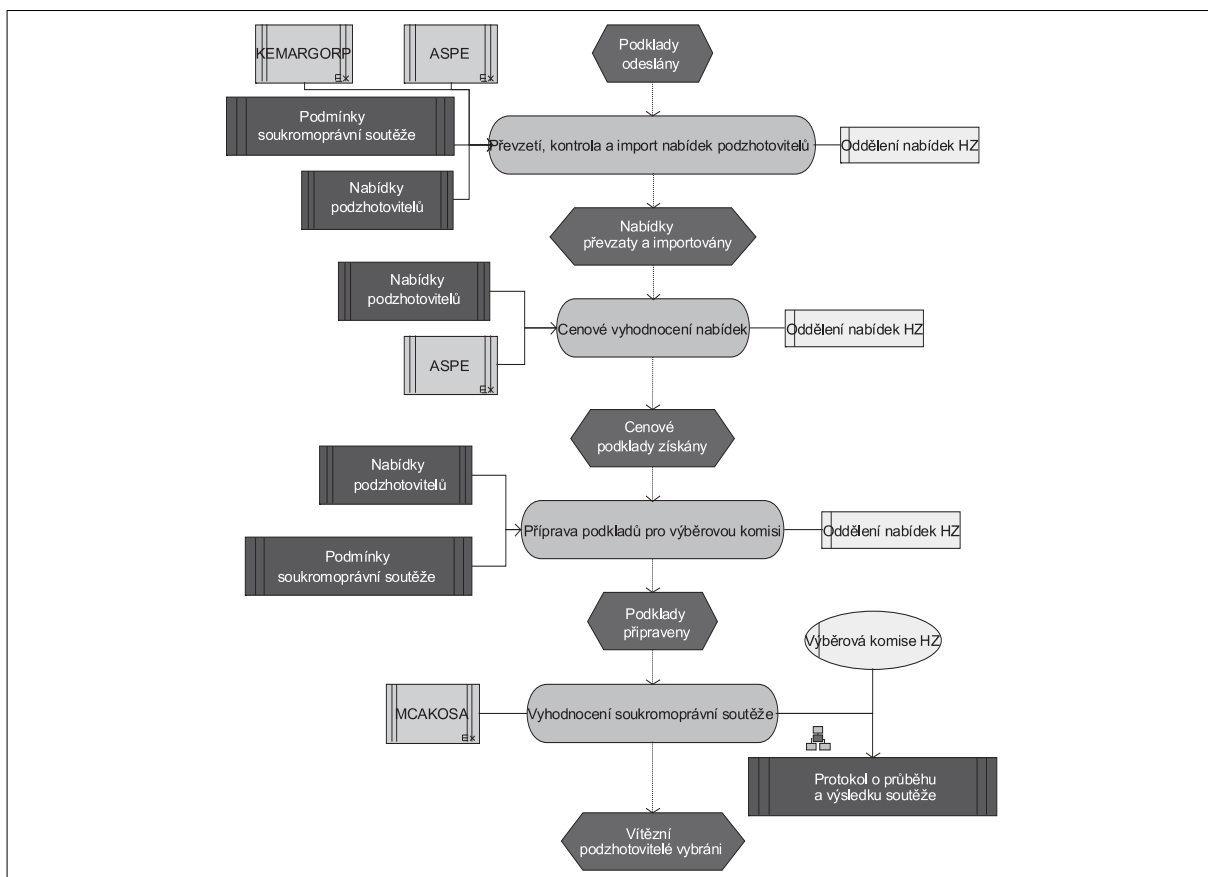
Proces 2: Rozhodnutí hlavního zhotovitele o účasti v soutěži



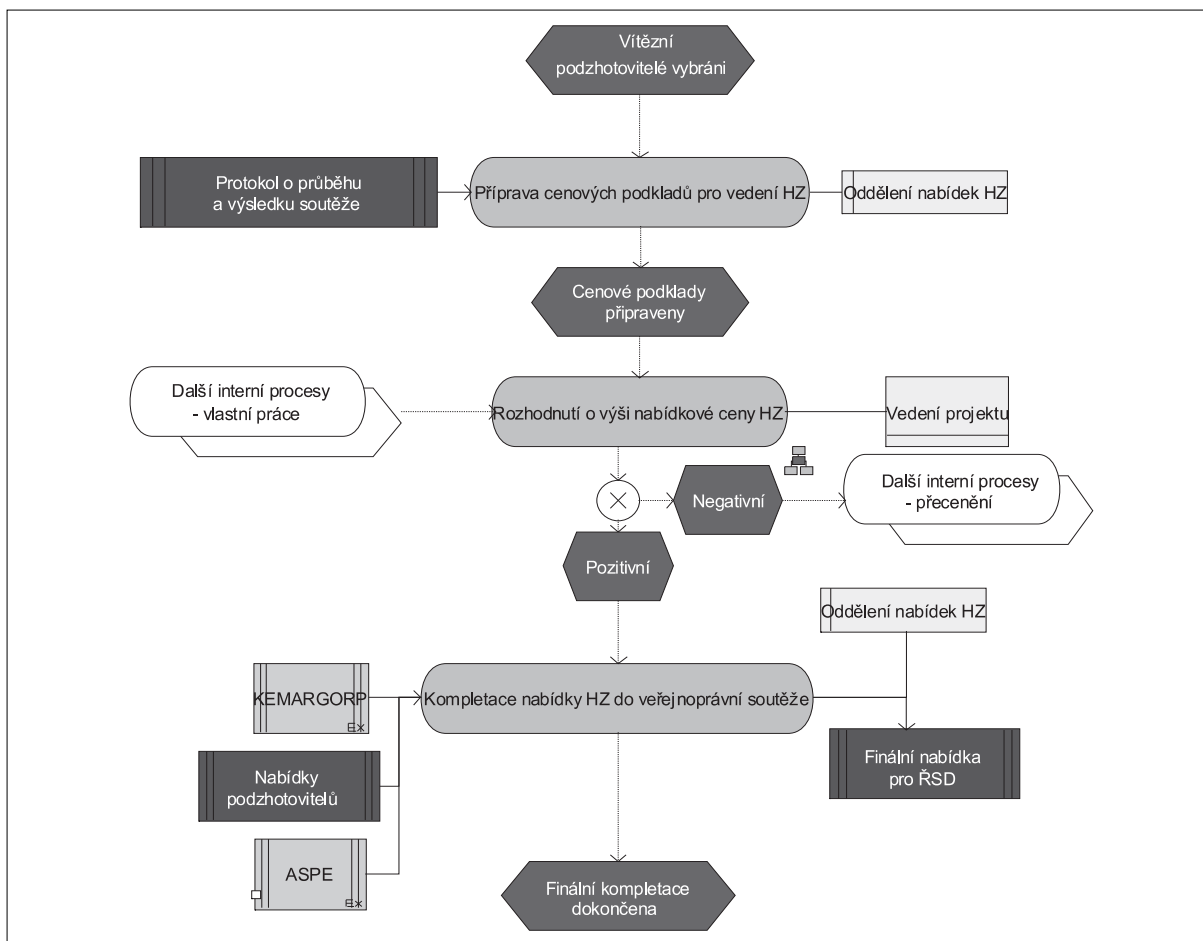
Proces 3: Výběr podzhotovitelů



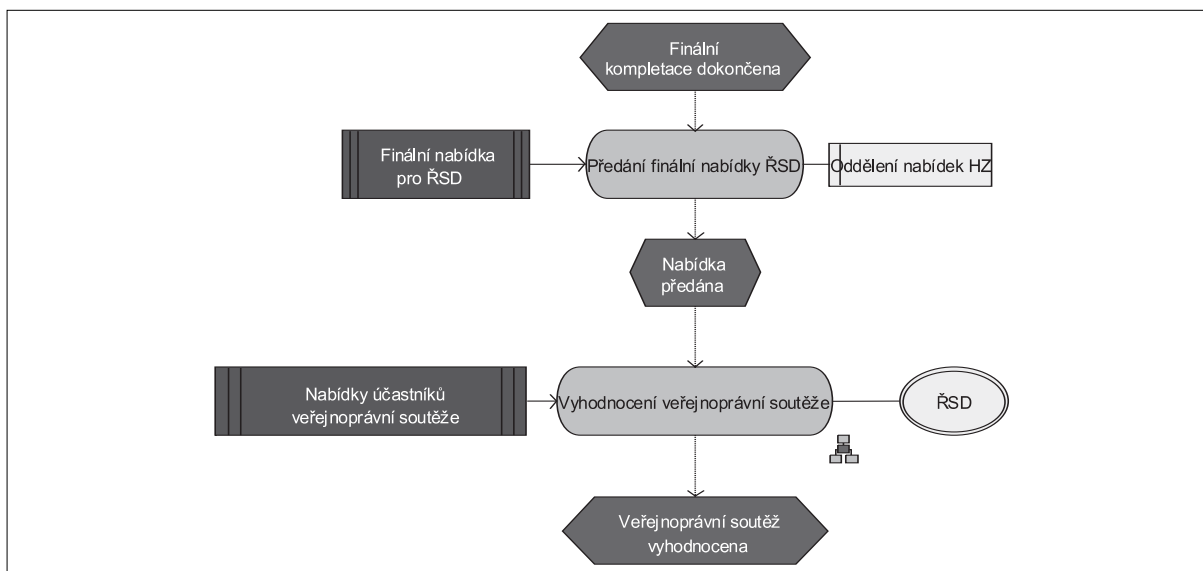
Proces 4: Ocenění poptávek hlavního zhotovitele podzhotoviteli



Proces 5: Vyhodnocení soukromoprávních soutěží



Proces 6: Rozhodnutí o výši nabídkové ceny hlavního zhotovitele

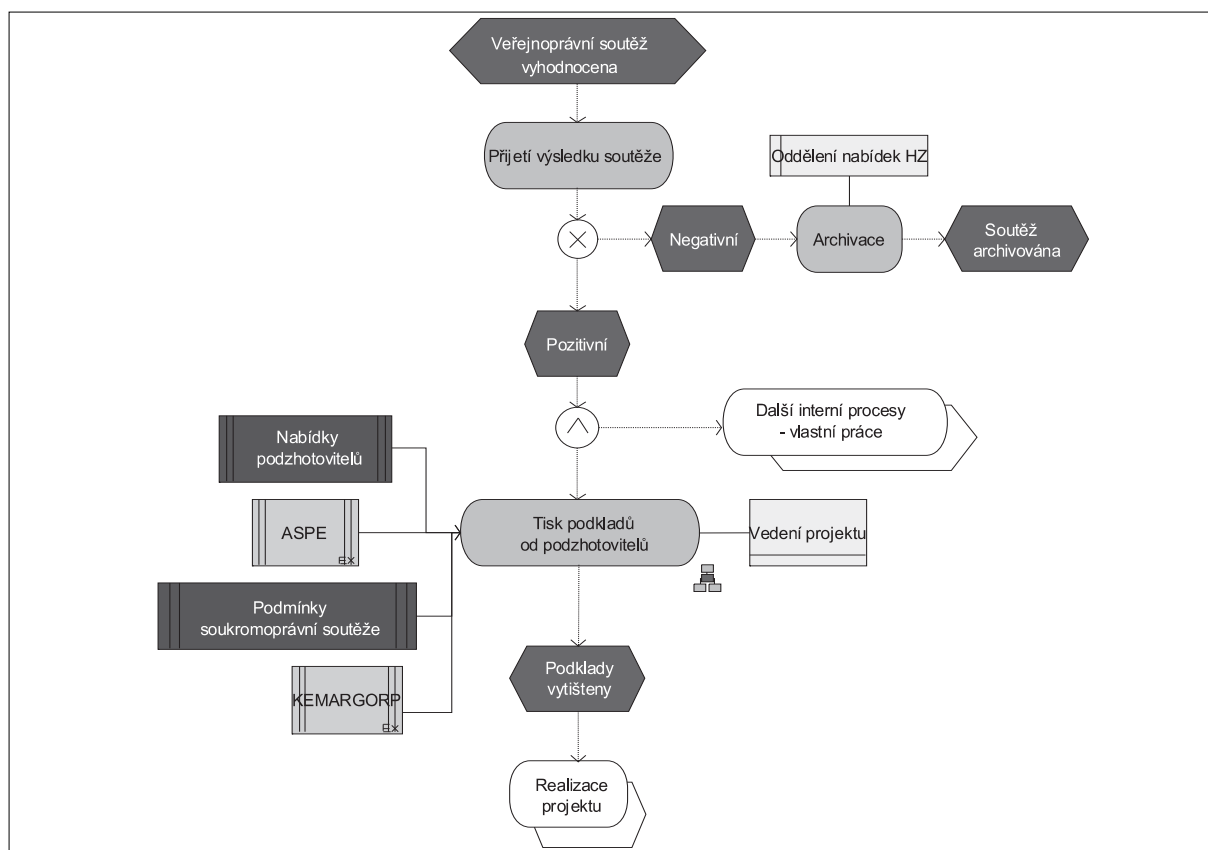


Proces 7: Vyhodnocení veřejnoprávní soutěže

Závěr

Obecným přínosem sledované problematiky procesu tvorby uzavírání smluvních vztahů při výstavbě pozemních komunikací je zdokonalení metodiky správného uzavírání smluvních vztahů a hodnocení zhotovitelů, popř. podzhotovitelů. Celek má aplikační charakter a dosažené výsledky jsou demonstrovány na příkladech.

Smlouva o dílo bude sepsána tak, aby měl odpovědný pracovník primárního účastníka smluvního procesu zaručeno, že nezapomněl, popř. neřešil, ustanovení smlouvy nadřazené, ze které by jeho společnosti hrozila rizika z nevýhodně uzavřených ujednání. Ta mohou spočívat v nepokrytí záruční doby podzhotovitelem, neuvedení stanovených kvalitativních podmínek apod. Respektování zde navržených zásad přispěje podstatnou měrou k vyloučení těchto rizik.



Proces 8: Tisk podkladů od podzhotovitelů

Hlavním cílem článku bylo obohatit teorii optimalizace smluvních vztahů při výstavbě pozemních komunikací o nové přístupy k jejich konstrukci, formalizaci a využití jejich analytických informací.

Literatura

- [1] Brožová, H. – Houška, M. – Šubrt, T.: Modely pro vícekritériální rozhodování. Praha, PEF ČZU, Praha 2003. ISBN 80-213-1019-7.
 [2] Brožová, H. – Houška, M. – Šubrt, T.: Spreadsheet Modules for Multicriterion Modeling. MOPGP 98, Quebec, 1998.

- [3] Carda, A. – Kunstová, R.: Workflow – nástroj manažera pro řízení podnikových procesů. Praha, Grada 2003. ISBN 80-247-0666-0.
 [4] Fédération Internationale des Ingénieurs-Conseils (FIDIC), Guide to the Fédération Internationale des Ingénieurs-Conseils – First Edition. The FIDIC Contracts Guide, Lausanne, 2000.
 [5] Pavlát, J.: Účastníci výstavby, jejich funkce a vzájemné vztahy. www.pavlat-znalec.cz, 1997-2003.
 [6] Zadávací podmínky pro stavbu D8 - 0805 Lovosice – Řehlovice. Ředitelství silnic a dálnic ČR, 2007.
 [7] Řepa, V.: Podnikové procesy. Procesní řízení a modelování. Praha, Grada 2006. ISBN 80-247-1281-4.
 [8] IDS SCHEER ČR, s.r.o.

Bureš, D.: Securing Contractual Relationships in Road Construction

This article is aimed to add to the origination of contractual relationships in the construction of roads new approaches to their structures, modelling and application of analytical information which their models provide. The main outcome is a new procedure synthesizing knowledge from operational research, analyses of processes and the creation of the contractual relationship, which result in a formal model of the main process "from the start of the competitive bidding to the beginning of the construction". This model is generally applicable as the used elements are typical and independent of conditions of a specific order or the corporate environment.

Bureš, D.: Gewährleistung vertraglicher Beziehungen beim Bau von Landverkehrswegen

Ziel des Artikels ist es, die Gestaltung des Vertragsprozesses auf dem Gebiet des Verkehrswegebbaus um neue Vorgehensweisen zu seiner Konstruktion, Modellierung und um die Anwendung analytischer Informationen, die seine Modelle gewähren, zu bereichern. Das hauptsächliche Ergebnis ist eine neue Prozedur, welche die Erkenntnisse aus der operativen Forschung sowie Analysen der Prozesse und des Ablaufs der Gestaltung des Vertragsprozesses synthetisiert, deren Ergebnis ein formalisiertes Modell des Hauptprozesses "vom öffentlichen Wettbewerb bis zum Beginn der Realisierung des Projektes" ist. Dieses Modell ist allgemein anwendbar, denn die angewandten Elemente sind Typenelemente und unabhängig von den Bedingungen eines konkreten Auftrags oder des Firmenmilieus.

Oceňování nemovitostí ve vybraných evropských zemích

Ing. Kristina GAJDOVÁ
ČVUT – Fakulta stavební
Praha

Problematika oceňování nemovitostí je aktuální jak v době ekonomického růstu, tak v době recese. V České republice se řídí oceňování nemovitostí zák. č. 151/1997 Sb., o oceňování majetku, a jeho prováděcí vyhláškou. V článku jsou porovnány legislativa, pravidla, zvyklosti a praxe v oceňování nemovitostí ve Spolkové republice Německo, Velké Británii, Ruské federaci, Slovenské republice spolu s Českou republikou. Důraz je kladen zejména na Slovensko, kde byly přijetím zákonných předpisů nastoleny poměrně radikální změny v oboru oceňování nemovitostí.

Oceňování v České republice

V oblasti oceňování nemovitostí je u nás v současné době situace značně komplikovaná a nepřehledná. Lze se setkat se dvěma typy odborníků – znalci v oboru *ekonomika*, odvětví *ceny a odhady*, a odhadci, pracujícími na základě koncesní listiny a také s dvojím typem oceňování – tržním nebo úředním. Jejich činnosti se prolínají, nemalá část jich je zároveň odhadcem i znalcem.

Zvláštním případem je oceňování pro banky či stavební spořitelny za účelem zjištění ceny nemovitosti jako prostředku zajištění úvěru. Bankovní ústavy vedou vlastní seznamy odhadců, se kterými spolupracují a kterým důvěřují. Samy je také pravidelně školí. Odhady tržních hodnot pro zajištění se provádějí podle metodik jednotlivých bank.

Objedná-li si ocenění nemovitosti tržní hodnotou zahraniční subjekt, často může vyžadovat po odhadci ocenění podle mezinárodních pravidel. Může jít o ocenění podle „The Red Book“ [9] britského Královského institutu autorizovaných odhadců (RICS), „Mezinárodních oceňovacích standardů“ (IVS) [5] nebo „Evropských oceňovacích standardů“ (EVS) [11].

Někdy se stává, že je vyžadován posudek od znalce, přitom však stanovení ceny nemá být provedeno podle zákona a jeho prováděcí vyhlášky, ale obvyklou cenou (neboli tržní hodnotou). Takovéto zadání dávají např. soudy nebo notáři při oceňování v rámci dědického řízení, při dělení majetku mezi spoluvlastníky či dělení společného jmění manželů, exekutorské úřady za účelem exekučních řízení apod.

Za unikát ve světě lze považovat situaci, kdy je možné, aby stavbu a pozemek, na kterém stojí, vlastnili rozdílní vlastníci. Tuto situaci v naší republice umožňuje ustanovení § 120, odst. 2 Občanského zákoníku, které říká, že stavba není součástí pozemku.

Z výše uvedeného je patrné, že v České republice nepanuje jednotná metodika a oceňování nemovitostí je obor značně nesourodý a nepřehledný [15], [16].

Oceňování ve vybraných zemích

V důsledku různých historických, ekonomických, politických, právních, finančních a fiskálních podmínek se v různých zemích světa i v rámci Evropy liší také legislativa a systém oceňování nemovitostí. Pro stanovení hodnoty majetku se používají různé metody, jsou vyžadovány znalecké posudky pro odlišné účely a také způsob práce a postavení odhadců je v každé zemi specifický (*tab. 1*).

■ Česká republika

U nás existují dva způsoby oceňování nemovitostí (úřední a tržní) a působí dva druhy odborníků (znalci a odhadci). Každá tato činnost se řídí zvláštními pravidly a zákony, proto je situace v oboru nepřehledná a komplikovaná. Hodnota nemovitostí se stanovuje třemi metodami (nákladovou, výnosovou a porovnávací), avšak ty jsou různé při použití oceňovací vyhlášky a při stanovení tržní hodnoty. Odhadci, stanovující tržní hodnotu nemovitostí, se řídí pravidly profesních sdružení či certifikačních orgánů. Lze konstatovat, že pravidla pro tržní oceňování jsou shodná s evropskými i celosvětovými zvyklostmi.

V České republice se oceňuje „úřední“ neboli „administrativní“ cenou zejména pro účely daně dědické, darovací a z převodu nemovitostí. Pro vypořádání dědictví, společného jmění manželů či jiného spoluvlastnictví majetku, exekučních řízení či dalších majetkových soudních sporů již většinou zadavatelé požadují zjištění ceny obvyklé podle pravidel pro tržní oceňování.

■ Spolková republika Německo

Stejně jako v České republice také zde figurují znalci a odhadci. Znalci jmenovaní soudem se řídí příslušnými právními předpisy. Odhadci fungují jako volná profese a oceňují převážně podle tržních principů popsanych v evropských a mezinárodních oceňovacích standardech. V německém stavebním zákoně je definována aktuální cena na trhu, jejíž definice v podstatě odpovídá české definici obvyklé ceny uvedené v zákoně o oceňování majetku. K aktuální ceně na trhu odhadce dojde použitím jedné, dvou, nebo kombinací všech tří metod, které jsou blíže popsány v nařízení „WertV“ [24]. Jde o metodu věcné ceny, metodu výnosovou a metodu porovnávací. V odhadní praxi mezinárodních společností se používá tržní ocenění podle britské „The Red Book“ [9]. Veřejné výbory znalců jsou profesní organizace zřízené při veřejných odhadních institucích. Jejich úkolem je mimo jiné dbát na odbornost znalců a na kvalitu odhadů, vypracovávat a aktualizovat metodiku oceňování, shromažďovat data z realitního trhu a zpracovávat směrné ceny pozemků. Obdobná instituce v České republice chybí.

Situace v oboru je v Německu stejně jako v České republice komplikovaná – pro různé účely oceňování platí různá pravidla, jinými předpisy se řídí např. stanovování hodnoty pro účely daňové, jinými pro účely pojištění nebo hypoték. Avšak v Německu je stavba vždy součástí pozemku. Stejně jako v ostatních evropských zemích, také v Německu jsou patrné snahy o harmonizování problematiky oceňování

Tab. 1. Oceňování nemovitostí ve vybraných zemích

Specifika	Česká republika	Německo	Velká Británie	Rusko	Slovensko
oceňování majetku	znalci x odhadci	znalci x odhadci	odhadci	znalci x odhadci	znalci
pravidla	znalci				
	zák. č. 151/1997 Sb., o oceňování majetku	BauGB (stavební zákon), WertV, WertR	The Red Book	nemají závazná pravidla	vyhl. 492/2004 Z. z. i stanovení všeobecné hodnoty majetku ve znění vyhl. č. 626/2007 Z. z. a č. 605/2008 Z. z.
	odhadci				
– mezinárodně uznávaná pravidla (EVS, IVS)	– pravidla profesních organizací a certifikačních orgánů	The Red Book	– zákon č. 157, o oceňovacích aktivitách v Ruské federaci – federální oceňovací standardy – standardy profesních organizací		
hlavní profesní organizace	– Komora soudních znalců – Česká komora odhadců majetku – Asociace znalců a odhadců – Česká komora certifikovaných odhadců majetku	– Spolkový svaz veřejně ustano- vených přísežných a kvalifikovaných znalců – Svaz veřejně ustanovených zeměměřických inženýrů – Německý spolek pro zeměměřičství	– Královský institut autorizovaných odhadců – Institut ohodnocování zisků a oceňování	– Ruská společnost odhadců – Ruský výbor odhadců – Společenství ruských odhadních společností	– Slovenská komora znalcov – Slovenská asociácia slovenských znalcov
specifika	– stavba není součástí pozemku – komplikovanost celé oblasti oceňování	– veřejné výbory znalců – komplikovanost celé oblasti oceňování – stabilní realitní trh	– zásadní role profesních organizací – jeden druh odborníků a jedna pravidla pro oceňování – stabilní realitní trh	realitní trh i samotná pravidla pro oceňování se teprve vyvíjejí	– sjednocení odhadů a znaleckých posudků – oceňování podle vyhlášky se blíží tržnímu oceňování

nemovitostí s ostatními zeměmi prostřednictvím mezinárodních a evropských oceňovacích standardů [10].

■ Velká Británie

Ve Velké Británii na rozdíl od České republiky nebo Německa oceňování nemovitostí neřídí stát. Neexistují ani státní oprávnění nebo licence pro odhadce. Regulací a dohledem nad kvalitou práce a dostatečným vzděláním odborníků se zabývají profesní sdružení, která mají značný vliv a mezinárodní význam. Jsou to zejména „Královský institut autorizovaných odhadců“ (RICS) a „Institut ohodnocování zisků a oceňování“ (IRRV). Tato sdružení společně publikovala odhadní a oceňovací manuál „The Red Book“ [9], který je základní příručkou pro práci autorizovaných odhadců nejen ve Velké Británii, ale je uznáván po celém světě. Obsahuje mimo jiné pravidla, principy a návody k oceňování, použití jednotlivých metod v různých případech ocenění, požadavky na profesní kvalifikaci a morální kodex odhadců. Odhadci sdružení v jedné z těchto organizací jsou zárukou kvality a vysoké odbornosti.

vaných odhadců“ (RICS) a „Institut ohodnocování zisků a oceňování“ (IRRV). Tato sdružení společně publikovala odhadní a oceňovací manuál „The Red Book“ [9], který je základní příručkou pro práci autorizovaných odhadců nejen ve Velké Británii, ale je uznáván po celém světě. Obsahuje mimo jiné pravidla, principy a návody k oceňování, použití jednotlivých metod v různých případech ocenění, požadavky na profesní kvalifikaci a morální kodex odhadců. Odhadci sdružení v jedné z těchto organizací jsou zárukou kvality a vysoké odbornosti.

■ Ruská federace

Po politických a ekonomických změnách na konci minulého století se zde oceňování nemovitostí teprve stabilizuje. Ruské standardy pro oceňování jsou většinou převzaty z osvědčených standardů mezinárodních a evropských. Jsou závazné pro všechny odhadce oceňující podle tržních principů, a to zejména pro jiné než soudní účely. Kromě nich existují soudní znalci, oceňující pro účely soudů, kteří nejsou při své práci vázáni žádnými pravidly, a dokonce nemusí mít speciální vzdělání či kvalifikaci. Podle nových ustanovení musí být každý odhadce členem některé z profesních organizací. Zejména dvě největší profesní organizace – Ruská společnost odhadců a Ruský výbor odhadců – dbají na kvalitu práce odhadců a jsou zárukou budoucího vývoje tržního oceňování směrem k úrovni v dalších evropských zemích. Důsledkem rozsáhlé daňové reformy na konci devadesátých let je ocenění všech pozemků v Ruské federaci za účelem zdanění v rámci hromadného ocenění, které provádějí katastrální úřady. Obecně lze říci, že oceňování nemovitostí se v Ruské federaci pomalu blíží oceňování na tržních principech a že celé odvětví se bude ubírat směrem k praxi, která panuje ve státech Evropské unie [8], [22], [23].

■ Slovensko

V oblasti oceňování majetku se Slovenská republika v posledních letech ubírá jiným směrem než naše země. V současné době se řídí vyhláškou Ministerstva spravedlnosti Slovenské republiky č. 492/2004 Z. z., o stanovení všeobecné hodnoty majetku, ve znění vyhlášek 626/2007 Z. z. a 605/2008 Z. z. [18]. Svým pojetím se více blíží předpisům a zvyklostem ve vyspělejších zemích Evropy. Například se zde striktně používá výraz hodnota ve všech případech odhadů a termín cena se používá pouze pro částku sjednanou mezi prodávajícím a kupujícím. Podle vyhlášky se nestanovuje žádná úřední či administrativní cena, ale pouze obvyklá hodnota (ve slovenských právních předpisech je uveden termín všeobecná hodnota), která se používá až na výjimky pro všechny účely oceňování. Vyhláška je fakticky pouze jako by metodickým návodem stanovení hodnoty majetku, je necháván poměrně větší prostor znalostem a zkušenostem odhadce, než tomu bylo v předchozích právních úpravách.

Současná situace je proti dřívější (a proti situaci v ČR) značně jednodušší. Přijetím nových předpisů se zejména sjednotila práce znalců a odhadců. Výstupy jejich práce, tedy původně (a v ČR dodnes) odhady a znalecké posudky, se sjednotily v univerzální výsledek – znalecký posudek o všeobecné hodnotě daného majetku. Tento posudek uznávají jak státní orgány jako původní znalecký posudek, tak např. banky či jiné subjekty, jako původní tržní odhad hodnoty majetku. Toto zjednodušení situace a sjednocení práce bylo jistě prospěšným krokem, avšak kromě kladů převzatých z obou systémů, se zde objevují také záporné prvky.

Právě proto, že je to „univerzální“ způsob stanovení hodnoty, jde o jakýsi kompromis mezi hodnotou tržní a hodnotou stanovenou podle oceňovací vyhlášky. I když má tento kompromis blíže k tržní hodnotě, nelze obecnou hodnotu, stanovenou podle nových předpisů, považovat za tržní hodnotu podle mezinárodních definic (např. definice v mezinárodních či evropských oceňovacích standardech nebo podle uznávané definice „The Red Book“ [9], a to zejména pro nedodržení požadavku na striktní původ všech vstupních dat z trhu. Stanovení výše některých koeficientů je ponecháno zcela na znalci, jiné koeficienty mají ve vyhlášce doporučené hodnoty, a některé koeficienty jsou dokonce striktně dané, např. při ocenění pozemků metodou polohové diferenciacie [18].

Závěr

Způsob ocenění podle vyhlášky MF ČR č. 3/2008 Sb. vyžaduje po znalci uplatnění znalostí a zkušeností v rozsahu jí vymezeném. Po legislativních změnách na Slovensku se ocenění podle vyhlášky přiblížilo principům tržního oceňování. Pokud by v České republice proběhly změny v legislativě, mohl by se veškerý majetek pro všechny účely oceňovat tržní hodnotou. Tímto opatřením by se praxe v oceňování nemovitostí v České republice přiblížila praxi v ostatních vyspělých zemích.

Literatura

- [1] Adair, A. – Downie, M. L. – McGreal, S. – Vos, G.: *European Valuation Practice: Tudory and Techniques*. London, E & FN Spon 1996. ISBN 0 419 20040 1.
- [2] Bradáč, A. a kol: *Teorie oceňování nemovitostí*. VI. přepracované a doplněné vydání, Brno, CERM 2004. ISBN 80-7204-332-3.
- [3] Bradáč, A. a kol.: *Soudní inženýrství*. Brno, CERM 1999. ISBN 80-7204-133-9.
- [4] Grabovij, P. G. – Kulakov, J. N. – Lukmanova, I. G. – Semkin, V. I. – Rakitskij, A. B. – Reitsma, D. – Molenaar, H. – Grjaznych, V. F.: *Ekonomika i upravlenije nedvizimostju (Ekonomika a řízení nemovitostí)*. Asociace stavebních univerzit, Moskva, 1999. ISBN 5-88984-080-0, ISBN 5-93093-020-1.
- [5] *International Valuation Standards Committee (IVSC): Mezinárodní ohodnocovací standardy*. Překlad: Slovenská asociácia ekonomických znalcov, Bratislava, 2005. ISBN 80-969-248-5-0.
- [6] Majdúch, D.: *Všeobecná hodnota stavieb a pozemkov*. STU Bratislava, 2006. ISBN 80-227-2433-5.
- [7] Nič, M.: *Špecializované štúdium pre znalcov: Predpisy*. STU Bratislava, 2005. ISBN 80-227-2321-5.
- [8] Overchuk, A. L.: *Mass Valuation of Land in Russian Federation*. Land Lines, Vol. 16, No. 2, 2004.
- [9] *Appraisal and Valuation Standards Manual (The Red Book)*. London, RICS 2003.
- [10] Ross, F. W. – Brachmann, R. – Holzner, P.: *Ermittlung des Bauwertes von Gebäuden und des Verkehrswertes von Grundstücken (Zjišťování stavební hodnoty budov a obchodní hodnoty nemovitostí)*. Praha, Consult invest 1993. ISBN 80 901486 0 3.
- [11] Tegova (The European Group of Valuers' Associations): *European Valuation Standards (The Blue Book)*. Fifth Edition. London, Estates Gazette 2003.
- [12] Zazvonil, Z.: *Oceňování nemovitostí na tržních principech*. Praha, CEDUK 1996. ISBN 80-902109-0-2.
- [13] Zákon č. 36/1967 Sb., o znalcích a tlumočnících, ve znění č. 322/2006 Sb.
- [14] Vyhláška Ministerstva spravedlnosti č. 37/1967 Sb., kterou se provádí zákon o znalcích a tlumočnících, ve znění zákonů č. 11/1985 Sb., č. 184/1990 Sb., č. 77/1993 Sb. a č. 432/2002 Sb.
- [15] Zákon č. 151/1997 Sb., o oceňování majetku a změně některých zákonů (zákon o oceňování majetku), ve znění zákonů č. 121/2000 Sb., č. 237/2004 a 257/2004 Sb.
- [16] Vyhláška MF ČR č. 3/2008 Sb., o provedení některých ustanovení zákona č. 151/1997 Sb., o oceňování majetku a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, ve znění vyhlášky 456/2008 Sb. (oceňovací vyhláška).
- [17] Zákon č. 382/2004 Z. z., o znalcích, tlumočnících a prekladatelích, a o změně a doplnění některých zákonů.
- [18] Vyhláška Ministerstva spravodlivosti Slovenskej republiky č. 490/2004 Z. z., ktorou sa vykonáva zákon č. 382/2004, o znalcoch, tlmočníkoch a prekladateľoch, a o zmene a doplnení niektorých zákonov.
- [19] Vyhláška Ministerstva spravodlivosti Slovenskej republiky č. 491/2004 Z. z., o odmenách, náhradách výdavkov a náhradách za stratu času pre znalcov, tlmočníkov a prekladateľov.
- [20] Vyhláška Ministerstva spravodlivosti Slovenskej republiky č. 492/2004 Z. z., o stanovení všeobecnej hodnoty majetku, ve znění vyhlášek č. 626/2007 Z. z. a 605/2008 Z. z.
- [21] Zákon č. 554/2003 Z. z., o dani z prevodu a prechodu nehnuteľností, a o doplnení zákona č. 36/1967 Zb., o znalcoch a tlmočníkoch, v znení zákona č. 238/2000 Z. z.

- [22] The Russian Federation – The Federal Law Concerning Valuation Activities in the Russian Federation, zákon přijatý státní Dumou dne 7.7.2006.
- [23] Land (Real Estate) Mass Valuation Systems for Taxation Purposes in Europe. Moscow, Federal Land Cadastre Service of Russia, 2001.
- [24] WertV – Wertermittlungsverordnung 1988, Nařízení o stanovení hodnoty.

Gajdová, K.: Valuation of Real Estate in Selected European Countries

Valuation of real estate is topical both during the time of economic growth and recession. In the Czech Republic, it complies with Act No. 151/1997 on property valuation, and the decree implementing the Act. This paper compares legislation, rules, usage and practice of valuation of real estate in the Federal Republic of Germany, Great Britain, the Russian Federation, the Slovak Republic and the Czech Republic. Emphasis is laid particularly on Slovakia, where the recent adoption of lawful orders has introduced relatively radical changes in real estate valuation.

Gajdová, K.: Bewertung von Immobilien in ausgewählten europäischen Ländern

Die Problematik der Bewertung von Immobilien ist sowohl in einer Zeit wirtschaftlichen Wachstums, als auch während einer Rezession aktuell. In Tschechien richtet sich die Immobilienbewertung nach dem Gesetz Nr. 151/1997 Slg. über die Vermögensbewertung und dessen Durchführungsverordnung. In diesem Beitrag werden die Legislative, die Regeln, Gewohnheiten und die Praxis bei der Immobilienbewertung in Deutschland, Großbritannien, Russland und der Slowakei mit denen in Tschechien verglichen. Nachdruck wird insbesondere auf die Slowakei gelegt, wo kürzlich durch den Beschluss gesetzlicher Vorschriften verhältnismäßig radikale Änderungen auf dem Fachgebiet der Immobilienbewertung eingeführt worden sind.



ČVUT v Praze
Fakulta stavební



Katedra betonových a zděných konstrukcí
pořádá

5. mezinárodní konferenci

Fibre Concrete 2009

Technologie, navrhování, aplikace

17. – 18. září 2009, Praha

<http://concrete.fsv.cvut.cz/fc2009>

• dizertace



Change-Point Detection in Temperature Series

Mgr. Monika Rencová

Dizertace se zaměřuje na některé problémy detekce bodu změny, především v extrémním chování časových řad s použitím na změny v ročních maximálních a minimálních teplotách a detekce změny ve střední hodnotě posloupnosti strong mixing s použitím na změnu v četnosti výskytu extrémně teplých a studených dnů.

Kalibrace digitálních nivelačních přístrojů

Ing. Zdeněk Vyskočil

Autor obhájil vlastní konstrukci horizontálního komparátoru nivelačních latí a uvedl výsledky prvních měření. Komparátor je chráněn patentem.

Sprážené ocelobetonové integrální mosty

Ing. Roman Šafář

Práce se zabývá vlivem materiálových vlastností betonu na působení spráženého ocelobetonového mostu z hlediska únosnosti i deformace. Práce je podpořena výsledky dlouhodobého měření.

Vybrané faktory růstu koncentrace síranů v podzemních vodách

RNDr. Libuše Ďurďová

Dizertace se zabývá obsahem síranů v podzemních vodách vybraných okresů a vlivem síranů na proces denitrifikace. Zabývá se také odstraňováním síranů z vod a porovnáním genetické vazby chemismu podzemní vody v Kněžpoli a Luhačovicích.

Analýza povodňových rizik osob

Ing. Martin Salaj

Autor v dizertaci experimentálně zjistil rychlost pohybu chodce ve vodě a stabilitu chodce v proudící vodě. Z těchto údajů pak odvodil povodňové riziko chodců. Práce může mít uplatnění při zpracování povodňových plánů a mapování povodňových rizik.

Moderní 3D skenovací systémy

Ing. Tomáš Křemen

Práce se dá shrnout do tří bodů: a) navržení a realizace testů základních parametrů terestrických laserových skenovacích systémů, b) navržení a realizace testů sledujících vliv geometrického tvaru a povrchu měřeného objektu na kvalitu měřených dat, c) vyhledání a ověření vhodných aplikací terestrických skenovacích systémů v oblasti inženýrské geodzie.

Obr. 2

str. 3

VÝPOČET TRIGONOMETRICKÉ NIVELACE

Zakázka: JALOVÝ POTOK Vypočetl: Ing. CHAMOUT

Datum: 9.9.2003

Kontroloval: Ing. URBAN

$$q = \frac{D^2}{2R}$$

R = 6 380 000 m



č. bodu	vod. délka D [m]	převýšení ϕ [m]	opr. ze zakřiv. Země q [m]	oprava [m]	nadmoř. výška Bpv [m]	č. bodu	vod. délka D [m]	převýšení ϕ [m]	opr. ze zakřiv. Země q [m]	oprava [m]	nadmoř. výška Bpv [m]
8061					277,450	123	+0,378	+0,001	+0,001		
	370	+7,272	+0,011	+0,004		8080					238,336
8065					284,737	111	-2,261	+0,001	+0,001		
	642	-32,058	+0,032	+0,006		8081					236,077
8066					252,717	64	-0,280	-	+0,001		
	95	-4,492	+0,001	+0,001		8082					235,798
8067					248,227	94	+9,345	+0,001	+0,001		
	66	-1,732	-	+0,001		8083					245,145
8068					246,496	108	-1,797	+0,001	+0,001		
	142	-1,065	+0,002	+0,001		8084					243,350
8069					245,434	416	+20,429	+0,014	+0,004		
	110	-0,616	+0,001	+0,001		8085					263,797
8070					244,820	215	+1,847	+0,004	+0,002		
	111	-0,776	+0,001	+0,001		3.1					265,650
8071					244,046						
	67	-0,923	-	+0,001							
8072					243,124	$h = -11,800 \text{ m}$					
	79	-1,098	-	+0,001		$h' = -11,834 \text{ m}$					
8073					242,027	$\sigma_h = +0,034 \text{ m}$					
	92	-0,520	+0,001	+0,001		$\Delta_h = 20 \text{ mm} \cdot \sqrt{r}$	$r \text{ v km}$				
8074					241,509	$\Delta_h = 20 \text{ mm} \cdot \sqrt{3,34} = 36 \text{ mm}$					
	63	-0,485	-	+0,001		$\Delta_h > \sigma_h$					
8075					241,025						
	58	+0,339	-	+0,001							
8076					241,365						
	130	+1,776	+0,001	+0,001							
8077					243,143						
	115	-4,583	+0,001	+0,001							
8078					238,562						
	69	-0,607	-	+0,001							
8079					237,956						

Výsledky měření byly získány geodetickou totální stanicí TOPCON GTS 212, v převýšeních nebyla zahrnuta oprava ze zakřivení Země, ta se zaváděla až do výpočtu (sloupec 4). Uváděná převýšení splňovala body 1 a 3 Technologického postupu měření metodou trigonometrické nivelace.

Výsledky

Určování nadmořské výšky bodů kombinované sítě tímto postupem bylo poprvé provedeno po získání geodetické totální stanice TOPCON GTS 212 do přístrojového vybavení ČZU v Praze v létě roku 2003. Těmito stanicemi je určena většina nadmořských výšek kombinované měřické sítě, vybudované Katedrou biotechnických úprav krajiny ČZU pro potřeby výzkumného záměru „Možnosti zvyšování ekologické stability, retence a akumulace vody v krajině“. Kombinovaná měřická síť obsahovala 94 bodů určených šesti

polygonovými pořady, a tedy i šesti identickými trigonometrickými výškovými pořady. Měřické body byly voleny podél toku Jalového potoka od pramene v Kostelci nad Černými lesy za obec Přistoupim. Vzhledem k potřebě dalšího využití měřických bodů překonávaly trigonometrické výškové pořady značné výškové rozdíly a procházely terénem s hustým vegetačním krytem. I přes tyto nepříznivé okolnosti bylo ve všech výškových pořadech splněno přísnější kritérium pro technickou nivelaci $\Delta h = 20 \text{ mm} \cdot \sqrt{r}$, přičemž r byla délka výškového pořadu [km] (tab. 1).

Tab. 1. Výsledky měření

Výškový pořad	Odchylka [mm]		Nově určené body	Délka strany [m]		Největší převýšení [m]	Délka pořadu
	dosažená	mezní		min.	max.		
1	20	21	9	63	180	18,5	1 093
2	-26	41	33	50	720	16,6	4 375
3	34	36	21	58	642	32,1	3 340
4	1	21	12	35	214	26,6	1 126
5	-20	25	14	47	178	17,4	1 563
6	13	22	5	70	330	27	1 184

Na počátku roku 2007 byla pro ČZU v Praze získána dotace z Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR a její část poskytnuta na nákup dalších deseti totálních stanic od stejného výrobce se stejnými parametry přesnosti. Byly využity k měření v rámci geodetické praxe studentů v Kostelci nad Černými lesy. Její součástí bylo vytvoření kombinované měřické sítě. Nadmořskou výšku bodů této sítě studenti určují výše uvedeným postupem. Přes jejich nezkušenost splňují dosažené výsledky stejné kritérium jako u technické nivelace.

Závěr

Zkušenosti autora článku z měření v roce 2003 i z měření šestatřiceti měřických skupin studentů z let 2007/2008 po-

tvrdily, že trigonometrická nivelace, prováděná podle výše uvedených pravidel, je nejen rovnocenná nivelaci technické, ale že přesnost takto získaných hodnot je vyšší, zvláště v zarostlém a obtížně přístupném terénu. Postup výpočtu a kvalitu takto určených výšek dokládá obr. 2, výpočet trigonometricky určeného výškového pořadu č. 3 z tab. 1. U nadmořských výšek bodů kombinované měřické sítě, určených metodou trigonometrické nivelace, se proti určení těchto bodů metodou technické nivelace a při současném měření dat pro výpočet polygonového pořadu projevila výrazná úspora času. Pro technickou praxi lze tedy tuto metodu doporučit.

Existuje i postup měření, při němž se geodetická totální stanice přemísťuje postupně z počátečního bodu pořadu na koncový a odrazný hranol se umísťuje na jednotlivé body tak, že každý úsek bude měřen obousměrně. Výhodou je, že není třeba určovat opravu převýšení ze zakřivení Země a vliv refrakce bude minimalizován.

Literatura

- [1] Blažek, R. – Skořepa, Z.: Geodezie 30 Výškopis. Praha, ČVUT, 1999, 93 s. ISBN 80-01-01598-X.
- [2] Hauf, M. a kol.: Geodézie. Praha, SNTL 1982, 544 s. ISBN 04-713-82.
- [3] Chamout, L. – Skála, P.: Geodezie. Praha, ČZU, 2003, 196 s. ISBN 80-213-1049-9.
- [4] Elektronická totální stanice Topcon GTS 105N: Návod na použití. GEODIS Brno, 2007.

Chamout, L.: Trigonometric Levelling Method and its Use for Determination of Elevation above Sea-Level Points of Combined Metrical Network

The presented paper deals with the possibility of determination of elevation above sea-level points of the combined metrical network with trigonometric levelling method using the geodetic total station. This study presents the technological procedure of this method and compares it with the classical technical levelling method. The comparison is aimed at the exactness aspect and time reduction within measuring in the field. The author supports that if the described technological procedure is observed, the trigonometric levelling method is preferable with respect to both the considered aspects.

Chamout, L.: Trigonometrisches Nivellement zur Bestimmung der Meereshöhe von Punkten eines kombinierten Messnetzes

Im Artikel wird die Möglichkeit der Bestimmung der Meereshöhen von Punkten eines kombinierten Messnetzes mit der Methode des trigonometrischen Nivellements bei Einsatz einer geodätischen Totalstation beurteilt. Er beschreibt das technologische Verfahren der Arbeiten bei der Anwendung dieser Methode. Er vergleicht diese Methode mit der klassischen Methode des technischen Nivellements sowohl hinsichtlich der Genauigkeit, als auch der Zeitersparnis bei der Messung im Gelände. Am Schluss weist der Autor nach, dass bei Einhaltung des beschriebenen technologischen Verfahrens die Methode des trigonometrischen Nivellements aus beiden beurteilten Aspekten günstiger ist.

• dizertace



Problémy současné ochrany krajinného rázu v ČR

Ing. Adam Záruba

Cílem práce bylo identifikovat hlavní problémy v ochraně krajiny a navrhnout opatření pro zlepšení systému, který by krajinný ráz ČR chránil. Situace v ČR se porovnává se stavem ve Velké Británii. Výsledky práce mohou posloužit k úpravě legislativy územního plánování.

Vliv klimatických změn na růst vegetace v Jizerských horách

Ing. Michaela Remrová

Dizertace se zabývá vyhodnocením vodního režimu na experimentálním povodí, který je ovlivněn předpokládanou klimatickou změnou. Vodní bilance se ověřuje na datech srážek a teplot za období 1997-2007 a slouží k verifikaci odvozené metody. Na základě toho se odhaduje vodní bilance pro období 2071- 2100.

•normy

Nové evropské normy pro vzduchotechniku

Článek upozorňuje na normy, jež se zatím objevily v ČR v angličtině, a to pod zorným úhlem jejich významu pro práci projektanta klimatizačních zařízení, tj. v tomto případě i pouze větracích a vytápěcích systémů.

■ ČSN EN 13 779 Větrání nebytových budov – Základní požadavky na větrací a klimatizační zařízení

V kapitole 5.1 se zavádí pojem „transferovaný“ (transferred) vzduch, čímž se rozumí vzduch přecházející z jednoho větraného nebo klimatizovaného prostoru do druhého. Výraz je převzat z korespondujícího standardu ASHRAE a lze jen litovat, že nedošlo k převzetí i termínu pro vzduch upravený recyklací energie nebo vodní páry („make-up“). V tab. 2 této kapitoly jsou také uvedeny různé barvy pro značení jednotlivých druhů vzduchu, např. venkovní a infiltrovaný je zelený, vzduch odcházející z větraného prostoru (extract air) je žlutý, vzduch v interiéru, transferovaný, unikající (leakage air) a exfiltrační šedý, recirkulační a sekundární oranžový, odcházející do atmosféry hnědý.

V tab. 3-4 kap. 5.2 se zavádějí jednak čtyři kategorie vzduchu odváděného z větraného nebo klimatizovaného prostoru (ETA – extract air), jednak odváděného do atmosféry (EHA – exhaust air). Vzduch přiváděný z venku je sice rozdělen dokonce do pěti kategorií ODA 1 (čistý vzduch, jen občas prašný) až ODA 5 (velmi značně znečištěný vzduch), ale pro praxi to nemá význam, neboť pro projektování jsou

Tab. 3-4. Klasifikace vzduchu „extract air“ a „exhaust air“

Kategorie	Hladina znečištění	Popis
ETA 1	EHA 1	nízká bez výrazných zdrojů škodlivin, kouření není dovoleno
ETA 2	EHA 2	mírná bez výrazných zdrojů škodlivin, ale kouření je povoleno
ETA 3	EHA 3	vysoká WC, umývárny, sauny, kuchyně, kopírky, sušárny
ETA 4	EHA 4	velmi vysoká grily, garáže, dopravní tunely, sklady barev a rozpouštědel, sklady nevypraného prádla

Tab. 6. Koncentrace škodlivin ve venkovním vzduchu*

Místo	CO ₂	CO	NO ₂	SO ₂	Celkový PM	PM ₁₀
	[ppm]	[mg/m ³]				
venkov, žádné významné zdroje	350	<1	5–35	<5	<0,1	<20
menší město	375	1–3	15–40	5–15	0,1–0,3	10–30
znečištěný střed města	400	2–6	30–80	10–50	0,2–1,0	20–50

* roční průměry, maximální hodnoty jsou vyšší – pro projekt použijte místní měření a národní směrnice

k dispozici pouze roční průměrné koncentrace (tab. 6), u kterých je ještě uvedeno, že skutečné koncentrace mohou být vyšší.

Dominantou standardu je kvalita vnitřního vzduchu, jež je dosahována ventilací a klimatizací.

Tab. 8, 9, 11, 12. Klasifikace kvality vnitřního vzduchu

Kategorie	Kvalita vzduchu	CO ₂		Venkovní přívod vzduchu	
		nad vzduchem venku [ppm]	v interiéru [dCd]*	[m ³ /h·p]	[m ³ /h·m ²]
IDA 1	vysoká	≤400 (350)	≤17	>54 (72)	**
IDA 2	střední	400–600 (500)	17–26	36–54 (45)	>2,5 (3)
IDA 3	mírná	600–1 000 (800)	26–40	22–36 (29)	1,3–2,5 (2)
IDA 4	nízká	>1 000 (1 200)	>40	<22 (18)	<1,3 (1)

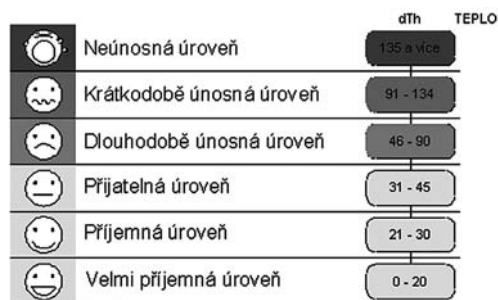
* pro venkovní vzduch 350 ppm; ** nelze použít

Poznámka:

- výměna vzduchu v m³/h.p platí pro aktivitu člověka 1,2 met, pro vyšší aktivity je nutno uведенé hodnoty zvýšit násobením poměrem met/1,2;
- nejnovější výzkumy ukazují, že optimálním kritériem je pouze vnitřní koncentrace CO₂. Hodnoty vnitřních koncentrací v tabulce by měly být navýšeny o koncentrace venkovního vzduchu, jejichž měření pak odpadá;
- v místnostech, kde se nepředpokládá dominantní pobyt osob (jako příklad jsou uvedeny skladovací prostory), a to pouze pro kategorie IDA 2 až IDA 4, se zavádí nepřímá klasifikace výměnou z přípusných koncentrací VOC (těkavých organických látek).

Uvedené tabulky způsobují do jisté míry převrat v dosavadní praxi, neboť umožňují posoudit výměnu vzduchu v interiéru na základě koncentrací CO₂ všude tam, kde je kvalita vzduchu dána převážně přítomností osob (kouření není dovoleno). Náročné měření výměny vzduchu lze nahradit stanovením rozdílu koncentrace CO₂ uvnitř a venku a automatickou regulací ovládat čidly na CO₂.

V kap. 6.3 – Tepelné prostředí se zavádí (v souladu s vládním nařízením č. 361/2007 Sb.) pro hodnocení v létě oděv 0,5 clo, v zimě 1,0 clo a pro obě období aktivita 1,2 met (70 W/m²). Tomu odpovídá minimální operativní teplota v interiéru v topném období 21 °C a v letním období s klimatizací (chlazením) maximální operativní teplota 26 °C (u nás po celý rok s vytápěním 22±2 °C, bez klimatizace 28 °C). Zde



Obr. 1. Nový způsob hodnocení tepelného stavu prostředí dle EADS

standard zaostává za novým EN 4666:2009 pro interiéry letadel, vypracovaným Evropskou agenturou pro kosmický výzkum a letectví, který již zavádí vedle operativních teplot novou stupnici v decibelech, korespondující jednotkám decibel pro hluk svými absolutními hodnotami (obr. 1). Tento nový způsob hodnocení byl poprvé v globálním měřítku publikován v časopise TOPIN.

Příjemným překvapením je naopak zavedení jednoduchého údaje přípustné lokální rychlosti vzduchu při určité teplotě (tab. 21) v souladu s EN 4666:2009. Odpadá tedy problém s použitím speciálního přístroje, který měří DR (draught rate) nebo alespoň turbulenci Tu. Pokud se projektant nespokojí s údaji z tab. 8, 9, 11, 12, nalezneme v kap. 6.4 vzorec k přesnému stanovení množství přiváděného vzduchu jednak s ohledem na odstraňování chemických škodlivin z interiéru, jednak pro potřeby vytápění a chlazení interiéru. Vlhkost vzduchu je v kap. 6.5 pro rozmezí teplot 20-26 °C doporučována 30-70 %.

Tab. 21. Přípustná (lokální) rychlost vzduchu po 3 min. měření dle EN 13 182

Lokální teplota vzduchu [°C]	Typické rozmezí	Přípustná hodnota*
	[m/s]	
20	0,10–0,16	$v \leq 0,13$
21	0,10–0,17	$v \leq 0,14$
22	0,11–0,18	$v \leq 0,15$
24	0,13–0,21	$v \leq 0,17$
26	0,15–0,25	$v \leq 0,20$

* Je-li umožněna individuální regulace rychlosti, lze připustit i hodnoty vyšší.

V příloze A jsou shrnuty požadavky na přívodní a odvodní otvory (např. jejich minimální vzdálenost), doporučení pro volbu filtrů vzduchu, vhodnou aplikaci regenerace vzduchu přiváděného odváděným (heat recovery), požadavky na těsnost budovy a vzduchotechnických zařízení, požadavky na regulaci, na dispozici vzduchotechnických strojoven.

Příloha B je věnována ekonomickým otázkám, přičemž je uváděna i životnost jednotlivých součástí vzduchotechnických zařízení a roční náklady na údržbu v procentech vstupních investičních nákladů.

Zajímavá je i příloha C, jež je shrnutím doporučení pro projektanty, jak se vyhnout problémům v důsledku selhání vzduchotechnického zařízení s ohledem na diskomfort v interiéru a příliš vysokou spotřebu energie, volbu jednotlivých součástí vzduchotechnických systémů, minimalizaci spotřeby energie a provoz vzduchotechnického zařízení.

■ ČSN EN 15 251 Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a provedení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, teplotního prostředí, osvětlení a akustiky

Norma se odvolává na celý soubor předcházejících norem, které vstupní parametry vnitřního prostředí udávají, a to bez uvedení konkrétních hodnot. Určitým překvapením jsou pak přílohy (pouze informativní), v nichž jsou seznamy doporučených hodnot, které však nejsou totožné se souborem předcházejících norem. Hodnoty jsou rozdělené vždy do čtyř ka-

tegorií dle tab. 1 (v tabulkách se objevují jen pro tři kategorie). Dále jsou hodnoty rozděleny na určené:

- a) pro návrh HVAC (vytápěcí, větrací a klimatizační) zařízení,
- b) určené pro energetické výpočty.

Jejich rozdíl je minimální:

- operativní teploty ad a) jsou uváděny minimální pro zimu a maximální pro léto (nesouhlasí se závazným vládním nařízením č. 361/2007 Sb.), hodnoty ad b) mají rozmezí jednak pro chlazení, jednak pro vytápění;
- výměna vzduchu pro nebytové budovy se pohybuje od 36 m³/h.p (kategorie I) do méně než 14,4 m³/h.p (kategorie IV), a to jak ad a), tak ad b). Lze tudíž konstatovat, že jsou nejen v rozporu s vládním nařízením č. 361/2007 Sb., ale i s ČSN EN 13 779 a jejich použití nepřipadá v úvahu;
- výměna vzduchu pro bytové budovy není u nás předepsána zákonným předpisem – většinou se aplikují hodnoty pro nebytové budovy dle vládního nařízení č. 361/2007 Sb., tudíž zde uváděné hodnoty stojí za úvahu i v našich podmínkách, viz tab. B.5.

Tab. 1. Kategorie a jejich aplikace

Kategorie	Vysvětlení
I	vysoká úroveň očekávání – doporučeno pro velmi citlivé a křehké osoby se speciálními požadavky (hendikepovaní, nemocní, velmi mladé děti a staré osoby)
II	normální úroveň očekávání – pro nové budovy a renovace
III	přijatelná, mírná úroveň očekávání – pro existující budovy
IV	hodnoty mimo předcházející tři kategorie lze použít pouze po omezenou část roku

Tab. B.5. Příklad výměny vzduchu pro bytové stavby (předpoklad nepřetržité větrání během přítomnosti osob, dokonalé míšení vzduchu v interiéru)

Kategorie	vzduchu (a)		Obývací pokoje a ložnice		Kuchyně (4a)	Koupelny (4b)	WC (4)
	[m ³ /h·m ²]	[1/h]	[m ³]	[m ³ /h·m ²]	odsávaný vzduch [m ³ /h]		
	(1)		(2), (b)	-3			
I	1,8	0,7	36	5	100	72	50
II	1,5	0,6	25	3,6	72	54	36
III	1,3	0,5	14	2	50	36	25

(a) platí pro výšku stropu 2,5 m; (b) počet obyvatel lze měřit podle počtu ložnic; (1), (2) volí se hodnota vyšší z vypočitatelných jednak dle podlahové plochy, jednak dle počtu obyvatel; (4a), (4b) hodnoty pro byty s malou podlahovou plochou mohou být nižší, pro byty s velkou podlahovou plochou vyšší; (4) přívod vzduchu situovat do ložnic a obývacích pokojů

■ ČSN EN 15 240 Větrání budov – Energetická náročnost budov – směrnice pro inspekci klimatizačních systémů

Účelem normy je snaha o vypracování metodických postupů pro kontrolu klimatizačních zařízení z hlediska spotřeby energie. Klimatizací se zde rozumí vše, co provádí úpravu

FAN-COIL			Třída aplikovatelnosti		
č.	Část	Detaily	C	B	A
E.2.1.1	dokumentace	není <input type="radio"/> neúplná <input type="radio"/> není <input type="radio"/>	x	x	x
E.2.1.2	chybějící části	.....		x	x
E.2.2	číslo/typ	.....	x	x	x
E.2.3	celkové množství vzduchu	..... m ³ /h		x	x
E.2.4	celkový chladicí výkon	..... kW	x	x	x
E.2.5.1	doba provozu navržená	..... h/a	x		
E.2.5.2	změřená	..... h/a		x	x
E.2.6.1	celk. výkon vent. vypočítaný	..... kW	x	x	
E.2.6.2	změřený	..... kW			x
E.2.7	spec. výkon ventilátoru	..... W.m ⁻³ .s			x
E.2.8	stav údržby	pravidelný <input type="radio"/> na požádání <input type="radio"/> žádná <input type="radio"/>	x	x	x
E.2.9	úroveň provozu	uspokojivé <input type="radio"/> neuspokojivé <input type="radio"/>	x	x	x
E.2.10.1	regulační systém	není <input type="radio"/> je <input type="radio"/> typ	x	x	x
E.2.10.2	nastavení	uspokojivé <input type="radio"/> neuspokojivé <input type="radio"/>		x	x
	volitelné				

Obr. 2. Vzor formuláře pro hodnocení vzduchotechnických zařízení

vzduchu, tj. také větrání, vytápění a filtrace vzduchu. Zjišťuje se:

- zda systém odpovídá původnímu návrhu a případným dalším modifikacím, současným požadavkům a současnému stavu budovy;
- funkce a nastavení regulace;

- funkce a nastavení jednotlivých součástí;
- energetický vstup a výsledný energetický výstup.

Netýká se regulování vzduchotechnických systémů, které řeší EN 15 239.

Miloslav V. Jokl

•technologie

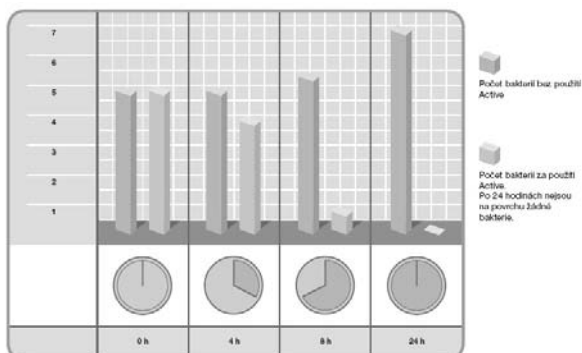
Vypínače dokáží ničit bakterie a viry

Zdravotnická zařízení, restaurace, kina, administrativní budovy či sportoviště a školy. Tato místa s velkou koncentrací lidí jsou vždy nejlepším prostředím pro šíření bakterií a virů. Také proto se vědecké a firemní výzkumy stále častěji zaměřují na nové technologie a prostředky, které dokáží eliminovat zdravotní rizika, způsobená škodlivými mikroorganismy. Převratnou novinkou na tomto poli jsou vypínače se

speciální antibakteriální úpravou, která do 24 h umí zahubit viry, bakterie i kvasinkové plísně. Tento povrch mohou mít i termostaty, ovladače žaluzií, detektory pohybu či stmívače.

Vypínače Merten, které na český trh dodává společnost Schneider Electric, jsou vyrobeny ze speciálního plastového materiálu, obsahujícího kladně nabitě ionty stříbra. Ty reagují s mikroorganismy, které mají náboj záporný a tím choroboplodné zárodky ničí. Na rozdíl od dezinfekčních prostředků ionty stříbra zabírají dalšímu množení odolných mikroorganismů. Antibakteriální efekt je trvalý a zůstává po celou dobu používání přístrojů. Především však ionty stříbra nemají vedlejší účinky na lidský organismus a nezatěžují životní prostředí.

Vysoká účinnost stříbrných iontů při snižování počtu mikroorganismů a bakterií byla prokázána a certifikována již v roce 2004 hned několika renomovanými institucemi (Ústav medicíny a mikrobiologie v Miláně, SIK Institut v Goteborgu, Lawlabs v Birminghamu či Ústav mikrobiologie a epidemiologie Vojenské akademie lékařské vědy v Pekingu).



Tisková informace

• ČVUT

Ústřední knihovna ČVUT



V důsledku výstavby Národní technické knihovny a účasti ČVUT v tomto projektu dochází k systémové změně, která se týká jak knihoven, tak celé akademické obce. K 1. lednu 2009 vznikla jako nová součást Ústřední knihovna ČVUT (ÚK ČVUT), do které byly soustředěny fakultní knihovny a knihovny vysokoškolských ústavů, tj. všechny knihovní fondy, služby a pracovníci. Centrálním pracovištěm bude budova NTK, kde budou umístěny původní knihovny dejvických fakult a součástí, mimodejvická pracoviště zůstávají zachována jako dílčí (lokální) knihovny.

Pro odpovědi na otázky kolem provozu od 9. září 2009, kdy bude Národní technická knihovna otevřena, jsem zašla za PhDr. Barborou Ramajzlovou, pověřenou ředitelkou ÚK ČVUT.

- *Pro ČVUT je stěhování knihovních fondů historickou událostí. Můžete odborné veřejnosti přiblížit, jak bude probíhat?*

Do 30. 6. 2009 zůstávají fakultní knihovny v původních prostorách ve stejném režimu jako dosud, pouze budou omezeny rezervace a prodlužování výpůjček tak, aby se vypůjčené dokumenty daly stáhnout zpět do knihovny a připravit k přestěhování. V průběhu letních měsíců budou uzavřeny. Všechny dosavadní knihovní fondy (FSv, FA, FS, FEL, KÚ a VIC) budou od září umístěny v nových prostorách v budově NTK. Část tohoto fondu (studijní literatura) bude uložena ve skladu v 1. podzemním a odtud expedována k centrálnímu výpůjčnímu pultu ve 2. nadzemním podlaží, kde jim

knihovníci ČVUT budou poskytovat výpůjční služby. Studenti si budou moci objednávat a rezervovat své požadavky přímo v Souborném katalogu ČVUT, podobnou praxi již znají z fakultních knihoven.

Další služby budou poskytovány ve velké chráněné studovně v 5. nadzemním podlaží, kde bude umístěn knihovní fond, převážně k prezenčnímu studiu. Do centrálního pracoviště budou přeneseny všechny služby, které dosud knihovny zajišťují, důraz bude kladen zejména na e-sloužby a přístup k e-zdrojům v síti ČVUT. K té budou uživatelé z ČVUT v budově NTK přistupovat obvyklým způsobem – autorizací.

Na základě dohod mezi ÚK ČVUT a příslušnými fakultami pracovníci ÚK ČVUT zajišťují akvizici, evidenci a zpracování všech fondů (financovaných z různých zdrojů), budou nad nimi provádět revize a inventarizace – v podobném režimu, jako to dosud zajišťovaly na fakultách ústřední knihovny fakult.

- *Knihovny kateder a ústavů se také budou stěhovat?*

Nikoli, ty zůstanou zachovány na všech fakultách. V knihovnách kateder a ústavů fakult (FSv+FA, FS, FEL) budou i nadále umístěny knihovní fondy, evidované v ÚK ČVUT. Mimodejvické knihovny FJFI, FD, FBMI a MÚVS jsou zachovány jako detašovaná pracoviště ÚK (lokální knihovny) s nabídkou služeb pro akademickou obec v dané lokalitě.

- *Jak to bude se službami, na které jsou studenti i pracovníci fakult zvyklí?*

Veškeré služby bude zajišťovat ÚK ČVUT. Jejich výčet i způsob poskytování bude uveřejněn na stránkách ÚK ČVUT, které se v současné době připravují. Cílem je, aby se v novém prostředí a v nové struktuře podařilo zachovat do-



savadní kvalitu poskytovaných služeb. Důležité je, aby zůstaly zachovány osobní kontakty a dlouholeté vazby na pracovníky kateder a fakult.

- *Bude mít k fakultním fondům přístup i odborná veřejnost?*

K fondům umístěným v ÚK ČVUT (ať v centrálním pracovišti, nebo v lokálních knihovnách) má přístup i odborná veřejnost, zejména v prezenčním režimu. Zapůjčení titulů, které jsou umístěny v knihovnách kateder a ústavů, ÚK ČVUT může zprostředkovat uživateli na krátkou dobu, ale pouze v případě, že požadovaný dokument není zapotřebí pro řešení výzkumného úkolu.

- *Kromě knihovních fondů z majetku ČVUT se bude stěhovat do NTK i Ústřední knihovna VŠCHT. Podle informací není díky neprůchodným zákonům možné sloučit majetek státní (STK) a veřejnoprávní organizace (ČVUT, VŠCHT) do jednoho celku (NTK). Rozumím tomu dobře, že technická literatura bude sice v jedné budově, ale v různých výpůjčních systémech? Jak tedy bude postupovat zájemce o výpůjčku z fondů dosavadních fakultních knihoven a z fondu STK?*

Původní záměr, že NTK bude integrovanou institucí tří subjektů (ČVUT, VŠCHT a Státní technické knihovny) se skutečně nepodařilo naplnit. Jejich současné organizačně-právní uspořádání nedovoluje vytvoření společného právního subjektu, což byl pochopitelný požadavek obou vysokých

škol, související s řízením a financováním společné instituce. Proto vstupuje ÚK ČVUT do budovy NTK jako samostatné pracoviště. Není to ideální stav, ale budeme se snažit jej společně překonávat a připravovat postupnou integraci. Uživatel z ČVUT (student, akademický pracovník) by měl vědět, že se do budovy NTK dostane na svůj studentský nebo zaměstnanecký průkaz, protože identifikační údaj jeho průkazu (ID) bude předem zaznamenán v přístupovém systému NTK. Pak už je na něm, aby si vyhledal příslušný dokument k výpůjčce (buď v knihovním katalogu ČVUT, nebo NTK, nebo přímo na místě v regálu) a podle příslušnosti provedl výpůjčku. U první výpůjčky mu pak služba u výpůjčního pultu aktivuje jeho registraci. V případě, že má zájem o výpůjčku z obou knihoven, musí se zaregistrovat na obou výpůjčních místech – ČVUT i NTK. Zatím totiž budou v provozu dva oddělené knihovní systémy, ale odstranění této bariéry bude prvořadým úkolem obou knihoven. Podrobné informace k výpůjčnímu systému (také k rezervacím, objednávání, prodlužování výpůjček atd.) budou uvedeny na webových stránkách, na infostojanech a vývěskách přímo v budově NTK, dále pak na plakátech a propagačních letáčích, které budou umístěny na fakultách a ve Vydavatelství průkazů ČVUT. V neposlední řadě se uživatelé mohou obracet na všechny pracovníky ÚK ČVUT – osobně, telefonicky či e-mailem.

*Děkuji za odpovědi.
Marcela Klímová*



„Národní technická knihovna je nové jméno staré instituce. Před 223 lety jí profesor stavovské inženýrské školy Franz Leonhard Herget našel místo ve zrušeném svatováclavském semináři v dnešní Husově ulici, před 74 lety pro Knihovnu vysokých škol technických, jak se tehdy nazývala, vytvořil na tehdejší dobu ideální podmínky ve východním křídle Klementina Antonín Moucha ve spolupráci s architektem Ladislavem Machoněm. Nyní se Státní technická knihovna (STK) s novým jménem vrací co nejbližší ke svým hlavním uživatelům, dvěma největším českým technickým školám, aby jejich informační zázemí posunula na evropský, ba světový standard. Přívlastek „Národní“ ale naznačuje, že i zde hodlá rozvíjet svou roli garanta informační infrastruktury pro český výzkum a vývoj v technických a přírodovědných oborech, a být tak pevnou součástí tradičního motoru české ekonomiky,“ uvedl ředitel STK Martin Svoboda.

STAVEBNÍ OBZOR

ROČNÍK 18 ČÍSLO 7/2009

Navigace v dokumentu

OBSAH

Křížek, J. – Studnička, J. Integrované silniční mosty	193
Kočí, V. a kol. Tepelně vlhkostní poměry obvodových plášťů budov na bázi pórobetonů	198
Darula, S. – Mohelníková, J. Syntetický průběh venkovní osvětlenosti	204
Škramlík, J. a kol. Vliv kapilární vodivosti na tepelně technické vlastnosti stavební konstrukce	210
Buryan, P. a kol. Expandace cyprisových jílů	213
Korytářová, J. Celoživotní náklady budov	219

OBSAH

Křížek, J. – Studnička, J. Integrované silniční mosty	193
Kočí, V. a kol. Tepelně vlhkostní poměry obvodových plášťů budov na bázi pórobetonů	198
Darula, S. – Mohelníková, J. Syntetický průběh venkovní osvětlenosti	204
Škramlík, J. a kol. Vliv kapilární vodivosti na tepelně technické vlastnosti stavební konstrukce	210
Buryan, P. a kol. Expandace cyprisových jílů	213
Korytářová, J. Celoživotní náklady budov	219

CONTENS

Křížek, J. – Studnička, J. Integral Road Bridges	193
Kočí, V. et al. Thermal and Moisture Conditions of External Skins of Buildings Based on Porous Concretes	198
Darula, S. – Mohelníková, J. Synthetic Course of Outside Illumination	204
Škramlík, J. et al. Effect of Capillary Conductivity on Thermal and Technical Properties of Building Structure ...	210
Buryan, P. et al. Expandability of Cypris Clays	213
Korytářová, J. Life Cycle Costs of Buildings	219

INHALT

Křížek, J. – Studnička, J. Integrierte Straßenbrücken	193
Kočí, V. u.a. Die Wärme- und Feuchtigkeitsparameter der Außenwände von Gebäuden auf Basis von Porenbeton	198
Darula, S. – Mohelníková, J. Synthetische Verläufe der Außenbeleuchtungs- stärke	204
Škramlík, J. u.a. Der Einfluss der kapillaren Leitfähigkeit auf die wärme- technischen Eigenschaften einer Baukonstruktion ..	210
Buryan, P. u a. Expandierung von Cypristonen	213
Korytářová, J. Lebensdauerkosten von Gebäuden	219

REDAKČNÍ RADA

Předseda:

prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.

Místopředseda:

doc. Ing. Alois MATERNA, CSc., MBA

Členové:

doc. Ing. Jiří BROŽOVSKÝ, Ph.D.

prof. Ing. Milena CÍSLEROVÁ, CSc.

prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.

prof. Ing. Rostislav DROCHYTKA, CSc.

doc. Ing. Vladislav HORÁK, CSc.

prof. Ing. Milan JIRÁSEK, DrSc.

doc. Ing. Marcela KARMAZÍNOVÁ, CSc.

doc. Ing. Jana KORYTÁŘOVÁ, Ph.D.

doc. Ing. Jan KRŇANSKÝ, CSc.

doc. Ing. Karel KUBEČKA, Ph.D.

prof. Ing. arch. Alois NOVÝ, CSc.

prof. Ing. Jiří POSPÍŠIL, CSc.

prof. Ing. Jaromír ŘÍHA, CSc.

prof. RNDr. Ing. Petr ŠTĚPÁNEK, CSc.

prof. Ing. arch. Petr URLICH, CSc.

Ing. Renata ZDARILOVÁ, Ph.D.

STAVEBNÍ OBZOR, odborný lektorovaný měsíčník, vydává Fakulta stavební ČVUT Praha společně s Fakultou stavební VUT Brno, Fakultou stavební VŠB TU Ostrava a Českou komorou autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě. Řídí redakční rada, vedoucí redaktorka Marcela Klímová. Adresa redakce: Thákurova 7, 166 29 Praha 6, kontaktní adresa: 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. 6. 2009. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

Integrované silniční mosty

Ing. Jaromír KŘÍŽEK, Ph.D.
Ing. Software Dlubal, s. r. o., Praha
prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.
ČVUT – Fakulta stavební
Praha

Integrované silniční mosty tvoří dosud nepříliš rozšířenou kategorii mostních konstrukcí. Jejich specifikem je, že hlavní nosná konstrukce a spodní stavba jsou spojeny do jednoho celku, čímž dochází k zapojení zeminy za opěrami do působení celého mostu. Vzhledem k výrazně nelineárnímu chování zemin není analýza integrovaných mostů jednoduchou záležitostí. Předkládaný článek shrnuje výsledky výzkumu vykonaného v tomto oboru na ČVUT od doby publikování článku [5], zejména pak poznatky plynoucí z dizertační práce prvního z autorů [14]. V článku je popsána metoda sloužící ke stanovení tuhostí pružného podepření spodní stavby integrovaných mostů. Metodu lze použít jako praktickou pomůcku při navrhování integrovaných mostů.

1. Úvod

Tradiční trámové mosty se skládají z nosné konstrukce a spodní stavby. Jejich nedílnou součástí jsou mostní závěry a ložiska, která nosnou konstrukci od spodní stavby oddělují a umožňují vzájemné dilatační posuny. Je všeobecně známo, že životnost mostních závěrů a ložisek je výrazně kratší než životnost mostu jako celku. Tyto konstrukční prvky jsou často zdrojem problémů spojených s údržbou nebo případnou výměnou. Největší ekonomické ztráty představuje přerušení provozu na mostě a náklady spojené s údržbou a výměnou mostních závěrů a ložisek. Snaha o snížení těchto ztrát vede v řadě zemí ke konstrukčním řešením, která použít mostních závěrů a ložisek vylučují.

Pro označení mostní konstrukce bez mostních závěrů a ložisek se používá pojem „integrovaný most“. V některých zemích jsou pro překonání krátkých a středních rozpětí tyto mosty velice populární. Existují zde nejrůznější předpisy a pomůcky usnadňující navrhování, např. [1], [2], [3], [4]. Spojit opěru s konstrukcí mostu do celku může být výhodné i při rekonstrukci [17].

V České republice je na pozemních komunikacích postaveno integrovaných mostů jen několik [18], byl postaven i integrovaný most železniční [11]. Na ČVUT v Praze byla v minulosti odvozena návrhová metoda pro navrhování tohoto typu mostů [6], [7], [8], [9], [10].

Příčinu malého rozšíření integrovaných mostů u nás lze hledat v komplexnosti návrhu. Mostní konstrukce spolupůsobí s opěrami a zeminou, což je nutné zahrnout do statického mode-

lu, přičemž zeminu lze zpravidla modelovat pomocí pružného podepření spodní stavby. Hlavním problémem při navrhování integrovaných mostů se ukazuje být stanovení odpovídajících tuhostí pružného podepření jednotlivých částí spodní stavby. Předkládaná metoda, odvozená prvním autorem tohoto článku, slouží k výpočtu těchto tuhostí. Metodu lze reálně použít jako výpočetní pomůcku při praktickém navrhování integrovaných mostů.

2. Metoda pro výpočet modulů reakce podloží

Jak již bylo zmíněno, metoda se zabývá výpočtem tuhostí pružného podepření jednotlivých částí spodní stavby integrovaných mostů, které jsou v kontaktu se zeminou. Tuhosti pružného podepření jsou vyjádřeny pomocí modulů reakce podloží (*obr. 1*), jejichž hodnoty lze pomocí této metody vypočítat:

- k_{ax} je modul reakce podloží na opěrách ve vodorovném směru, vyjadřující odpor zeminy zásypového klínu při zatlačování opěr do zeminy;
- k_{fx} je modul reakce podloží pod plošným základem ve svislém směru, vycházející ze stlačitelnosti zeminy v podloží;
- k_{fx} je modul reakce podloží pod plošným základem ve vodorovném směru, vyjadřující odpor základové spáry proti vodorovným posunům.

Pružným podepřením pilot se metoda nezabývá. Moduly reakce k_{ax} se vypočítají v závislosti na těchto parametrech:

- výšce opěry,
- délce nosné konstrukce a z ní vyplývajících posunů opěry vlivem teplotní roztažnosti,
- typu a třídě zeminy v zásypu za opěrrou.

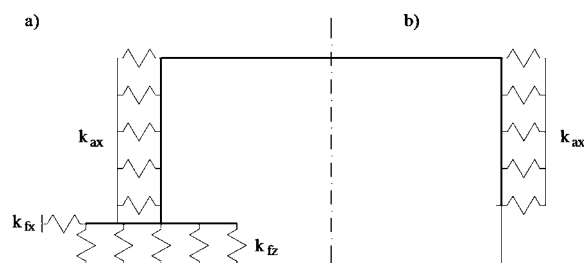
Moduly reakce k_{fx} a k_{fx} se pomocí metody vypočítají v závislosti na těchto parametrech:

- rozměrech plošných základů,
- svislém a vodorovném zatížení plošného základu,
- typu a třídě zeminy v podloží pod plošným základem.

Na základě stanovených modulů reakce podloží k_{fx} , k_{fx} a k_{ax} je možné určit konkrétní hodnoty tuhostí pružného podepření integrovaného mostu. Tyto tuhosti lze vložit do statického modelu sloužícího pro návrh (*obr. 1*).

Zdůrazňuje se, že metoda je použitelná pro široké spektrum integrovaných mostů o jednom či více polích s libovolným typem nosné konstrukce, tj. na mosty ocelobetonové

vé, železobetonové, popř. prefabrikované, skládající se z předpjatých či jiných prefabrikátů. Moduly reakce k_{ax} je možné použít pro železobetonové opěry, u nichž nenastávají výrazné ohybové deformace vlivem vodorovných zemních tlaků. Vypočtené hodnoty modulů reakce k_{ax} lze aplikovat na opěry založené na plošných základech nebo pilotách.

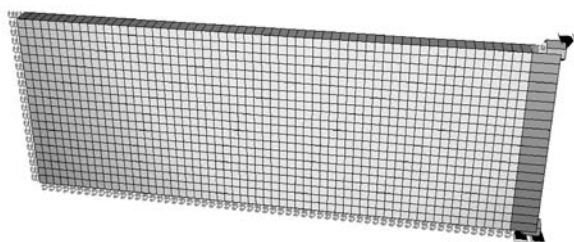


Obr. 1. Statické schéma a pružné podepření integrovaných mostů
a – založení na plošných základech, b – založení na pilotách

3. Odvození metody

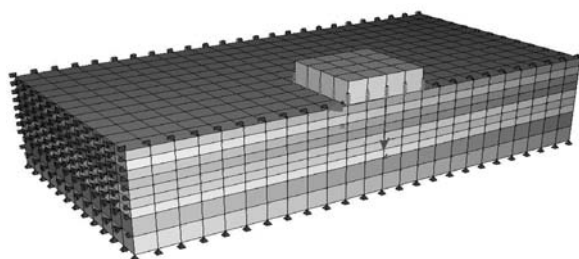
Metoda byla odvozena pomocí numerického modelování. K tomuto účelu byly vytvořeny numerické modely metodou konečných prvků (MKP), zahrnující spodní stavbu mostu a přilehlou zeminu. Statický program SOFiSTiK [12] se po prověření dalších možností ukázal pro provádění kombinovaných konstrukčně geotechnických analýz a parametrických studií jako optimální. Metoda je odvozena pomocí modelů:

- opěry a zásypu pro stanovení modulů k_{ax} (obr. 2);



Obr. 2. Numerický model opěry a zásypu

- plošného základu a zeminy v podloží, pro stanovení modulů k_{fx} a k_{fy} (obr. 3).



Obr. 3. Numerický model plošného základu

Vizualizaci modelu opěry a zásypu ukazuje obr. 2. Tento rovinný model MKP, reprezentující 1 m šířky opěry a 1 m šířky zásypu, se skládá z těchto prvků:

- obdélníkových plošných prvků modelujících zásyp za opěrou;
- prutových prvků, modelujících železobetonovou opěru mostu;

- fiktivních prutových prvků připojených k hornímu a dolnímu konci opěry. Jde o pruty velké tuhosti, které jsou při analýze zatěžovány rovnoměrnou změnou teploty vyvolávající požadovaný posun horního a dolního konce opěr. Tím je dosaženo požadovaného zatlačení opěry do tělesa zásypu;
- pružinových prvků, modelujících kontakt mezi opěrou a zásypem. Tyto vodorovné pružiny jsou umístěny ve všech uzlových bodech opěry. Propojují jednotlivé uzly prutových prvků opěry s uzly plošných prvků zásypu;
- pružinových prvků, umístěných ve všech uzlových bodech na spodním a levém okraji zásypu. Tyto pružiny tvoří okrajové podmínky podepření zásypu. Horní povrch je volný;
- na pravém konci fiktivních prutů jsou umístěny pevné kloubové podpory, které zajišťují, že při zatížení fiktivních prutů rovnoměrnou teplotou zůstane jejich pravý konec pevný, zatímco levý zatlačuje opěru do zeminy. Na spodním konci opěry je umístěna vodorovně posuvná kloubová podpora podepírající opěru ve svislém směru.

Pomocí tohoto modelu [14] byla provedena rozsáhlá parametrická studie, ze které byl získán průběh modulů reakce $k_{ax}(z)$ po výšce opěry pro různé typy zeminy v zásypcech, výšky a přemístění opěr. Výsledky byly statisticky zpracovány. Průběh modulů reakce $k_{ax}(z)$ je zobrazen a popsán v odd. 4 tohoto článku.

Vizualizaci modelu plošných základů ukazuje obr. 3. Vzhledem k symetrii řešené úlohy obsahuje model polovinu základu a polovinu přilehlé zeminové oblasti. Skládá se z těchto prvků:

- objemových ve tvaru kvádrů, modelujících zemní těleso;
- obdélníkových plošných, modelujících železobetonový základ;
- pružinových, modelujících kontakt mezi základem a zeminou. Pružiny jsou umístěny ve všech uzlových bodech základu. Disponují osovou a příčnou tuhostí. Osová a příčná tuhost pružin je ve všech směrech uvažována nekonečná. Veškerá svislá a vodorovná zatížení, přenášená ze základu do zemního tělesa, se projeví pouze deformací prvků zemního tělesa, prokluz v základové spáře není umožněn;
- bodových podpor, umístěných ve všech uzlových bodech na okrajích zemního tělesa. Podpory na spodní ploše zemního tělesa zabráňují svislému a vodorovnému posunu uzlů, podpory na bočních plochách zabráňují pouze vodorovným posunům uzlů ve směru kolmém k dané ploše. Horní povrch zemního tělesa je volný. Další bodové podpory v uzlech základu na hraně symetrie zabráňují jeho natočení kolem hrany symetrie.

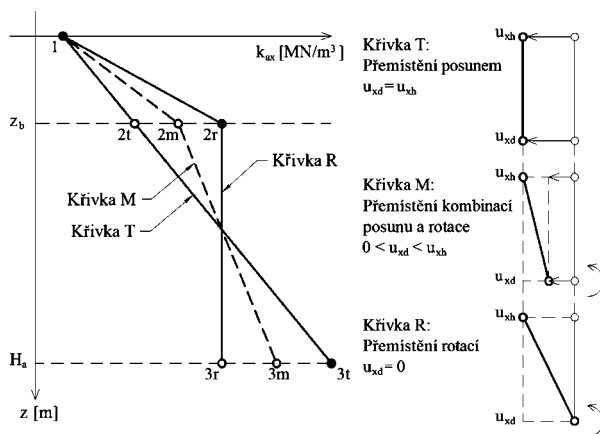
Numerické modely byly zatěžovány kombinací svislého a vodorovného zatížení [14]. V rámci rozsáhlé parametrické studie byly získány hodnoty modulů reakce k_{fx} a k_{fy} pro různé rozměry základů, velikosti vodorovného a svislého přitížení základové spáry, zeminy v podloží a úrovně hladiny podzemní vody. Výsledky byly statisticky zpracovány. Hodnoty modulů reakce k_{fx} a k_{fy} , získané z parametrické studie, jsou zobrazeny a popsány v odd. 5.

4. Výpočet modulů reakce k_{ax}

V tomto oddíle je popsána metoda výpočtu modulů reakce k_{ax} . Je zde uveden obecný postup pro stanovení průběhu modulů reakce k_{ax} po výšce opěry.

Průběh modulů reakce k_{ax} po výšce opěry

Průběh modulů k_{ax} závisí na způsobu přemístění opěry do zásypu vlivem teplotních a jiných účinků. Přemístění opěry do zásypu je definováno vodorovným posunem horního konce opěry u_{xh} a vodorovným posunem dolního konce opěry u_{xd} . Průběh modulů reakce k_{ax} po výšce opěry přitom závisí na způsobu jejího přemístění. Závislost průběhu modulů reakce k_{ax} na způsobu přemístění opěry ukazuje obr. 4.



Obr. 4. Průběh modulů k_{ax} po výšce opěry

Na vodorovné ose jsou vyneseny hodnoty modulů reakce k_{ax} na svislé hloubka z pod terénem. Metoda rozlišuje tři způsoby přemístění opěry:

- posunem, přičemž platí $u_{xh} = u_{xd}$. Průběh modulů reakce k_{ax} se v tomto případě uvažuje pomocí lineární křivky T , která je definovaná bodem 1 na horním konci opěry a bodem $3t$ na dolním konci opěry. Mezi body 1 a $3t$ se v hloubce z_b nachází mezilehlý bod $2t$;
- rotací, přičemž platí $u_{xd} = 0$. Průběh modulů reakce k_{ax} se v tomto případě uvažuje pomocí bilineární křivky R , která je definovaná body 1 , $2r$ a $3r$. Bod 1 je společný s křivkou T , bod $2r$ se nachází ve stejné hloubce pod terénem z_b jako $2t$. Bod $3r$ se nachází na spodním konci opěry a leží na svislici s bodem $2r$;
- kombinací posunu a rotace, přičemž platí $0 < u_{xd} < u_{xh}$. Průběh modulů reakce je uvažován bilineárními křivkami M , které leží v rozmezí křivek T a R . Křivky M jsou definovány body 1 , $2m$ a $3m$. Hloubka bodu $2m$ pod terénem z_b je shodná s body $2t$ a $2r$. Polohu bodů $2m$ mezi body $2t$ a $2r$ lze získat lineární interpolací podle hodnoty posunu u_{xd} nacházejícího se v rozmezí od nuly do u_{xh} . Bod $3m$ leží na dolním konci opěry. Jeho polohu lze získat interpolací mezi body $3t$ a $3r$.

Vzorce definující křivky T , R a M

Aby bylo možné křivky T , R a M pro konkrétní případ stanovit, je nutné definovat body 1 , $2r$ a $3t$. U každého z výše uvedených bodů je nutné definovat modul reakce k_{ax} , u bodů $2r$ a $2t$ ještě jejich hloubku z_b . K tomu byly odvozeny vztahy pro výpočet modulů reakce k_{ax} v bodech 1 , $2r$ a $3t$ a hloubek z_b bodů $2r$:

$$k_{ax} = \frac{k_c E_{def} u_{xh}}{10^4} + \frac{k_d E_{def}}{10^2} + \frac{k_e u_{xh}}{10^2} + k_f, \quad (1)$$

$$z_b = \frac{k_c E_{def} u_{xh}}{10^4} + \frac{k_d E_{def}}{10^2} + \frac{k_e u_{xh}}{10^2} + k_f, \quad (2)$$

kde k_c až k_f jsou součinitele závislé na výšce opěry a typu zeminy;

E_{def} – deformační modul zeminy zásypu v suchém stavu [MPa];

u_{xh} – vodorovný posun horního konce opěry [mm].

Součinitele k_c , k_d , k_e a k_f lze pro body 1 , $2r$ a $3t$ a hloubky z_b odečíst z tabulek nebo grafů v závislosti na výšce opěry H_a a typu zeminy (písčité nebo štěrkovité). Tabulky a grafy k odečtení součinitelů k_c , k_d , k_e a k_f lze nalézt ve [14].

Rozsah platnosti vztahů (1) a (2)

Odvozené vzorce (1) a (2) jsou platné za těchto podmínek:

- **rozpětí, počet polí a délka mostu** – za předpokladu klimatických poměrů České republiky a dalších zemí s podobným klimatem jsou vztahy použitelné pro mosty celkové délky do 120 m. Pro země, v nichž normy stanoví letní teploty vyšší, se maximální délka mostu zkracuje tak, aby byly splněny předpoklady uvedené níže. Počet polí a jejich rozpětí mohou být libovolné;
 - **opěry mostu** – vztahy byly odvozeny pro tuhé železobetonové opěry, které se při zatlačování do zásypu příliš nedeformují. Výška opěr se pohybuje mezi 2-15 m;
 - **založení mostu** – vztahy platí v případě plošného i hlubinného založení opěr, tj. pro založení na plošných základech a pilotách;
 - **zeminy v zásypch** – pro zásyp se předpokládají nesoudržné a nenamrzavé písčité nebo štěrkovité zeminy tříd S1-S5 a G1-G5 podle klasifikace [13]. Dále se předpokládá, že zásyp je odvodněný a zhutněný na relativní hodnotu $I_D = 0,75$ a vyšší;
 - **vodorovná přemístění opěr směrem do zásypu** – vztahy jsou platné pro přemístění opěr do zásypu vodorovným posunem, rotací kolem paty opěry a kombinací těchto pohybů. Přitom se předpokládá, že se vodorovné posuny horního a dolního konce opěry u_{xh} a u_{xd} pohybují v rozmezí 0-36 mm;
 - **vodorovné posuny horního konce opěry u_{xh}** se dosazují v milimetrech. Přestože se body $2r$ a $3t$ nenacházejí na horním konci opěry, do vzorců (1) a (2) se ve všech případech dosazuje vodorovný posun jejího horního konce u_{xh} ;
- Při dodržení těchto předpokladů vycházejí ve vztazích (1) a (2) hodnoty modulů reakce v MN/m^3 .

5. Výpočet modulů reakce k_{fz} a k_{fx}

V tomto oddíle je popsána metoda výpočtu modulů reakce k_{fz} a k_{fx} pro homogenní a vrstevnaté podloží pod plošným základem. Vztahy zde uvedené vycházejí z předpokladu, že rozložení modulů reakce je po celé ploše základu konstantní. V odvozených vztazích je také zohledněn vliv podzemní vody.

Svislé moduly reakce k_{fz}

Vztah (3) pro výpočet modulů reakce k_{fz} vychází z předpokladu, že podloží pod plošným základem je tvořeno zeminou jedné třídy. Přitom se vychází z klasifikace zemín uvedených v [13]. Modul reakce k_{fz} se vypočte podle vzorce

$$k_{fz} = \left(\frac{k_{z1} (E_{def})^{k_{z2}}}{f_z + k_{z5}} + k_{z3} (E_{def})^{k_{z4}} \right) k_{wz}, \quad (3)$$

kde k_{z1} až k_{z5} jsou součinitele závislé na rozměrech základu a typu zeminy;

- k_{wz} – součinitel zohledňující úroveň hladiny podzemní vody;
 E_{def} – hodnota deformačního modulu zeminy podloží v suchém stavu [MPa];
 f_z – svislé zatížení základu uvažované po celé jeho ploše konstantní [kN/m²].

Vodorovné moduly reakce k_{fx}

Kromě vztahu pro výpočet svislých modulů reakce k_{fz} byl odvozen vztah pro výpočet vodorovných modulů k_{fx} . Vztah pro výpočet modulů reakce k_{fx} vychází z předpokladu, že podloží pod plošným základem je tvořeno zeminou jedné třídy. Přitom se vychází z klasifikace zemín uvedené v [13]. Modul reakce k_{fx} se vypočte ze vztahu

$$k_{fx} = \left(-\frac{k_{x1}}{1000} f_z + k_{x2} G_{def} + k_{x3} + \frac{k_{x4} - f_x}{k_{x5}} \right) k_{wx}, \quad (4)$$

kde k_{x1} až k_{x5} jsou součinitele závislé na rozměrech základu a typu zeminy;

- k_{wx} – součinitel zohledňující úroveň hladiny podzemní vody;
 G_{def} – smykový deformační modul zeminy podloží v suchém stavu [MPa];
 f_z, f_x – svislé a vodorovné zatížení základu, uvažované po celé jeho ploše konstantními hodnotami [kN/m²].

V případě jemnozrnných zemín se ukázalo, že vliv vodorovného zatížení f_x na modul reakce k_{fx} je zanedbatelný. Vztah (4) se pro jemnozrnné zeminy tříd F1-F6 dá redukovat na tvar

$$k_{fx} = \left(-\frac{k_{x1}}{1000} f_z + k_{x2} G_{def} + k_{x3} \right) k_{wx}. \quad (5)$$

Moduly reakce pro vrstevnaté podloží

V praxi nastávají případy, kdy je podloží pod základy vrstevnaté, to znamená, že je tvořeno zeminou různých tříd. V tomto odstavci je popsán způsob, pomocí něhož je možné vypočítat svislé a vodorovné moduly reakce $k_{fz,tot}$ a $k_{fx,tot}$ pro vrstevnaté podloží pod plošným základem. Přitom se vychází z obecného principu, že převrácená hodnota celkového modulu reakce vrstevnatého podloží se rovná součtu převrácených hodnot modulů jednotlivých vrstev. Má-li vrstevnaté podloží n vrstev, výsledné moduly reakce $k_{fz,tot}$ a $k_{fx,tot}$ se vypočtou ze vztahů

$$k_{fz,tot} = \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{k_{fzi}} \right)^{-1}, \quad (6)$$

$$k_{fx,tot} = \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{k_{fxi}} \right)^{-1}, \quad (7)$$

kde k_{fzi}, k_{fxi} jsou svislé a vodorovné moduly reakce i -té vrstvy podloží.

Moduly reakce jednotlivých vrstev k_{fzi} a k_{fxi} se vypočtou podle vzorců

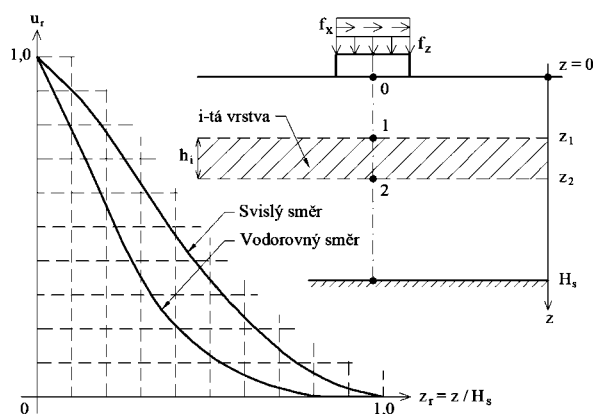
$$k_{fzi} = \frac{k_{fz}}{(u_{r1} - u_{r2})}, \quad (8)$$

$$k_{fxi} = \frac{k_{fx}}{(u_{r1} - u_{r2})}, \quad (9)$$

kde k_{fz}, k_{fx} jsou svislé a vodorovné moduly reakce určené dle vztahů (3) až (5) pro případ, kdy je celé podloží pod základem tvořeno pouze zeminou i -té vrstvy;

- u_{r1} – relativní svislý, resp. vodorovný posun na horním okraji i -té vrstvy (bod 1, viz obr. 5);
 u_{r2} – relativní svislý, resp. vodorovný posun na dolním okraji i -té vrstvy (bod 2, viz obr. 5).

Pro stanovení relativních posunů u_{r1} a u_{r2} byl odvozen jednotkový graf závislosti relativních posunů u_r na relativních hloubkách z_r (obr. 5).



Obr. 5. Jednotkový graf vrstevnatého podloží

Je-li i -tá vrstva omezena body 1 a 2, ležících v hloubkách z_1 a z_2 pod terémem, lze relativní hloubku bodů 1 a 2 z_{r1} a z_{r2} stanovit následovně

$$z_{r1} = \frac{z_1}{H_s}, \quad (10)$$

$$z_{r2} = \frac{z_2}{H_s}, \quad (11)$$

kde z_1 a z_2 je hloubka bodů 1 a 2, omezující i -tou vrstvu, a H_s je mocnost zemního tělesa.

Mocnost zemních těles H_s je pro jednotlivé třídy zeminy a hodnoty svislého zatížení základu tabelizována v [14]. Na základě relativní hloubky z_{r1} a z_{r2} i -té vrstvy lze z jednotkového grafu odečíst relativní posuny u_{r1} a u_{r2} . Relativní posun u_{r1} a u_{r2} pro výpočet svislých modulů reakce k_{fzi} se odečítá z větve grafu pro svislý směr, relativní hloubka pro výpočet vodorovných modulů reakce k_{fxi} z větve pro vodorovný směr.

Odvozené vztahy (3) až (11) jsou platné za těchto podmínek:

- **půdorysné rozměry základů:** 3 x 6 – 8 x 32 m;
- **zemina v podloží:** písčité zeminy S1-S5, štěrkovité zeminy G1-G5 a jemnozrnné zeminy F1-F6 v efektivních a totálních parametrech dle klasifikace uvedené v [3]. Deformační moduly E_{def} a G_{def} se dosazují v megapascalch;
- **úroveň hladiny podzemní vody:** vliv je zohledněn pomocí součinitelů k_{wz} a k_{wx} ;
- **svislá a vodorovná zatížení:** pro jednotlivé zeminy a kombinace svislého a vodorovného zatížení se použijí hodnoty v rozsahu definovaném v [4] nebo [5]. Svislá a vodorovná zatížení f_z a f_x se dosazují v kilopascalch;

– součinitele $k_{z,1}$ až $k_{z,5}$ a $k_{x,1}$ až $k_{x,5}$: dosazují se z tabulek uvedených v [4] nebo [5].

Při dodržení těchto podmínek vycházejí ve vztazích (3) až (11) hodnoty modulů reakce v MN/m³.

6. Závěr

Prezentuje se praktická pomůcka pro navrhování integrovaných mostů, která slouží ke stanovení modulů reakce podloží $k_{z,1}$, $k_{z,5}$ a $k_{x,1}$, na jejichž základě je možné určit hodnoty tuhosti pružného podepření integrovaného mostu, a ty použít ve statickém modelu pro návrh (obr. 1). Pomůcka je použitelná pro široké spektrum integrovaných mostů o jednom či více polích, s libovolným typem nosné konstrukce, tj. na mosty ocelobetonové, železobetonové, popř. prefabrikované, skládající se z předpjatých či jiných prefabrikátů. Výpočet lze použít pro železobetonové opěry založené na plošných základech nebo pilotách.

Odvození prezentované metody výpočtu bylo podpořeno několika vědeckými projekty, zejména výzkumným záměrem MSM 6840770001.

Literatura

- [1] Biddle, A. R. – Iles, D. C. – Yandzio, E.: Integral Steel Bridges – Design Guidance. SCI, 1997.
- [2] Way, J. A. – Biddle, A. R.: Integral Steel Bridges: Design of a Multi-Span Bridge – Worked Example. SCI, 1998.
- [3] Collin, P. – Lundmark, T.: Competitive Swedish Composite Bridges. IABSE Melbourne, 2002.
- [4] Collin, P. – Stoltz, A. – Moller, M.: Innovative Prefabricated Composite Bridges. IABSE Melbourne, 2002.
- [5] Lamboj, L. – Studnička, J.: Integrované ocelobetonové mosty pro pozemní komunikace. Stavební obzor, 8, 1999, č. 2, s. 33-37.
- [6] Roller, F. – Studnička, J.: Integral Composite Steel and Concrete Bridges. IABSE Symposium 2003 – Poster Presentation, Antwerpen, 2003.
- [7] Roller, F. – Studnička, J.: Soil-Structure Interaction of Integral Bridges. IABSE Symposium 2004, Shanghai, 2004.
- [8] Roller, F.: Ocelobetonové integrované mosty. [Dizertace], ČVUT Praha, 2006.
- [9] Roller, F. – Studnička, J.: Integrovaný most. Stavební obzor, 16, 2007, č. 7, s. 204-210.
- [10] Roller, F. – Křížek, J. – Studnička, J.: Integral Bridges and Soil-Structure Interaction. Proceedings of Stability and Ductility of Steel Structures. Lisboa, 2006.
- [11] Šafář, R.: Integral Bridges. First Integral Railway Bridge in the Czech Republic. IABSE Symposium, Weimar, 2007.
- [12] SOFiSTiK AG. SOFiSTiK. Analysis Programs. Version 23.0, 2007.
- [13] ČSN 73 1001 Zakládání staveb. Základová půda pod plošnými základy. ÚNM, 1987.
- [14] Křížek, J.: Integrované mosty. [Dizertace], ČVUT Praha, 2009.
- [15] Křížek, J. – Studnička, J.: Bridge and Soil Interaction. Eurosteel, Graz, 2008.
- [16] Křížek, J. – Studnička, J.: Integral Bridges. 7th Inter. Conf. on Steel Bridges, Guimaraes, 2008.
- [17] Russo, G. – Bergamo, O. – Damiani, L.: Retrofitting a Short Span Bridge with a Semi-Integral Abutment Bridge: The Treviso Bridge, Structural Engineering International, Vol. 12, No. 2, 2009.
- [18] Stráský, J. – Svadbík, P. – Lapáček, L.: Most přes Ploučnici ve Stružinci. [Sborník], konference „Mosty“, Brno, 2000.

Křížek, J. – Studnička, J.: Integral Road Bridges

Integral bridges represent a special category in bridge construction. The superstructure and the substructure of an integral bridge are connected without the use of bridge bearings and mechanical expansion joints. This also means that the backfill behind the integral bridge abutment is integrated into the bridge model. However, interaction of the bridge and the backfill may also cause problems and must be taken into account when designing an integral bridge. The results of the decade of research at Czech Technical University in Prague in this field and a summary of a doctoral thesis [14] of the first author are presented in this article.

Křížek, J. – Studnička, J.: Integrierte Straßenbrücken

Integrierte Straßenbrücken bilden bisher eine nicht allzu verbreitete Kategorie von Brückenkonstruktionen. Ihr Spezifikum ist, dass die Haupttragkonstruktion und der Unterbau zu einem Ganzen verbunden sind, wodurch es zu einer Einbindung des Bodens hinter den Widerlagern in das Wirken der ganzen Brücke kommt. Angesichts des erheblich nichtlinearen Verhaltens der Erdstoffe ist eine Analyse integrierter Brücken keine ganz einfache Angelegenheit. Der vorliegende Artikel fasst die Ergebnisse der an der TU Prag in diesem Fach seit Erscheinen des Artikels [5] durchgeführten Forschungsarbeit zusammen, insbesondere jedoch die aus der Dissertation des ersten der Autoren [14] erwachsenen Erkenntnisse. Im Artikel wird ein Verfahren beschrieben, das zur Bestimmung der Steifigkeiten der elastischen Unterstützung des Unterbaus integrierter Brücken dient. Das Verfahren kann auch als praktisches Hilfsmittel beim Entwurf integrierter Brücken benutzt werden.

Stavební obzor na CD

Ročníky

2002–2008

ve formátu pdf si lze objednat u distributora,
popř. v redakci našeho časopisu

Cena:

1 ročník na CD 400 Kč
Poštovné + balné (dobírka) 100 Kč

Objednávky:

Ing. Milan Gattringer, MG DTP,
Borovanská 3388, 143 00 Praha 4,
tel./fax: 241 770 220, e-mail: mgdtp@volny.cz

Tepelně vlhkostní poměry obvodových pláští budov na bázi pórobetonů

Ing. Václav KOČÍ

Ing. Jiří MADĚRA, Ph.D.

doc. Ing. Jaroslav VÝBORNÝ, CSc.

prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.

ČVUT – Fakulta stavební

Praha

V článku jsou prostřednictvím počítačové analýzy predikovány tepelně vlhkostní vlastnosti typických pórobetonových prvků, určených pro obvodové pláště budov. Výsledků je dosaženo kombinací dlouhodobé výpočetní simulace, při níž jako vstupní data slouží experimentálně určené vlhkostní, tepelné a akumulční parametry. Pro výpočty je použit program TRANSMAT, vyvinutý na ČVUT v Praze, jako okrajové podmínky jsou použita klimatická data pro Prahu. Výsledky počítačové simulace umožňují určit rozložení teplotních a vlhkostních polí v obvodovém plášti, na jejichž základě můžeme určit jeho životnost.

Úvod

Ačkoli je pórobeton jako stavební materiál široce používán v celé Evropě, jeho poměrně časté strukturální poruchy jsou mezi potenciálními investory dobře známé. To ve výsledku vedlo k oslabení pozice pórobetonu na evropském trhu stavebních materiálů. Jde přitom o perspektivní materiál i z hlediska životního prostředí a své aplikační možnosti zdaleka nevyčerpal.

Návrh pórobetonového obvodového pláště probíhal doposud pouze na základě empirických pravidel. To vedlo k tomu, že se jednotlivé návrhy lišily případ od případu a poruchy pórobetonu byly způsobeny buď špatnou specifikací, nebo poruchami konstrukce jako celku. Typickým projevem takovýchto poruch jsou trhliny vnitřní či vnější omítky, odpadávání povrchových vrstev (mnohdy i s kusy pórobetonu), vznik trhlin v oblasti oken a dveří nebo nízká mrazuvzdornost aplikovaných omítek.

Současné normy nepomáhají projektantům předcházet poškození, protože vlhkostní analýza v obou normách (české i evropské) se zabývá pouze přenosem vodní páry za ustálených podmínek. To představuje značné riziko při návrhu, neboť se nepočítá např. se sáním kapalné vlhkosti, s prouděním vodní páry ve směsi se vzduchem ani s křížovými efekty přenosu tepla a vlhkosti. Tyto jevy poté mohou často vést k podcenění množství kapalné vlhkosti v obvodovém plášti nebo k podcenění kondenzačních zón, které se mohou vyskytnout na jiných místech, než určuje normový výpočetní postup.

V tomto článku je za použití počítačového modelování popsána simulace tepelně vlhkostních podmínek typických pórobetonových prvků pro obvodové pláště, což poskytuje mnohem přesnější informace než aplikace zjednodušených metod daných současnými normami. Díky tomu můžeme provést kvalitativně lepší a serióznější odhad trvanlivosti těchto prvků.

Materiály a obvodový plášť

Předmětem počítačové simulace bylo teplotní pole a pole relativní vlhkosti ve čtyřech různých variantách obvodového pláště budov, založených na nosném pórobetonovém zdivu se dvěma různými typy tepelné izolace a se dvěma různými omítkami. Jako materiál pro vnější tepelnou izolaci jsme uvažovali minerální vlnu s nízkým obsahem hygroskopické vlhkosti (MV) o tloušťce 50 mm a dále expandovaný polystyren (EPS) o tloušťce 60 mm, který se vyznačuje vysokým faktorem difúzního odporu. Simulace byla provedena na dvou nezateplených variantách a na dvou zateplených. Ve všech případech byla jako interiérová uvažována omítka vápenocementová (VCO). V případě zateplených obvodových plášťů byla aplikována rovněž v exteriéru, u nezateplených pláštíků byly v exteriéru pro porovnání vlivu uvažována omítka vápenocementová a omítka cementová (CO). Podrobné schéma skladby analyzovaných obvodových pláštíků je znázorněno na obr. 1 a shrnuto do následného přehledu. Základní materiálové charakteristiky uvedených obvodových pláštíků jsou popsány v tab. 1 a tab. 2 [1][2].

Varianta 1:

VCO	(1)	15 mm
pórobeton	(3)	375 mm
VCO	(4)	5 mm

Varianta 2:

CO	(1)	15 mm
pórobeton	(3)	375 mm
VCO	(4)	5 mm

Varianta 3:

VCO	(1)	5 mm
MV	(2)	50 mm
pórobeton	(3)	375 mm
VCO	(4)	5 mm

Varianta 4:

VCO	(1)	5 mm
EPS	(2)	60 mm
pórobeton	(3)	375 mm
VCO	(4)	5 mm

Vysvětlivky k tab. 1 a tab. 2:

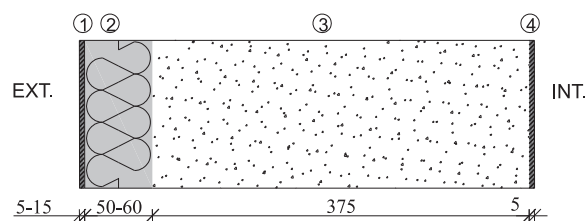
ρ – objemová hmotnost, θ_{hyg} – hygroskopický obsah vlhkosti, θ_{sat} – obsah vlhkosti odpovídající plnému nasycení vodou, λ_{dry} – součinitel tepelné vodivosti v suchém stavu, λ_{sat} – součinitel tepelné vodivosti ve stavu plně nasyceném vodou, κ – součinitel vlhkostní vodivosti, c – měrná tepelná kapacita a μ – faktor difúzního odporu pro vodní páru

Tab. 1. Základní materiálové charakteristiky pórobetonu a omítek

Charakteristika	Měřicí jednotka	Pórobeton	CO	VCO
ρ	kg/m ³	500	2 100	1 550
θ_{hyg}	m ³ /m ³	0,046	0,04	0,03
θ_{sat}	m ³ /m ³	0,790	0,22	0,40
λ_{dry}	W/mK	0,092	1,34	0,70
λ_{sat}	W/mK	1,170	1,45	2,40
κ	m ² /s	3,5E-9.e ^{1,450}	3,1E-11.e ^{3,20}	7,3E-7.e ^{3,20}
c	J/kgK	1 100	1 000	1 200
μ	–	5,9	45	7

Tab. 2. Základní materiálové vlastnosti tepelných izolací

Charakteristika	Měřicí jednotka	EPS	MV
ρ	kg/m ³	50	170
θ_{hyg}	m ³ /m ³	0,001	0,0073
θ_{sat}	m ³ /m ³	0,97	0,89
λ_{dry}	W/mK	0,04	0,055
λ_{sat}	W/mK	0,56	1,2
κ	m ² /s	2,1E-11.e ^{0,04750}	5,1E-10.e ^{3,120}
c	J/kgK	1 300	840
μ	–	50	3



Obr. 1. Schéma analyzovaného obvodového pláště

Numerické řešení programem TRANSMAT

Pro výpočty byl použit výpočetní program TRANSMAT 4.3 [3], který byl vyvinut na Katedře materiálového inženýrství a chemie Fakulty stavební Českého vysokého učení technického v Praze. Při matematické formulaci přenosu tepla a vlhkosti vzniká soustava parciálních diferenciálních rovnic, která se v současné době řeší nejčastěji metodou konečných prvků. Toto je základem programového balíku SIFEL, který byl vyvinut na Katedře mechaniky a byl použit pro řešení těchto rovnic. Bilanční rovnice vlhkosti (1) a tepla (2) jsou formulovány na základě Künzelova modelu [4],

$$\frac{d\rho_v}{d\varphi} \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \text{div} [D_\varphi \text{grad} \varphi + \delta_p \text{grad}(\varphi p_s)], \quad (1)$$

$$\frac{dH}{dT} \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div} (\lambda \text{grad} T) + L_v \text{div} [\delta_p \text{grad}(\varphi p_s)], \quad (2)$$

kde ρ_v je parciální hustota vlhkosti, φ relativní vlhkost, δ_p permeabilita vodní páry, p_s tlak nasycené vodní páry, H hustota entalpie, L_v skupenské teplo výparné, λ součinitel tepelné vodivosti a T teplota. Koefficient transportu kapalné vlhkosti je definován jako

$$D_\varphi = \kappa \frac{d\rho_v}{d\varphi}. \quad (3)$$

Volba vhodných počátečních a okrajových podmínek výpočetního modelu je rozhodujícím faktorem pro správnost výpočtů. Počáteční obsah vlhkosti pórobetonu byl uvažován 10 % hm. (dle podmínek užívaných v českém stavebním průmyslu pro pórobeton) a teplota 21 °C. Analyzovaný obvodový plášť byl při simulaci vystaven z vnitřní strany konstantním podmínkám (teplota 21 °C a relativní vlhkost 55 %) a z exteriérové strany byla aplikována klimatická data korespondující s referenčním rokem pro Prahu. Počátek simulace byl zvolen ve třech různých datech (T1 = 29. června, tj. 179. den; T2 = 28. srpna, tj. 239. den; T3 = 29. září, tj. 271. den), aby byl zjištěn vliv období, ve kterém byla stěna postavena.

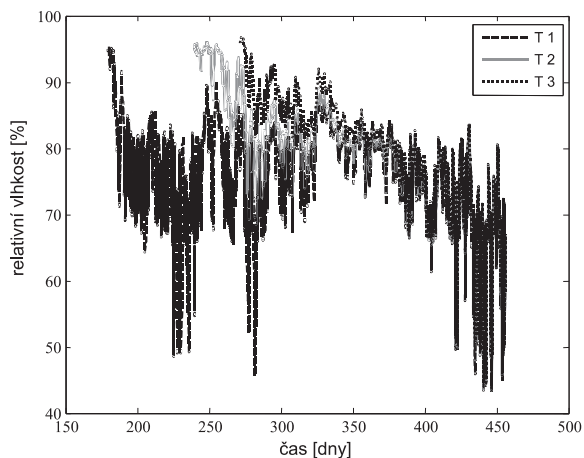
Výsledky simulace

Při posuzování tepelně vlhkostních podmínek uvnitř obvodového pláště jsme zvolili kritické řezy A-A' a B-B'. Pro varianty obvodového pláště 1 a 2 (bez tepelné izolace) byl řez A-A' uvažován na rozhraní nosného zdiva a exteriérové omítky, v ostatních případech byl uvažován na rozhraní nosného zdiva a vnější tepelné izolace. V tomto řezu byla sledována časová závislost relativní vlhkosti a teploty. Řez B-B' byl zvolen jako horizontální průřez zdívkou směrem od exteriéru do interiéru a znázorňuje rozložení teploty a relativní vlhkosti napříč obvodovým pláštěm. V grafech je na svislé ose vynesena hodnota relativní vlhkosti, resp. hodnota teploty. Na vodorovné ose je vynesena čas, resp. poloha v obvodovém plášti, kdy 0 mm odpovídá exteriéru.

Obvodový plášť – varianta 1

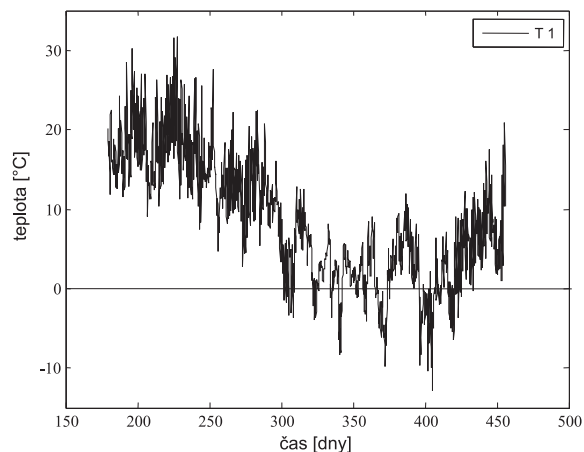
Časovou závislost relativní vlhkosti v řezu A-A' pro všechny časy znázorňuje obr. 2. Během zimního období (přibližně mezi 330. a 420. dnem) jsou hodnoty přijatelné. Značné množství pórů ve vápenocementové omítkě navíc umožňuje výměnu vodní páry s okolím, což vede ke změněm relativní vlhkosti uvnitř konstrukce. Z obrázku 2 je

patrné, že během zimy dojde k vyrovnání relativní vlhkosti v konstrukci a hodnoty se shodují nehlédě na počátek výstavby.

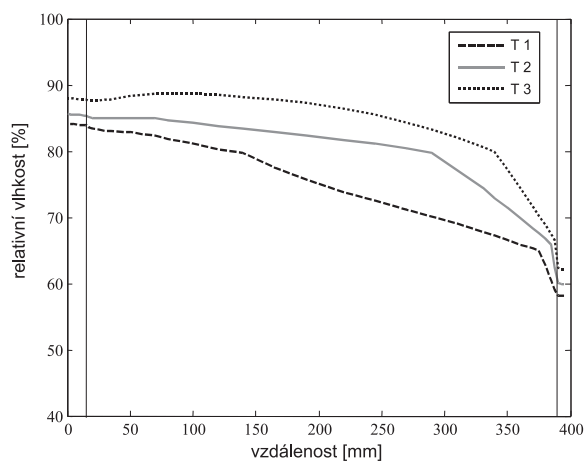


Obr. 2. Průběh relativní vlhkosti v čase v řezu A-A'

Časová závislost teploty v řezu A-A' je znázorněna na obr. 3. Čerchovanou vodorovnou čarou je zároveň znázorněna hranice pro nebezpečí mrznutí vody nebo tání ledu v zimních měsících, kdy jsou teploty často pod bodem mrazu. V kombinaci s nadhygroskopickým obsahem vlhkosti uvnitř konstrukce by mohlo dojít k porušení pórobetonu.

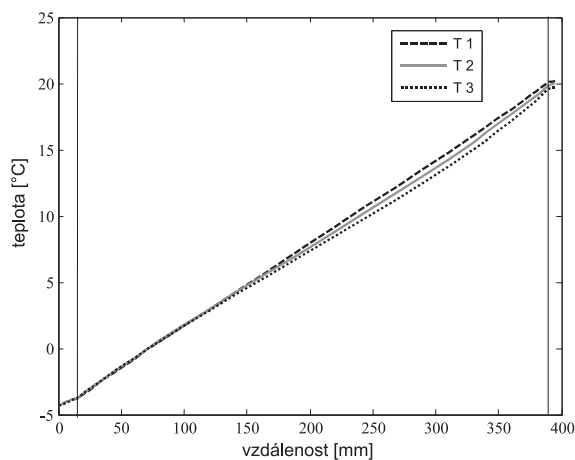


Obr. 3. Průběh teploty v čase v řezu A-A'



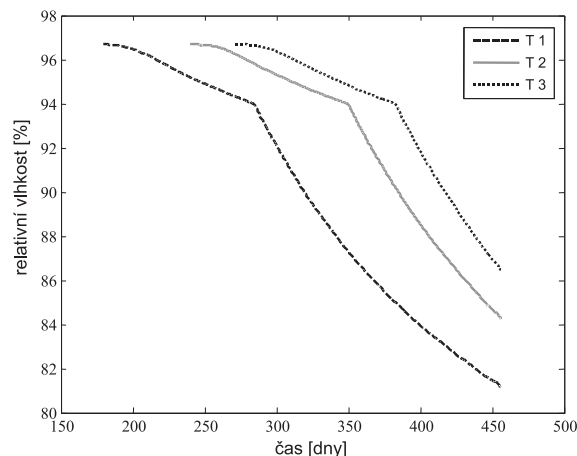
Obr. 4. Rozložení relativní vlhkosti v řezu B-B'

Rozložení relativní vlhkosti uvnitř obvodového pláště během zimního období (1. prosince) je porovnáváno na obr. 4. Je zřejmé, že čím později je zdivo postaveno, tím větší vlhkost během zimního období obsahuje.

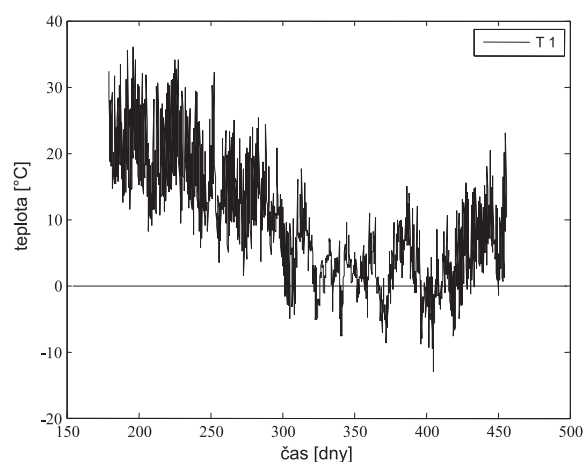


Obr. 5. Rozložení teploty v řezu B-B'

Plynulý nárůst teploty v řezu B-B' směrem od exteriéru do interiéru (1. prosince), způsobený chybějící tepelnou izolací, zachycuje obr. 5. Na rozhraní mezi vnější omítkou a pórobetonem je teplota opět pod bodem mrazu a hrozí nebezpečí zmrznutí obsažené vody.



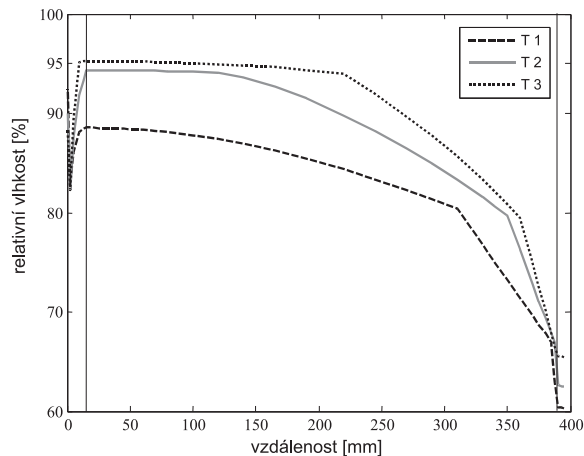
Obr. 6. Průběh relativní vlhkosti v čase v řezu A-A'



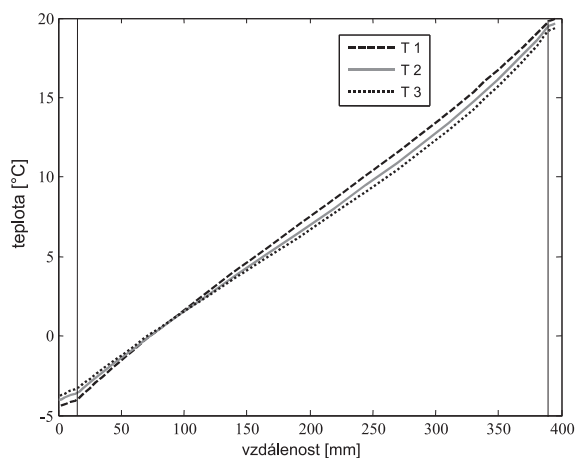
Obr. 7. Průběh teploty v čase v řezu A-A'

Obvodový plášť – varianta 2

Závislost relativní vlhkosti na čase v řezu A-A' znázorňuje obr. 6. Množství relativní vlhkosti je během zimního období přijatelné pouze pro T1 (začátek simulace 29. června). Ostatní varianty T2 a T3 nejsou pro příliš vysoký obsah relativní vlhkosti v kombinaci s průběhem teploty na obr. 7 vhodné. Můžeme si rovněž všimnout výrazného vlivu cementové omítky, která nedovoluje rychlému uvolnění počáteční vlhkosti, jak tomu bylo u omítky vápenocementové varianty 1. Časová závislost teploty v řezu A-A' je znázorněna na obr. 7. Z grafu jsou zřejmé momenty, kdy může dojít k vytvoření mrznoucích cyklů – průběh teplot u T2 a T3 je identický, proto není pro přehlednost uveden.



Obr. 8. Rozložení relativní vlhkosti v řezu B-B'



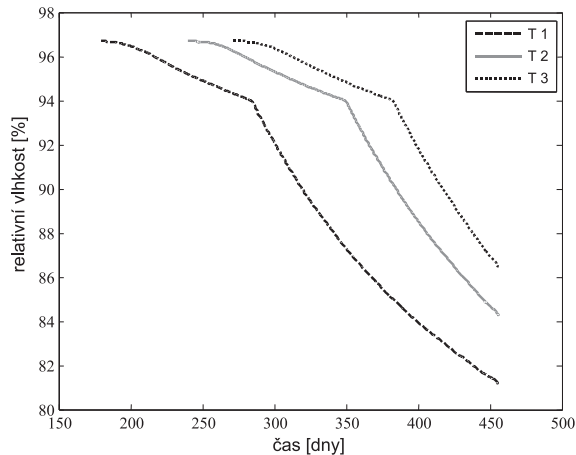
Obr. 9. Rozložení teploty v řezu B-B'

Průřez obvodovým pláštěm bez tepelné izolace s vápenocementovou omítkou (1. prosince) zachycují obr. 8 a obr. 9. Negativní vliv cementové omítky na celou konstrukci je patrný z obr. 8. Jelikož je struktura omítky tvořena CSH gely, je také celkový obsah pórů relativně nízký. To je důvodem, proč je počáteční vlhkost stále držena uvnitř konstrukce a je obtížné ji odpařit. Proti konstrukci s vápenocementovou omítkou jsou hodnoty relativní vlhkosti vyšší v průměru o 5 %, jak plyne z porovnání obr. 4 a obr. 8.

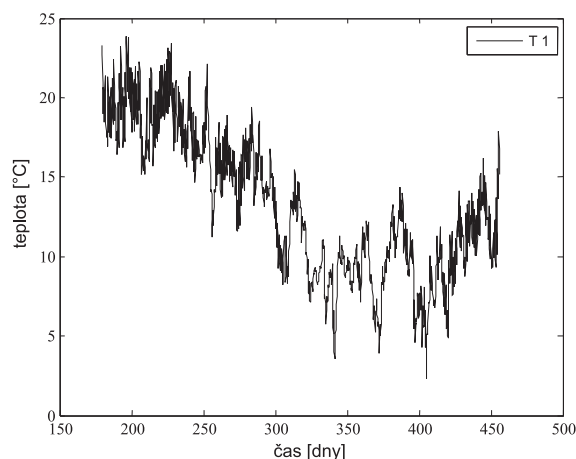
Obvodový plášť – varianta 3

Časovou závislost relativní vlhkosti a teploty v obvodovém pláště s tepelnou izolací z minerální vlny v řezu A-A' znázorňují obr. 10 a obr. 11. Ačkoli je relativní vlhkost poměrně vysoká (obr. 10), vezmeme-li v úvahu teplotu nad

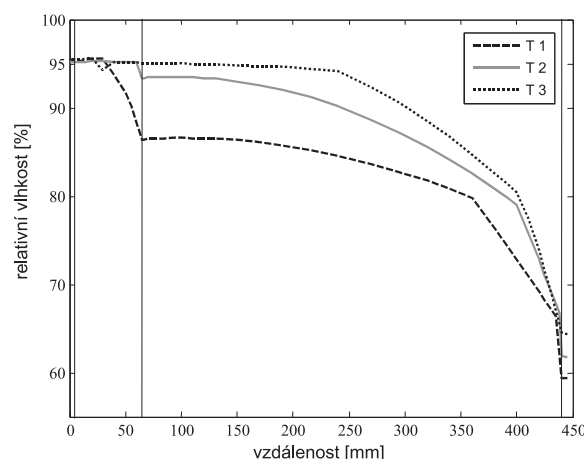
bodem mrazu v celé konstrukci za tepelnou izolací (obr. 11), nepředstavuje to žádné nebezpečí tvorby zmrazovacích cyklů uvnitř konstrukce.



Obr. 10. Průběh relativní vlhkosti v čase v řezu A-A'

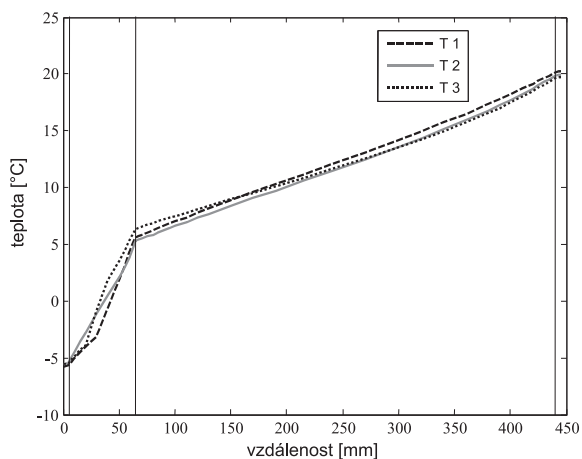


Obr. 11. Průběh teploty v čase v řezu A-A'



Obr. 12. Rozložení relativní vlhkosti v řezu B-B'

Rozložení relativní vlhkosti na průřezu konstrukcí zachycuje obr. 12. Vysychání konstrukce s tepelnou izolací na bázi minerální vlny probíhá relativně pomalu, proto je rychlost výstavby konstrukce pro množství obsažené vlhkosti důležitá.

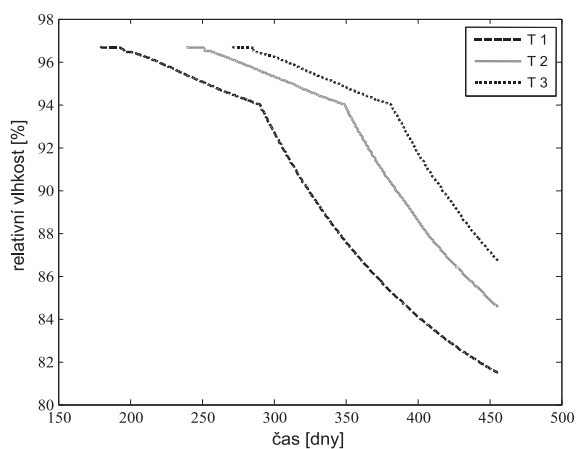


Obr. 13. Rozložení teploty v řezu B-B'

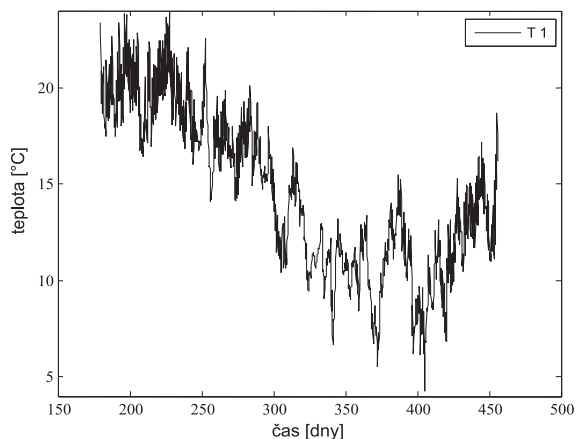
Vliv tepelné izolace na průběh teplot je zřejmý z *obr. 13*. Teplota uvnitř celého pórobetonového bloku je nad bodem mrazu, což je podstatným faktorem, prodlužujícím životnost konstrukce a předcházejícím případným poruchám.

Obvodový plášť – varianta 4

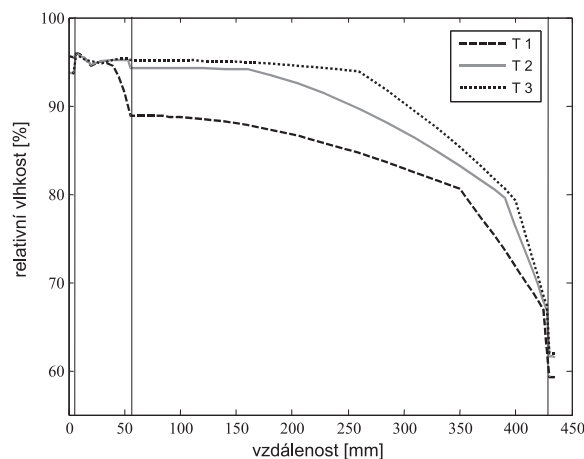
Časovou závislost relativní vlhkosti a teploty v obvodovém plášti s tepelnou izolací z expandovaného polystyrenu znázorňují *obr. 14* a *obr. 15*. Relativní vlhkost zdiva je sice vyšší než u zdiva s minerální vlnou, nicméně průběh teplot je také nad bodem mrazu po celý rok, tudíž vysoká vlhkost nepředstavuje žádné nebezpečí z hlediska mrznutí obsažené vody, ale bude mít podstatný vliv na smršťení při vysychání.



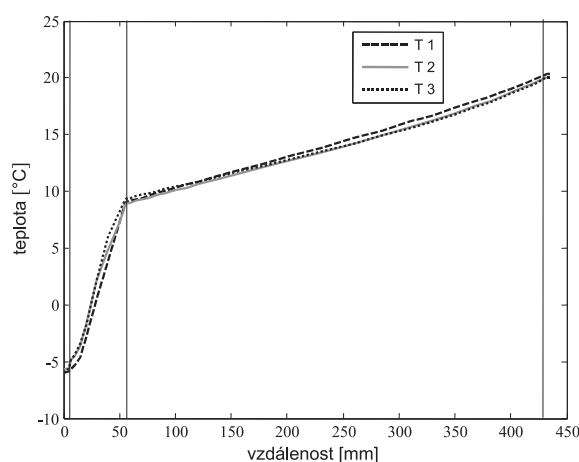
Obr. 14. Rozložení teploty v řezu B-B'



Obr. 15. Průběh teploty v čase v řezu A-A'



Obr. 16. Rozložení relativní vlhkosti v řezu B-B'



Obr. 17. Rozložení teploty v řezu B-B'

Rozložení relativní vlhkosti a teploty napříč obvodovým pláštěm 1. prosince zachycují *obr. 16* a *obr. 17*. Ačkoli je teplota uvnitř pórobetonového bloku nad bodem mrazu, bylo by vhodnější začít se stavbou ke konci června (T1), aby měla konstrukce dostatek času k vyschnutí.

Závěr

Výsledky počítačových simulací provedených v tomto článku ukazují různorodé tepelné vlhkostní chování obvodových plášťů na bázi pórobetonu v závislosti na jejich struktuře. V případě, že je v exteriéru použita vápencementová omítka, neexistuje prakticky žádné časové omezení pro výstavbu pórobetonového zdiva. Užití cementové omítky však s sebou přináší značné komplikace a není vhodné tuto omítku aplikovat u pórobetonových budov vystavěných ve druhé polovině roku, protože by takováto konstrukce neměla dostatek času do zimy vyschnout a hrozilo by nejen cyklické mrznutí vody uvnitř konstrukce, vedoucí k porušení materiálů, ale i postupné smršťování pórobetonu při vysychání. Podle výsledků simulace je zřejmé, že jako nejvýhodnější materiálové kombinace se ukázaly obvodové pláště C a D, tedy s vnějšími tepelnými izolacemi bez ohledu na jejich materiál. Sice tím dochází k udržení relativně vysoké vlhkosti uvnitř pórobetonového bloku, nicméně teplota uvnitř konstrukce se pohybuje celoročně nad bodem mrazu, což je ve výsledku mnohem výhodnější a je tak zamezeno mrznutí vody.

Článek vznikl za podpory projektu č. 103/09/0016 GA ČR.

Literatura

- [1] Jiříčková, M.: Application of TDR Microprobes, Minintensiometry and Minihygrometry to the Determination of Moisture Transport and Moisture Storage Parameters of Building Materials, CTU Prague, 2004.
- [2] Roels, S. – Carmeliet, J. – Hens, H. – Adan, O. – Brocken, H. – Černý, R. – Pavlík, Z. – Hall, C. – Kumaran, K. – Pel, L. – Plagge, R.: Interlaboratory Comparison of Hygric Properties of Porous Building Materials. Journal of Thermal Envelope and Building Science 27: 307-325, 2004
- [3] 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, CTU Prague, 2005, pp. 470-471.
- [4] Künzel, H. M.: Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components.[PhD Thesis], IRB Verlag Stuttgart 1995.

Kočí, V. et al.: Thermal and Moisture Conditions of External Skins of Buildings Based on Porous Concretes

Using computer analysis, this article is aimed to predict thermal and moisture characteristics of typical elements from porous concrete to be employed in external skins of buildings. The results are obtained by means of a combination of long-term computational simulation in which experimentally determined moisture, thermal and accumulation parameters serve as the input data. For the computations, the TRANSMAT software, developed at the Czech Technical University in Prague, was exploited; climatic data for Prague were used as the boundary conditions. The results of the computer simulation facilitate to determine the distribution of temperature and moisture fields in the external skin, based on which its durability can be identified.

Kočí, V. u.a.: Die Wärme- und Feuchtigkeitsparameter der Außenwände von Gebäuden auf Basis von Porenbeton

Im Artikel werden mittels Computeranalyse die wärme- und feuchtigkeitstechnischen Eigenschaften typischer für Außenwände von Gebäuden bestimmter Porenbetonelemente vorausgesagt. Die Ergebnisse werden durch Kombination einer Langzeit-Berechnungssimulation erreicht, bei der als Eingabedaten experimentell bestimmte Feuchtigkeits-, Wärme- und Akkumulationsparameter dienen. Für die Berechnungen wird das an der TU Prag entwickelte Programm TRANSMAT angewandt. Als Randbedingungen werden die Klimadaten für Prag angewandt. Die Ergebnisse der Computersimulation ermöglichen es, die Verteilung der Temperatur- und Feuchtigkeitsfelder in der Außenwand zu bestimmen, auf deren Grundlage man deren Lebensdauer bestimmen kann.

• dizertace



Spřažení modifikovanou perforovanou lištou

Ing. Peter Chromiak

Dizertace se experimentálně i teoreticky zabývá chováním nového spřahovacího prvku pro ocelobetonové nosníky. Výsledkem jsou ověřené numerické modely založené na softwaru ATENA, umožňující provádět optimalizační studie tvaru lišty a vyztužení procházejícího otvory lišty. Modely jsou verifikované protlačovacími zkouškami.

Stanovení křehkolomových vlastností oceli S460NL

Ing. Pavel Kroupa

Práce se zabývá stanovením kritických napětí v pásnici z jemnozrnné vysokopevnostní konstrukční oceli. Experimentálně byly vyšetřeny hodnoty statické lomové houževnatosti i vrubové houževnatosti v místě tupého svaru pásnice tloušťky 20 mm. Výsledky dizertace se použijí při navrhování ocelových mostů.

Prostorové působení betonových prvků

Ing. Josef Skála

Dizertace se týká navrhování a uspořádání točitých a dvou-ramenných schodišť. Je odvozena původní metoda pro návrh točitého schodiště s mezipodestou. Numerický model umožňuje sledovat vznik a rozvoj trhlin, napětí v materiálu a mezní zatížení při porušení. Dále je provedena analýza dvouramenných schodišť podepřených po obvodu podest.

Zděné klenbové přesypané mosty

Ing. Tomáš Dvořák

V práci se porovnávají výsledky experimentů se zděnými klenbovými pásy s výsledky jednoduchých i pokročilých výpočetních postupů. Je navržen a ověřen dvojrozměrný model klenbové konstrukce.

Spolehlivost štíhlých tlačných konstrukcí

Ing. Pavel Marek

Práce se týká problematiky štíhlých betonových sloupů. AUTOR odvodil metodu pro výpočet těchto sloupů s použitím globálních součinitelů spolehlivosti a na základě této metody a parametrické studie vypracoval nomogramy pro tyto součinitele. Dizertace tak obsahuje podklady pro navrhování štíhlých sloupů, které bude možné nabídnout při revizi evropské normy pro betonové konstrukce.

Safety, Management and Cost of Civil Engineering Infrastructure

Dipl.-Ing. Klaus Eschenbacher

Dizertace je zaměřena na problematiku životního cyklu, spolehlivosti a provozuschopnosti betonových konstrukcí a na otázky ekonomické efektivity zejména s ohledem na trvale udržitelný rozvoj.

Syntetický průběh venkovní osvětlenosti

Ing. Stanislav DARULA, CSc.

Slovenská akademie věd

Bratislava

Ing. Jitka MOHELNÍKOVÁ, Ph.D.

VUT – Fakulta stavební

Brno

K předpovědi denního osvětlení a energetických úspor v budovách lze použít počítačové programy pro světelné technická modelování, ve kterých je možné zadat typické roční profily změn denní osvětlenosti v závislosti na klimatických podmínkách posuzovaného místa. Přesnost modelování pomocí těchto programů závisí též na přesnosti vstupních dat.

Úvod

Posuzování denní osvětlenosti budov se i v současnosti provádí podle norem [1]-[4] pro nejnepříznivější situaci, tedy nejhorší světelné podmínky, tj. rovnoměrně zataženou oblohu s gradací jasu 1 : 3. Nové požadavky na úspory energie a využití slunečního záření v budovách vyvolávají potřebu reálnějšího hodnocení v závislosti na změnách venkovní osvětlenosti, samozřejmě při zachování kvality vnitřního prostředí v budovách.

Hodnoty exteriérové osvětlenosti pro klimatické podmínky České republiky, zpracované na základě dlouhodobých měření, nejsou k dispozici, a proto údaje o podmínkách denního osvětlení budov poskytované projektanty nebo výrobci solární světelné techniky nemohou být seriózní. Zvláště u nových osvětlovacích systémů, jako jsou světlovoody, solární stínící a regulační zařízení, by se mělo při hodnocení denního osvětlení interiérů přihlížet k situacím venkovních světelných podmínek během celého roku.

Denní osvětlenost se pravidelně měří od roku 1993 na mnoha stanicích v Evropě, Asii, USA i Austrálii v rámci programu International Daylight Measurement Programme (IDMP) Mezinárodní společnosti pro osvětlování CIE [5]. Ve střední Evropě jsou údaje exteriérové horizontální osvětlenosti a zenitového jasu dostupné v Ústavu stavebnictva a architektury Slovenské akademie věd v Bratislavě. Od roku 1994 se zde pravidelně měří exteriérová osvětlenost a ozářenost v intervalech jedné minuty. Na základě těchto podrobných dat lze provést přesnou analýzu dostupnosti úrovně difúzní a přímé osvětlenosti, kterou lze využít i k řešení úloh přenosu světla do interiéru v celoročním profilu. Výsledky pravidelného měření denní osvětlenosti [6] dokumentují neustálou proměnlivost její úrovně po dobu celého roku. Databáze údajů z pravidelných měření, doplňovaná v rámci projektu VEGA [7], poskytuje přesnější výsledky než dosud používané meteorologické údaje osvětlenosti nebo slunečního svitu, které vyjadřují průměrné hodinové údaje bez informace o proměnlivosti osvětlení. Na základě zkušeností a výsledků z dlouhodobých měření byl v rámci řešení bilaterálního slovensko-řeckého projektu SK-GR 4/01 [8] na Ústavu stavebnictva a architektury SAV vyvinut

algoritmus pro generování referenčních roků denní osvětlenosti, založený na jednodominutových datech osvětlenosti a slunečním svitu, jehož výstupem je osvětlenost simulující reálné změny v příslušném dni v roce.

V České republice se uvedená měření neprovádějí. Pro stanovení profilů exteriérové osvětlenosti se vycházelo z vyhodnocení vnější osvětlenosti na základě modelu a z hodnot relativního slunečního svitu, které je možné získat z meteorologických záznamů. Byl použit výše uvedený algoritmus pro generování referenčních roků denní osvětlenosti a sestaven kód programu pro určení charakteristické celodenní osvětlenosti pro různé lokality.

Byl vyhodnocen průběh předpokládané vnější osvětlenosti na nezastíněné vodorovné rovině. Předpokládaná osvětlenost byla vyhodnocena na základě průměrných hodnot měsíčního slunečního svitu z období 1995-2005, získaných z dlouhodobých měření meteorologických stanic Praha, Hradec Králové, Kuchařovice a Ostrava, které poskytla Solární a ozónová observatoř z Hradce Králové.

Byla vypracována metoda pro modelování denního profilu venkovní osvětlenosti, jejímž výsledkem je syntetický celoroční průběh denní osvětlenosti. Výsledky vyhodnocení vyjadřují charakteristické podmínky v průběhu celého roku ve středoevropském regionu. Tento úkol byl zahrnut do projektu dvoustranné vědeckotechnické spolupráce MŠMT Kontakt 102 CZ, zaměřené na výzkum celoročních podmínek osvětlenosti pro efektivní využití světlovodů v klimatických podmínkách ČR a SR. Získané výsledky lze využít k určení vstupních parametrů pro modelování a posouzení světlovodných systémů.

Metoda

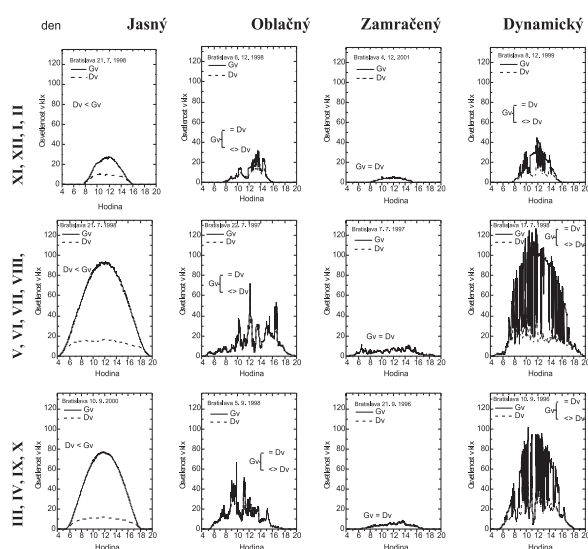
Výsledky analýzy výskytu globální a difúzní osvětlenosti, získané z pravidelných jednodominutových měření na stanici CIE IDPM Ústavu stavebnictva a architektury SAV za desetileté období, ukazují, že každý den je zaznamenána jiná osvětlenost s originálním průběhem. Navrhovat budovy pro každou specifickou situaci by nebylo ekonomické, proto byla vytipována tři období s podobnými denními světelnými charakteristikami:

- zimní (listopad-únor),
- letní (květen-srpen),
- přechodné (březen-duben, září-říjen).

V těchto obdobích byly identifikovány čtyři typické průběhy denní osvětlenosti, v průběhu jasného, zamračeného a oblačného dne a také dne s dynamickými změnami osvětlenosti v krátkých intervalech [9], [10].

Strídání se takovýchto situací v průběhu celého roku je nepravidelné a vykazuje znaky náhodnosti. Byla zjištěna vazba mezi měsíčním relativním slunečním svitem a výskytem čtyř typů průběhu. Platí, že čím je vyšší hodnota relativního slunečního svitu, tím je možné očekávat v měsíci více slu-

nečných dní. Naopak, jak je hodnota měsíčního relativního svitu nízká, je předpoklad, že v tomto měsíci bude mnoho zamračených dnů [11]. Dny s častými změnami osvětlenosti, tj. dny s dynamickou osvětleností způsobenou rychle se pohybujícími oblaky, se vyskytují hlavně v jarních a letních měsících, méně na podzim. I když se tyto dny objevují i v zimních měsících, efekt dynamiky není tak výrazný vzhledem k menšímu rozdílu hodnot mezi celkovou a difúzní osvětleností. Ukázka charakteristického průběhu venkovní osvětlenosti pro jasný, oblačný, zamračený a dynamický den je na základě dlouhodobých měření denní osvětlenosti uvedena na obr. 1, rozčleněných do skupin podle ročního období [12]. Z obrázku je patrné, že změny oblačnosti vyvolávají velké rozdíly ve venkovní horizontální osvětlenosti.



Obr. 1. Charakteristický průběh venkovní osvětlenosti [klx] (Ústav stavebnictva a architektury SAV)

Často je možné najít v desetileté databázi dny s rozdílným průběhem difúzní a globální osvětlenosti v dopolední a odpolední části dne. Proto byly změny charakteristických typů oblohy uvažovány v časech odpovídajících situacím v dopoledních i odpoledních částech dne úměrně měsíčním průměrům relativního slunečního svitu. Bylo potřeba určit typy denní oblohy pro dopolední a odpolední dobu na základě kritérií odvozených z dlouhodobého měření osvětlenosti a stanovení procentního zastoupení jednotlivých typů oblohy pro půldny [11].

Pro sestavení modelu byla použita tato symbolika: indexy 1 až 4 odpovídají danému průběhu osvětlenosti v návrhových situacích, P je pravděpodobnost, m značí dopoledne (morning), a odpoledne (afternoon),

- situace 1: jasná obloha, s přímým slunečním světlem;
- situace 2: oblačno s příležitostným vlivem přímého slunečního světla;
- situace 3: zataženo bez vlivu přímého slunečního světla;
- situace 4: dynamické změny v osvětlenosti s částečně slunečným a částečně zataženým obdobím, které se často střídají.

K základním kódům jednotlivých situací je možné uvažovat také subkódy, např. 14, což reprezentuje den s osvětleností charakteristickou pro jasnou oblohu v dopoledních

hodinách a dynamickou oblohu odpoledne, kód 33 znamená zataženou oblohu během celého dne.

Pravděpodobnost procentního zastoupení situací oblohy 1 až 4 pro dopolední půldny je označena P_{m1} , P_{m2} , P_{m3} a P_{m4} a pro odpolední půldny P_{a1} , P_{a2} , P_{a3} a P_{a4} . Toto zastoupení koresponduje s reálnými situacemi známými ze světelných měření. Vztah mezi jednotlivými pravděpodobnostmi je zadán výpočtovými vztahy. Na základě analýzy dlouhodobých měření vnější osvětlenosti a výpočtů měsíčních hodnot relativního slunečního svitu s byly odvozeny empirické vztahy pro stanovení výskytu jednotlivých situací v průběhu dopoledních i odpoledních částí dne:

- pravděpodobnost dopoledního výskytu jednotlivých typů průběhu venkovní osvětlenosti (situace 1 až 4):

$$P_{m1} = 100(0,55s - 0,95s^2 + 1,65s^3), \text{ jestliže } s \leq 0,93, \quad (1)$$

$$P_{m1} = 100, \text{ jestliže } s > 0,93, \quad (2)$$

$$P_{m2} = 100s(1,5 - 1,85s), \text{ jestliže } s = 0 - 0,499, \quad (3)$$

$$P_{m2} = 66,86(0,93 - s), \text{ jestliže } s = 0,50 - 0,93, \quad (4)$$

$$P_{m3} = 100(1 - s)^{2,47}, \quad (5)$$

$$P_{m4} = P_m - (P_{m1} + P_{m2} + P_{m3}), \text{ kde } P_m = 100\%; \quad (6)$$

- pravděpodobnost odpoledního výskytu jednotlivých typů průběhu venkovní osvětlenosti:

$$P_{a1} = 100(0,62s - 0,77s^2 + 1,26s^3), \text{ jestliže } s \leq 0,97, \quad (7)$$

$$P_{a1} = 100, \text{ jestliže } s > 0,97, \quad (8)$$

$$P_{a2} = 100s(1,2 - 1,6s), \text{ jestliže } s = 0 - 0,499, \quad (9)$$

$$P_{a2} = 46,51(0,93 - 1,6s), \text{ jestliže } s = 0,50 - 0,93, \quad (10)$$

$$P_{a3} = 100(1 - s)^{2,7}, \quad (11)$$

$$P_{a4} = P_a - (P_{a1} + P_{a2} + P_{a3}), \text{ kde } P_a = 100\%. \quad (12)$$

Počet půldnů s určitým typem průběhu osvětlenosti je označen pro dopoledne N_{m1} , N_{m2} , N_{m3} , N_{m4} a pro odpoledne N_{a1} , N_{a2} , N_{a3} , N_{a4} . Vztah pro počet půldnů s průběhem osvětlenosti odpovídající příslušnému dynamickému typu je doplněkem:

$$\text{– pro dopoledne: } N_{m4} = N_m - (N_{m1} + N_{m2} + N_{m3}), \quad (13)$$

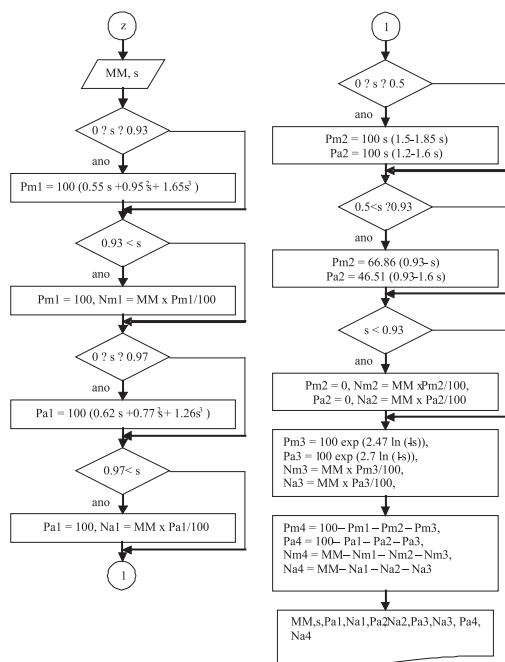
kde N_m je celkový počet dopoledních půldnů v daném měsíci;

$$\text{– pro odpoledne: } N_{a4} = N_a - (N_{a1} + N_{a2} + N_{a3}), \quad (14)$$

kde N_a je celkový počet odpoledních půldnů v daném měsíci.

Metodiku pro vytvoření syntetického průběhu osvětlenosti lze popsat v několika krocích:

- zadání dat relativního slunečního svitu pro zvolenou lokalitu v ČR, postup stanovení pravděpodobnosti a počtu denní osvětlenosti je znázorněn v blokovém schématu na obr. 2;
- zjištění pravděpodobnosti výskytu průběhu osvětlenosti – situace 1 až 4 v dopoledních i odpoledních částech dne v jednotlivých měsících v roce;
- výběr daného typu průběhu denní osvětlenosti pro dopolední i odpolední část dne ve vybraných ročních obdobích z databáze Ústavu stavebnictva a architektury SAV, výsledné syntetické průběhy osvětlenosti.



Obr. 2. Blokové schéma pro určení počtu oblohových situací MM – číslo měsíce, s – relativní sluneční svit v daném měsíci

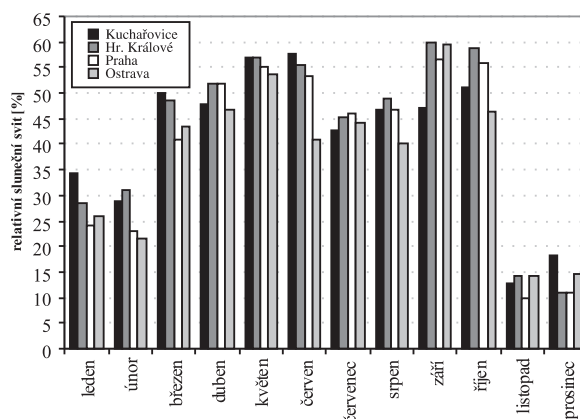
Pro porovnání slunečního svitu v jednotlivých lokalitách v ČR je uvedena ukázka celoročního průběhu jeho délky, jak byla zaznamenána v roce 2005. Měsíční hodnoty jsou uvedeny v hodinách (tab. 1) a v relativních hodnotách v procentech, vztažených k astronomicky možné délce slunečního svitu (obr. 3).

Tab. 1. Sluneční svit v roce 2005 [h]

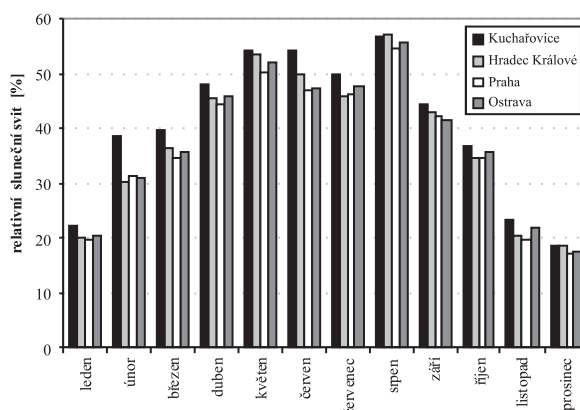
Měsíc	Kuchařovice	Hradec Králové	Praha	Ostrava
leden	89,4	75,2	62,4	67,6
únor	80,3	84,4	63,7	59,6
březen	182,6	178,1	149,8	160,7
duben	195,9	211,5	212,2	190,5
květen	271,0	271,1	261,9	255,9
červen	280,4	269,3	258,0	198,3
červenec	207,9	219,3	223,8	214,2
srpen	205,5	215,6	204,2	175,6
září	177,9	225,2	212,5	224,1
říjen	167,3	193,3	182,4	150,5
listopad	33,9	38,5	26,4	39,2
prosinec	45,2	27,4	26,6	36,5

Vyhodnocení syntetického průběhu

Pro sestavení syntetického průběhu venkovní osvětlenosti pro lokality Kuchařovice, Praha, Hradec Králové a Ostrava v jednotlivých letech posuzovaného období byl využit relativní sluneční svit (vzhledem k astronomicky možné době). Analyzovala se denní osvětlenost pro situace 1 až 4. Pro mnoho stavebně fyzikálních vyhodnocení je potřeba získat charakteristické profily venkovní osvětlenosti v jednotlivých měsících v roce, odpovídající čtyřem základním ty-



Obr. 3. Relativní sluneční svit (2005)



Obr. 4. Průměrný relativní sluneční svit (1995-2005)

pům oblohy. Byly také stanoveny průměrné hodnoty relativního slunečního svitu v období 1995-2005 (obr. 4). Příklad vyhodnocení počtu situací 1-4, vyskytujících se v dopoled-

Tab. 2. Kuchařovice – počet půldnů v měsíci (1995-2005) pro situace 1 až 4 (průměrné hodnoty)

Měsíc	Sluneční svit [%]	Situace								Celkem dnů
		dopoledne				odpoledne				
		1	2	3	4	1	2	3	4	
leden	0,221	3	7	17	4	4	6	16	5	31
únor	0,384	5	8	8	7	5	6	8	9	28
březen	0,396	5	9	9	8	6	7	8	10	31
duben	0,481	7	9	6	8	8	6	5	11	30
květen	0,543	9	8	4	10	10	6	4	11	31
červen	0,542	8	8	4	10	9	5	4	12	30
červenec	0,498	8	9	6	8	8	6	5	12	31
srpen	0,566	9	8	4	10	10	5	3	13	31
září	0,443	6	9	7	8	7	7	6	10	30
říjen	0,368	5	9	10	7	6	7	9	9	31
listopad	0,235	3	8	15	4	4	6	15	5	30
prosinec	0,184	2	7	19	3	3	5	18	5	31
celkem	-	70	99	109	87	80	72	101	112	365

ních i odpoledních částech dne v jednotlivých měsících v roce na stanici Kuchařovice, je uveden v tab. 2, předpokládaných situací denního osvětlení v jednotlivých dnech v roce pro stejnou stanici pro dopoledne v tab. 3 a pro odpoledne v tab. 4. Jak je z tabulek patrné, nejčastější situace na území ČR odpovídající osvětlenosti se vyskytují během polojasného až zataženého dne a dne s dynamickým střídáním slunečných a neslunečných období. Zcela jasný den s přímým slunečním zářením se vyskytuje méně než ve čtvrtině situací v průběhu celého roku. Z charakteristických denních průběhů naměřené osvětlenosti byl vyskládán syntetický průběh osvětlenosti ve čtyřech lokalitách podobný možným změnám venkovní osvětlenosti v příslušném čase. Příklad syntetického průběhu venkovní osvětlenosti v době 1.-4. března pro Kuchařovice je uveden na obr. 5.

Tab. 3. Vyhodnocení situací pro dopolední půldny

Měsíc	Dny																Počet dnů
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	
leden	3	3	3	1	3	2	4	3	3	2	3	2	1	3	4	2	31
únor	2	2	3	2	1	4	4	4	3	3	2	3	3	1	2	1	28
březen	3	3	4	1	4	4	4	2	3	4	3	3	2	2	2	1	31
duben	1	2	3	2	1	4	2	3	3	4	2	1	2	1	4	3	30
květen	4	2	4	3	1	1	2	4	2	1	2	1	3	2	2	4	31
červen	2	2	4	1	2	4	4	2	4	3	1	2	1	2	4	1	30
červenec	4	2	1	3	4	1	3	4	3	4	1	2	1	4	2	4	31
srpen	1	1	1	2	2	2	1	2	3	4	1	2	4	1	1	3	31
září	2	3	4	2	2	1	1	3	4	4	4	3	1	1	1	4	30
říjen	2	3	2	2	4	1	4	3	3	2	1	1	4	3	2	2	31
listopad	1	4	3	1	3	2	3	2	3	2	4	3	3	2	3	4	30
prosinec	3	3	3	1	4	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	31

Poznámka k tabulkám 2 až 5:

1 – jasná obloha, s přímým slunečním zářením, 2 – oblačno s několika příležitostnými vlivy přímého slunečního světla, 3 – zataženo bez vlivu přímého slunečního světla, 4 – dynamická osvětlenost s částečně slunečnými a částečně zataženými obdobími, často se střídajícími

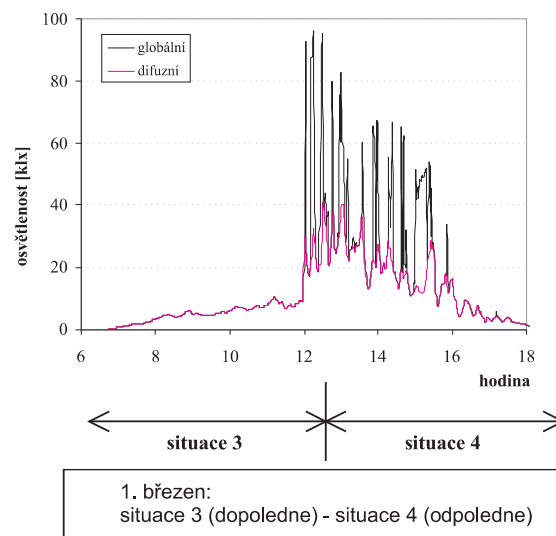
Závěr

Prezentovaný postup sestavení syntetického průběhu osvětlenosti lze použít pro vstupní data pro světelně technická posouzení, pokud nejsou k dispozici přesnější data z měření. Důvodem vytvoření syntetického modelu byla potřeba porovnání hodnot venkovní osvětlenosti pro den 1. března a lokalitu zadanou zeměpisnou šířkou 48°, získaných z data-

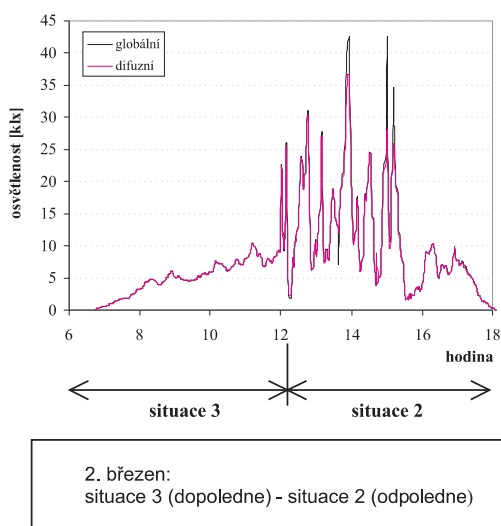
Tab. 4. Vyhodnocení situací pro odpolední půldny

Měsíc	Dny																Počet dnů
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	
leden	3	3	4	2	2	1	2	3	3	3	3	3	1	3	3	3	31
únor	4	4	3	4	1	4	3	2	4	1	1	4	2	4	4	1	28
březen	4	2	2	4	3	2	3	2	2	4	4	1	4	1	3	3	31
duben	3	1	1	1	2	4	4	4	4	4	1	2	3	1	1	1	30
květen	2	4	1	2	4	4	3	1	4	1	4	1	4	2	3	2	31
červen	1	1	3	1	4	4	2	4	4	4	3	1	4	4	1	1	30
červenec	4	1	2	1	4	3	1	3	2	2	4	4	2	2	1	4	31
srpen	4	1	2	1	4	2	3	3	4	2	4	3	4	4	4	1	31
září	2	4	3	4	4	2	3	1	3	4	4	4	1	2	2	4	30
říjen	3	3	3	3	2	3	2	4	4	1	1	3	3	3	4	1	31
listopad	3	4	3	3	1	3	3	2	2	2	1	3	2	1	1	3	30
prosinec	1	3	4	3	3	2	2	1	3	3	4	3	4	3	3	3	31

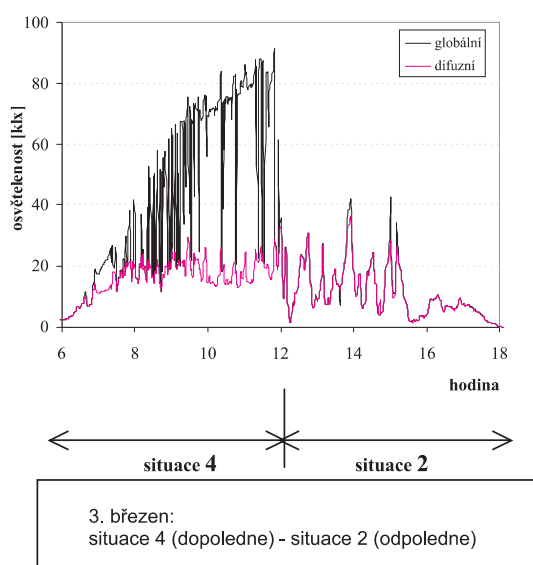
báze počítačového programu Ecotect [12], s hodnotami z Ústavu stavebnictva a architektury SAV (pomocí nichž byl sestaven i syntetický průběh osvětlenosti pro jednotlivé situace). Z výsledků je zřejmé, že reálná globální osvětlenost, změřená v celou hodinu v letech 1995 a 2000, reprezentující typické úrovně, se značně liší od hodnot, které jsou



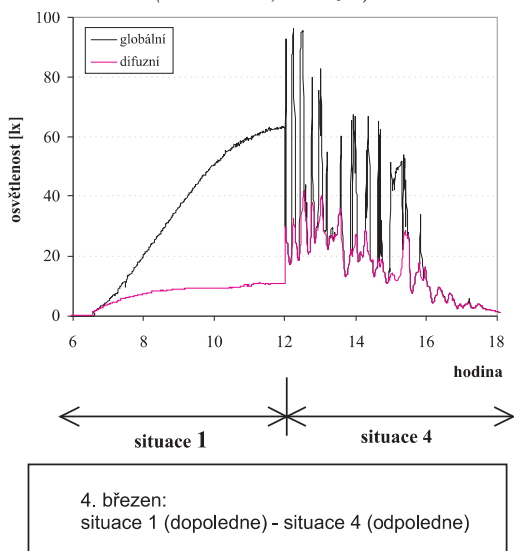
Obr. 5a. Syntetický průběh venkovní osvětlenosti (Kuchařovice, 1. března)



Obr. 5b. Syntetický průběh venkovní osvětlenosti (Kuchařovice, 2. března)



Obr. 5c. Syntetický průběh venkovní osvětlenosti (Kuchařovice, 3. března)



Obr. 5d. Syntetický průběh venkovní osvětlenosti (Kuchařovice, 4. března)

Tab. 5. Porovnání dat venkovní osvětlenosti naměřených a z databáze Ecotect [12]

Čas [h]	Charakteristické hodnoty pro 1. březen, Bratislava – měření			Ecotect (pro zeměpisnou šířku 48, období 1. března)		
	zataženo	polojasno	jasno	zataženo	polojasno	jasno
7:00	620	2 325	5 114	1 533	1 943	4 384
8:00	3 255	9 402	20 147	4 516	6 118	14 087
9:00	5 114	11 314	36 369	7 037	10 917	27 925
10:00	5 941	8 937	50 782	8 944	14 672	38 354
11:00	8 007	13 483	59 616	10 157	16 868	44 710
12:00	8 834	23 867	62 664	10 509	17 507	46 783
13:00	6 612	8 627	59 564	10 087	16 770	44 470
14:00	6 871	18 649	51 247	8 839	14 405	37 875
15:00	5 528	42 516	38 073	6 871	10 729	27 318
16:00	2 996	4 288	22 885	4 314	5 846	13 343
17:00	672	7 749	5 734	1 378	1 772	4 151

k dispozici pro počítačová modelování (tab. 5). Rozdíly lze očekávat zejména při porovnání úrovně osvětlenosti, změřené nebo vypočtené pro konkrétní čas dne, s průměrnými hodnotami osvětlenosti, zjištěnými z údajů z určitého intervalu dne, např. hodiny.

Článek vznikl za podpory projektů česko-slovenské vědeckotechnické spolupráce MŠMT Kontakt CZ102 „Výzkum reálných celoročních podmínek osvětlenosti pro efektivní využití světlovodů v klimatických podmínkách ČR a SR“ a APVV SK-CZ-0038-07, MEB 080804 „Směrové charakteristiky difuzorů pro systémy světlovodů“.

Literatura

- [1] ČSN 73 0580-1:2007 Denní osvětlení budov. Část 1: Základní požadavky.
- [2] ČSN 73 0580-2:2007 Denní osvětlení budov. Část 2: Denní osvětlení obytných budov.
- [3] ČSN 73 0580-3:1994 + Z1:1997 Denní osvětlení budov. Část 3: Denní osvětlení škol.
- [4] ČSN 73 0580-4:2004 + Z1:1997 + Z2:1999 Denní osvětlení budov. Část 4: Denní osvětlení průmyslových budov.
- [5] <http://www.cie.co.at>
- [6] Kittler, R. – Darula, S. – Perez, R.: A Set of Standard Skies. Final Report of Project US-SK 92 052. Bratislava, Polygrafia SAV 1998.
- [7] Kittler, R. – Darula, S.: Zpráva projektu VEGA 2/5093/5, Bratislava, 2005.
- [8] Darula, S. – Kittler, R.: Sunshine Duration and Daily Courses of Illuminances in Bratislava. International Journal of Climatology, Vol. 24, Iss. 14, pp. 1777-1783.
- [9] Darula, S. – Kittler, R. – Mohelníková, J.: Typické podmienky osvetlenosti v klimatických podmienkach ČR a SR. Inovační podnikání a transfer technologií. XV, 5/2007, pp. VII-VIII. ISSN 1210 4612.
- [10] Darula, S. – Kittler, R.: Monthly Sunshine Duration as a Trustworthy Basis to Predict Annual Daylight Profiles. Proc. 10th European Lighting Conf. Lux Europa 2005, Deutsche Lichttechnische Gesellschaft, V. Berlin, pp. 141-144.
- [11] Kittler, R. – Darula, S. – Kambezidis, H. – Bartzokas, A.: Daylight Climate Specification Based on Athens and Bratislava Data. Proc. 9th European Lighting Conf. Lux Europa 2001, Reykjavik, Illuminating Engineering Society of Iceland, 2001, pp. 442-449.
- [12] <http://ecotect.com>

Darula, S. – Mohelníková, J.: Synthetic Course of Outside Illumination

For the prediction of daylighting and energy savings in buildings, computer programs for light modelling may be employed. In these models, typical yearly profiles of changes in daylighting depending on climatic conditions of the assessed site can be entered. The accuracy of modelling with such programs also depends on the precision of the input data.

Darula, S. – Mohelníková, J.: Synthetische Verläufe der Außenbeleuchtungsstärke

Zur Vorhersage der Tageslichtbeleuchtung und der Energieeinsparungen in Gebäuden können Computerprogramme für die technische Lichtmodellierung angewandt werden, in denen die typischen Jahresprofile der Änderung der Tageslicht-Beleuchtungsstärke in Abhängigkeit von den klimatischen Bedingungen des zu beurteilenden Ortes eingegeben werden können. Die Genauigkeit der Modellierung mit diesen Programmen hängt auch von der Genauigkeit der Eingabedaten ab.



22. – 26. září 2009
Praha

20. MEZINÁRODNÍ STAVEBNÍ VELETRH

**Jubilejní ročník největšího stavebního veletrhu v Praze,
který se bude konat ve všech sedmi halách veletržního areálu Letňany,
bude ve znamení energeticky úsporného bydlení.**

Stěžejní témata

- Vytápění a úspory energií
- Dřevostavby a nízkoenergetické bydlení
- Revitalizace panelových domů
- Efektivní a komfortní bydlení
- Budoucnost dopravy v Praze

Veletrh doprovodí třetí ročník soutěže *Architect Award ABF*, která si klade za cíl pomoci najít studentům a mladým architektům do 33 let místo na současně architektonické scéně. Nejde jen o to, aby porota vybrala vítězné projekty a prostřednictvím odborného tisku představila úzké skupině lidí věnujících se architektuře. Skutečným cílem je prezentovat odborný pohled na soudobou architekturu a její trendy široké veřejnosti, iniciovat diskuzi o architektuře, resp. do dialogu o architektuře veřejnost vtáhnout. Tuto diskuzi by měla rozvířit i soutěž *Skvrna roku*.

Souběžně se budou konat veletrhy

FOR ELEKTRO, FOR INVEST a FOR WOOD

- V rámci druhého ročníku FOR ELEKTRO bude uspořádána soutěž pro návrháře, výrobce a prodejce svítidel FOR LIGHT – Světlo pro zítřek. Část veletrhu bude zaměřena na Design signage – moderní audiovizuální technologie do hotelů, obchodních domů a jiných veřejných prostor.
- Veletrh investičních příležitostí a realit FOR INVEST se bude konat již po páté. Praha láká mnoho investorů, kteří vítají prezentace nadnárodních stavebních firem, developerů, investičních a finančních společností k získání kontaktů a informací.
- Čtvrtý ročník výstavy progresivního stavění ze dřeva FOR WOOD představí dřevo jako strategický materiál, jehož možnosti a využití jako obnovitelné suroviny nejsou v České republice doceněny.

www.forarch.cz

Vliv kapilární vodivosti na tepelně technické vlastnosti stavební konstrukce

Ing. Jan ŠKRAMLIK, Ph.D.
Ing. Ondřej FUCIMAN, Ph.D.
doc. Ing. Miloslav NOVOTNÝ, CSc.
VUT – Fakulta stavební
Brno

Článek se zabývá vlivem kondenzující vodní páry a jejího množství na stavební konstrukce, aplikací na střešní pláště, u nichž se kapilární vodivost kapalně vlhkosti projevuje nejčastěji, a vyhodnocením působení na jejich tepelně technické vlastnosti.

Úvod

Nejexponovanější stavební částí budovy jsou konstrukce střešních plášťů, zejména z tepelně technického hlediska. Kondenzuje-li v ploché střešní konstrukci vodní pára, pak v její části vzniká kapalná vlhkost nerovnoměrně v čase, a proto je možné tento proces považovat za nestacionární. Důsledkem je vytváření vlhkostního spádu, neboli gradientu kapalně vlhkosti, který ve struktuře pórovitého materiálu usnadňuje pohyb kapalně vody v kapilárách v podobě kapilární vodivosti vlhkosti. Technické normy předepisují postup výpočtu pro stanovení roční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry. Nezohledňují však proces kapilární vodivosti, který v důsledku kondenzace vodní páry téměř vždy v materiálech nastává, ani skutečnost, že vlivem vlhkosti se mění i jejich tepelně technické vlastnosti.

Předmětem zkoumání bylo tedy sledování vlivu kapalně vlhkosti na fyzikální vlastnosti materiálů, především na tepelnou vodivost, a změny jejího výskytu v čase v důsledku kapilární vodivosti. Posuzovány byly čtyři různé ploché střešní konstrukce v běžných i extrémních klimatických podmínkách.

Vyjádření vlhkostního pole

Kapalná vlhkost, vznikající ve stavební konstrukci vlivem kondenzace vodní páry, je přenášena do okolí. Tento pohyb závisí nejen na součiniteli vlhkostní vodivosti, ale také na vlhkostním spádu. Pro hustotu hmotnostního toku kapalně vody při gradientu vlhkosti platí

$$q = -\kappa_m \cdot \rho_s \cdot \frac{du_m}{dx} \quad [\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}], \quad (1)$$

kde κ_m je součinitel vlhkostní vodivosti při gradientu vlhkosti $[\text{m}^2 \text{s}^{-1}]$,

ρ_s – objemová hmotnost suchého materiálu $[\text{kg m}^{-3}]$,
 u_m – hmotnostní vlhkost [%],
 u_m/dx – gradient vlhkosti $[\text{m}^{-1}]$.

Zavedeme-li funkci $w(x, \tau)$, vyjadřující množství vody na jednotkový objem $[\text{kg m}^{-3}]$ v závislosti na prostoru (souřadnici x) a čase τ , pak musí platit, že časová změna množství

kapalně vody v konstrukci je rovna záporně vzaté prostorové změně hustoty jejího hmotnostního toku

$$\frac{\partial w(x, \tau)}{\partial \tau} = -\frac{\partial q(x, \tau)}{\partial x} \quad [\text{kg m}^{-3} \text{s}^{-1}], \quad (2)$$

kde q je hustota hmotnostního toku kapalně vody $[\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}]$,
 x – prostorová souřadnice $[\text{m}]$,
 τ – čas $[\text{s}]$.

Po dosažení vztahu (1) do (2)

$$\frac{\partial w}{\partial \tau} = -\frac{\partial}{\partial x} \left(-\kappa_m \cdot \rho_s \cdot \frac{\partial u_m}{\partial x} \right) \quad [\text{kg m}^{-3} \text{s}^{-1}]. \quad (3)$$

V rovnici (3) však vystupuje derivace hmotnostní vlhkosti a po derivaci podle x

$$\frac{du_m}{dx} = \frac{1}{\rho_s} \cdot \frac{dw}{dx} \quad [\text{m}^{-1}]. \quad (4)$$

Dosažením vztahu (4) do rovnice (3) a po úpravě vychází parciální diferenciální rovnice

$$\frac{\partial w}{\partial \tau} = \kappa_m \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \quad [\text{kg m}^{-3} \text{s}^{-1}]. \quad (5)$$

Pro řešení parciálních diferenciálních rovnic je zapotřebí stanovit počáteční a okrajové podmínky. V tomto případě jde vzhledem k řádům jednotlivých parciálních derivací o jednu podmínku počáteční a dvě podmínky okrajové. Počáteční podmínka vychází z úvahy, že konstrukce na začátku sledovaného období neobsahuje žádnou vodu. Proto hodnota funkce w v čase $\tau = 0$ bude rovněž nulová

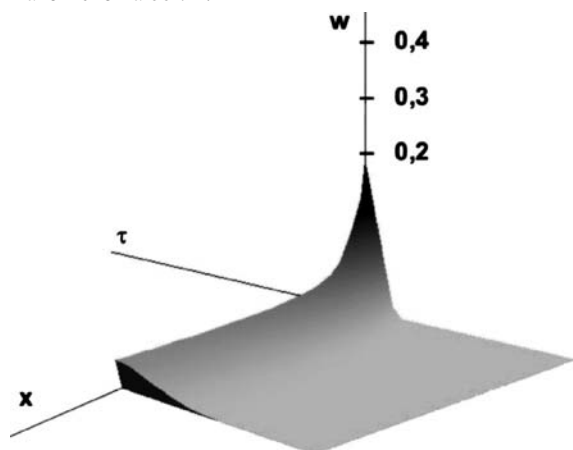
$$w(x, 0) = 0 \quad [\text{kg m}^{-3}]. \quad (6)$$

Pro stanovení okrajových podmínek byla využita iterační modifikace Dirichletových podmínek.

Nejvhodnější metodou numerického řešení této parciální diferenciální rovnice vlhkostního pole se jeví metoda síť. Z hlediska časové diskretizace je možné hledat řešení jedním ze tří způsobů, lišících se ve stanovení aproximace $\partial w / \partial \tau$, a to metodou Eulerovou, implicitní Ruletovou nebo Crankovou-Nicolsonovou. Při řešení rovnice (5) byla provedena prostorová diskretizace tak, že konstrukce byla rozdělena na 500 prostorových diskretizačních jednotek. Podobně je tomu v případě časové diskretizace. Délka časové diskretizační jednotky byla stanovena na 36 s.

Vzhledem k tomu, že všechny uvedené metody jsou iterační, lze integraci dílčích řešení považovat rovněž za iterační postup. Iterační postup integrace dílčích řešení však musí přihlížet k saturaci a desaturaci kapalně vody v konstrukci, tedy vliv kondenzace a vypařování. Vzhledem k dostatečně

krátkému časovému kroku lze zanedbat spojitost tohoto procesu v rámci jednoho dne. Navíc je patrné, že konkrétní hodnoty kondenzátu nebo množství vypařené páry jsme schopni stanovit pouze diskrétně – pro každou časovou diskretizační jednotku zvlášť. Proto se tento kondenzát, resp. množství vypařené vodní páry, započítá jako kvantitativní přírůstek (ať už v kladné, či záporné hodnotě) k počáteční podmínce dílčího řešení. Rovnice (5) je řešena pro každý den zvlášť. Rozložení kapalné vody w v časoprostoru je znázorněno na obr. 1.

Obr. 1. Graf funkce $w(x, t)$

Z fyzikálního hlediska se dá předpokládat, že v dílčí časoprostorové oblasti bude voda konvergovat k rovnoměrnému rozložení, které lze zapsat:

$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} w(x, \tau) = \text{konst.}, \quad (7)$$

$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} \frac{\partial w(x, \tau)}{\partial \tau} = 0, \quad (8)$$

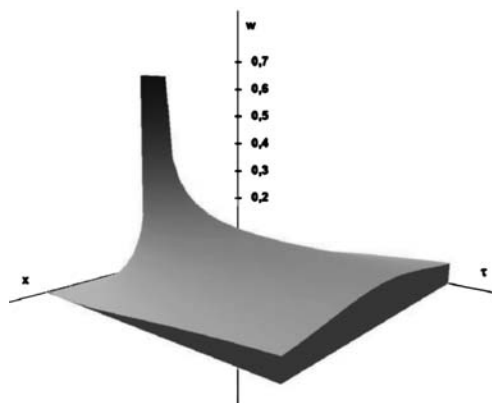
$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} \frac{\partial^2 w(x, \tau)}{\partial x^2} = 0. \quad (9)$$

Konstantu ve vztahu (7) můžeme vzhledem k integrační korekci vyjádřit

$$\text{konst.} = \frac{G}{|x_{\max} - x_{\min}|}, \quad (10)$$

kde G je množství kapalné vody v daném okamžiku.

I tento předpoklad byl ověřen numerickým výpočtem. Jeho platnost je zřejmá z obr. 2. Za čas τ byla dosazena vysoká, avšak konečná hodnota.

Obr. 2. Graf funkce $w(x, t)$, ověření konvergence pro $\tau \rightarrow \infty$

Aplikace kapilární vodivosti v bilančním výpočtu

Výsledky posouzení čtyř plochých střešních konstrukcí v běžných i v extrémních klimatických podmínkách:

- konstrukce 1
lehká, z hlediska součinitele prostupu tepla vyhovující požadavku [9],
- konstrukce 2
lehká, nevyhovující [9],
- konstrukce 3
těžká, vyhovující [9],
- konstrukce 4
těžká, nevyhovující [9].

Tab. 1. Skladba konstrukce 1

Vrstva (od interiéru)	Tloušťka [mm]	ρ [kg m ⁻³]	μ	λ [W m ⁻¹ K ⁻¹]
omítka vápenocementová	10	2 000	19	0,99
dřevo tvrdé	40	600	157	0,22
perlitbeton	50	450	11	0,13
Jutafol N 110 Special	0,4	440	210 154	0,39
ORSIL S	160	100	1,5	0,043
Polyelast Extra	4,5	1 170	49 250	0,21

Tab. 2. Skladba konstrukce 2

Vrstva (od interiéru)	Tloušťka [mm]	ρ [kg m ⁻³]	μ	λ [W m ⁻¹ K ⁻¹]
omítka vápenocementová	10	2 000	19	0,99
dřevo tvrdé	40	600	157	0,22
perlitbeton	50	450	11	0,13
ORSIL S	30	100	1,5	0,043
Polyelast Extra	4,5	1 170	49 250	0,21

Tab. 3. Skladba konstrukce 3

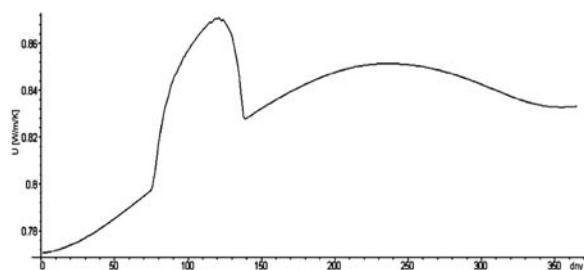
Vrstva (od interiéru)	Tloušťka [mm]	ρ [kg m ⁻³]	μ	λ [W m ⁻¹ K ⁻¹]
omítka vápenocementová	10	2 000	19	0,99
železobetonová deska	70	2 400	29	1,58
perlitbeton	50	450	11	0,13
Jutafol N 110 Special	0,4	440	210 154	0,39
ORSIL S	160	100	1,5	0,043
Polyelast Extra	4,5	1 170	49 250	0,21

V posouzení byl započítán vliv kapilární vodivosti vlhkosti. Výsledky prokázaly, že započtení kapilární vodivosti do nestacionárního bilančního výpočtu má vliv na výsledné určení efektivního a extrémního součinitele prostupu tepla i na zjištění extrémní hodnoty hmotnostní vlhkosti v kritice-

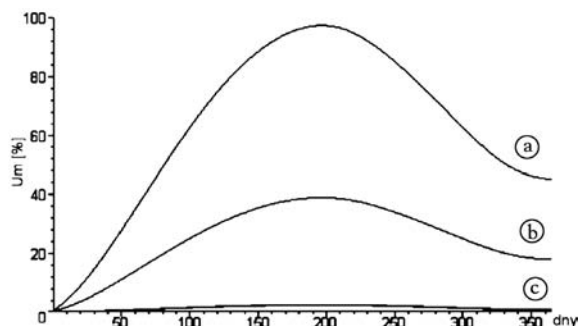
Tab. 4. Skladba konstrukce 4

Vrstva (od interiéru)	Tloušťka [mm]	ρ [kg m ⁻³]	μ	λ [W m ⁻¹ K ⁻¹]
omítka vápenocementová	10	2 000	19	0,99
železobetonová deska	70	2 400	29	1,58
perlitbeton	50	450	11	0,13
ORSIL S	30	100	1,5	0,043
Polyelast Extra	4,5	1 170	49 250	0,21

kých dnech sledovaného období. U konstrukce 4 (těžká, nevyhovující [9]) byl prokázán nárůst efektivního součinitele prostupu tepla téměř o 9 %, nárůst extrémního součinitele prostupu tepla téměř o 14 % a nárůst extrémní hmotnostní vlhkosti v nejkritičtějším okamžiku dokonce o 97 %. Změny v průběhu jednoho roku demonstruje obr. 3, změny hmotnostní vlhkosti v jejím nejkritičtějším místě obr. 4.



Obr. 3. Časový průběh okamžitého součinitele prostupu tepla konstrukce 4



Obr. 4. Časový průběh maximální hmotnostní vlhkosti v nejkritičtějším místě konstrukce

a – konstrukce 4, b – konstrukce 2, c – konstrukce 1 a 3

Ověřované konstrukce byly pro porovnání položeny v extrémních klimatických podmínkách Krkonoš. Vstupní hodnoty okrajových podmínek (teploty a vlhkosti vzduchu exteriéru) pro tuto lokalitu byly převzaty z údajů Českého hydrometeorologického ústavu [1]. Také zde byl prokázán velký vliv započtení kapilární vodivosti do nestacionárního bilančního výpočtu na sledované veličiny, a to dokonce mnohem zřetelněji.

U konstrukce 4 byl v extrémních klimatických podmínkách zjištěn nárůst efektivního součinitele prostupu tepla o 14 %, extrémního součinitele prostupu tepla o 22 % a extrémní hmotnostní vlhkosti v nejkritičtějším okamžiku dokonce o 146 %.

Závěr

Bylo prokázáno, že kapilární vodivost kapalné vlhkosti má vliv na nestacionární bilanční výpočet především u plo-

chých střešních konstrukcí a že způsobuje časové změny vlhkosti v použitých pórovitých materiálech, což ovlivní jejich tepelnou vodivost. Z tohoto důvodu se mění v čase také součinitel prostupu tepla celé konstrukce.

Započtení jevu kapilární vodivosti kapalné vlhkosti do tepelně technických výpočtů přispívá ke komplexnímu posouzení stavebních konstrukcí i objektů jako celku, a tím k objektivnějšímu hodnocení tepelně technické kvality objektu.

Extrémní hmotnostní vlhkost v kritických dnech sledovaného období může za jistých okolností poškodit tepelně izolační vrstvu do takové míry, že již dále není schopna plnit svou funkci. Na základě zjištěných skutečností je možné předcházet vadám a poruchám stavebních konstrukcí.

Příspěvek vznikl při plnění dílčích úkolů výzkumného záměru MSM0021630511 "Progresivní stavební materiály s využitím druhotných surovin a jejich vliv na životnost konstrukcí" a díky materiální podpoře ÚPST FAST VUT v Brně.

Literatura

- [1] Denní klimatické údaje vybraných stanic ČHMÚ z let 1982 až 2002. ČHMÚ Praha, 2002.
- [2] Dalík, J.: Matematika, Numerické metody. Brno, CERM 1992.
- [3] Mrlík, F.: Vlhkostné problémy stavebních materiálů a konstrukcí. Bratislava, Alfa 1985.
- [4] Halahyja, M. – Chmúrny, I. – Sternová, Z.: Stavební tepelná technika. Bratislava, Jaga 1998.
- [5] Škramlík, J.: Kapilární vodivost stavebních materiálů. [Dizertace], VUT Brno 2006.
- [6] Fuciman, O.: Analýza vlhkostních procesů obalových konstrukcí. [Dizertace], VUT Brno, 2005.
- [7] ČSN EN ISO 6946 Stavební prvky a stavební konstrukce – tepelný odpor a součinitel prostupu tepla – výpočtová metoda. ČSN, 1998.
- [8] ČSN EN ISO 13788 Tepelně vlhkostní chování stavebních dílců a stavebních prvků – vnitřní povrchová teplota pro vyloučení kritické povrchové vlhkosti a kondenzace uvnitř konstrukce – výpočtové metody. ČSN, 2002.
- [9] ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov. ČSN, 2002.
- [10] ČSN 73 1901 Navrhování střech. ČSN, 1998.

Škramlík, J. et al.: Effect of Capillary Conductivity on Thermal and Technical Properties of Building Structures

This paper examines the effect of water vapour and its quantity on building structures, its application to roof decks where capillary conductivity of liquid moisture takes place most frequently, and the evaluation of the effect on thermal and technical characteristics of the given building structure. In all, four types of flat roof structures were assessed and compared both in specific common, as well as extreme conditions.

Škramlík, J. u.a.: Der Einfluss der kapillaren Leitfähigkeit auf die wärmetechnischen Eigenschaften einer Baukonstruktion

Der Artikel befasst sich mit dem Einfluss kondensierenden Wasserdampfes und seiner Menge auf Baukonstruktionen, mit der Anwendung für Dachhäute, wo die kapillare Leitfähigkeit von Feuchtigkeit in flüssiger Form am häufigsten auftritt, und mit der Auswertung der Einwirkung auf die wärmetechnischen Eigenschaften der gegebenen Baukonstruktion. Gegenstand der Beurteilung waren 4 Typen von Flachdachkonstruktionen und ihr Vergleich unter konkreten gewöhnlichen und extremen Bedingungen.

Expandace cyprisových jíílů

prof. Ing. Petr BURYAN, DrSc.

Ing. Jan MARŠÁK, Ph.D.

Ing. Serghei SKOBLIA, Ph.D.

Vysoká škola chemicko-technologická
Praha

Při studiu expandace cyprisových jíílů ze skrývky hñedouhelného dolu, využívaných k výrobě expandovaného lehkého kameniva, bylo prokázáno, že majoritními plynými komponentami, determinujícími expandaci jíílů, byly oxidy uhlíku a vodík, minoritními uhlovodíky C₁-C₆.

Úvod

Surovina vhodná pro nadýmání v žáru musí splňovat několik podmínek [1], [2]. Musí obsahovat dostatek tavitelných látek, aby tyto při záhřevu na vysokou teplotu vytvářely na povrchu zrn souvislou taveninu, která znemožňuje unikání plynů tvořících se uvnitř zrn do vnějšího okolí, přičemž uvnitř materiál musí vykazovat dostatečně vysokou viskozitu taveniny, aby propouštění plynů zůstalo omezeno. Obecně stav surovin, vyhovující těmto podmínkám, označujeme jako pyroplastický.

Materiál musí mít při dosažení teploty, při níž začíná proces nadýmání, malý objem pórů a hustou strukturu. Při tom musí být v surovině přítomna taková směs látek, která uvolní plyny právě v době, kdy se dosáhne stavení povrchu a pyroplastického stavu. První podmínku splňuje zpravidla přítomnost určitého množství taviv, jakými jsou oxidy železa, CaO, MgO a alkálií.

Souvislost mezi viskózním chováním jíílových materiálů a jejich chemickým složením shrnul Riley [3]. Vycházel ze zákonitého předpokladu, že pro vznik expandace je nutné vytvořit taveninu vyhovující viskozity a povrchového napětí při teplotách kolem 1 000 °C. Za rozhodující podmínku považoval chemické složení surovin. Na základě analyzovaných dat sestavil diagram se složkami SiO₂, Al₂O₃ a skupinou oxidů (MgO, CaO, FeO, Fe₂O₃, Na₂O, K₂O), ve kterém vyznačil hranice mezi oblastí expandujících a neexpandujících jíílů. Tyto hranice byly později upraveny Wilsonem [4].

Podle Rileyho jsou nejvýhodnější meze pro vznik pyroplastického stavu při obsahu SiO₂ 55-78 % hm., Al₂O₃ 12-25 % hm. a součet taviva 8-25 % hm. V současných výzkumech se téměř jednoznačně konstatuje, že komplexní povaha expandačního procesu je příčinou toho, že nelze najít obecně platný vztah mezi schopností expandace a parametry získanými z chemických, spektrografických, petrografických, rentgenografických nebo termických rozborů, protože každá surovina má charakteristické vlastnosti, a proto musí být zkoumána individuálně vzhledem ke své optimální expandovatelnosti [5], [6].

Obsah alkálií by měl dosahovat 3-5 %, oxidů alkalických zemin 3-6 % a oxidů železa 6-10 % hm. [1]. Nikdy však nesmí být množstvím taviv snížen bod tání natolik, že by vznikla řídká tavenina, která by propouštěla plyny do okolí. Při nadbytku CaO nebo Fe₂O₃ se nevhodně zmenšuje interval mezi teplotou slnutí a tání. Optimalizace obsahu CaO

má zaručovat, aby vhodného nadýmání mohlo být dosaženo v intervalu 50-100 °C.

Přítomnost organických látek je příznivá, protože podporuje proces nadýmání [1]. Jejich velký přebytek (> 4 %) však způsobuje značné ostření suroviny, což není příznivé [7]. Vyhořením ve vstupní části rotační pece za vysoké teploty se granule rozpadají, čímž vzniká vysoký podíl prachu a drobného Liaporu s vysokou hmotností. V případě, že expandující jííl má sám o sobě dostatečný obsah organických látek, není vhodné pro podporu expanze přidávat další organické látky. Jejich přidáváním se v těchto případech zvýší objemová hmotnost zrna a zhorší se i další kvalitativní parametry [8]-[10].

Sírné sloučeniny mohou být přítomny v surovině i ve větším množství [1]. Jejich zbytek ve finálním výrobku je však nežádoucí. Pro vznik taveniny je rozhodující především chemické složení, resp. mineralogické složení. Dále je potřebné, aby zemina byla vysoce plastická a jemnozrná (přítomnost zrn, v nichž převládá frakce < 10 μm) [2], bez většího obsahu písku a hrubších přímíšenin, které nadýmání v žáru podstatně omezují [1], [11]. Pokud se týká struktury, surovina má mít původní laminární texturu, nebo se tato musí uměle vytvořit, např. jemným semletím a následnou granulací nebo sedimentací z kalu.

Kromě zdanlivé hustoty určuje kvalitu expandovaných jíílů také pevnost, která závisí především na porozitě a ta na reakcích vznikajících plynů [7]. Kvalitní průmyslové produkty mají malé, nesouměrné a homogenně rozložené póry. Nekvalitní produkty jsou buď lehké a křehké, nebo těžké. Lehké produkty mají méně pórů, zato však větší, a tenká vrstva mezi stěnami pórů tudíž vykazuje malou pevnost. Těžké produkty mají silnou centrální zónu s relativně malými póry a vnější zónu se vzájemně propojenými rozlehlými póry.

Expandace

Složení expanzních plynů

Expanzní plyn, vznikající při termolýze cyprisových jíílů, tvoří převážně oxid uhličitý, oxid uhelnatý, voda, vodík, sulfan a uhlovodíky z rozkladu bitumenu, v našem případě přírodního charakteru.

■ Oxid uhličitý

Zdrojem oxidu uhličitého je dokonalá oxidace organické fáze nebo reakce oxidu železa s elementárním uhlíkem [9]. Tyto závěry byly získány na základě toho, že expandace CO₂ byla pozorována nejen v oxidačním prostředí, kdy k uhlíku mohl být zabezpečen přístup vzdušného kyslíku, ale i v atmosféře dusíku [9].

Oxid uhličitý může vznikat i z uhlíčanů, které se za vysokých teplot rozkládají na oxid uhličitý a oxid kovu. Prakticky se uhlíčan vápníku intenzivně rozkládá při 850-950 °C (někdy až 1 000 °C), uhlíčan manganu při 500 až 600 °C a uhlíčitan železa již při 400-500 °C. Jelikož diso-

ciace uhlíčanů závisí na rychlosti zahřívání a na fyzikálním stavu minerálů, reakce jejich rozkladu se při rychlém nárůstu teploty mohou posunovat do oblasti vyšších teplot.

■ Oxid uhelnatý

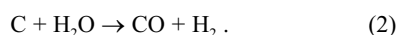
Zdrojů oxidu uhelnatého je v jílech několik. Předpoklad, že by veškerý CO pocházel z organické části cyprisových jílu, se nejeví jako reálný, neboť množství organických složek v cyprisových jílech by nestačilo na tvorbu takového množství CO, který je uvolňován při výpalu. Je nutné uvažovat i o reakcích mezi anorganickou a organickou částí cyprisových jílu, resp. i o reakcích elementárního uhlíku.

První přímou možností vzniku CO je nedokonalá oxidace organických podílů cyprisových jílu. Ten se dále oxiduje na oxid uhličitý. Oxid uhličitý však může vstupovat do dalších reakcí za vzniku dalšího oxidu uhelnatého. Jde hlavně o reakci s rozžhaveným jemně disperzním uhlíkem (Boudoardova reakce)



Z hlediska expandace je na této reakci významné to, že z jedné molekuly oxidu uhličitého vznikají dvě molekuly oxidu uhelnatého, tzn. že zde narůstá dvojnásobně objem plynné fáze.

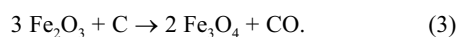
Elementární uhlík se nezúčastňuje jen reakcí s oxidem uhličitým, ale i s vodní párou, a to za vzniku oxidu uhelnatého



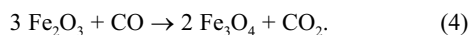
■ Oxid železitý

Železo, a především jeho oxidy, se velmi intenzivně podílí na expanzních dějích. Železo má původ v jílových minerálech a pyritu, který je úzce asociován s organickou hmotou. Oxid železitý může být redukován na Fe_3O_4 , FeO, a nakonec na Fe při 1 220 °C. Redukovadlem se může stát jak elementární uhlík, tak oxid uhelnatý. Proces redukce oxidů železa lze charakterizovat souborem dvou současně probíhajícími přeměn, a to disociací redukováného oxidu a sloučením redukovadla s kyslíkem. Oxid uhelnatý se při této reakci oxiduje na oxid uhličitý.

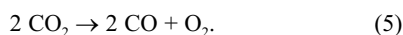
Počáteční redukce Fe_2O_3 uhlíkem probíhá podle rovnice [7]



Vznikající CO difunduje zahříváním materiálem a reaguje se zbývajícím Fe_2O_3 podle rovnice



Takto vzniklý oxid uhličitý reaguje se zbývajícím uhlíkem a vytváří další CO nebo se částečně redukuje



Redukce Fe_2O_3 probíhá pouze nad 705 °C.

Pro průběh sledu reakcí je zapotřebí nevelkého množství redukovadel v podobě uhlíku, oxidů uhlíku nebo vodíku, aby lehce tavitelné železité jíly expandovaly a teplota tvoření pórovitého produktu se snížila o 150-200 °C. Taková redukovadla v podobě organických příměsí obsahují téměř všechny lehko tavitelné jílové zeminy (cyprisové jíly obsahují 2-4 % takovýchto organických příměsí).

■ Sírany a sulfidy

Disociace síranu vápenatého probíhá při teplotě 1 204 °C. V redukčním prostředí a za přítomnosti ostatních složek začíná rozklad síranu při mnohem nižších teplotách. Na oxid

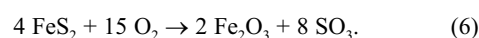
siřičitý, který se při tom uvolňuje, je možno nahlížet jako na jeden z faktorů, jenž jsou příčinou expanze jílu a vytvářející se nežádoucí emise. Příměsí v podobě pyritu, markazitu a dalších sulfidů železa při zahřívání uvolňují síru, která reaguje s kyslíkem a vytváří oxidy siřičitý a sírový. Ty mohou mít též podíl na expanzi jílu [9], [10]. Nelze však vyloučit ani tvorbu sulfanu, zejména předpokládáme-li přítomnost vodíku v expanzních plynech.

■ Reakce na povrchu a uvnitř zrna

Mikroskopickým pozorováním bylo zjištěno [7], že reakce probíhající uvnitř zrna a na jeho povrchu se liší. Reakce pyritu závisí na velikosti zrna, rychlosti ohřevu a reakční atmosféře.

● Na povrchu zrna

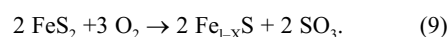
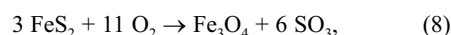
Analýza prokázala, že s přebytkem kyslíku se pyrit oxiduje při 375 °C na hematit



Při této teplotě se může tvořit i oxid sírový

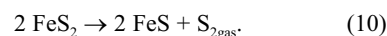


přičemž při teplotách nad 790 °C probíhá tato rovnice opačným směrem. Je-li k dispozici méně kyslíku, magnetit a pyrotin se tvoří následovně:

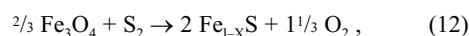
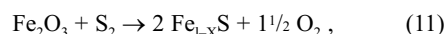


● Uvnitř zrna

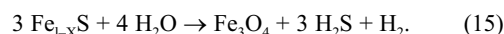
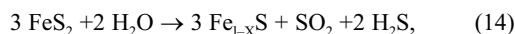
Pyrit se uvnitř zrna, kde je nedostatek kyslíku nebo není přítomen, rozkládá podle reakce



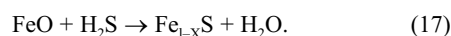
Podle Živkoviče [12] na povrchu pyritových částic může být sorbována síra, která může reagovat se železem z jílových minerálů a tvořit pyrotin následujícím sledem reakcí:



Tyto tři reakce probíhají pouze tehdy, jestliže $pS_2 \gg pO_2$. Tato podmínka je splněna při parciálním tlaku síry 0,1 MPa při 680 °C a $1 \pm 0,3$ MPa při rozkladu pyritu při teplotě 743 °C. Parciální tlak kyslíku díky přítomnosti uhlíku je velmi malý. Je možné, že v přítomnosti vody ve struktuře jílových minerálů se z pyritu tvoří i H_2S .



Protože H_2S je silně redukční činidlo, probíhají následně i reakce:

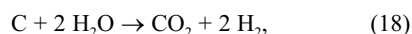


V redukční atmosféře (CO) zůstává pyrotin stabilní i při teplotách nad 1 000 °C. V silně oxidační atmosféře se však

rozkládá na FeSO_4 , který se může oxidovat na magnetit a hematit, a uvolnit tak oxid siřový nebo siřičitý. V důsledku toho je železo z jílových minerálů blokováno a nemůže se účastnit reakcí s uhlíkem a tvořit CO a CO_2 . Proto by se železo mělo v řadě případů do špatně expandujících surovin přidávat, aby bylo zajištěno, že nebude redukováno předtím, než se materiál stane pyroplastickým.

Vliv minerální vázané vody

Voda vázaná v jílových minerálech může také představovat zdroj plynů, protože může reagovat s reziduální uhlíkatou hmotou, a účastnit se tak expandování jílu při vyšších teplotách, tj.

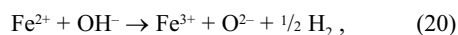


při vyšších teplotách může být CO produkovan reakcí



Tyto endotermické reakce probíhají prudce nad 800 °C, protože katalytické povrchy, takové jako jíl, reakce urychlují. CO a H_2 mají velkou redukční sílu a vytvářejí produkty s nízkým bodem tání. Poslední reakce uhlíku a vodní páry je katalyticky usnadňovaná přítomností sloučenin železa.

Při dehydroxylaci se dvojmocné železo oxiduje na trojmocné na úkor hydroxylových skupin podle reakce



následované reakcí



Volná a fyzikálně vázaná voda se vypařuje do 180 °C. Je zjevné, že ovlivňovat zkoumaný druh expanze jako faktor vytvářející póry tato voda bezprostředně nemůže. Avšak volná i fyzikálně vázaná voda, jakož i velká část krystalicky vázané vody minerálů obsažených v jílovitých zeminách, vykazuje nepřímý užitečný vliv na procesy podmiňující expanzi. Při rychlém zahřívání zadržuje předčasně rozvinutí řady oxidačně redukčních reakcí, které se posouvají do oblastí vysokých teplot.

Při postupném zahřívání je základní část konstituční vody odstraňována při 200-800 °C, určitá část konstituční vody montmorillonitu, hydroslídy (illitu), vermikulitu, kaolinitu a dalších minerálů se uchovává v rozmezí teplot 900 až 1 150 °C, a to i při dlouhodobém vypalování. Při prudkém vypalování, kdy se tepelné zpracování od 600 do 1 150 °C provádí 8-70 minut a probíhá rychlostí 55-90 °C/min, jsou zbytky konstituční vody minerálů odstraňovány při jejich expanzi a bezesporu se účastní tvorby pórů i expanze pyroplastické jílovité masy [11].

Experimentální část

Vzorková základna analýz

V rámci přípravy podkladových materiálů pro návrh jednotky snižující emise z výroby Liaporu byly postupně sledovány čtyři vzorky cyprisových jílu, odebraných z výroby (tab. 1).

Metodika experimentu

Reaktor, naplněný jemně rozetřenou suchou hlinou, byl vložen do elektrické pece za pokojové teploty a propláchnut dusíkem. Poté byl postupně zahříván po stanovených kro-

Tab. 1. Technologické a emisní charakteristiky vzorků

Vzorek	Vlastnosti	CO	SO ₂	NO _x ^{*)}
		[mg m ⁻³]		
hlína 1	dobrá expanze	1 053	1 638	71
hlína 2	dobrá expanze	1 314	1 963	156
hlína 3	dobrá expanze	1 330	2 081	177
hlína 4	dobrá expanze	762	1 609	159

*) Celkový obsah oxidů dusnatého a dusičitého vyjádřený jako oxid dusičitý.

cích (po 100 °C) až do 1 050 °C. Doba, potřebná ke zvýšení teploty zhruba o 100 °C, byla přibližně 20 minut.

Těkavé produkty pyrolýzy byly odváděny přes kovový vodní chladič do baňky pro zachycování kapalných produktů. Plyn byl dále veden do plynoměru a po jeho průchodu zaváděn do skleněných vzorkovnic ponořených v uzavíracím roztoku. Zachycený plyn byl dále analyzován plynovou chromatografií.

Analýza plynu

K analýze plynu, vznikajícího při termickém zpracování cyprisových jílu, byl použit plynový chromatograf, do něhož byl plyn dávkován smyčkou. Po zahájení měření a přepnutí ventilů byl vzorek unášen proudem nosného plynu helia do náplňové předkolony, kde došlo k oddělení methanu a permanentních plynů (N_2 , O_2 , CO_2 , CO, H_2) od ostatních uhlovodíků (C_2 a vyšších). Uhlovodíky byly zpětně vyplachovány do nástřikové komůrky s děličem, v níž se rozdělily v nastaveném poměru. Chromatografická kapilární kolona pro uhlovodíky Rt –Alumina měla vnitřní průměr 0,530 mm a délku 50 m. Kapilární kolona PoraPlot Q o délce 30 m a vnitřním průměru 0,530 mm sloužila k oddělení CO_2 od ostatních permanentních plynů, jež přešly na molekulové síto. Oxid uhličitý byl eluován přes restriktor. Naměřená data byla zpracována integrační metodou. Ze záznamu TCD byly získány informace o koncentraci [% obj.] oxidu uhličitého, vodíku, kyslíku, dusíku, methanu a oxidu uhelnatého. Na přítomnost vzduchu v analyzovaném vzorku byla provedena korekce, neboť přestože byl reaktor před experimentem propláchnut dusíkem, bylo v odebraném plynu zaznamenáno určité množství kyslíku. Ze záznamu FID byla určena koncentrace [% obj.] uhlovodíků (ethanu, ethenu, propanu, propenu, i-butanu, n-butanu, acetyleny, trans-2-butenu, 1-butenu, i-butenu, cis-2-butenu, i-pentanu, n-pentanu a n-hexanu a ostatních).

Výsledky a diskuze

Množství plynu uvolněného při pyrolýze

Průměrné hodnoty celkového objemu plynu, který se uvolnil při pyrolýze suchých vzorků v přepočtu na 1 kg, uvádí tab. 2. Nejvíce plynu se vyvíjelo při termickém zpracování hlíny 1, nejmenší u hlíny 3. Tato skutečnost pravděpodobně souvisí i s faktem, že u vzorků 1 a 4 byl zaznamenán vývin plynu až do teplot kolem 1 000 °C, u vzorků 2 a 3 se plyn uvolňoval nejvýše do 900 °C. Příklad složení expanzních plynů z pyrolýzy vzorku 1 je uveden v tab. 3.

Tab. 2. Průměrný objem uvolněného plynu při pyrolyze

Vzorek	V [dm ³ kg ⁻¹]
hlína 1	73,55
hlína 2	49,75
hlína 3	48,60
hlína 4	63,60

V tabulkách 3 až 8 je výčet jmenovaných uhlovodíků zkrácen a uváděn součet koncentrací:

- C₂ – ethanu a ethenu;
- C₃ – propanu a propenu;
- C₄ – i-butanu, n-butanu, trans-2-butenu, 1-butenu, i-butenu a cis-2-butenu;
- C₅, C₆ – i-pentanu, n-pentanu a n-hexanu;
- C_{ost} – ostatních uhlovodíků;
- C₂-C_{ost} – všech uhlovodíků (C₂-C₆+C_{ost}).

Tab. 3. Analýza plynu uvolněného při pyrolyze vzorku 1

Složky [% obj.]	Teplota [°C]									
	380	400	450	500	600	700	800	900	1 000	1 050
CO ₂	3,11	3,43	19,75	45,9	70,98	61,16	53,1	38,61	19,88	20,11
H ₂	0	0	24,33	35,26	23,91	32,05	33,11	31,95	24,44	19,43
N ₂	96,66	96,28	44,08	5,53	0,42	1,37	5,98	9,62	6,61	5,91
CH ₄	0	0	3,44	4,06	1,28	1,66	1,87	1,64	0,54	0,3
CO	0,23	0,28	2,37	3,67	3,04	3,52	5,76	18,06	48,43	54,17
C ₂	0	0,01	2,09	1,92	0,1	0,07	0,04	0,02	0,01	0,01
C ₃	0	0	2,08	1,56	0,05	0,03	0,02	0,01	0	0
C ₄	0	0	0,67	0,71	0,01	0,01	0,01	0	0	0
C ₅ a C ₆	0	0	0,19	0,26	0,02	0,01	0,01	0	0	0
C _{ost}	0	0	1,01	1,14	0,18	0,14	0,1	0,08	0,07	0,05
ΣC ₂ -C _{ost}	0	0,01	6,03	5,58	0,36	0,25	0,18	0,11	0,09	0,07

Průměrná koncentrace jednotlivých složek z měření vzorku 1 je uvedena v tab. 4. Jak z ní vyplývá, koncentrace CO pozvolna narůstá do 700 °C, při níž dosahuje 3,4 % obj. Poté začíná strmější nárůst, který je nejvýraznější v rozmezí 900-1 000 °C. Zde vzrůstá obsah CO více než dvojnásobně. Obsah CO₂ narůstá do 600 °C, kde dosahuje svého maxima 71,2 % obj. Se zvyšující se teplotou koncentrace CO₂ téměř rovnoměrně klesá až na 19,7 % obj. při 1 050 °C. Obsah methanu stejně jako celkový obsah uhlovodíků C₂-C_{ost} má vrchol při 500 °C. Je patrné, že koncentrace dusíku vzrůstá od 700 do 900 °C. Koncentrace vodíku se pohybuje od 500 do 1 050 °C mezi 20 a 35 % obj.

Průměrná koncentrace jednotlivých složek v pyrolyzním plynu vzorku 2 je uvedena v tab. 5. Koncentrace oxidu uhelnatého pomalu narůstá do 550 °C, poté do 700 °C mírně klesá na 2,6 % obj. Od 700 °C do 900 °C se obsah CO zvýší více než trojnásobně. Obsah oxidu uhličitého se zvyšuje do 600 °C, kde dosahuje svého maxima 72,4 % obj. Obsah methanu je stejně jako obsah uhlovodíků C₂-C_{ost} největší při teplotě 500 °C. Koncentrace dusíku vzrůstá od 700 do 900 °C. Koncentrace vodíku se pohybuje od 500 do 900 °C mezi 22 a 29 % obj.

Tab. 4. Průměrné složení plynu uvolněného při pyrolyzách vzorku 1

Složky [% obj.]	Teplota [°C]								
	400	450	500	600	700	800	900	1 000	1 050
CO ₂	3,08	16,6	44,85	71,23	59,25	52,37	37,92	20,81	19,73
H ₂	0,74	19,87	35,49	23,79	33,92	32,8	32,43	25,37	20,46
N ₂	95,54	54,4	7,16	0,42	1,39	6,13	9,13	6,44	5,59
CH ₄	0	2,57	3,9	1,13	1,71	1,92	1,67	0,71	0,47
CO	0,57	2,05	3,28	3,02	3,37	6,44	18,63	46,48	53,57
ΣC ₂ -C _{ost}	0,07	4,52	5,3	0,42	0,37	0,33	0,22	0,19	0,18

Tab. 5. Průměrné složení plynu uvolněného při pyrolyzách vzorku 2

Složky [% obj.]	Teplota [°C]							
	400	450	500	550	600	700	850	900
CO ₂	2,79	8,41	43,21	69,57	72,35	68,41	60,47	59,59
H ₂	0	3,49	22,68	23,87	23,13	27,18	28,91	26,45
N ₂	97,1	86,44	25,69	1,02	0,32	0,53	2,71	3,67
CH ₄	0	0,38	2,62	1,57	1,14	1,09	1,28	1,2
CO	0,1	0,44	2,23	2,82	2,58	2,59	6,51	8,99
ΣC ₂ -C _{ost}	0,01	0,83	3,57	1,14	0,49	0,21	0,13	0,1

Průměrná koncentrace jednotlivých složek v plynu z pyrolyz vzorku 3 je uvedena v tab. 7. Koncentrace oxidu uhelnatého narůstá do 550 °C, poté mírně klesá na 2,1 % obj. při 650 °C. Nejstrmější nárůst obsahu CO, téměř čtyřnásobný, je zaznamenán v rozmezí 800-900 °C. Koncentrace oxidu uhličitého dosahuje maxima 71,5 % obj. při 600 °C. Obsah methanu stejně jako obsah uhlovodíků C₂-C_{ost} je největší při teplotě 500 °C. Koncentrace dusíku vzrůstá od 700 do 900 °C. Koncentrace vodíku dosahuje při 750 °C až 34 % obj.

Tab. 7. Průměrné složení plynu uvolněného při pyrolyzách vzorku 3

Složky [% obj.]	Teplota [°C]								
	450	500	550	600	650	700	750	800	900
CO ₂	3,1	41,9	71	71,5	68,9	64	59	58,6	47,7
H ₂	0,43	22,7	22,9	24,3	26,6	30,9	34,1	31,9	28,7
N ₂	96,1	27,3	0,62	0,24	0,44	0,94	2,34	3,01	6,44
CH ₄	0	2,56	1,52	1,12	1,23	1,47	1,63	1,52	1,32
CO	0,31	2,33	2,63	2,24	2,11	2,15	2,81	4,4	15,7
ΣC ₂ -C _{ost}	0,09	2,99	0,96	0,36	0,3	0,23	0,2	0,19	0,18

Průměrná koncentrace složek v pyrolyzním plynu vzorku 3 je uvedena v tab. 8. Koncentrace oxidu uhelnatého v tomto případě výrazně narůstá mezi 800 °C a 1 000 °C z 5,6 % obj. na 30,0 % obj. Obsah oxidu uhličitého dosahuje maxima při 600 °C, a to 68,9 % obj. Obsah methanu stejně jako obsah uhlovodíků C₂-C_{ost} je největší při teplotě 500 °C. Koncentrace dusíku vzrůstá od 700 °C do 950 °C. Obsah vodíku se pohybuje až do 34,6 % obj. při 800 °C.

Tab. 8. Průměrné složení plynu uvolněného při pyrolýzách hlíny 3

Složky [% obj.]	Teplota [°C]									
	400	450	500	550	600	700	800	900	950	1 000
CO ₂	2,4	21,1	55,5	68,3	68,9	60,9	54,3	45,6	43,2	32,4
H ₂	0	16,4	27,8	25,4	26,1	32,9	34,6	29,3	29,2	28,9
N ₂	97,3	56	7,54	0,41	0,23	1,01	3,89	7,71	8,04	7,8
CH ₄	0	1,72	2,43	1,43	1,07	1,31	1,43	1,05	0,93	0,74
CO	0,29	1,78	3,29	3,28	3,22	3,63	5,57	16,2	18,5	30
ΣC ₂ -C _{ost}	0,03	2,96	3,41	1,21	0,44	0,28	0,23	0,17	0,14	0,13

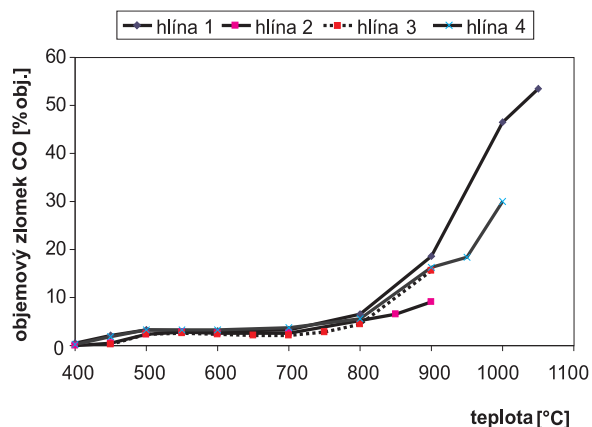
Porovnání z hlediska složení vznikajícího plynu

Pro možnost rozlišení jednotlivých druhů hlíny na základě složení plynu vznikajícího při jejich pyrolýze byly vytvořeny porovnávací tabulky (tab. 9 až tab. 11) a grafy (obr. 4 až obr. 7) emisí oxidu uhelnatého, oxidu uhličitého a uhlovodíků C₂-C_{ost}. Tabelem i grafické vyjádření prezentuje data průměrného složení uvolněného plynu. Uvedené grafické znázornění je podrobnější, v tabulkách jsou porovnávány pouze hodnoty pro sedm vybraných teplot.

Tab. 9. Porovnání koncentrací CO [% obj.]

Vzorek	Teplota [°C]						
	400	500	600	700	800	900	1 000
hlína 1	0,57	3,28	3,02	3,37	6,44	18,63	46,48
hlína 2	0,10	2,23	2,58	2,59	–	8,99	–
hlína 3	–	2,33	2,24	2,15	4,40	15,68	–
hlína 4	0,29	3,29	3,22	3,63	5,57	16,20	30,03

Z obrázku 1 je patrné, že do 700 °C se emise CO u jednotlivých vzorků příliš neliší. Nárůst koncentrace CO je pozvolný a dosahuje nejvyšší hodnoty 3,6 obj. % u jílu 4. S rostoucí teplotou se obsah CO prudce zvyšuje (až na 46,5 % obj. při 1 000 °C u hlíny 1), a zatímco trend nárůstu obsahu oxidu uhelnatého je u hlíny 1, 3 a 4 téměř shodný, u hlíny 2 je znatelná odchylka – obsah CO při 900 °C je výrazně nižší.



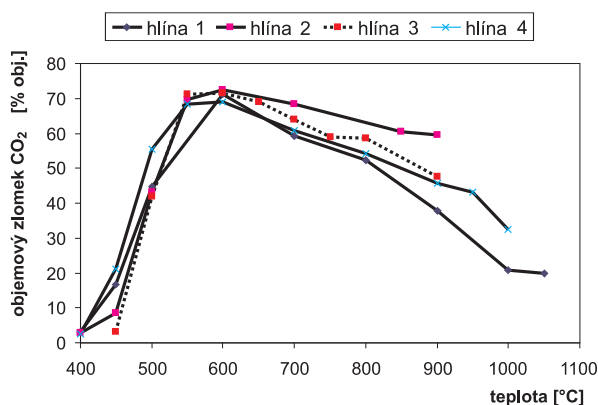
Obr. 1. Porovnání CO

Koncentrace CO₂ v závislosti na teplotě (obr. 2) má u všech čtyř druhů hlíny podobný charakter. Od 450 °C je zaznamenán u obsahu CO₂ v plynu strmý nárůst, který dosahuje maxima při 600 °C. Je pozoruhodné, že i přestože vzorek 4 vykazuje při 500 °C nejvyšší koncentraci CO₂ v plynu (55,5 % obj.), hranici 70 % obj. při 600 °C nepřesáhne. Se zvyšující se teplotou obsah oxidu uhličitého prakticky u všech vzorků rovnoměrně klesá.

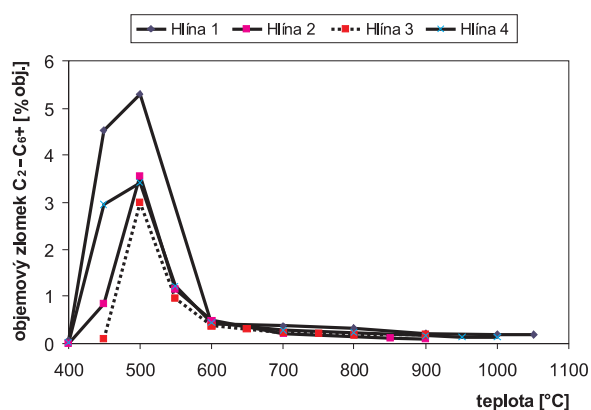
Tab. 10. Porovnání koncentrace CO₂ [% obj.]

Vzorek	Teplota [°C]						
	400	500	600	700	800	900	1 000
hlína 1	3,08	44,85	71,23	59,25	52,37	37,92	20,81
hlína 2	2,79	43,21	72,35	68,41	–	59,59	–
hlína 3	–	41,90	71,50	63,99	58,58	47,67	–
hlína 4	2,40	55,49	68,91	60,92	54,27	45,61	32,38

Průběh závislosti koncentrace uhlovodíků C₂-C_{ost} v plynu na teplotě u jednotlivých druhů hlíny (obr. 3) vykazuje určité rozdíly. Zatímco u vzorků 1 a 4 je nejvýraznější nárůst obsahu uhlovodíků mezi 400-450 °C, u dalších dvou je toto rozmezí posunuto mezi 450-500 °C. Nejvyšší koncentrace uhlovodíků byla zjištěna u hlíny 1 (5,3 % obj.). U všech sledovaných hlín bylo maximální koncentrace uhlovodíků v plynu dosaženo při stejné teplotě, tzn. při 500 °C. S rostoucí teplotou se obsah uhlovodíků prudce snižoval. Taktéž maximální koncentrace methanu ve vyvíjeném plynu u všech sledovaných vzorků byla pozorována při teplotě 500 °C.

Obr. 2. Porovnání CO₂Tab. 11. Porovnání koncentrace C₂-C_{ost} [% obj.]

Vzorek	Teplota [°C]						
	400	500	600	700	800	900	1 000
hlína 1	0,07	5,30	0,42	0,37	0,33	0,22	0,19
hlína 2	0,01	3,57	0,49	0,21	–	0,10	–
hlína 3	–	2,99	0,36	0,23	0,19	0,18	–
hlína 4	0,03	3,41	0,44	0,28	0,23	0,17	0,13



Obr. 3. Porovnání emise uhlovodíků C₂-Cost

Závěr

Ze získaných dat vyplývá, že expandační plyn, vznikající termolýzou organického i anorganického podílu cypriso- vých jííl, představuje zejména oxid uhelnatý, oxid uhličitý, dusík, vodík, methan a různé uhlovodíky. Koncentrace oxidu uhličitého v plynu dosahuje maxima při 600 °C. Se zvyšující se teplotou poté klesá, s čímž souvisí nárůst obsahu oxidu uhelnatého, který je nejvýraznější mezi 700-1 000 °C. Nejvíce uhlovodíků, vznikajících rozkladem bitumenu, bylo zjištěno u všech vzorků při teplotě 500 °C. U jednotlivých vzorků byly z hlediska analýzy vyvíjeného plynu zjištěny jisté odlišnosti, avšak nebyly zásadního charakteru. Přítomnost vodíku v expandačních plynech nebyla dosud v odborné literatuře publikována.

Buryan, P. et al.: Expandability of Cypris Clays

The study of expandability of cypris clays from the capping of a brown coal mine used for the production of expanded lightweight aggregate has proved that major gaseous components determining expansion of clays were carbon oxide and hydrogen, minor ones were C₁ – C₆ hydrocarbons.

Část výzkumných prací byla provedena v rámci projektu 6046137304 MŠMT ČR.

Literatura

- [1] Drochytka, R.: Lehké stavební látky. Brno: VUT, 1993, 124 s.
- [2] Toth, M. N. – Csaky, I. B.: Role of the Smectite Group in the Bloating Process, Ziegeldindustrie International 42, (5) 246-250 (1989).
- [3] Riley, C. M.: Relation of Chemical Properties of the Bloating of Clay. Journal of the American Ceramic Society 34, (4) 121-128 (1951).
- [4] Dietrich, H.: Beitrag zur Bestimmung der Blaueigenschaften Keramischer Rohstoffe. [Dizertační práce], 1970, s. 14-22.
- [5] Gvoždík, F.: Výroba keramzitu „kevint“. Keramzit a keramzitový beton. Plzeň, Dům techniky ČSVTS, 1984, s. 15-27.
- [6] Maršák, J. – Buryan, P.: Výzkum cypriso- vých jííl. Silika, 2002, č. 5-6, s. 92-104.
- [7] Decler, J. – Viaene, W.: Rupelian Boom Clay as Raw Material for Expanded Clay Manufacturing. Applied Clay Science 8, (2-3) 111-128 (1993).
- [8] Maršák, J.: Ekologické aplikace jíílovců cypriso- vého souvrství. [Sborník], „Průmyslové technologie a životní prostředí“, VŠB-TU Ostrava, 2003, s. 12-21.
- [9] Buryan, P. – Maršák, J.: Expandace cypriso- vých jííl. [Sborník], 2005, VŠB-TU Ostrava.
- [10] Maršák, J. – Buryan, P.: Výzkum složení cypriso- vých jííl, Minerální suroviny 1. (3) 24 (2003).
- [11] Boateng, A. A. – Thoen, E. R. – Orthelie, F. L.: Modelling the Pyroprocess Kinetics of Shale Expansion in a Rotary Kiln. Chemical Engineering Research&Design, Part A: Transactions of the Institute of Chemical Engineers 75, (A3) 278-283, (1997).
- [12] Živkovič, Ž. D. – Milosavkjevič, N. – Šesták, J.: Kinetics and Mechanism of Pyrite Oxidation. Thermochemica Acta 157, (2) 215-219 (1990).

Buryan, P. u a.: Expandierung von Cypristonen

Beim Studium der Expandierung von Cypristonen aus dem Abraum einer Braunkohlengrube, die zur Herstellung von Leichtzuschlagstoffen (Blähton) genutzt werden, wurde nachgewiesen, dass die die Aufblähung determinierenden mehrheitlichen gasförmigen Komponenten der Tone Kohlenstoffoxide und Wasserstoff waren, die minderheitlichen Kohlenwasserstoffe C₁ bis C₆.

● projekty

Nová budova ČVUT



Největší stavební investicí v areálu technických vysokých škol v pražských Dejvicích za posledních pětadvacet let bude Nová budova ČVUT. Poslední červnový den k ní položili základní kámen zástupci vedení vysoké školy v čele s rektorem prof. Ing. Václavem Havlíčkem, CSc., zástupci MŠMT ČR, Městské části Prahy 6, dodavatelských firem a další významní hosté.

Nová budova, určená pro studenty Fakulty architektury a dalších součástí ČVUT, bude vystavěna na pozemku mezi Fakultou stavební, Studentským domem a Národní technickou knihovnou. Zprovozněna bude uživatelům v letním semestru akademického roku 2010/2011. Provozně a dispozičně je navržena jako univerzální, s výukovými prostory pro technické obory. Charakteristickým rysem návrhu je transparentnost těchto prostor. Prosklené příčky umožní průhledy do učeben, seminárních místností, ateliérů, ale i do



pracoven vyučujících. V parteru jsou situovány tři kapacitní posluchárny, ta největší pro 300 studentů. Podzemní garáže pojmu 320 aut.

Architektonický návrh profesorky Aleny Šrámkové vyšel vítězně ze soutěže 35 týmů a vybrala jej komise složená z významných architektů.

Tisková informace

Celoživotní náklady budov

doc. Ing. Jana KORYTÁROVÁ, Ph.D.
VUT – Fakulta stavební
Brno

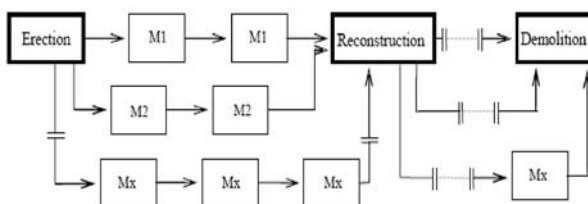
Článek se zabývá metodou celoživotních nákladů budov, která v rámci hodnocení její efektivity zahrnuje všechny relevantní současné a budoucí náklady a užítky. Rozšiřuje pohled na zkoumanou problematiku efektivity výstavby budov o náklady a užítky, které vznikají nejen uvnitř budovy samé, ale i v jejím okolí, a mohou tak ovlivnit i jiné subjekty, které přímo s výstavbou a užíváním budovy nesouvisí. Jde zejména o problematiku externalit a celospolečenských nákladů a užítků.

Úvod

Celoživotní náklady WLC (Whole Life Cost) budov zahrnují všechny související a relevantní současné a budoucí náklady a užítky budovy, které mohou nastat během jejího životního cyklu [1]. Metoda celoživotních nákladů budovy navazuje na metodu nákladů životního cyklu stavby BLCC (Building Life Cycle Costs) a metodu posuzování životního cyklu LCA (Life Cycle Assessment), které pracují s analýzou samotného zkoumaného stavebního objektu. Celoživotní náklady rozšiřují pohled na zkoumanou problematiku o náklady, které vznikají v okolí budovy a mohou ovlivnit i subjekty, které přímo s výstavbou a užíváním budovy nesouvisí.

Metoda BLCC

Metoda nákladů životního cyklu stavby je zaměřena na optimalizaci nákladů v průběhu celé doby její životnosti. Definice podle Směrnice EHS [2] je následující: „Životnost stavby je doba, během níž ukazatele vlastností stavby budou udrženy na úrovni slučitelné s plněním základních požadavků.“ Jejich výpočet je založen na stanovení současných i budoucích nákladů spojených s technickými parametry stavby v jednotlivých fázích jejího životního cyklu. V průběhu realizační fáze to jsou investiční náklady, v průběhu provozování zejména náklady na opravy a udržování, rekonstrukce a modernizace, v likvidační fázi potom náklady spojené s likvidací budovy. Pro výpočet ukazatele je třeba rozdělit budovu na funkční díly, u nichž lze stanovit dobu jejich životnosti a definovat cyklus a rozsah oprav M (Maintenance). Zkoumanou problematiku lze znázornit schématem prof. Jarského, uvedeným na obr. 1.



Obr. 1. Schematické znázornění životního cyklu budovy (výstavba, opravy, rekonstrukce a likvidace) [5]

Ukazatel *BLCC* posuzuje náklady stavby v přítomnosti, tedy v okamžiku hodnocení, proto musí být všechny budoucí náklady přepočteny na současnou hodnotu. Výpočet ukazatele lze vyjádřit vztahem

$$BLCC = \sum_{i=0}^n \frac{1}{(1+r)^i} \sum_{j=1}^t C_{ij}, \quad (1)$$

kde *BLCC* jsou náklady životního cyklu budovy [Kč], C_{ij} – *j*-tý náklad spojený technickými parametry budovy v *i*-tém roce, *i* – rok, ve kterém náklad vzniká, *n* – délka životního cyklu budovy [roky], *r* – diskontní sazba [%/100].

Metoda LCA

Metoda se v obecné rovině zabývá environmentálními dopady v průběhu životního cyklu výrobku (získání surovin, výroba, užívání a likvidace). Při její aplikaci na stavební výrobu lze uvažovat např. o surovinové náročnosti, toxických účincích odpadů nebo meziproduktů na životní prostředí. Neřeší ekonomické a sociální aspekty stavby, soustředí se pouze na její dopad na životní prostředí. Porovnávají se jí různé varianty řešení.

Posuzování životního cyklu stavby touto metodou představuje přístup vedoucí k minimalizaci environmentálních dopadů, tj. podle ISO 14050 jakákoli změna v životním prostředí, nepříznivá i příznivá, která je zcela nebo částečně způsobena činností, výrobky či službami organizace. Výsledky analýzy lze využít pro porovnání různých variant stavby, pomoc při návrhu na zlepšení stávajícího stavu stavby vzhledem k jejímu vlivu na životní prostředí [3].

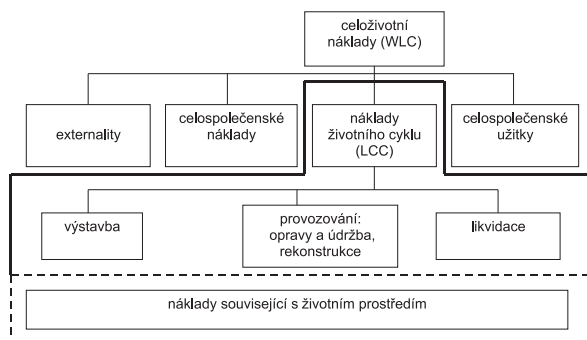
Výstavba budov a jejich provozování patří mezi hlavní spotřebitele materiálů a energie a významné znečišťovatele životního prostředí. Během svého životního cyklu spotřebovávají budovy v EU asi 40 % energie, vytvářejí přibližně 30 % emisí CO₂ a 40 % odpadů. Z toho vyplývá potřeba sledovat, a pokud možno zmírňovat negativní dopady výstavby a provozování objektů pozemních staveb na životní prostředí [4]. Zejména je třeba sledovat:

- spotřebu neobnovitelných zdrojů surovin,
- spotřebu energie,
- produkci emisí,
- produkci odpadů,
- působení techniky na okolí hlukem a otřesy,
- spotřebu kvalitní vody.

V rámci výzkumného úkolu je řešena možnost výroby stavebních materiálů z druhotných surovin. Problematika je posuzována i z ekologicko-ekonomického hlediska zmiňovaných negativních vlivů, produkce odpadů a jejich možné recyklace. Využití recyklovaných materiálů ve stavebnictví je nezbytným předpokladem trvale udržitelného rozvoje výstavby. Musí však platit pravidla, která stanoví srovnatelné technické parametry budovaných konstrukcí a zaručí, aby použitím recyklovaných materiálů nebylo zatíženo životní prostředí. Trend častějšího používání recyklovaných materiálů souvisí jednak s omezenými zdroji klasických materiálů, jednak se snahou o minimalizaci odpadů na skládkách.

Metoda WLC

Tato metoda představuje rozšíření hodnocení nákladů souvisejících s výstavbou, provozováním a likvidací budovy o externalitu a celospolečenské užítky a náklady, které vznikají v souvislosti s její výstavbou v okolí. Schéma na obr. 2 znázorňuje metodu celožitovních nákladů budovy v širokém komplexu jejího možného uplatnění. Jde zejména o rozšíření hodnocení nákladů spojených s budovou o popis a ocenění vytvářených externalit a dalších celospolečenských nákladů a užítků.



Obr. 2. Schéma celožitovních nákladů (modifikováno) [1]

■ **Externality (Externalities)**, efekty přelévání, představují dopad tržních transakcí na třetí stranu. Vytváření nebo jejich spotřeba není většinou dobrovolná. Pokud se užitek B (Benefit) třetí osoby následkem externality snižuje, jde o negativní externalitu neboli externí náklad nebo újmu. Pokud se užitek třetí osoby následkem externality zvyšuje, je vytvořena pozitivní externalita, dochází k externímu prospěchu nebo úspoře. Externality představují nerovnost mezi mezním užitekem MB (Marginal Benefit) a mezním nákladem MC (Marginal Cost) při spotřebě nebo poskytování výrobků nebo služeb. Dochází k tomu, že tržní cena P (Price) neodráží mezní užítky společnosti MSB (Marginal Social Benefits) nebo mezní náklady společnosti MSC (Marginal Social Costs).

– *Negativní externalita (Negative Externalities)* představují vnější náklady spojené s výrobou nebo spotřebou, v tomto případě s výstavbou budovy, v nákladech se však neodráží. Budovy mohou v rámci svého životního cyklu znečišťovat životní prostředí, působit škody, které se mohou odrazit na zdraví lidí snižováním kvality vzduchu, který dýchají, nebo vody, kterou pijí. Mohou vznikat v jednotlivých fázích životního cyklu budovy (např. vypouštěním odpadních vod do toků bez poplatků za škody způsobené na životním prostředí, vytápěním budovy).

Rovnovážné množství a rovnovážná cena vznikne v bodě střetu poptávky s nabídkou. Poptávka je představena mezním užitekem MB a nabídka mezními náklady MC . V nákladech však nejsou zahrnuty mezní externí náklady, které poskytováním tohoto statku vznikají. V takovém případě MC výroby nedosahují skutečných MSC . Mezní společenské náklady jsou součtem mezních nákladů poskytovatele statku a mezních externích nákladů, které nese třetí strana. Stát vyvíjí tlak na snížení tvorby negativní externality např. sankcemi za nedodržení zákonů a vyhlášek týkajících se dané oblasti. Bez zásahu státu by bylo vytvářeno stále více negativních externalit a MEC by se zvyšovaly.

– *Pozitivní externalita (Positive Externalities)* mohou být vytvořeny například zabudováním požárních hlásičů v jednotlivých místnostech budovy. Z rychlého uhašení nebo předejití požáru může mít užitek i třetí strana – vlastníci a

uživatelé okolních budov mohou být následků živelné pohromy uchráněni, aniž by se na těchto nákladech podíleli.

Poptávka a nabídka určitého statku se ustálí v rovnovážném bodě. Poptávku opět představuje křivka mezního užítku MB , nabídku křivka mezního nákladu MC . Mezní společenský náklad MSC je v tomto případě roven meznímu nákladu poskytovatele statku. Statek však vytváří pozitivní externalitu. Mezní společenský užitek MSB je součtem mezního užítku spotřebitele a mezního společenského užítku MEB (Marginal External Benefit), který je přenášen na třetí stranu. Proto stát tvorbu pozitivních externalit podporuje, např. vhodnou dotační politikou.

■ **Hodnotu celospolečenských nákladů a užítků**, které vznikají v souvislosti s výstavbou, užíváním a likvidací budov, lze stanovit metodou CBA (Cost Benefit Analysis). Lze ji sledovat a monetárně ocenit přímé a nepřímé náklady a užítky spojené s budovou v investiční, provozní i likvidační fázi. Analýza pracuje s peněžními toky CF (Cash Flow), které získá ekonomický subjekt (stát, obec, podnik nebo občan) v souvislosti s výstavbou určité budovy. Za příjem je považována i úspora výdajů přímo vzniklá realizací projektu – výstavbou budovy. Analýza CBA rozděluje CF do dvou skupin:

- **finanční hotovostní toky** představují CF odpovídající pojetí *corporate finance* (podnikových financí), tedy skutečné příjmy a výdaje finančních prostředků, které vyplývají z jednotlivých fází životního cyklu budovy. V tomto případě jde o náklady životního cyklu budovy (BLCC);
- **ekonomické hotovostní toky** jsou všechny s budovou související užítky a náklady (finanční i nefinanční, hmotné i nehmotné, přímé i indukované, vznikající investorovi i ostatním subjektům v rámci společnosti). Užitek/přínos je efekt vzniklý realizací projektu (budovy), který nemá podobu finanční částky (poplatku, ceny). Užitek ovšem může nepřímo vytvářet příjem (opravou komunikace občané a podniky ušetří finanční prostředky za opotřebení pneumatik, za opravy vozidel jezdících po špatné silnici; funkčně efektivní budovy mohou zvýšit uspokojení uživatelů; příjemné pracovní prostředí může zvýšit produktivitu pracovní síly). Pro monetární ocenění celospolečenských užítků a nákladů existuje celá škála metod, nejčastěji je využívána metoda nákladů obětované příležitosti.

V současné době se v rámci výzkumného úkolu vytváří seznam celospolečenských nákladů a užítků, které souvisejí s životním cyklem budovy, jenž bude podkladem pro tvorbu databáze monetárně oceněných celospolečenských nákladů a užítků.

■ **Výpočet ukazatele WLC** – rovnici (1), která vyjadřuje náklady životního cyklu stavby, lze rozšířit na výpočet komplexního hodnocení celožitovních nákladů budovy o externalitu a celospolečenské náklady a užítky,

$$WLC = \sum_{i=0}^n \frac{1}{(1+r)^i} \left[\sum_{j=1}^t C_{ij} + \sum_{k=1}^u (SC_{ik} - SB_{ik}) + \sum_{m=1}^v (NEX_{im} - PEX_{im}) \right], \quad (2)$$

kde WLC jsou celožitovní náklady budovy (Whole Life Cost) [Kč], C_{ij} – j -tý náklad (Cost) v i -tém období, SC_{ik} – k -tý celospolečenský náklad (Social Cost) v i -tém období, SB_{ik} – k -tý celospolečenský užitek (Social Benefit) v i -tém období, NEX_{im} – m -tá negativní externalita (Negative Externality) v i -tém období, PEX_{im} – m -tá pozitivní externalita (Positive Externality) v i -tém období, r – diskontní sazba

[%/100], n – délka životního cyklu budovy, popř. délka hodnoceného období [roky], t – počet nákladů životního cyklu budovy, u – počet celospolečenských užitků nebo nákladů, v – počet negativních externalit nebo pozitivních externalit.

Závěr

Ukazatel celoživotních nákladů budovy představuje rozšíření nástrojů pro rozhodování o realizaci projektů využitelné zejména v předinvestiční fázi projektu stavby/budovy. Jednotlivé části výpočtu ukazují efektivnost budovy z různých pohledů a pro různé potřeby. Náklady životního cyklu hovoří o přímých nákladech samotné budovy zejména z pohledu technicko-materiálové charakteristiky. Metoda WLC se zabývá i dalšími relevantními dopady výstavby stavebních objektů, jejichž databáze není v současné době zcela naplněna. Také v rámci výzkumného úkolu jsou rozvíjeny metody pro zjištění možných dopadů budovy na okolí, zjišťování vzniku a následné ocenění pozitivních a negativních externalit a celospolečenských nákladů a užitků.

Stanovení hodnoty budovy podle ukazatele *WLC* může být také návodem pro rozhodování financování objektů z veřejných zdrojů, o podporách výzkumu a vývoje nových materiálů a technologií pro výstavbu budov, protože bude možné prokázat, na základě monetárně oceněných celospolečenských nákladů a užitků, nejen výši nákladů spojených s jejich životním cyklem, ale i hodnotu jejich celospolečenské efektivnosti.

Příspěvek byl zpracován za podpory výzkumného záměru MŠMT MSM 0021630511 „Progresivní stavební materiály s využitím druhotných surovin a jejich vliv na životnost konstrukcí“.

Literatura

- [1] ISO 15686-5:2008(E) Building and Constructed Assets – Service-Life Planning, Part 5: Life-Cycle Costing. ISO, 2008.
- [2] Pokyn F ke Směrnici Rady 89/106/EHS, o stavebních výrobcích: Trvanlivost a směrnice o stavebních výrobcích (CONSTRUCT 99/367).
- [3] ČSN EN ISO 14042 Environmentální management, Posuzování životního cyklu – Hodnocení dopadů. ČSNI, 1999.
- [4] Analýza využívání stavebních odpadů, odpadů z těžby a energetických odpadů, predikce poptávky po jejich využití. Most, Regionální rozvojová agentura Ústeckého kraje 2003.
- [5] Jarský, Č.: Cost Assessment by Modelling of Building and Maintenance Process, In: Symposium Report, IABSE Symposium Melbourne 2002, Towards a Better Built Environment Innovation, Sustainability, Information Technology, IABSE Report, Vol. 86, IABSE Zurich 2002, pp. 214-215 + CD. /ISBN 3-85748-107-2/
- [6] Marková, L. – Korytářová, J.: The Modeling and Simulation Building Life Cycle Cista. In: Proceedings from 8th International Conference Organization, Technology and Management in Construction. Umag, 2008. /ISBN 953-96245-8-4/
- [7] Korytářová, J. – Marková, L.: Building Life Cycle Assessment. In: Proceedings of International Conference People, Buildings and Environment. University of Technology, Brno, 2008, pp. 44-49. /ISBN 978-80-7204-600-3/
- [8] Beran, V. – Dlask, P.: Management udržitelného rozvoje regionů, sídel a obcí. Praha, Academia 2005, 330 s. /ISBN 80-200-1201-X/
- [9] Macek, D.: Buildpass – obnova a údržba budov. Praha, ČVUT 2007, 101 s. /ISBN 978-80-01-03909-0/

Korytářová, J.: Life Cycle Costs of Buildings

This paper outlines the method of life cycle costs of buildings which, as part of assessment of its efficacy, covers all relevant present as well as future costs and benefits. The method of life cycle costs expands the view of the examined issue of efficient construction of buildings by costs and benefits arising not only inside buildings, but also in their surroundings. Thus, they can affect other subjects directly unrelated to the erection and uses of buildings. They include, for example, externalities and all-society costs and benefits.

Korytářová, J.: Lebensdauerkosten von Gebäuden

Der Artikel befasst sich mit der Methode der Kosten über die gesamte Lebensdauer von Gebäuden, die im Rahmen der Bewertung ihrer Effektivität alle gegenwärtigen und zukünftigen relevanten Kosten und Erträge erfasst. Die Methode der Kosten über die gesamte Lebensdauer von Gebäuden erweitert die Sicht auf die untersuchte Problematik der effektiven Errichtung von Gebäuden um die Kosten und Erträge, die nicht nur im Gebäude selbst, sondern auch in seiner Umgebung entstehen und so auch andere Subjekte, die nicht direkt mit der Errichtung und der Nutzung des Gebäudes zusammenhängen, beeinflussen können. Es handelt sich insbesondere um die Problematik von Externalitäten und gesamtgesellschaftlichen Kosten und Erträgen.



• dizertace



Problémy současné ochrany krajinného rázu v ČR

Ing. Adam Záruba

Cílem práce bylo identifikovat hlavní problémy v ochraně krajiny a navrhnout opatření pro zlepšení systému, který by krajinný ráz ČR chránil. Situace v ČR se porovnává se stavem ve Velké Británii. Výsledky práce mohou posloužit k úpravě legislativy územního plánování.

Výpočet stability skalních svahů

Ing. Veronika Vaněčková

Práce se zabývá stochastickým výpočtem stability skalního svahu na polygonální smykové ploše. Parametry horninového masivu se modelují pomocí MC kritéria porušení (normálním, lognormálním a exponenciálním rozdělením) i deterministicky. Analýza vstupních dat je provedena metodou LHS včetně algoritmu pro výpočet stability svahu a programu ProStabil pro výpočet stupně bezpečnosti svahu na polygonální ploše.

Vliv klimatických změn na růst vegetace v Jizerských horách

Ing. Michaela Remrová

Dizertace se zabývá vyhodnocením vodního režimu na experimentálním povodí, který je ovlivněn předpokládanou klimatickou změnou. Vodní bilance se ověřuje na datech srážek a teplot za období 1997-2007 a slouží k verifikaci odvozené metody. Na základě toho se odhaduje vodní bilance pro období 2071-2100.

Příčné horizontální síly mezi mostovým jeřábem a jeřabovou dráhou

Ing. Josef Musílek

V práci se analyzuje interakce mostového jeřábu a jeřabové dráhy. Byl vytvořen analytický dynamický model pohybu jeřábu po dráze. Model byl ověřen měřeními na skutečné dráze. Na modelu lze interakci jeřábu a dráhy předpovědět.



Česká betonářská společnost ČSSI
www.cbsbeton.eu

ČBS Servis, s.r.o.
www.cbsservis.eu

pořádá ve spolupráci s
Katedrou betonových konstrukcí a mostů FSv ČVUT v Praze,
Ústavem betonových a zděných konstrukcí FAST VUT v Brně,
Katedrou betonových konstrukcí a mostov SvF STU Bratislava

NAVRHOVÁNÍ BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ PODLE NOREM ČSN EN 1992 (EUROKÓDU 2)

ČÁST 1
ŽELEZOBETONOVÉ KONSTRUKCE
NAVRHOVÁNÍ NA POŽÁR
USTANOVENÍ PRO BETONOVÉ MOSTY



5. a 12. října 2009 Praha, Masarykova kolej ČVUT

Pokyny pro autory

Redakce přijímá články v textovém editoru Word, tištěné po jedné straně papíru formátu A4 (horní okraj 25 mm, levý 35 mm, pravý 10 mm, dolní 15 mm), řádkování, 1,5. Článek je možné zaslat elektronicky na adresu redakce: klimova@fsv.cvut.cz

Úprava rukopisu

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

cedy (*TIMES TUČNĚ, 12 BODŮ, ITALICA*). Číslice ve vzorcích, a to i v indexech a exponentech, se píše stojatě;

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

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

Úprava obrazových předloh a tabulek

- ➔ Obrázky se ukládají jako samostatné soubory s příponou **jpg, tif, eps, bmp** s rozlišením **300 DPI**. Tabulky a grafy jako soubory s příponou **xls**. Prostor pro ně se nevynechává, do textu se **neklepují**. Do textu budou zalomeny podle možnosti co nejbližší odkazu v závorce.
- ➔ **Tabulky** se ukládají za poslední stranu textu. Označí se průběžně arabskými číslicemi (*Tab. 1. ...*) a společně s názvem (*times italica, 12 bodů*) se umístí nad tabulku. Vysvětlivky k obsahu a definice symbolů se píše pod tabulku jako poznámky pod čarou.
- ➔ **Kresby a grafy** je nejlépe dodat v poměru 1 : 1, tj. buď na šířku jednoho sloupce (max. 77 mm), nebo dvou sloupců (max. 160 mm); tloušťka čar musí odpovídat tištěnému formátu obrázku. Pro popisování se používá výhradně písmo arial jednotné velikosti. Pro přehlednost má být v obrázku co nejméně textu, s počínajícími malými písmeny. Vysvětlivky lze uvést v podpisu pod obrázek. V textu se odvolávky na obrazové předlohy uvádějí v kulatých závorkách (*obr. n*). U diagramů se stupnice popisují vždy vně, na středu za jednosměrnou šipkou následuje značka veličiny, za ní jednotka veličiny v hranatých závorkách. U grafu se vyznačuje ukončení obrázku šipkou.
- ➔ Fotografické snímky musí být kontrastní s ostrou kresbou a stupnicí polostínů, min. velikosti 9 x 12 cm.
- ➔ Popisky pod obrázky (*times italica, 12 bodů*) se uloží za tabulky.

Příspěvky do rubrik

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

Recenze vědeckotechnické literatury

- ➔ **Záhlaví** – je nutné dodržet toto pořadí údajů: příjmení a iniciály osobního jména autora díla, název (jde-li o dílo cizí, název v originále, do závorky český překlad), pořadí vydání (u druhého a dalších), místo vydání, vydavatel, rok vydání, počet stran, obrázků, tabulek. Název knih psaných jinak než latinkou se uvede v českém přepisu.
- ➔ **Struktura** – význam problematiky díla, záměr autora, popis díla po významných částech (kapitolách), hodnocení záměru autora, okruh čtenářů, kterým je dílo určeno. V prvé části rukopisu pod textem recenze jméno a příjmení

recenzenta nebo jeho šifra (značka dohodnutá s redakcí). Recenze nemá být delší než dvě strany.

Údaje o autorech

Na zvláštním listu se uvede jméno a příjmení autora, kontaktní údaje (adresa, telefonní číslo a e-mail) a podepsané prohlášení, že jde o původní, jinde nepublikovaný článek. Zároveň je třeba dodat podepsanou žádost o otištění textu ve Stavebním obzoru.

Autorské korektury

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

Hlavní články jsou lektorovány odborníky příslušného oboru.

Za obsah článku ručí autor.

Otištěné články nejsou honorovány.

Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

Korekturní znaménka

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

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

STAVEBNÍ OBZOR

ROČNÍK 18 ČÍSLO 8/2009

Navigace v dokumentu

OBSAH

Beran, P. a kol. Vliv teploty na deformace sloupů hlavní lodi katedrály sv. Víta	225
Smutný, J. a kol. Dynamická a akustická analýza pružného upevnění kolejnic bez podkladnic	231
Wasserbauer, R. Mikroflóra při průzkumu a rekonstrukci krypt a hrobek	240
Jilemnická, L. Revitalizace brownfields na kontaminovaných městských půdách a zdravotní rizika	244
Holcner, P. Bezpečná vzdálenost mezi vozidly a simulace dopravního proudu	251

OBSAH

Beran, P. a kol.

**Vliv teploty na deformace
sloupů hlavní lodi
katedrály sv. Víta 225**

Smutný, J. a kol.

**Dynamická a akustická
analýza pružného
upevnění kolejnic
bez podkladnic 231**

Wasserbauer, R.

**Mikroflóra při průzkumu
a rekonstrukci krypt
a hrobek 240**

Jilemnická, L.

**Revitalizace brownfields
na kontaminovaných
městských půdách
a zdravotní rizika 244**

Holcner, P.

**Bezpečná vzdálenost
mezi vozidly
a simulace dopravního
proudu 251**

CONTENS

Beran, P. at al.

**Impact of Temperature on
Deformations of Columns
of St. Vitus Cathedral . . . 225**

Smutný, J. et al.

**Dynamic and Acoustic
Analysis of Elastic Rail
Fastening without
Sole-Plates 231**

Wasserbauer, R.

**Microflora in Investigation
and Reconstruction of
Crypts and Graves 240**

Jilemnická, L.

**Revitalization of Brownfields
on Contaminated Urban
Soils and Health
Hazards 244**

Holcner, P.

**Safety Gap
between Vehicles
and Traffic
Flow Simulation 251**

INHALT

Beran, P. u. a.

**Der Einfluss der Temperatur
auf die Verformungen der
Säulen des Hauptschiffs
des St. Veits – Doms 225**

Smutný, J. u. a.

**Dynamische und akustische
Analyse der elastischen
Befestigung von
Eisenbahnschienen
ohne Unterlagsplatten . . . 231**

Wasserbauer, R.

**Die Mikroflora bei der
Untersuchung und
Rekonstruktion von
Krypten und Gräben 240**

Jilemnická, L.

**Revitalisierung von
Industriebrachen auf
kontaminierten städtischen
Böden und
Gesundheitsrisiken 244**

Holcner, P.

**Sicherer Abstand
zwischen Fahrzeugen
und Simulierung
des Verkehrsstroms 251**

REDAKČNÍ RADA

Předseda:

prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.

Místopředseda:

doc. Ing. Alois MATERNA, CSc., MBA

Členové:

doc. Ing. Jiří BROŽOVSKÝ, Ph.D.

prof. Ing. Milena CÍSLEROVÁ, CSc.

prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.

prof. Ing. Rostislav DROCHYTKA, CSc.

doc. Ing. Vladislav HORÁK, CSc.

prof. Ing. Milan JIRÁSEK, DrSc.

doc. Ing. Marcela KARMAZÍNOVÁ, CSc.

doc. Ing. Jana KORYTÁROVÁ, Ph.D.

doc. Ing. Jan KRŇANSKÝ, CSc.

doc. Ing. Karel KUBEČKA, Ph.D.

prof. Ing. arch. Alois NOVÝ, CSc.

prof. Ing. Jiří POSPÍŠIL, CSc.

prof. Ing. Jaromír ŘÍHA, CSc.

prof. RNDr. Ing. Petr ŠTĚPÁNEK, CSc.

prof. Ing. arch. Petr URLICH, CSc.

Ing. Renata ZDAŘILOVÁ, Ph.D.

STAVEBNÍ OBZOR, odborný lektorovaný měsíčník, vydává Fakulta stavební ČVUT Praha společně s Fakultou stavební VUT Brno, Fakultou stavební VŠB TU Ostrava a Českou komorou autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě. Řídí redakční rada, vedoucí redaktorka Marcela Klímová. Adresa redakce: Thákurova 7, 166 29 Praha 6, kontaktní adresa: 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. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

Vliv teploty na deformace sloupů hlavní lodi katedrály sv. Víta

Ing. Pavel BERAN
prof. Ing. Jiří MÁČA, CSc.
doc. Ing. Petr FAJMAN, CSc.
ČVUT – Fakulta stavební
Praha

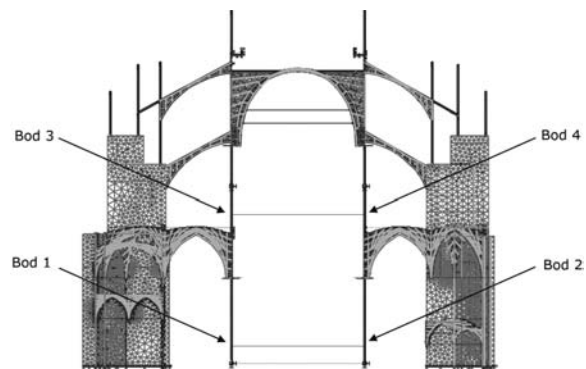
Článek se zabývá modelováním nosné konstrukce katedrály sv. Víta. Je analyzován vliv délkové teplotní roztažnosti na napjatost a deformaci konstrukce. Pro zachycení jejího skutečného chování bylo nutné zjistit rozložení teplot, které je ovlivněno slunečním zářením a kolísáním teplot vzduchu v blízkém okolí. Teplota byla měřena in situ, a zároveň počítána numericky.

Úvod

Pražský hrad patří mezi kulturní bohatství českého národa a je dominantou hlavního města. Součástí areálu je katedrála sv. Víta, jejíž stará část byla postavena ve 14. století. Snaha zachovat tuto památku i pro další generace vedla ke sledování a geodetickému monitorování posunů nosné konstrukce. Cílem bylo z naměřených deformací získat údaje o její degradaci. Dalším přínosem monitorování je možnost ověření příčin degradace i účinnosti navržených oprav na numerických modelech. Podobně se postupovalo i při návrhu oprav katedrály v Kutné Hoře [7], [8].

Od roku 2000 probíhají ve staré části katedrály měření svislých a vodorovných deformací v řezu, který obsahuje čtyři body umístěné na sloupech hlavní lodi. Spodní dvojice bodů je v úrovni cca 2 m nad podlahou, vrchní dvojice cca 17 m nad podlahou. Mezi nimi se měří svislé a vodorovné vzdálenosti během různých období roku, většinou v 18 h po uzavření katedrály pro veřejnost. Během let 2000/2001 byly vzdálenosti změřeny pětkrát (včetně základní, tj. nulté etapy). Z rozdílů délek jsou vypočtena relativní posunutí bodů, vztažená k základní etapě (10. 7. 2000). Během měření byly zjištěny posuny mezi sledovanými body, o nichž se předpokládalo, že jsou způsobeny zejména délkovou teplotní roztažností [1].

Katedrála sv. Víta se skládá z hlavní lodi, dvou nižších podélných lodí, kaplí a příčné lodi. Stěny mezi kaplemi podporují hlavní pilíř opěrného systému, který je spojen se sloupy hlavní lodi opěrnými oblouky. Opěrný systém je celý v exteriéru a je vystaven působení klimatických změn (teplotě vzduchu, slunečnímu záření, dešti, sněhu, změnám vlhkosti vzduchu). Konstrukce katedrály je z kamenného zdiva, doplněného ocelovými táhly.



Obr. 1. Poloha monitorovacích bodů

Teplotní analýza

Jedním z cílů článku je porovnat deformace získané geodetickým monitorováním sloupů hlavní lodi katedrály s hodnotami zjištěnými výpočtem. Předpokládalo se, že deformace jsou způsobeny zejména teplotními změnami konstrukce. Je proto nutné zjistit rozložení teplotních polí v konstrukci během jednotlivých geodetických měření vzdáleností. Bylo použito numerické řešení parciální diferenciální rovnice vedení tepla v komerčním programu Adina [2]

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho c} \nabla^2 T \quad (1)$$

Formulace okrajových podmínek

Teplotu konstrukce ovlivňuje několik faktorů – teplota a rychlost proudění vzduchu v jejím okolí, intenzita dopadajícího slunečního záření, odpařování vody z povrchu a z pórů, kondenzace vodní páry na povrchu a v pórech, adsorpce vodní páry a desorpce vody. Těchto faktorů je mnoho, proto byl problém zjednodušen a byl uvažován pouze vliv teploty vzduchu v okolí konstrukce a intenzita slunečního záření. Přestup tepla ze vzduchu do konstrukce a opačně byl simulován podle rovnice

$$q_v = \alpha (T_v - T_p) \quad (2)$$

kde α je součinitel přestupu [$\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$]
(podle ČSN 72 2430);

q_v – hustota tepelného toku [W m^{-2}] (s kladným znaménkem směřuje tok dovnitř konstrukce, tzn. ohřívá ji, se záporným směřuje ven z konstrukce, tzn. ochlazuje ji);

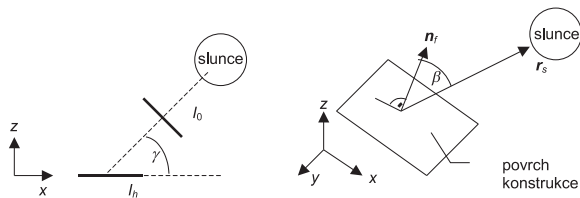
T_v – teplota vzduchu v okolí konstrukce;

T_p – teplota povrchu konstrukce.

Za teplotu vzduchu v okolí konstrukce byly vzaty údaje získané z meteorologických stanic a od Správy Pražského hradu. Pro povrchy v exteriéru byly v analýze použity teploty získané z meteorologických stanic Praha-Ruzyně a Praha-Karlov, pro povrchy v interiéru hodnoty získané z teplotních čidel umístěných Správou Pražského hradu uvnitř katedrály.

Tato okrajová podmínka byla předepsána pro všechny povrchy katedrály. Severní strana je stíněna střechou hlavní lodi, proto je zde vliv slunečního záření malý a byl zanedbán. Ovšem jižní strana je vystavena silnému slunečnímu záření, a proto je nutné s tímto vlivem počítat.

Energie přenášená zářením v atmosféře má několik složek – přímé krátkovlnné sluneční záření, rozptýlené (difúzní) krátkovlnné sluneční záření, dlouhovlnné záření vyzářené povrchem konstrukce a dlouhovlnné záření odražené od atmosféry. Celková bilance energetických toků na povrchu konstrukce může být kladná, nulová, nebo záporná. Kladná znamená absorpci energie, záporná vyzářování energie.



Obr. 2. Schémata pro výpočet absorbovaného výkonu – svislý řez

Vzhledem k tomu, že se v Praze měří pouze intenzita globálního slunečního záření, bylo uvažováno, že veškeré záření dopadající na povrch konstrukce je přímé, což platí především pro slunečné dny (obr. 2). Vyjádření této okrajové podmínky je popsáno rovnicemi (3)-(5).

$$I_0 = \frac{I_h}{\sin \gamma} \quad (3)$$

kde I_0 je intenzita slunečního záření dopadajícího na povrch kolmý ke směru záření [W m^{-2}], I_h intenzita záření dopadajícího na vodorovný povrch (Praha-Karlov) [W m^{-2}] a γ je výška slunce nad obzorem;

$$\cos \beta = \mathbf{n}_r \cdot \mathbf{r}_s \quad (4)$$

kde \mathbf{n}_r je jednotkový vektor normály příslušného povrchu, \mathbf{r}_s jednotkový vektor polohy slunce na obloze a $\cos \beta$ skalární součin mezi vektorem normály a vektorem polohy slunce na obloze;

$$q_a = \alpha I_0 \cos \beta \quad (5)$$

kde α je součinitel pohltivosti povrchu konstrukce, jenž může nabývat hodnot (0;1), a q_a intenzita absorbovaného výkonu povrchem konstrukce [W m^{-2}].

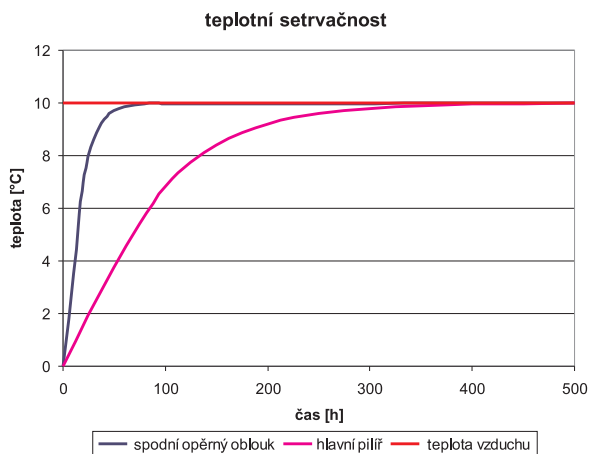
Okrajová podmínka, předepsaná rovnicí (5), nabývá kladných hodnot. V případě zastínění povrchu je blízká nule,

v simulaci je zjednodušeně uvažována nulovou hodnotou. Informace o poloze slunce na obloze (hodnoty γ a \mathbf{r}_s) byly získány v programu Skymap pro 11.

Šíření tepla konstrukcí je simulováno numerickým řešením parciální diferenciální rovnice vedení tepla. V této analýze není zahrnut vliv fázových změn vody. Simulace je provedena za konstantních materiálových charakteristik, které nejsou závislé na její teplotě a vlhkosti. Výsledné rozložení teplot, zejména v zimě, může být ovlivněno zamrznutím vody v konstrukci, při němž dochází k uvolňování skupenského tepla tuhnutí. V tomto případě se simulace rozložení teplot liší od skutečného rozložení teplot v konstrukci.

Teplotní setrvačnost

Jelikož není teplota v konstrukci známa, je nutné simulovat teplotní chování konstrukce po určité době tak, aby v poslední fázi numerické simulace bylo rozložení vypočtených teplot blízké skutečnému. Proto byla provedena simulace, při níž je teplota celé konstrukce na počátku $0 \text{ } ^\circ\text{C}$, a hned poté je v okolí průřezu předepsána teplota vzduchu $10 \text{ } ^\circ\text{C}$. Cílem je zjistit, za jak dlouho se minimální teplota uvnitř konstrukce přiblíží $10 \text{ } ^\circ\text{C}$. Graf v obr. 3 znázorňuje závislost minimální teploty v konstrukci na době jejího ohřívání vzduchem o teplotě $10 \text{ } ^\circ\text{C}$.



Obr. 3. Průběh minimální teploty v konstrukci v závislosti na čase

Výpočet byl proveden pro hlavní pilíř opěrného systému a spodní opěrný oblouk. Hlavní, nejmohutnější pilíř, má rozměry 1,1x6,6 m a teplotní setrvačnost cca 300 h. Spodní opěrný oblouk má podstatně menší rozměry a jeho „tloušťka“ je 0,4-0,6 m. Jeho teplotní setrvačnost je cca 50 hodin (obr. 3). V tomto okamžiku jsou minimální teploty uprostřed průřezů okolo $9,75 \text{ } ^\circ\text{C}$, její odchylka od asymptotické hodnoty ($10 \text{ } ^\circ\text{C}$) je menší než 3 %. V ostatních částech průřezů jsou hodnoty vyšší, tudíž průměrná teplota pilíře a oblouku bude vyšší než $9,75 \text{ } ^\circ\text{C}$. Vzhledem ke spolehlivosti vstupních údajů je dosažená přesnost dostačující.

Dvojměrné modely

Nejprve byla provedena simulace zmíněných efektů na dvojměrných modelech, které reprezentují průřez konstrukce nebo její tloušťku. Toto zjednodušení je možné u konstrukcí s konstantním průřezem nebo tloušťkou. U konstrukcí s proměnným průřezem je třeba simulovat vedení tepla na modelu trojrozměrném.

Konstrukci katedrály tvoří zdivo z pískovcových kvádrů, jehož spáry jsou vyplněny maltou. V některých částech opěrného systému jsou spáry na povrchu vyplněny olovem. Z hlediska vedení tepla lze konstrukci považovat za homogenní (byly použity materiálové charakteristiky typické pro pískovec [2]-[4]):

$$\lambda = 5\,040 / 3\,600 = 1,4 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1} \text{ tepelná vodivost}$$

$$\rho = 2\,600 \text{ kg m}^{-3} \text{ objemová hmotnost}$$

$$c = 840 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \text{ měrná tepelná kapacita}$$

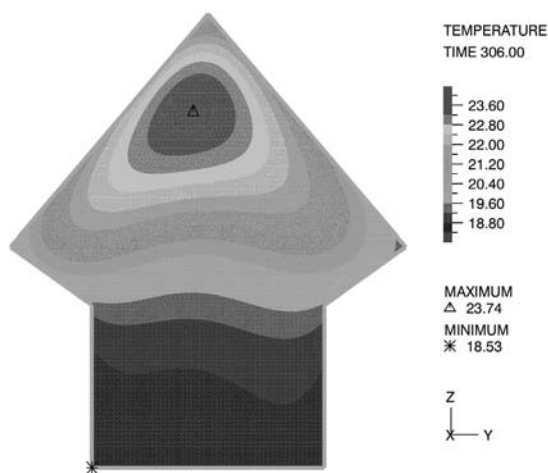
$$k = 81\,000 / 3\,600 = 22,5 \text{ W K}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ součinitel přestupu tepla v exteriéru v zimě}$$

$$k = 54\,000 / 3\,600 = 15 \text{ W K}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ součinitel přestupu tepla v exteriéru v létě}$$

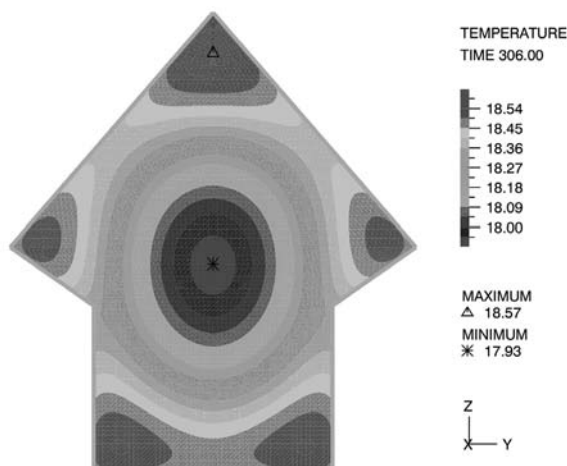
$$k = 24\,000 / 3\,600 = 6,67 \text{ W K}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ součinitel přestupu tepla v interiéru}$$

Rozložení teplot ve spodním opěrném oblouku 2. července 2001, kdy probíhalo měření etapy č. 4 v katedrále sv. Víta, je vidět na obr. 4. Počasí bylo slunečné a na toto roční období chladné. Z obrázků je patrný značný vliv slunečního záření na nárůst a charakter rozložení teplot.

A)



B)



Obr. 4. Rozložení teplot ve střední části spodního opěrného oblouku v době měření etapy č. 4
A – s vlivem slunečního záření, B – pouze s vlivem teploty vzduchu v okolí konstrukce

U spodního opěrného oblouku dopadá přímé sluneční záření pouze na horní povrch, ostatní povrchy jsou zastíněny převislým okrajem nebo na ně dopadají sluneční paprsky pouze po velmi krátkou dobu. Tomu odpovídají nejvyšší teploty v blízkosti horního povrchu.

U hlavního pilíře opěrného systému jsou nejvyšší teploty v blízkosti jižního povrchu. Dále je patrná zóna s vyššími teplotami v blízkosti západního a východního povrchu, směrem k severnímu okraji jsou teploty nižší, protože tato část hlavního pilíře opěrného systému je více zastíněna ostatními konstrukcemi katedrály.

Trojrozměrné modely

Pro přesnější zachycení rozložení teplot v konstrukci spodního opěrného oblouku byl vytvořen trojrozměrný model. Použitá geometrie představuje idealizovaný tvar konstrukce, v modelu nejsou ozdoby opěrných oblouků složitějšího tvaru. Obdobným způsobem byl vytvořen i trojrozměrný model horního opěrného oblouku s přílehlými konstrukcemi.

Vlivem slunečního záření dochází k poměrně výraznému nárůstu teplot v horní části opěrného oblouku. Maximální teplota konstrukce je v době, kdy na konstrukci již nesvítí slunce, 10-15 cm od horního povrchu. Rozdíl mezi nejteplejším a nejchladnějším místem opěrného oblouku, vystaveného během dne slunečnímu záření, je v podvečer cca 10 °C. Ovšem nutno podotknout, že v okamžicích, kdy na konstrukci svítí slunce, jsou teploty povrchu daleko vyšší a v letním období běžně přesahují 40 °C.

Teplota povrchu vybraných částí katedrály

Výsledky získané měření posloužily k následnému porovnání s hodnotami získanými teoreticky.

Dálkový teploměr

Teplota povrchu katedrály se měřila koncem června a začátkem července roku 2006 a také koncem srpna a začátkem září 2007 pyrometrem AMIR 7811-50, s přesností měření ± 2 °C. Byla zjišťována teplota povrchu hlavního pilíře opěrného systému, dolní části spodního opěrného oblouku, vnějšího povrchu sloupu hlavní lodi a povrchu vnitřních částí konstrukce v blízkosti sledovaných bodů. V roce 2007 se navíc měřila teplota povrchu horní části vrchního opěrného oblouku.

Hlavní pilíř opěrného systému se měřil podrobněji. Jeho východní a západní povrch byl rozdělen na šest sektorů, v každém z nich se měřila teplota na několika místech a do tabulky byl zaznamenán interval teplot povrchu v příslušném sektoru. Rozdíl od 0,2 °C do 2 °C může být způsoben různou pohltivostí příslušného povrchu konstrukce a také rozdílnou tepelnou vodivostí materiálu v daném místě. Nejvyšší teploty byly naměřeny na jeho jižním povrchu a dosahovaly až 40 °C.

Uvnitř katedrály se teploty povrchu jednotlivých konstrukcí příliš neliší. Během měření byl rozdíl nejmenší a nejvyšší teploty cca 2 °C. Dále bylo zjištěno, že teplota povrchu je tím vyšší, čím je daný povrch více vzdálen od podlahy katedrály, teploty povrchů u konstrukcí na jižní straně jsou o něco vyšší než teploty povrchů konstrukcí na severní straně katedrály.

Termokamera

Důvodem měření teplot povrchu termovizí Thermacam SC 3000 bylo získání ucelené představy o rozložení teplot na povrchích opěrného systému. Přesnost měření je v intervalu od -20 °C do 150 ± 1 °C nebo ± 1 %. Měření probíhala

13. září 2007, kdy v Praze bylo ráno zataženo, ale během dne se oblačnost protrhala a svítilo slunce. Dvě hodiny bylo snímáno rozložení teplot horní části opěrného systému na jižní straně katedrály.

Porovnání hodnot

Porovnáním vypočtených a naměřených údajů byla provedena kalibrace navrženého modelu teplot. Mezi vstupní údaje, které bylo třeba zjistit, patřil součinitel pohltivosti povrchů konstrukce a výběr nejpřesnějších meteorologických údajů o teplotě vzduchu. Posloužily i pro následné výpočty teplot jiných meteorologických situací (zatěžovacích stavů).

Pro verifikaci byly zvoleny výsledky měření dálkoměrem opěrného pilíře katedrály v roce 2006 a měření horního opěrného oblouku termokamerou v roce 2007. Při měření teplot povrchů hlavního opěrného pilíře dálkoměrem byly zaznamenávány intervaly teplot, které se v dané části povrchu vyskytují. Pro porovnání s numerickým výpočtem byla vzata průměrná teplota. V numerické simulaci byla pro formulaci okrajové podmínky (viz rov. (4)) použita konstantní hodnota součinitele pohltivosti. Jinými slovy, bylo předpokládáno, že pohltivost všech povrchů hlavního pilíře je stejná (byly zkoušeny hodnoty součinitele pohltivosti: 0,58; 0,64; 0,7, blízké tabulkovým hodnotám pro pískovec).

K nejlepší shodě naměřených a vypočtených hodnot došlo u hlavního pilíře opěrného systému na jižní straně katedrály při použití teploty vzduchu z meteorologické stanice Praha-Karlov a součinitele pohltivosti 0,64. Směrodatná odchylka, vypočtená z rozdílu vypočtené a naměřené teploty povrchu, je 1,59 °C, počet porovnávaných údajů je 60. Na severní straně katedrály je nejlepší shody dosaženo při teplotě vzduchu z meteorologické stanice Praha-Ruzyně. Směrodatná odchylka, vypočtená z rozdílu teploty povrchu vypočtené a naměřené, je 1,17 °C, porovnávaných údajů je 32.

Snímání povrchu termovizí probíhalo 13. září 2007. Z celého snímku byly vybrány dva body, ležící na horním povrchu horního opěrného oblouku, a v nich odečteny teploty povrchu. Získané údaje byly porovnány s výsledky teoretické simulace (obr. 5).

K dobré shodě mezi vypočtenými a naměřenými hodnotami došlo, při stejných podmínkách jako v předešlém případě při součiniteli pohltivosti 0,64 a teplotě z hydrometeorologické stanice Praha-Karlov. Z grafu na obr. 5 vyplývá, že maximální odchylka mezi vypočtenými a naměřenými teplotami je menší než 2 °C.

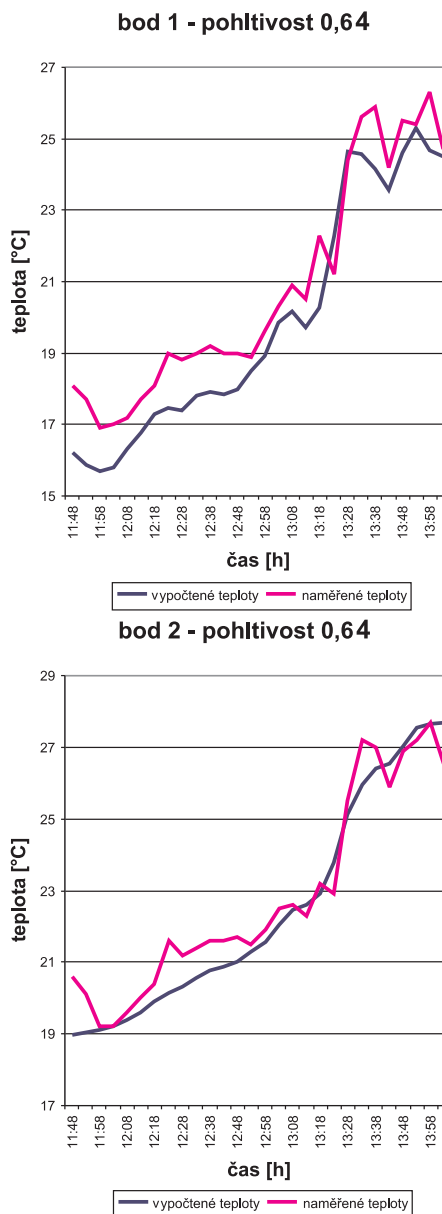
Z dosažených výsledků vyplývá realističnost provedené simulace teplot. Ovšem nutno podotknout, že tento závěr platí pouze pro sledované období (červen a červenec 2006, září 2007), tedy když je v Praze slunečné počasí nebo oblačno až polojasno beze srážek. Za jiných podmínek toto ověření dosud nebylo provedeno [5].

Statický model pole staré části katedrály

Důvodem vytvoření numerického statického modelu katedrály byla snaha o lepší porozumění chování celé konstrukce (případně její ucelené části) vlivem teplotních změn. Model byl použit pro výpočet deformací katedrály, které byly následně porovnány s hodnotami získanými geodetiky. Účelem bylo zjistit, zda jsou naměřené deformace způsobeny cyklickými teplotními změnami, nebo jinými vlivy.

Numerický model

Numerický model, vytvořený programem Feat, zahrnuje jedno pole konstrukce (obr. 6). Klenby byly aproximovány



Obr. 5. Porovnání vypočtené a naměřené teploty povrchu (13.9.2007)

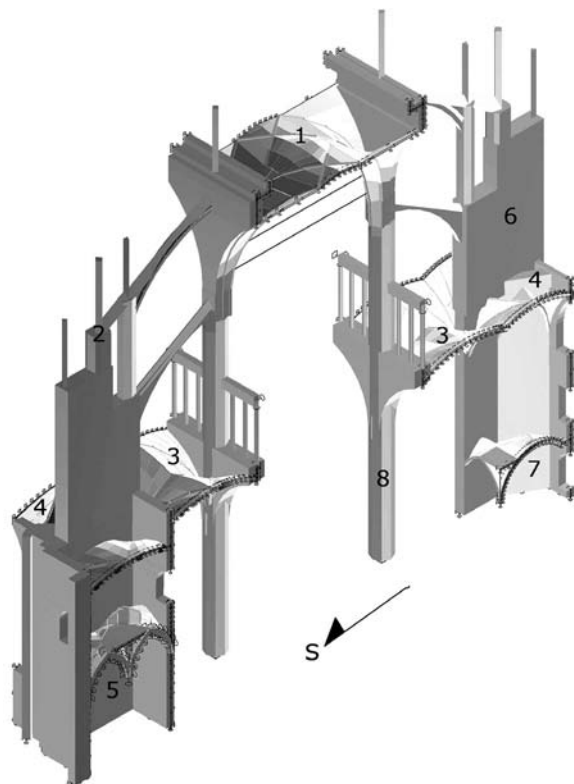
6-12 rovinnými plochami, žebra byla aproximována 6-12 přímnými pruty. Žebra jsou dle skutečnosti tuze spojena po celé délce s plochou klenby.

V místech uložení konstrukce do základů jsou sloupy a stěny podepřeny vetknutím. V oblasti, kde končí numerický model a reálná konstrukce zde pokračuje (na rovinách symetrie), je v modelu fixován posun ve směru osy x a rotace kolem os y a z . Krovy hlavní lodi, krovy ochozů a kaplí nejsou součástí statického modelu.

Konstrukce katedrály je z pískovcových kvádrů. K výpočtu deformací byly použity materiálové charakteristiky typické pro kamenné zdivo. V numerickém výpočtu byl použit fyzikálně lineární materiálový model, v němž $E = 18 \text{ GPa}$ je modul pružnosti, $\nu = 0,15$ Poissonův součinitel, $\alpha = 0,000\,008\,5$ součinitel délkové teplotní roztažnosti zdiva.

Výpočet deformací sloupů hlavní lodi

Cílem bylo ověřit, zda změny vodorovných posunů sloupů, získaných geodetickým měřením v různých časových



Obr. 6. Numerický model staré části katedrály sv. Víta
1 – klenba hlavní lodi, 2 – opěrný systém, 3 – klenba ochozu,
4 – klenba kaple, 5 – stará sakristie, 6 – opěrný systém,
7 – královská oratoř

etapách, jsou způsobeny teplotou. Do statického modelu vstupuje zatížení od nerovnoměrného rozložení teploty po konstrukci, které bylo uvažováno podle následujících variant:

1. Získání průměrných teplot konstrukce z jejího povrchu. Při této hypotéze byly k dispozici pouze údaje o teplotě povrchu uvnitř katedrály a údaj o teplotě vnějšího povrchu katedrály. Všechny konstrukce uvnitř byly zatíženy stejným teplotním gradientem, vypočteným z rozdílu teplot. Obdobným způsobem byly zatíženy konstrukce katedrály v exteriéru, jen pro výpočet rozdílu byla použita teplota vnějšího povrchu. Konstrukce na rozhraní exteriéru a interiéru byly zatíženy teplotním gradientem, který měl určitý "spád" (na vnějším povrchu byl jiný rozdíl teplot než na vnitřním povrchu).

2. Předpokladem bylo, že se průměrná teplota konstrukcí v exteriéru blíží průměrné teplotě vzduchu za týden, který předcházel měření deformací. Předpoklad o teplotě konstrukce v interiéru zůstal stejný jako u předchozí varianty.

3. Rozdíly teplot byly získány analýzou se simulací přestupu tepla mezi konstrukcí a vzduchem, vliv slunečního záření nebyl uvažován. Vstupními údaji byla teploty vzduchu na meteorologických stanicích a teplota uvnitř katedrály. Výpočet teplotních polí uvnitř konstrukce byl již popsán. Z těchto teplotních polí, vypočtených v programu Adina, byla získána průměrná teplota jednotlivých částí konstrukce a z nich pak teplotní rozdíly, kterými byl zatížen numerický model katedrály v programu Feat [6].

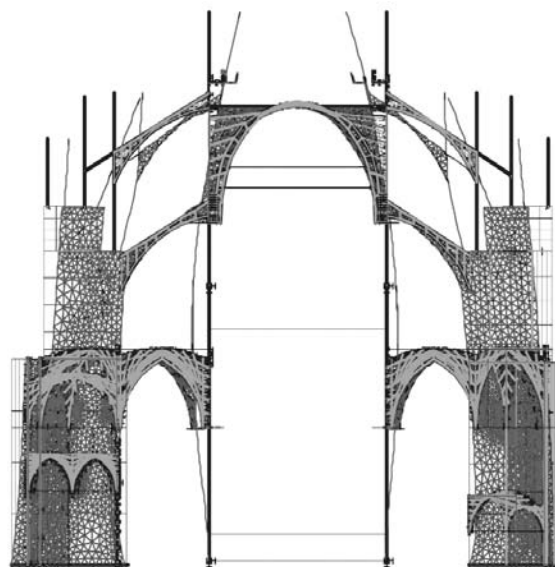
4. Jde o stejnou variantu jako předchozí, rozšířenou o vliv slunečního záření.

Porovnání naměřených deformací s vypočtenými

Poloha monitorovacích bodů je zřejmá z obr. 1. Mezi body 3 a 1 a body 4 a 2 jsou měřena vodorovná a svislá posunutí. Bylo zpracováno prvních pět měření. První měření proběhlo v roce 2000, všechna další jsou k němu výsledkově vztahena. Výpočetně šlo o čtyři zatěžovací stavy v každé teplotní variantě. Rozdíly měření a výpočtů zatěžovacích stavů pak byly statisticky zpracovány zvlášť pro jednotlivé varianty. Směrodatné odchylky rozdílů měření a výpočtů jsou v tab. 1, v níž jsou všechny teplotní varianty porovnány. Pro úplnost – měřením byl zjištěn vodorovný posun 1 mm, svislý posun 2 mm.

Tab. 1. Směrodatné odchylky rozdílů posunů výsledků výpočtů a měření

Teplotní varianty zatížení modelu	Směrodatná odchylka [mm]			
	vodorovná posunutí		svislá posunutí	
	sever	jih	sever	jih
1	0,293	0,161	0,289	0,239
2	0,269	0,109	0,299	0,255
3	0,194	0,167	0,279	0,189
4	0,165	0,177	0,283	0,189



Obr. 7. Vodorovná posunutí – numerický model ve staré části katedrály

Nejlépeších výsledků bylo dosaženo u poslední varianty zatížení numerického modelu. Hodnoty směrodatné odchylky u vodorovných posunutí jsou na obou stranách katedrály přibližně stejné. Před zahrnutím vlivu slunečního záření do analýzy se předpokládalo, že ovlivňuje deformace zejména na jižní straně. Po zahrnutí tohoto vlivu se snížila směrodatná odchylka více na severní straně katedrály. Dá se tedy předpokládat, že se katedrála deformuje ve vodorovném směru jako kompaktní celek a deformace konstrukce na jižní straně ovlivní vodorovná posunutí na severní straně.

Závěr

Výsledky výpočtů ukázaly, že pro zjištění rozložení teplotního pole vnějších částí konstrukce katedrály je nutné zahrnout vliv slunečního záření i s vlivem stínění ostatních částí konstrukce.

Nejpřesnějších výsledků teoretické analýzy bylo dosaženo u varianty, která zahrnovala výpočet teplot s vlivem slunečního záření. Prokázala, že deformace jsou cyklické a jsou způsobeny zejména změnami teploty konstrukce. Na katedrále nebyl zaznamenán detekovatelný degradační proces, kromě zmíněného cyklického namáhání.

Pískovcové zdivo je pórovitý materiál, který obsahuje určité množství vody, závisející na okolních proměnných podmínkách. Z tohoto důvodu může být rozdíl mezi vypočtenými a naměřenými posuny zčásti způsoben i délkovou vlhkostní roztažností.

Porovnáním vypočtených teplot povrchu konstrukce s naměřenými byla ověřena reálnost navrženého postupu teplotní analýzy konstrukce katedrály a možnost teoreticky simulovat deformace způsobené délkovou teplotní roztažností. Teplotně mechanická analýza vyžaduje ověření (kalibraci) ve dvou fázích. První z nich je ověření reálnosti výpočtu měřením skutečných teplot povrchu konstrukce, druhou ověření chování statického modelu měřením deformací počítané konstrukce.

Článek vznikl za podpory projektu č. 103/07/1522 GA ČR "Stabilita historických budov a monumentů", a výzkumného záměru MŠMT "Rozvoj algoritmů počíta-

čových simulací a jejich aplikace v inženýrství" a institucionálního výzkumného plánu AV0Z20710524.

Literatura

- [1] Procházka, J. – Vobořilová, P.: Měření posunů a přetvoření historických staveb geodetickými metodami. *Stavební obzor*, 8, 2003, s. 232-238. /ISSN 1210-4027/
- [2] Hens, H.: *Building Physics – Heat, Air and Moisture*. Berlin, Ernst & Sohn Verlag 2007. / ISBN 978-3-433-01841-5/
- [3] Sýkora, J. – Vorel, J. – Krejčí, T. – Šejnoha, M. – Šejnoha, J.: *Analysis of Coupled Heat and Moisture Transfer in Masonry Structures*. Submitted for Publication in *Materials & Structures*, 2007.
- [4] Databáze programu Teplo 2005 – Svoboda Software.
- [5] Beran, P. – Máca, J.: On the Influence of Sun Radiation to the Deformation of St. Vitus' Cathedral. [Proceeding], Eleventh International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing [CD-ROM], Stirling: Civil-Comp Press Ltd, 2007. /ISBN 978-1-905088-16-4/
- [6] Beran, P. – Máca, J.: The Influence of Temperature on the Deformation of Columns in the Nave of Saint Vitus Cathedral at the Prague Castle. *Journal of Building Appraisal* 2007, Vol. 2, No. 4, pp. 313-322. /ISSN 1742-8262/
- [7] Fajman, P. – Kott, J.: Teplotní zatížení opěrného systému chrámu sv. Barbory v Kutné Hoře. [Sborník], 5th International Conference on New Trends in Statics and Dynamics of Buildings, Bratislava, 2006, s. 5-9. /ISBN 80-227-2479-3/
- [8] Fajman, P. – Kott, J.: Temperature Loading and Structural Defects of Gothic Cathedral. [Proceeding], the Third International Conference on Structural Engineering, Mechanics and Computation, Cape Town, South Africa, 2007, pp. 725-726

Beran, P. at al.: *Impact of Temperature on Deformations of Columns of St. Vitus Cathedral*

This paper deals with modelling of the load bearing structure of St Vitus Cathedral. The impact of thermal expansion on the stresses and deformations of the structure was analyzed. It was necessary to compute the real distribution of temperatures in the structure to get to know the real behaviour of the structure. The temperature analysis included simulation of the solar radiation and the impact of the air temperature around the structure. The temperature was measured in situ and computed numerically, consequently the results were compared.

Beran, P. u. a.: *Der Einfluss der Temperatur auf die Verformungen der Säulen des Hauptschiffs des St. Veits - Doms*

Der Beitrag befasst sich mit der Modellierung der Tragkonstruktion des St. Veits – Doms. Es wird der Einfluss der Längswärmedehnung auf den Spannungszustand und die Verformung der Konstruktion analysiert. Zur Erfassung des realen Verhaltens der Konstruktion war es notwendig, die tatsächliche Temperaturverteilung in der Konstruktion festzustellen, die von der Sonnenstrahlung und der Schwankung der Lufttemperatur in der nahen Umgebung beeinflusst wird. Die Temperatur wurde in situ gemessen und gleichzeitig numerisch errechnet. Die Ergebnisse waren dann in guter Übereinstimmung.

DNY OTEVŘENÝCH DVEŘÍ

na Fakultě stavební ČVUT v Praze

pro zájemce o studium a širokou veřejnost

28. listopadu 2009 a 29. ledna 2010

- ▶▶ prezentace studijních programů a oborů
- ▶▶ exkurze do vybraných laboratoří a učeben
- ▶▶ soutěž středoškoláků Hala roku JUNIOR 2010
- ▶▶ fotografická soutěž Tvýma Očima 2009

www.fsv.cvut.cz/pr

Dynamická a akustická analýza pružného upevnění kolejnic bez podkladnic

prof. Ing. Jaroslav SMUTNÝ, Ph.D.

Ing. Vladimír TOMANDL

prof. Ing. Luboš PAZDERA, CSc.

VUT – Fakulta stavební
Brno

Příspěvek je věnován měření, analýze a porovnání dynamických a akustických parametrů pružných bezpodkladnicových upevnění kolejnic, standardně užívaných v běžné koleji na hlavních železničních tazích SŽDC. Měření byla prováděna in situ dle speciálně vytvořené metodiky s využitím vhodného matematického aparátu pro hodnocení naměřených parametrů. Dalším cílem prací bylo získat výsledky vhodné pro zpřesňování výpočetních modelů komponentů železničního svršku.

Úvod

Se zvyšující se životní úrovní obyvatel dochází ke vzniku řady negativních průvodních jevů souvisejících s činností lidstva. Jedním z nich je i vznik nadměrného hluku a vibrací od neustále sílící dopravy. Kolejové dopravní prostředky patří k významnému činiteli hluku a vibrací, který není v zásadě vázaný na pevné místo. Nepříznivý vliv železniční dopravy je nejvíce hmatatelný v blízkosti hlavních železničních tahů, kde velikost a způsob zatížení vibračními a akustickými jevy přímo závisí na rychlosti, druhu, počtu a způsobu jízdy (akcelerace, decelerace) vlaků, směrovém a výškovém uspořádání tratí, přílehlých terénních podmínkách a v neposlední řadě na konstrukci, stavu a údržbě železničního svršku, spodku a kolejových vozidel.

Všeobecná tendence zvyšování celkové tuhosti konstrukce železničního svršku (betonové pražce, pevná jízdní dráha apod.) je na jedné straně nutnou podmínkou provozování koridorových a ostatních hlavních tratí Správy železniční dopravní cesty (SŽDC) rychlostmi 160 km h⁻¹ a více, na druhé straně však také zdrojem zvýšených dynamických interakčních sil kolo/kolejnice, které při nezajištění optimálních pružných a tlumících vazeb mezi kolejnicí a pražcem nepříznivě ovlivňují nejen kolejové vozidlo, ale též konstrukci železničního svršku a spodku, geometrické parametry koleje a z toho vyplývající vysoké náklady na údržbu. Právě vibrace vzniklé na kontaktu kola a kolejnice zachycuje a tlumí primární vypružení, jež představuje konstrukce upevnění kolejnice/pružné podložky a svěrky (spony). Sekundární vypružení je v konstrukci tratě zastoupeno kolejovým ložem – zachycuje a tlumí zejména nižší frekvence. Na základě těchto skutečností se jeví jako velice významná aplikace odpovídajícího systému pružného upevnění.

Konstrukce pružného upevnění kolejnic

Jednou z podmínek zajištění technického propojení evropského železničního systému, jak je definována ve směrnici Evropského parlamentu a Rady č. 2001/16/ES, o interoperabilitě transevropského konvenčního železničního

systému ve znění pozdějších předpisů, je dosažení potřebné únosnosti železničního svršku. Tato únosnost je dle základní myšlenky interoperability zajištěna vhodným konstrukčním uspořádáním železničního svršku. Interní dokumenty SŽDC [1] a [2] stanovují možné typy pružných upevnění použitelných na optimalizovaných, modernizovaných či rekonstruovaných úsecích vybrané sítě SŽDC a u novostaveb. Jako pružné definujeme upevnění, při němž je pata kolejnice trvale přitlačována pružným prvkem, a to i pod zatížením při průjezdu vlaku. Tímto pružným prvkem může být hřeb, svěrka nebo spona, ať už z kruhové, nebo ploché oceli různých tvarů, s různým způsobem uchycení a předepnutí.

Schopnost tlumit dynamické účinky projíždějící vlakové soupravy zastává v konstrukci pružného kolejnicového upevnění především pryžová podložka umístěná pod patu kolejnice, popř. penefolová nebo polyetylenová, umístěná pod podkladnici. Zásadní charakteristikou těchto pryžových podložek je bezesporu jejich statická a dynamická tuhost.

Statická tuhost upevnění (pérová konstanta) k [N m⁻¹] je přímo definována jako poměr mezi zatížením F a poklesem kolejnice vůči podkladu z , jež jsou funkcí času t podle vztahu

$$k = \frac{F(t)}{z(t)} \quad (1)$$

Je ovšem známo, že celý systém od železničního svršku až po podložku vykazuje nelineární chování a významný vliv na správné stanovení tuhosti má rovněž kontakt mezi pražcem a kolejovým ložem. V těchto případech je určení statické tuhosti výrazně složitější a do popředí zájmu se tak dostává dynamická tuhost, na jejímž základě lze určit, jak mechanický systém deformačně reaguje na časově proměnný průběh vstupujícího silového působení. Dynamická tuhost je definována jako absolutní hodnota komplexní mechanické impedance $Z_M(\omega)$ [Ns m⁻³], kterou lze ve Fourierově transformaci definovat jako

$$Z_M(\omega) = R_M(\omega) + i \cdot X_M(\omega), \quad (2)$$

kde je ω úhlová rychlost [rad s⁻¹], R_M reálná část impedance [Ns m⁻³] a X_M imaginární část impedance [Ns m⁻³]. Vyjádřením absolutní hodnoty z rovnice (2) tak dostáváme vztah pro dynamickou tuhost upevnění [Ns m⁻³]

$$|Z_M(\omega)| = \sqrt{R_M^2 + X_M^2} \quad (3)$$

Postup pro praktické zjišťování a hodnocení statické a dynamické tuhosti pružného upevnění kolejnic je uveden v Obecných technických podmínkách ČD pro upevnění kolejnic, resp. pro jeho dílčí prvky (pružné svěrky a spony, pružné podložky), viz např. [11].

Měkké podložky mohou poměrně významně snížit veli-

kost vybuzených vibrací, šířících se z kolejnicových pásů přes upevnění do pražců a pražcového podloží. Tím je zajištěna ochrana šterkového lože před nadměrnými vibracemi, jež by mohly vést k degradaci geometrických parametrů koleje, popř. pražcového podloží. V literatuře se uvádí průměrné zeslabení vibrací kolem 5 dB, mírně se zvyšující v oblasti kolem 20 Hz až na 10 dB [3]. Také je však nutné podotknout, že příliš měkké podložky mají za následek vyšší hladinu venkovního hluku a hluku šířícího se zemí (vibrace v pásmu 30 ÷ 200 Hz, které způsobují zpětně vyzářený hluk v budovách).

Tlumení způsobuje přeměnu mechanické energie při vibracích struktury na jiné formy energií, především na teplo. Tento děj je nevratný. Strukturální tlumení dosahuje nejvýraznějšího efektu při rezonanci systému nebo v jeho blízkém okolí. Při buzení se budící silou dodává do konstrukce energie, čímž narůstá amplituda kmitavého pohybu až na hodnotu, při které dochází k rovnováze mezi energií dodávanou a energií disipovanou (ztracenou). Útlum chvění D [-] v konstrukci upevnění kolejnic je vyjádřen základním vztahem

$$D = 10 \log \frac{(Z_{M1} + Z_{M2})^2}{4 \cdot Z_{M1} \cdot Z_{M2}} \quad (4)$$

Z uvedeného vyplývá, že čím větší bude rozdíl mechanických impedancí Z_{M1} a Z_{M2} v určitém místě konstrukce upevnění (přechod mezi kolejnicí a podložkou, resp. mezi podložkou a pražcem), tím dojde k většímu útlumu chvění. Naopak, při rovnosti impedancí $Z_{M1} = Z_{M2}$ bude útlum nulový.

Vibrace od kolejové dopravy

Každý dynamický účinek, vyvolaný průjezdem vlakové soupravy, se elasticky lineárním prostředím konstrukce železničního svršku šíří jako postupná vlna, vzniklá superpozicí množiny sinusových vln. Každý pohyb prvku lze popsat pohybovými rovnicemi, které mají v kartézské (pravoúhlé) soustavě souřadnic tvar:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} &= c_1^2 \frac{\partial \Delta}{\partial x} - 2c_2^2 \left(\frac{\partial \omega_z}{\partial y} - \frac{\partial \omega_y}{\partial z} \right), \\ \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} &= c_1^2 \frac{\partial \Delta}{\partial y} - 2c_2^2 \left(\frac{\partial \omega_x}{\partial z} - \frac{\partial \omega_z}{\partial x} \right), \\ \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} &= c_1^2 \frac{\partial \Delta}{\partial z} - 2c_2^2 \left(\frac{\partial \omega_y}{\partial x} - \frac{\partial \omega_x}{\partial y} \right), \end{aligned} \quad (5)$$

kde u, v, w jsou složky vektoru posuvu s , Δ je kubická dilatace a $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ jsou složky rotace.

Vnitřní strukturou materiálu pružných svěrek, popř. spon kolejnicového upevnění, se vlivem dynamických účinků na styku kola a kolejnice přenášejí přes patu kolejnice rovinné vlny, a to buď příčné (ekvivolumetrické), nebo podélné (dilatační, nerotační).

Vektor posuvu s příčné vlny stojí kolmo k vlnové normále a její rychlost šíření c_2 [m s⁻¹] je vyjádřena vztahem

$$c = c_2 = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \text{ dvojnásobný kořen.} \quad (6)$$

Směr vektoru posuvu s vlny dilatační se shoduje se směrem vlnové normály. Rychlost šíření podélné vlny c_1 [m s⁻¹]

lze definovat rovnicí

$$c = c_1 = \sqrt{\frac{\lambda + 2G}{\rho}}, \quad (7)$$

kde λ a G jsou Laméovy konstanty.

Tyto zmiňované rychlosti vlnění nejsou vzhledem k relativní izotropii materiálu svěrek a spon závislé na směru postupu vlny. Ve skutečnosti však bude rychlost šíření podélné vlny c_0 kolejnicovým upevněním o něco menší. Je to dáno větší tuhostí neomezeného prostředí, z něhož jsou výše uvedené vztahy odvozeny, proti skutečné struktuře přítlačných prvků pružného upevnění.

Povrchovými strukturami prvků upevnění kolejnic se účinky od dynamického namáhání trati přenášejí v podobě Rayleighových vln. Jejich amplituda klesá exponenciálně s hloubkou pod povrchem. Tyto vlny vyvolávají ve struktuře materiálu pružných svěrek, resp. spon, rovinné přetvoření. Jejich amplituda leží v rovině dané směrem postupu vlny a normálou k povrchu upevnění. Posuvy prvků kolmé k této rovině amplitud jsou nulové. Rychlost Rayleighových vln c_R [m s⁻¹] je pak dána vztahem

$$\left(\frac{c_R^2}{c_2^2} \right)^3 - 8 \left(\frac{c_R^2}{c_2^2} \right)^2 + \frac{8(2-\mu)}{1-\mu} \left(\frac{c_R^2}{c_2^2} \right) - \left(\frac{8}{1-\mu} \right) = 0. \quad (8)$$

Rychlost Rayleighových vln není závislá na vlnové délce. Poměr rychlostí c_R / c_2 je funkcí pouze Poissonova čísla μ . Rayleighovy vlny lze interpretovat jako pohyb myšleného bodu po elipse, která se pohybuje stálou rychlostí c_R rovnoběžně s povrchem. Poměr poloos této elipsy se mění s hloubkou z pod povrchem. Tím se mění také smysl oběhu myšleného bodu. Vodorovné posuvy prvků velmi rychle klesají s rostoucí hloubkou pod povrchem – Rayleighovy vlny tak mají charakter povrchových vln. Vlny vysokých frekvencí – malých vlnových délek – ztrácejí amplitudu posuvů rychleji v závislosti na hloubce z , z čehož plyne, že u takových vln se energie jimi nesená transportuje v tenké zóně u povrchu pružných svěrek (spon) upevnění kolejnic – skin efekt.

Popis experimentu

Na hlavních tratích v České republice se v běžné koleji a v hlavních staničních kolejích mimo výhybky můžeme v souladu s [1] nejčastěji setkat se dvěma typy pružných bezpodkladnicových systémů upevnění kolejnice k podporám – upevněním Vossloh W 14 a upevněním Pandrol FC. Tyto systémy proto byly podrobeny důkladné vibrodiagnostické analýze, při níž zkoušené upevnění Pandrol nezajišťovalo druhotnou tuhost (FC I).



Obr. 1. Osazení kolejového roštu snímači in situ – upevnění Pandrol FC I

Měření v terénu bylo absolvováno ve čtyřech měřicích kampaních v lokalitách:

- Hranice na Moravě, upevnění Vossloh,
- Hranice na Moravě, upevnění Pandrol,
- Bílovice nad Svitavou, upevnění Pandrol,
- Bílovice nad Svitavou, upevnění Vossloh.

Vyčerpávající informace jsou uvedeny v [6]. Pro potřeby tohoto příspěvku vybíráme k podrobnější analýze pouze záznamy průjezdu vybraných referenčních vlaků (srovnatelná rychlost jízdy, hnací jednotka stejné řady, stejný počet vozů apod.) kategorie SC, EC, R a Os z lokality Bílovice nad Svitavou.

Měřicí stanoviště leží v přímém úseku dvojkolejně trati č. 260 v km 166,140 mezi zastávkami Bílovice nad Svitavou a Babice nad Svitavou. Trať je zde vedena skalním odřezem údolí řeky Svitavy, sklonově trať stoupá 3,65 ‰ ve směru na Babice nad Svitavou. Umělé stavby jsou od tohoto staničení natolik vzdáleny, že měření nemohly ovlivnit. Zájmový úsek trati 1. TŽK, který v současnosti slouží pro potřeby SŽDC jako zkušební, počal být budován v březnu 1996. Práce byly ukončeny v červnu 1998. Na trati je zaveden pravostranný provoz. Měření dynamicko-akustických parametrů upevnění Pandrol bylo uskutečněno v koleji č. 2 dne 10. 8. 2007, při oblačném počasí s teplotou vzduchu 20-22 °C. Zaznamenávány byly pouze soupravy jedoucí ve směru Brno – Česká Třebová. O den později, tj. 11. 8. 2007, proběhlo měření v koleji č. 1 s upevněním Vossloh. Panovalo oblačné počasí v závěru měření s mírnými přeháňkami, teplota vzduchu dosahovala 18-20 °C. Tentokrát byly zaznamenávány výhradně vlaky jedoucí směrem od České Třebové do Brna. Charakteristiky vyhodnocovaných vlaků jsou přehledně uvedeny v tab. 1.

Tab. 1. Výpis vlaků a jejich charakteristika

Pandrol FC I				
čas	kategorie vlaku	hnací vozidlo	počet vozů	rychlost [km h ⁻¹]
15:46	Os 4750	560	5	66
15:58	R 1972	363	4	69
17:00	R 974	363	5	70
17:17	SC 74	680	7	90
18:05	EC 278	350	9	71
Vossloh W 14				
čas	kategorie vlaku	hnací vozidlo	počet vozů	rychlost [km h ⁻¹]
9:08	R 873	363	6	69
9:49	Os 4711	560	5	64
10:15	EC 279	350	9	70
10:45	SC 73	680	7	90
11:11	R 973	363	5	69

Výběr a umístění snímačů

V rámci každé měřicí kampaně byl kolejový rošt osazen osmi jednoosými a jedním tříosým snímačem zrychlení vibrací. Sestavu snímačů zrychlení pak doplnil mikrofon pro

snímání akustického tlaku. Umístění jednotlivých snímačů v kolejovém roštu je patrné z tab. 2. Toto uspořádání vychází z teoretických předpokladů popsaných v dalším textu. Citlivost a pracovní rozsah snímačů byly vybrány s přihlédnutím k výsledkům měření obdobného charakteru [7]. Snímače zrychlení vibrací a akustického tlaku byly před použitím v trati ověřeny kalibrátory. Rychlost vlakových souprav byla získána měřením laserovým rychloměrem Buschnell 10-1900.

Tab. 2. Tabulka použitých typů snímačů a jejich umístění v konstrukci železničního svršku

Kód kanálu	Umístění snímače
M	mikrofon ve vzdálenosti 185 cm od osy koleje ve výšce 8 cm nad úložnou plochou pražce; v ose mezipražcového prostoru
AZP1	na hlavě prvního pražce (z hlediska projíždějícího vlaku); v ose pražce ve vzdálenosti 18,5 cm od stěny stojiny kolejnice na straně přilehlé k ose os dvojkolejně tratě
AZP2	na hlavě prvního pražce (z hlediska projíždějícího vlaku); v ose pražce ve vzdálenosti 18,5 cm od stěny stojiny kolejnice na straně odvrácené od osy os dvojkolejně tratě
AZP3	na hlavě druhého pražce (z hlediska projíždějícího vlaku); v ose pražce ve vzdálenosti 18,5 cm od stěny stojiny kolejnice na straně odvrácené od osy os dvojkolejně tratě
AZK1	na patě kolejnice; v ose prvního pražce ve vzdálenosti 3 cm od stěny stojiny kolejnice na straně přilehlé k ose os dvojkolejně tratě
AZK2	na patě kolejnice; v ose prvního pražce ve vzdálenosti 3 cm od stěny stojiny kolejnice na straně odvrácené od osy os dvojkolejně tratě
AZK3	na patě kolejnice; v ose druhého pražce ve vzdálenosti 3 cm od stěny stojiny kolejnice na straně odvrácené od osy os dvojkolejně tratě
AXK4	na vnější hraně paty kolejnice; v ose mezipražcového prostoru na straně přilehlé k ose os dvojkolejně tratě
AXK5	na vnější hraně paty kolejnice; v ose mezipražcového prostoru na straně odvrácené od osy os dvojkolejně tratě
AXS	na podkladní litinové polokouli umístěné ve šterkovém loži v průsečíku osy koleje a osy mezipražcového prostoru

Akcelerometry vertikálních vibrací, umístěné těsně před uzlem upevnění AZK2 (na patu kolejnice) a těsně za uzlem upevnění AZP2 (na pražec), jsou situovány v souladu s měřeními v laboratorních podmínkách [8]. Tendence přiblížit se co možná nejtěsněji uzlu upevnění (v závislosti na uspořádání upevnění) je dána snahou o co nejobektivnější zachycení tlumicích vlastností tohoto uzlu, přičemž bude minimalizován vliv prostředí mimo upevnění, kterým se vibrace vybuze železniční dopravou šíří. Analyzována byla pouze část konstrukce upevnění kolejnic, umístěná vně rozchodu koleje (na hlavě pražce). Rozhodla tak skutečnost, že v tomto místě je pražec namáhán přibližně stejným ohybovým momentem od svislého zatížení, ať už jde o případ, kdy je pražec podepřený na ložných plochách pod kolejnicemi pouze v části své délky, anebo o případ, kdy je pražec podepřen po celé délce. Tím se do určité míry eliminuje vliv kvality podbití šterkového lože v oblasti hodnocených pražců. První případ je typický zejména pro čerstvě podbitou kolej, druhý pak pro kolej za provozu.

Snímače AZK1, resp. AZP1, byly stejným způsobem umístěny také k uzlu upevnění druhého kolejnicového pásu. Důvodem byla předpokládaná odlišnost namáhání kolejnicového pásu přilehlého k ose os dvoukolejně trati a pásu od této osy odvráceného. Ve směrových obloucích je tento jev způsoben především nedostatkem, resp. přebytkem, převýšení pro vlakové soupravy jedoucí různou rychlostí, kdy okolek dvojkolí soupravy s nedostatkem převýšení se opírá o vnější (převýšenou) pojezděnou hranu hlavy kolejnice, čímž na tento kolejnicový pás působí příčná vodící síla. U souprav s přebytkem převýšení je princip opačný – okolek dvojkolí tlačí na vnitřní (nepřevýšený) kolejnicový pás, čímž působící příčná síla získá opačné znaménko. V případě koleje v přímé, kdy vlaková souprava vykonává sinusový pohyb, se do popředí problematiky rozdílně dynamicky zatížených kolejnicových pásů dostávají zejména různé imperfekce na jízdnicích plochách kol a hlav kolejnic.

Ze snahy vysledovat rozptyl v hodnotách velikosti přítláčné síly pružných svěrek a spon v jednotlivých uzlech upevnění, byly akcelerometry AZK3, resp. AZP3, osazeny také následující pražec a pata kolejnice ve směru jízdy vlaku. Zmíněný rozptyl může výrazně ovlivnit velikost a rovnoměrnost odporu proti podélnému posunu kolejnice v upevnění po délce kolejnicového pásu, a nepříznivě tak působit na namáhání a na funkci prvků konstrukce koleje.

Snímač zrychlení příčných vibrací AXK5, kolmých na osu koleje, byl umístěn na vnější hranu paty vzdálenějšího kolejnicového pásu (vzhledem k ose os dvojkolejně tratě) tak, aby ležel v ose mezipražcového prostoru. Tato poloha zajišťuje stejnou vzdálenost od obou měřených uzlů upevnění kolejnicového pásu. Mimo to je tato pozice, budeme-li vycházet ze standardního modelu kolejnicového pásu jako spojitého nosníku na diskretních pružných podporách [9], z hlediska dynamického zatížení pohybující se horizontální silou, velice zajímavá. Z výše uváděných příčin nestejněho zatížení přilehlého a odvráceného kolejnicového pásu byl jeden snímač příčných zrychlení vibrací AXK4 obdobným způsobem umístěn také na protilehlý kolejnicový pás.

Vibrace šířící se šterkovým ložem dále do konstrukčních vrstev tratě jsou z hlediska stability stavební konstrukce klíčové. Jde o vibrace převážně nízkých frekvencí. Úkolem optimálně navrženého upevnění kolejnic je mimo jiné tyto vibrace co nejvíce eliminovat, což má pozitivní vliv na zachování navržených GPK. Tato skutečnost vedla k rozhodnutí umístit snímač zrychlení vibrací (AXS, AYS, AZS) také do kolejového lože. Byl situován do průsečíku osy koleje s osou mezipražcového prostoru. Stejně vzdálen od všech měřených uzlů upevnění tak reflektoval dynamické chování celého kolejového roštu s konkrétním typem upevnění. K fixaci trojsového snímače ve šterkovém loži posloužil speciální přípravek ve tvaru polokoule. Měřicí polokoule o průměru 12 cm byla vyrobena ze šedé litiny a její hmotnost přesahuje 4 kg. Její výhodou je, že ji zrna šterku kolejového lože obklopují ze všech stran, čímž se proti klasicky užívaným deskám či trnům zvětší plocha umožňující přenos vibrací, a měření se tak stává objektivnější.

Vzhledem k tomu, že další důležitou vlastností upevnění je útlum hluku, na měřicím stanovišti byl aplikován také snímač akustického tlaku M. Účelům měření posloužil mikrofon pro volné pole. Správné fungování takového mikrofonu vyžaduje, aby snímané zvukové vlny dopadaly pokud možno pod nulovým úhlem. Výškově byl proto umístěn co nejbližší k úrovni upevnění – do těžiště kolejnicového pásu. Půdorysně byl situován co nejbližší k měřenému zdroji (pásové kolejnici), a to do osy mezipražcového prostoru. Z hlediska dostupnosti byl umístěn pouze na straně drážní stezky na speciálně uspořádaný trojnohý stativ (obr. 2).



Obr. 2. Upevnění mikrofonu do trojnohého stativu – Vossloh W 14

Měřicí řetězec

Měřená data byla zaznamenána a uchována k pozdějšímu vyhodnocení integrovanou počítačovou sestavou DEWE 2502 od firmy Dewetron. V lokalitě u Bílovic nad Svitavou bylo měřeno zrychlení vibrací na jedenácti kanálech. Dvanáctý kanál byl využit pro záznam akustického tlaku.

Vyhodnocení dat

Po rozboru problematiky, kontrolních měřeních v laboratoři i terénu a výpočtech byly použity k analýze naměřených dat následující metody a parametry:

- časové zobrazení průběhu zrychlení kmitání, dále extrémní zrychlení kmitání a efektivní hodnoty zrychlení kmitání;
- frekvenční analýza s využitím průběhu amplitudového spektra (pro přechod z časové do frekvenční oblasti byl použit jednak algoritmus rychlé Fourierovy transformace, jednak algoritmus Welchovy metody, tj. v podstatě průměrovací metody založené na aplikaci rychlé Fourierovy transformace);
- třetiooktávová frekvenční analýza;
- časově frekvenční spektrální analýza (pro přechod z časové do časově frekvenční oblasti je použit algoritmus Bornovy – Jordanovy transformace).

Efektivní hodnota je z hlediska hodnocení vibrací v časové oblasti velmi důležitá, protože odráží časový průběh amplitud vibrací, a zároveň má přímý vztah k jeho energetickému obsahu. Je tedy i měřítkem nebezpečnosti a škodlivosti vibrací. Efektivní hodnota zrychlení a_{ef} [$m \cdot s^{-2}$] je definována podle vztahu [4]

$$a_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt} , \quad (9)$$

kde $a(t)$ je okamžitá hodnota zrychlení a T je doba, pro kterou je potřeba určit efektivní zrychlení, tedy doba průjezdu soupravy před měřicím stanovištěm, resp. snímačem.

Frekvenční spektra zrychlení byla vypočítána aplikací Fourierovy transformace podle definičního vztahu [10]

$$AS_a(f) = \int_{-\infty}^{\infty} a(t) \cdot e^{-j2\pi ft} \cdot dt, \quad (10)$$

kde f je frekvence, t čas, $a(t)$ průběh zrychlení v časové oblasti a $AS_a(f)$ jeho reprezentace ve frekvenční oblasti, j odpovídá imaginární jednotce. Pro analýzu naměřených dat je často velmi výhodná časová lokalizace významných frekvencí obsažených v měřeném signálu. Pro určení časové lokalizace frekvenčních komponent u naměřených signálů nelze použít klasický postup frekvenční analýzy, ale je nutné využít jiné transformační postupy a jiné výpočetní metody. Jedním z možných postupů je aplikace časově frekvenčních transformací. V rámci příspěvku je prezentováno použití Bornovy – Jordanovy časově frekvenční transformace, definované základním vztahem

$$CT_x(t, \omega) = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} A_x(\theta, \tau) \cdot \psi(\theta, \tau) \cdot e^{-j\theta t} \cdot e^{-j\tau \omega} \cdot d\theta \cdot d\tau, \quad (11)$$

kde symbol τ představuje časové posunutí, ω je úhlová frekvence, θ frekvenční posunutí, $\psi(\theta, \tau)$ je jádrová funkce příslušné časově frekvenční transformace a $A_x(\theta, \tau)$ je funkce dvou proměnných τ a θ (relativních proměnných funkce signálu $x(t)$). Tato funkce je dána rovnicí

$$A_x(\theta, \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x\left(t + \frac{\tau}{2}\right) \cdot x^*\left(t - \frac{\tau}{2}\right) \cdot e^{j\theta t} \cdot dt. \quad (12)$$

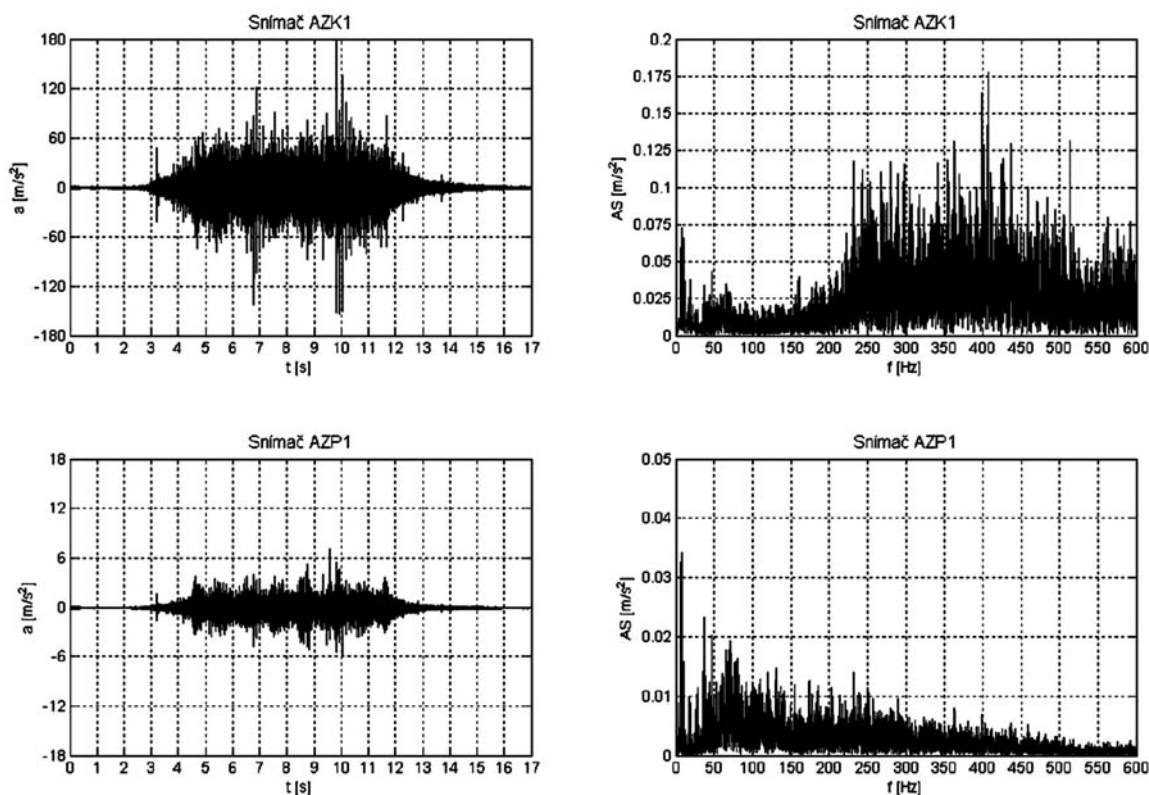
Je vhodné podotknout, že tato „úzkopásmová“ funkce je komplexní a představuje měřítko časově frekvenční korelace signálu neboli vyjadřuje stupeň podobnosti mezi signálem a jeho posunutou verzí v časově frekvenční rovině. Jádrová funkce pro Bornovu – Jordanovu transformaci je definována vztahem

$$(\theta, \tau) = \frac{\sin \frac{\theta \cdot t}{2}}{\frac{\theta \cdot t}{2}}. \quad (13)$$

Je třeba podotknout, že amplitudová frekvenční a časově frekvenční spektra jsou většinou prezentována v jednotkách $[m \cdot s^{-2}]$ nebo $[dB]$ se vztažnou hodnotou pro vibrace $a_0 = 10^{-6} m \cdot s^{-2}$.

Analýza dynamicko-akustických parametrů

K práci s naměřenými signály včetně jejich vyhodnocení byl použit software měřící základny DeweSoft a pro tyto účely speciální program „VibroDiagRail“, vytvořený v jazyce Visual Basic. Podotkneme, že pro omezený rozsah je prezentována analýza vibrací u snímačů AZK1, dále AZP1 a M. Analýza byla provedena na časových výřezech signálů z paty kolejnice (AZK1) a z hlavy pražce (AZP1), zaznamenávajících průjezd celé vlakové soupravy (kategorie SC a Os), resp. průjezd pouze hnacího vozidla (kategorie EC a R). Snímače umístěné blíže k ose trati byly zvoleny pro zajištění nejlepších podmínek pro porovnání, kdy jsou dané pozice akcelerometrů natolik blízké, že lze v podstatě vyloučit vliv rozdílného konstrukčního uspořádání pražcového pod-



Obr. 3. Průběh zrychlení vibrací a frekvenční závislost amplitudového spektra
Bílovice nad Svitavou; souprava SC; upevnění Pandrol FC I

loží. Vibrodiagnostika upevnění byla rozdělena na nízko-frekvenční v pásmu $1 \div 80$ Hz, resp. středně frekvenční v pásmu $80 \div 600$ Hz. Akustické parametry byly analyzovány na základě ořezaného signálu z mikrofonu M v rozsahu frekvencí $16 \div 5\,000$ Hz.

Analýza vibrací

Z časových průběhů signálů SC je patrné, že na kolejnicový pás AZK1, upevněný pomocí systému FC I, působí výrazně vyšší svislé dynamické účinky zatížení, než je tomu v případě vystrojení W 14 (obr. 3 a obr. 4, graf vlevo nahore). Vypovídající je zejména efektivní zrychlení vibrací RMS, uvedené v tab. 3 (tyto hodnoty jsou v všech kategoriích vlaků přibližně dvojnásobné v případě konstrukce Pandrol). Zrychlení vibrací dosahuje v lokálních extrémech u upevnění Pandrol hodnot až 180 m s^{-2} , zatímco u upevnění Vossloh pouze 100 m s^{-2} . Časový záznam průjezdu soupravy SC je dobře identifikovatelný pouze u upevnění Vossloh, kdy lze bez problémů vyzorovat jednotlivé podvozky vozových skříní (výrazné amplitudy), a určit tak počet vozů v soupravě. Dynamická odezva upevnění Pandrol je poměrně velká také mimo vlastní průjezd jednotlivých náprav, čímž je bližší lokalizace vozů soupravy prakticky nemožná. Toto chování bylo typické pro všechny snímače ve všech směrech působení vibrací. Výjimku tvoří pouze vertikální zrychlení ve šterku AZS, podle nichž se projíždějící vozidlo identifikovat dařilo [6].

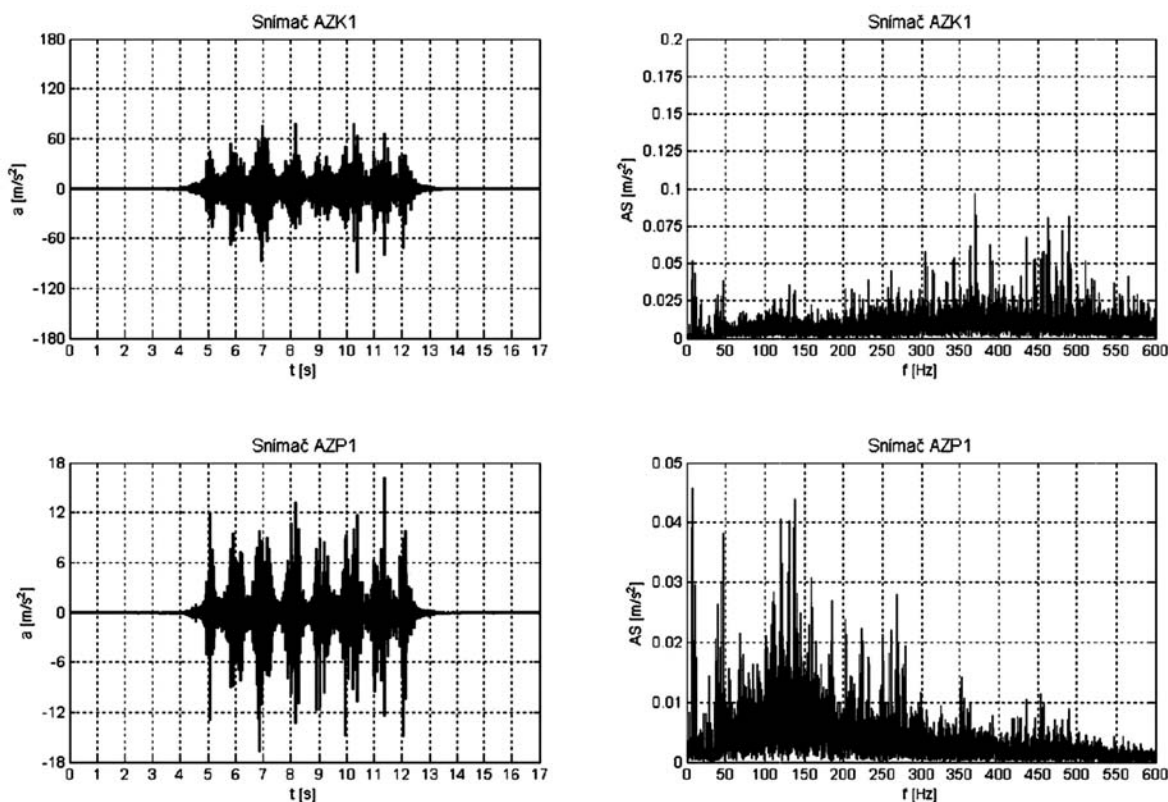
Časový průběh vertikálních zrychlení vibrací na pražci AZP1 (obr. 3 a obr. 4, graf vlevo dole) je naopak výraznější u konstrukce W 14, kdy zrychlení dosahuje v extrémech až 17 m s^{-2} , zatímco u FC I pouze 7 m s^{-2} . Také efektivní hodnoty RMS vycházejí u upevnění Vossloh pro všechny kategorie vlaků přibližně dvojnásobné. Uvedená fakta tak

Tab. 3. Efektivní hodnoty RMS zrychlení vibrací pro různé typy vlaků

vozidlo	Pandrol FC I		Vossloh W 14		vozidlo
	AZK1	AZP1	AZK1	AZP1	
	a_RMS [m s^{-2}]				
SC 74; souprava	17,0	0,9	7,6	1,4	SC 73; souprava
EC 278; hnací jednotka	58,7	4,5	26,6	6,4	EC 279; hnací jednotka
R 1972; hnací jednotka	57,8	3,6	24,3	7,5	R 873; hnací jednotka
R 974; hnací jednotka	39,4	2,7	18,8	5,9	R 973; hnací jednotka
Os 4750; souprava	55,8	2,6	21,8	5,0	Os 4711; souprava

vypovídají o lepších tlumících schopnostech systému upevnění Pandrol FC I. Na základě časové analýzy však nelze stanovit, zda utlumené složky jsou z hlediska frekvenčního působení pro stabilitu koleje významné. Pro věrohodnou diagnostiku systémů upevnění je proto nezbytné doplnit časovou analýzu dat také o analýzu frekvenční.

Z amplitudového spektra, získaného Fourierovou transformací časového průběhu dynamických účinků vlaku SC, lze na patě kolejnice AZK1 (obr. 3 a obr. 4, graf vpravo nahore) vysledovat v pásmu nízkých frekvencí dominantní frekvenci 8 Hz pro obě upevnění. Existenci této frekvence lze pravděpodobně odvodit silovým působením jednotlivých podvozků soupravy. U upevnění FC I dosahuje zrych-



Obr. 4. Průběh zrychlení vibrací a frekvenční závislost amplitudového spektra Bílovice nad Svitavou; souprava SC; upevnění Vossloh W 14

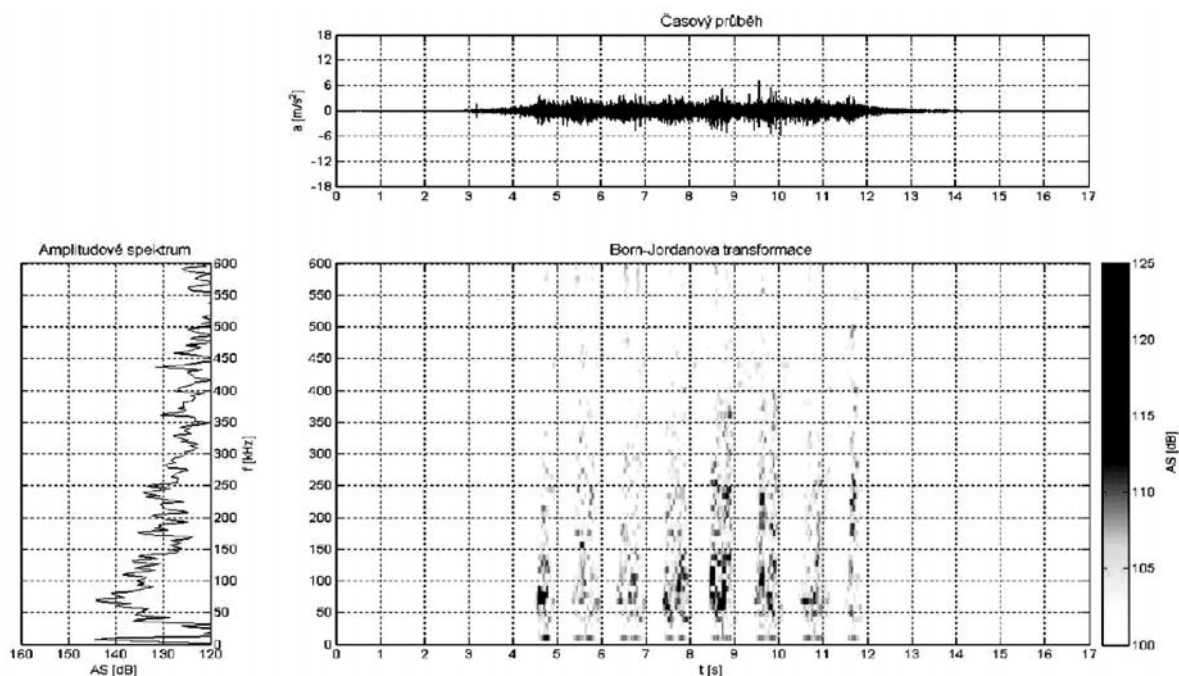
lení vibrací na této frekvenci $0,073 \text{ m s}^{-2}$, což je 1,5krát více než v případě konkurenčního upevnění. Další důležité frekvence leží v pásmu kolem 49 Hz. Co se týče maximálního zrychlení, jsou u obou konstrukcí hodnoty srovnatelné, pouze u vstrojení FC I působí v širším pásmu frekvencí. Na základě těchto kmitočtů můžeme poukázat na dynamické zatížení tratí nápravovými tlaky. Až dvojnásobných hodnot zrychlení vibrací proti frekvenci 8 Hz dosahuje upevnění Pandrol v širokém pásmu středních frekvencí $230 \div 520 \text{ Hz}$. V extrému jde zejména o frekvenci 410 Hz se zrychlením $0,178 \text{ m s}^{-2}$. V tomto směru se upevnění Vossloh chová mnohem příznivěji, s dominantní frekvencí 375 Hz ($0,098 \text{ m s}^{-2}$) a pásmem středních frekvencí $435 \div 490 \text{ Hz}$ ($0,082 \text{ m s}^{-2}$). Velikost amplitud ve středně frekvenčních pásmech je ovlivněna zejména rychlostí jedoucího vozidla a mírou imperfekcí na pojižděných plochách železničních kol a kolejnicových pásů.

Z pásma nízkých kmitočtů lze z hlediska svislých zrychlení vibrací na pražci AZP1 (obr. 3 a obr. 4, graf vpravo dole) určit jako stěžejní obdobné frekvence, resp. pásma frekvencí jako na pať kolejnice. Vossloh W 14 vykazoval na kolejnici zrychlení $0,052 \text{ m s}^{-2}$ při frekvenci 8 Hz, amplituda na pražci se pak nepatrně snížila na $0,046 \text{ m s}^{-2}$. Proti tomu vykazuje upevnění Pandrol FC I méně než poloviční hodnoty zrychlení vibrací na pražci ($0,034 \text{ m s}^{-2}$) vzhledem ke kolejnicovému pásu. Stejně závěry lze pak učinit také pro ostatní frekvence do 80 Hz, kdy upevnění Pandrol vykazuje vždy menší amplitudy než Vossloh, pouze frekvence 70 Hz je srovnatelná. V pásmu středních frekvencí pak upevnění FC I nevykazuje žádné výrazné kmitočty – amplitudy od frekvence 70 Hz plynule klesají k zanedbatelným hodnotám. U upevnění W 14 lze za důležité považovat pásmo $110 \div 140 \text{ Hz}$, kde se velikosti amplitud zrychlení vibrací téměř shodují s frekvencí 8 Hz. Tento zajímavý úkaz lze přičíst všeobecně vyšší tuhosti upevnění Vossloh W 14. Z hlediska dynamiky železniční tratě jsou zásadní zejména nízké frekvence $30 \div 50 \text{ Hz}$ (na tomto poznání je založen princip mnoha stavebních strojů). Z toho důvodu lze konstrukci upevnění Pandrol FC I hodnotit jako příznivější.

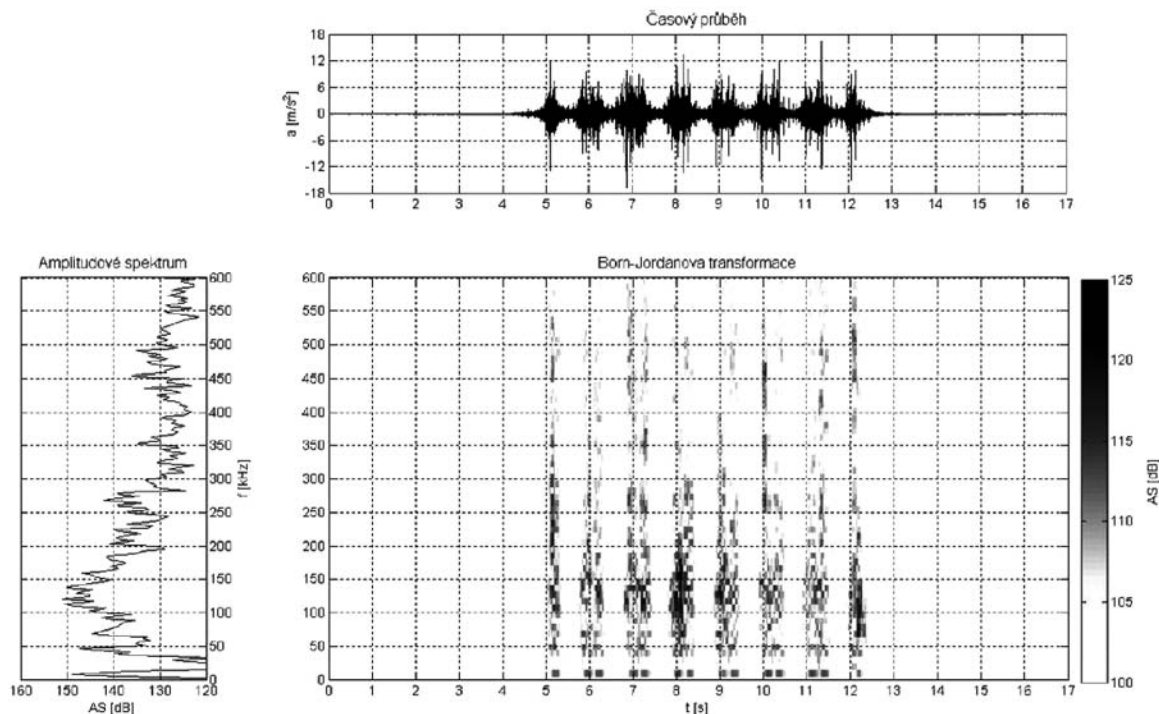
Pro komplexní informace o vlastnostech upevnění bylo vyhodnocení doplněno o časově frekvenční analýzu. Ta umožňuje, kromě získání velikosti amplitud na konkrétních kmitočtech, ukázat, v jakém okamžiku tyto frekvence působí. Jde tedy o prostorovou problematiku. Bornova – Jordanova časově frekvenční transformace byla aplikována pouze na signál ze snímače na hlavě pražce AZP1 při průjezdu vlaku kategorie SC. Trojici navzájem svázaných grafů, tzv. trojčata, představují obr. 5 a obr. 6. Je na nich znázorněn časový průběh dynamického zatížení (graf nahoře), frekvenční rozložení amplitudového spektra v logaritmické stupnici (graf vlevo dole) a dvojrozměrný hustotní spektrogram čas/frekvence/amplituda (graf vpravo dole). Podotkneme, že amplitudové spektrum (graf vlevo dole) bylo vypočteno Welchovou metodou. Tyto grafy potvrzují již popisovaná zjištění. Spektrum barev hustotního spektrogramu názorně dokládá, že pražec vstrojený systémem Vossloh W 14 je více exponován vibračními jevy než pražec s upevněním Pandrol FC I. Je to obzvláště patrné na již zmínovaných frekvencích 110 \div 140 Hz. Dále je možné z grafu odečíst, v jakém okamžiku působí na snímač vždy dvojice podvozků sousedních vozů. Lokalizace vlakové soupravy je tedy mnohem jednodušší než pouze na základě časového průběhu zrychlení vibrací (platí zejména pro upevnění Pandrol).

Analýza hluku

Podle třetinoctávového vyhodnocení průměrných hladin akustického tlaku L_p na soupravách vlaků SC (snímač M, obr. 7) vykazuje upevnění Pandrol ve frekvencích do cca 200 Hz lepší akustické vlastnosti než upevnění Vossloh, nad 200 Hz je tomu právě naopak. Rozdíly průměrných hladin akustického tlaku však nejsou vyšší než 3 dB a u kmitočtů nad 3 kHz se tento rozdíl stírá úplně. Nejvyšších hladin dosahují oba konstrukční systémy v pásmu nízkých frekvencí se středním kmitočtem 16 Hz – upevnění Pandrol 91 dB a upevnění Vossloh 93 dB. Dalším výraznějším kmitočtovým pásmem jsou frekvence $300 \div 2\,000 \text{ Hz}$ (FC I), resp. $300 \div 1\,300 \text{ Hz}$ (W 14). Ve středně frekvenčních pásmech se s nej-



Obr. 5. Časově frekvenční transformace
Bílovice nad Svitavou; souprava SC; snímač na hlavě pražce AZP1; upevnění Pandrol FC I



Obr. 6. Časově frekvenční transformace
 Bílovice nad Svitavou; souprava SC; snímač na hlavě pražce AZP1; upevnění Vossloh W 14

větší pravděpodobností projevuje valivý hluk. Upevnění Pandrol vykazuje schopnost výrazněji tlumit frekvence v pásmu 100 ÷ 200 Hz (až 16 dB proti nízkým kmitočtům), upevnění Vossloh pak frekvence v pásmu kolem 200 Hz (až 18 dB proti nízkým kmitočtům). Z celkového pohledu lze příznivější akustické vlastnosti pozorovat u upevnění W 14, neboť na frekvence 500 ÷ 4 000 Hz je lidský sluchový orgán nejcitlivější. Tento závěr lze navíc podložit výsledky stanovené ekvivalentní hladiny hluku $L_{eq,T}$, která u většiny kategorií vlaků vychází o 1 ÷ 2 dB nižší v případě upevnění Vossloh (tab. 4).

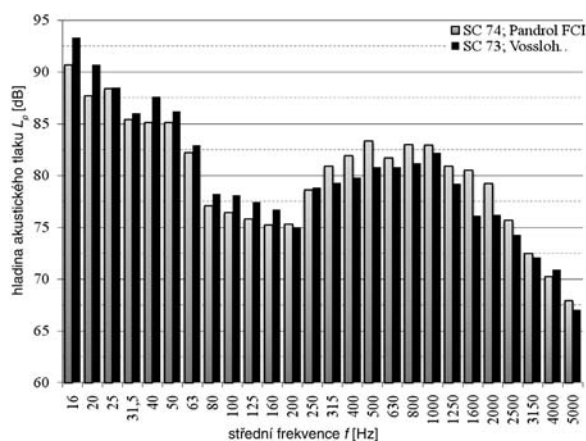
Tab. 4. Ekvivalentní hladiny hluku $L_{eq,T}$

Pandrol FC I		Vossloh W 14	
vozidlo	$L_{eq,T}$ [dB]		vozidlo
SC 74; souprava	97	97	SC 73; souprava
EC 278; hnací jednotka	95	95	EC 279; hnací jednotka
R 1972; hnací jednotka	100	98	R 873; hnací jednotka
R 974; hnací jednotka	103	99	R 973; hnací jednotka
Os 4750; souprava	100	99	Os 4711; souprava

Závěr

Se zvyšujícími se rychlostmi železniční dopravy dochází k nárůstu dynamických účinků na konstrukci železničního svršku a ke zvyšování hlukové zátěže. Nárůst dynamických účinků je významný zejména na nízkých frekvencích vibrací do 12 Hz, za jejichž vznikem stojí dynamické působení podvozků kolejových vozidel. Z hlediska akustiky jsou nejdůležitějším projevem vyšších jízdních rychlostí kmitočty 16 ÷ 35 Hz, které tak mohou – podle časového působení před fyzickým průjezdem vlakové soupravy – dokládat existenci zvukové hradby, jež si rychlejedoucí vlaky hrnou před

sebou. Technický stav vozidel a jízdní dráhy má na dynamiku tratě zásadní vliv. Vibračně se projevuje nejčastěji v pásmu středních frekvencí kolem 330 ÷ 500 Hz. Z pohledu akustiky je tento technický stav detekován zejména mírou valivého hluku, působícího na frekvencích 600 ÷ 1 000 Hz.



Obr. 7. Třetinooktávová analýza průměrných hladin akustického tlaku L_p – snímač M

Z porovnání obou systémů upevnění vyplývá horší schopnost upevnění Vossloh W 14 tlumit vertikální vibrace o kmitočtech do 200 Hz. Přestože energie zejména vertikálních vibrací na patě kolejnice uchycené k pražci pomocí systému Pandrol FC I je 1,5–3,0násobná, tak vlivem obecně lepších útlumových vlastností upevnění přechází přes pražec do šterkového lože energeticky méně významná vibrační složka (cca poloviční) než v případě použití W 14. Popisovaný jev je způsoben nižší tuhostí upevnění Pandrol jako celku, což nejpravděpodobněji souvisí se speciální podložkou pod patou kolejnice, upravenou do podoby několika řad individuálně stlačitelných válečků. Tlumicí schopnosti obou upevnění výrazně stoupají s růstem frekvencí nad 200 Hz. Ten-

to trend se začíná měnit v pásmu nad 1 000 Hz, kde se útlumové vlastnosti obou upevnění opět rapidně zhoršují. Zde je nutné doplnit, že menší tuhost upevnění Pandrol, a s tím související zvýšené kmitání kolejnicových pásů, zapříčiňuje horší akustické vlastnosti tohoto upevnění. Chování kolejnice lze v tomto případě s trochou nadsázky přirovnat k „brnkání na kytarovou strunu“.

V započatém měření i následných analýzách je vhodné pokračovat a doplnit měřicí řetězec o další snímače zrychlených vibrací, zejména pak v příčném směru na patě kolejnicových pásů v blízkosti uzlu upevnění a na hlavách pražců. Je nezbytné objasnit vztahy mezi vyšší hladinou vibrací v kolejovém loži u upevnění Vossloh a dlouhodobými kvalitativními změnami GPK. Dále je nutné zjistit, do jaké míry přispívá zvýšené kmitání kolejnicových pásů, uchycených pomocí Pandrolu, ke zhoršování mikrogeometrie hlavy kolejnice s následným poklesem kvality GPK a k únavovým vadám konstrukčních součástí tohoto upevnění. Tyto otázky bude možné zodpovědět pouze na základě spolupráce s manažerem infrastruktury a po poskytnutí dokumentů vztahujících se k dlouhodobému měření GPK v zájmových úsecích hlavních železničních tras a únavových vlastností materiálů použitých ve sledovaných systémech pružného bezpodkladnicového upevnění kolejnic.

Publikovaných výsledků bylo dosaženo za podpory projektu č. 1M0579 MŠMT v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS a projektu č. 103/07/0183 GA ČR.

Smutný, J. et al.: Dynamic and Acoustic Analysis of Elastic Rail Fastening without Sole-Plates

This paper studies the measurement, analysis and comparison of dynamic and acoustic parameters of elastic rail fastening without sole-plates, which is commonly used in standard rails of the main railway passages. The measurements were conducted in situ according to special methodology, using mathematical means for the evaluation of the parameters gained. The project was also aimed at collecting results suitable for making computational models of components of the railway superstructure more accurate.

Literatura

- [1] Směrnice GR SŽDC č. 28/2005 Koncepce používání jednotlivých tvarů kolejnic a typů upevnění v kolejích železničních drah ve vlastnictví České republiky.
- [2] Směrnice GR SŽDC č. 16/2005 Zásady modernizace a optimalizace vybrané železniční sítě České republiky.
- [3] Hlaváček, J.: Protihluková a protivibrační opatření používaná v evropské železniční síti. Vědeckotechnický sborník Českých drah, 6/1998.
- [4] Nový, R.: Hluk a chvění. Praha, Vydavatelství ČVUT 2000, 389 s. /ISBN 80-01-02246-3/
- [5] Brepta, R. – Půst, L. – Turek, F.: Mechanické kmitání. Praha, Sobotáles 1994, 592 s. /ISBN 80-901684-8-5/
- [6] Tomandl, V.: Analýza dynamických parametrů kolejnicových upevnění. [Diplomová práce], VUT Brno, 2007, 204 s.
- [7] Hlaváček, J.: Měření hluku a vibrací na koridorových tratích před a po modernizaci. Vědeckotechnický sborník Českých drah, 12/2001.
- [8] Smutný, J. – Pazdera, L.: New Techniques in Analysis of Dynamic Parameters Rail Fastening, InSight. The Journal of the British Institute of Non-Destructive Testing. Vol. 46, No. 10, 2004, pp. 612-615. /ISSN 13542575/
- [9] Moravčík, M. – Moravčík, M.: Mechanika železničních tratí. Teoretická analýza a simulácia úloh mechaniky železničních tratí, 2. díl. Žilina, EDIS 2002, 312 s. /ISBN 80-7100-984-9/
- [10] Smutný, J. – Pazdera, L.: Modern Methods of Noise and Vibration Analysis Applied to Rail Transport. [Zborník], konference „60. výročí Stavební fakulty STU v Bratislave“. STU Bratislava, 1998. /ISBN 80-227-112/
- [11] ČD DDC č. j. 60 555/99-O13 Obecné technické podmínky dodací pro upevnění kolejnic. České dráhy, s. o. Účinnost od 1. 1. 2000.

Smutný, J. u. a.: Dynamische und akustische Analyse der elastischen Befestigung von Eisenbahnschienen ohne Unterlagsplatten

Der Beitrag ist der Messung, Analyse und dem Vergleich der dynamischen und akustischen Parameter der standardmäßig im üblichen Gleis auf den Hauptschienenwegen angewandten elastischen Befestigung von Schienen ohne Unterlagsplatten gewidmet. Die Messungen wurden in situ nach einer speziellen Methodik und mit Einsatz eines mathematischen Apparats zur Bewertung der erhaltenen Parameter durchgeführt. Ziel der Arbeiten war gleichzeitig die Gewinnung von Ergebnissen, die für die Präzisierung der Berechnungsmodelle der Komponenten des Eisenbahn-Oberbaus geeignet sind.

• projekty



Factory Office Center



Termínově a koordinačně velmi náročná stavba budovy „F“ projektu Factory Office Center vyrostla naproti Smíchovskému nádraží v Praze.

Moderní devítipodlažní budova kromě kanceláří, obchodů a služeb přináší i nové řešení vstupu do stanice metra. Administrativně obchodní objekt, nacházející se na nároží ulic Nádražní a Rozkošného, vzhledem respektuje tradiční industriální atmosféru zástavby Smíchova. Rohovým umístěním a půdorysným tvarem L vytváří v severní části kompaktní blok, a citlivě tak odkazuje na styl smíchovského urbanismu předminulého století.

Tisková informace

Mikroflóra při průzkumu a rekonstrukci krypt a hrobek

prof. Ing. Richard WASSERBAUER, DrSc.
 ČVUT – Fakulta stavební
 Praha

Mikroorganismy jsou všudypřítomné. Jsou nacházeny ve vodách, v atmosféře, v půdě i na stavbách, kde rozrušují zdivo a stavební kámen. Jsou přítomny také v podzemí hrobek, kde kromě kamene spolupůsobí při rozkladu tělesných pozůstatků zemřelých. Velmi často se objevují na uměleckých artefaktech a textiliích vyjmutých z hrobů a mohou být při restaurátorských pracích s pozůstatky pohřbů nebezpečné. To se ostatně v minulosti ukázalo při otevření hrobky v krakovském Wawelu, i při občasných stížnostech restaurátorů na nespecifické zdravotní potíže při práci s hrobovými textiliemi.

Úvod

Od historických dob až téměř po současnost se pohřby konaly v jednotlivých hrobech na pohřebištích, později hrbitovech, šlechtické, panovnické a církevní pohřby se ukládaly do různě konstruovaných hrobek a krypt. Zděné hrobky se budovaly s podlahou maltovou nebo z pálených dlaždic, stěny omítnuté, prostory krypty mohly být zdobené řadami sloupů a křížovými, případně valenými klenbami. Hrobky byly různě hluboko pod úrovní chrámové podlahy. Bohatě zdobené tumby byly umísťovány spolu s ostatky nad úrovní podlahy, v některých případech byl pohřeb, krytý náhrobní deskou, umístěn do hrobové jámy hluboko pod tumbou. Rakve byly dlabané, nebo z borových, či smrkových fošen, pouze sarkofágy knížat a králů byly z cínu, později z mramoru.

Tab. 1. Podmínky vhodné pro růst mikroby

Voda
zprostředkuje difúzi rozpuštěných látek přes cytoplazmatickou membránu, plísně rostou při aw 0,60-0,95, bakterie při aw 0,90-0,98
Teplota
psychrofilny minimum 0-5, optimum 6-10, maximum 25 °C mezofily minimum 5-10 optimum 26-40 °C, maximum 45 °C termofily optimum 40-55 °C, např. Bacillus, Clostridium, Actinomyces spp.
pH, rozmezí koncentrace H iontů
bakterie pH 7-8 (max. 12), min. 4-5 símé bakterie pH 3-5 (min. 1) Acidithiobacillus Dithiobacillus nitrifikační bakterie pH 6-10 (max. 13) Nitrobacter plísně a kvasinky pH 4-6
Kyslík
aerobi/anaerobi fakultativní aerobi / anaerobi, hrobové podmínky anaerobní

Zatímco práce na odkrytí venkovních pohřbů jsou z hlediska mikrobiologa (při zachování základních hygienických norem) relativně bezpečné, práce při odkrývání hrobů v uzavřených kryptách i hrobkách vyžadují zvýšenou opatrnost. Je to proto, že v uzavřeném prostoru funebrálního objektu (tab. 1) stoupají mnohonásobně rizikové faktory, zejména prašnost a s tím spojená možnost mikrobiální infekce (tab. 2) a zvýšená přítomnost mikrobiálních těkavých látek (MVOC, tab. 3), které mohou mít někdy až fatální důsledky. Proto je nutné při práci v těchto podmínkách dodržovat určité, avšak velmi často porušované hygienické postupy (tab. 4).

Tab. 2. Inhalace mykotoxinů

Mykotoxiny v zárodcích plísní mohou interferovat s imunitním systémem plic s dosud ne zcela jasnou imunitní reakcí.
Při inhalaci inhibují tělní obranu proti mikrobům. Trichothecen T-2 toxin má silný cytotoxický vliv na alveolární makrofágy a výrazně redukuje jejich aktivitu (produkují termofilní aktinomycety Aspergillus, Penicillium, Streptomyces, Alternaria, Mucor spp).
Zdroj mykotoxinů: plesnivý textil, senný prach na podlaže krypt
Za alergické reakce odpovědný infikovaný a transformovaný rostlinný materiál. Řada nespecifických onemocnění: alergické rýmy, astma, kožní mykózy, chřipkové symptomy, celková malátnost.

Tab. 3. Těkavé látky produkované mikromycetami

Mikrobiální těkavé látky tvoří alkoholy, ketony, aldehydy, aromati aminy, terpeny, chlorované uhlovodíky, simé sloučeniny. Jsou ty určité druhy mikroby (Aktinomycety).
Zápach plísní působí únavu, bolesti hlavy, očí, nosní dutiny a krk Odeř plísně Paecilomyces varioti má dokonce cytotoxické účinky.
Koncentrace 2 µg m ⁻³ působí vážné zdravotní potíže, migrény hl a očí, únavové syndromy.

Tab. 4. Ochranná opatření při práci v kryptách

➤ Používat ústenku.
➤ Používat operační rukavice, ty po ukončení práce nejdříve přestříkat dezinfekcí (Incidur Spray) , a teprve potom sejmut.
➤ Pokud možno nechat udělat mikrobiologický profil, a teprve potom rozhodnout, zda je, či není nutná dezinfekce biocidy a jakým způsobem s artefakty pracovat.
➤ Ústenku a rukavice používat i při rekonstrukci krypt do té doby, pokud nebudou provedena sanační opatření proti mikroorganizmům.

Hrobky bývaly v dřívější době poměrně často otvírány a rakve v průběhu věků rozmanitě transportovány, vylupovány či měněny. Potvrdilo se však, že rezistentní bakterie, kterými jsou bacily, nepatogenní mikrokoky a korynebakteria, nalázané nejvíce v ovzduší a v povrchové vrstvě půdy, jsou také nejčastějšími kontaminanty těchto lokalit. Obdobné nálezy, které se lišily pouze frekvencí izolovaných rodů Bacillus (mycooides, megatherium, licheniformis), byly učiněny také při analýze hrobových textilií hraběte Antonína Šporka staršího [2], pochovaného v Kuksu, Imricha Thurzu, uloženého v hrobce Oravského hradu [3], hraběte Lobkowitz, pochovaného v Brně [4], v Pernštejnské hrobce

v Pardubicích [5] a hrobových textilií Břetislava II, uloženého v chrámu sv. Víta v Praze [6].

Výjimku tvořil velmi pozoruhodný výskyt zástupců rodu *Candida* v hrobové jámě knížete Břetislava II. (chrám sv. Víta v Praze [6] a v hrobových textiliích Václava Viléma Popela z Lobkowitz [7]). *Candida* patří mezi nepravé kvasinky. Zahrnuje jak druhy saprofytické, tak potenciálně patogenní. Potenciální patogen *Candida albicans* je za určitých podmínek původcem chronické infekce v dutině ústní. Adheruje na povrch lidské kůže, kde tvoří součást gastrointestinální flóry. Příležitostně působí endokarditidu a meningitidu.

Protože uvedené hroby pocházejí, až na Břetislava II. a krále Rudolfa I [1], většinou z pohřbů ze 16-18. st., lze u nich, vzhledem k úvodnímu uložení, předpokládat původní kontaminaci rozmnoženou ovšem o mikroorganismy, jejichž zárodky se dostaly na hrobové artefakty při otevírání, přemísťování a vyzvedávání obsahu hrobů. To lze do jisté



Obr. 1. Kopie hrobového oděvu habsburského krále Rudolfa I.

a – oděv vytvořený před 15 lety švýcarskými specialisty/restaurátory, *b* – již nedovolený postup s historickými textiliemi (chybí ústenka, šála omotaná okolo úst neskýtá žádnou ochranu, v pryžových rukavicích nelze s textiliemi lehce manipulovat)

míry očekávat i u mikromycet, které byly na zbytcích oděvů, ale i na částech hrobové výbavy izolovány poměrně často a v nevelkém množství. Proto byla pozornost soustředěna na mikroflóru v kryptě sv. Michala v Praze, která byla pro nás modelem pro studium společenstva mikrobů, které může mít pro pracovníky provádějící rekonstrukci krypty, případně pro restaurátory a archeology, zdravotní důsledky

Materiál a metody

Sejmutí mikroflóry z kostí, fragmentů dřeva, fragmentů textilií, zdi a z půdy hrobky bylo provedeno sterilními vatovými tampony opatřenými lepicí vrstvou s okamžitým přenesením mikroflóry na živné půdy. Mimo to byla odebrána také zem ze sondy v blízkosti reliktu dřeva (rakev?) a provedeny stěry z povrchu zdiva (obr. 2).



Obr. 2. Sypký materiál pod podlahou krypty může být zdrojem řady patogenů

K izolaci mikroorganismů (mikromycet a chemoorganotrofních bakterií) byly použity vybrané půdy:

- sladinový agar s přidavkem bengálské červeně (výrobce Imuna Šarišské Michalany);
- masopeptonový agar č. 2 (MPA) (výrobce Imuna Šarišské Michalany), obohacený kvasničným autolyzátem, thiaminem a glukózou;
- agar podle Czapka-Doxe (výrobce Imuna Šarišské Michalany);
- krevní agar (dodavatel Merk, Říčany);
- thioglykolátová půda (výrobce Imuna Šarišské Michalany).

Pro orientační mikroskopickou identifikaci bakterií byl použit masopeptonový a sladinový agar stejného složení. Identifikace bakterií proběhla podle Mikrobiologického manuálu AHM, příloha 7/1992, podle sborníku Klasifikace bakterií 1986 (Komise pro taxonomii bakterií Čs. společnosti mikrobiologické při ČSAV) a za použití diagnostických destiček Mikro-La-Test Enterotest 1, Nefermtest Oxi a Staphytest (výrobce Pliva-Lachema, Brno).

Vyrostlé plísňe byly po sedmidenní kultivaci na živných půdách v Petriho miskách přeneseny do subkultur a do vlhkých komůrek se sladinovým agarem. Zde byla provedena detailní mikroskopická diagnostika. Parametry kultivace: RV 96 %, teplota 28 °C. Identifikace mikromycet byla provedena podle klíčů uvedených v [8], [9], [10].

Výsledky a jejich diskuze

Původně gotický kostel sv. Michala byl r. 1750 barokně přestavěn architektem F. I. Pree a zrušen r. 1786. Krypta

pochází z vrcholného středověku. Je cihlová, dvoukomorová, umístěná v jižní části lodi kostela. Ve vzorcích mikroflóry, která byla vykultivována z krypty kostela sv. Michala v Praze 1, se masivně vyskytovaly bakterie G+ (označení G+, G- se používá pro identifikaci bakterií a je založeno na schopnosti či neschopnosti podržet si barvivo v přítomnosti alkoholu či acetonu. Barvením podle Grama lze velice snadno odlišit velké skupiny bakterií, a urychlit tak identifikaci mikroorganismů) a aktinomycety. Dominoval *Bacillus cereus*, *Bacillus mycoides* a zástupci rodu *Corynebacterium*. Časté byly kokoidní formy *Kocuria rosea* a *Micrococcus luteus*. Bakterie rostly velice pomalu, zjevný růst byl na krevním agaru patrný až desátý den kultivace. Z dalších kmenů byla nalezena *Pseudomonas aeruginosa*. Tato velmi rozšířená bakterie G- je fakultativním patogenem pro člověka i mnohá zvířata. U lidí může způsobovat záněty močových cest, středního ucha i celkovou sepsi. Zástupci rodu *Staphylococcus* (*Staphylococcus aureus*) jsou velmi rezistentní vůči venkovním vlivům. Lehce přežívají extrémní sucho, pH i vyšší osmotický tlak. Některé kmeny jsou schopné produkovat toxiny, které mohou způsobit vážná onemocnění. *Bacillus cereus* G+ působí záněty rohovky. Ostatní detekovaní zástupci rodu *Bacillus* (*Bacillus mycoides*, *Paenibacillus polymyxa*) jsou půdní bakterie, které díky tvorbě spor mohou dlouhodobě přežívat v hrobových podmínkách. *Kocuria rosea* a *Micrococcus luteus* jsou typické G+ saprofytické organizmy. Náleží ke vzdušné flóře a jsou schopny růst i při 10 °C. *Corynebacterium* sp., G+ *Nocardia farcinica* G+ jsou řazeny k aktinomycetám. V našem případě jde z největší pravděpodobností o nepatogenní druhy, obdobně, jako je tomu u izolovaných mykobakterií. Velmi zajímavý byl nález následujících dvou mikrobů nalezených také v rozbořech [11] a [12]:

- *Sporosarcina ureae*, G+ je rozkladač močoviny. Vzhledem k tvorbě endospor může tento mikrob dlouhodobě přežívat v hrobových podmínkách (mikroflóra hnoje, fekálních jam?);
- *Citrobacter freundii*, G- patogenita je problematická. Vyskytuje se v moči, výkalech, ve střevech jako běžná flóra tlustého střeva (mikroflóra hnoje, fekálních jam?) obdobně jako plíseň *Mucor circinelloides*. Výskyt mikrobů, které se vyskytují v lidské kůži, ve výkalech a v seně, může mít spojitost s prvotním uložením historických artefaktů v hrobových podmínkách (seno) i s funkcí textilie během života majitele/majitelky (kůže, moč, výkaly).

Z výsledků je zřejmé, že mikroflóra z krypty kostela sv. Michala v Praze je reprezentovaná především G+ (Gram pozitivními) zástupci rodu *Bacillus*. Protože byly v hrobce masivně nalezeny fakultativně patogenní mikroorganismy, v závěru práce jsme se zabývali všeobecným návrhem údržby a dezinfekce krypt a hrobek.

Návrh opatření

■ Před započítím rekonstrukce hrobky (při zachování bezpečnostních postupů, viz *tab. 2 až tab. 4*) předměty postupně vyjmout a dále postupovat podle obecných zásad památkové péče [13].

■ Zajistit případné odvlhčení krypty. Postupně zrekonstruovat či uvést do provozu mnohdy zadržovaný či jinak poničený odvětrávací systém (viz problémy s mumiemi v hrobce v Klatovech). Vést v patrnosti fakt, že i vlhký vzduch, je-li uveden do pohybu (minimálně 0,5-1,0 m s⁻¹), odvlhčuje. Je známo, že historické stavby nemívají ani horizontální, ani vertikální hydroizolaci. Jsou však nacházeny zbytky histo-

rického zdiva chráněné proti pronikání vody jílovou ochrannou vrstvou s nepatrnou pórovitostí. Je tedy zřejmé, že naši předkové problematiku sanace proti vlhkosti znali a jílovou hydroizolaci na území našeho státu běžně používali [14]. Výběr sanačních metod bývá u historických staveb vzhledem k požadavkům památkové péče značně omezen. Proto je nutné po důkladném průzkumu provést celkovou bilanci příčin vlhnutí zdiva a proti jednotlivým zdrojům provlhčení použít odpovídající stavebně technické sanační prostředky (např. hydroizolace zdi a podlahy, izolační přízdívka uvnitř krypty, drenáž vně objektu, chemické clony, elektroosmóza, sanační, případně utěšňovací omítky [15].

■ Po uvolnění zdiva hrobky vyčistit, dezinfikovat, rekonstruovat dlažbu a ochránit stěny proti růstu plísní (*tab. 5, tab. 6*). Nejjednodušší je vápenná omítka, jejíž vysoké pH zaručuje dlouhodobou ochranu proti růstu plísní. Je možné vyzkoušet také přípravek s mikromycetou *Pythium oligandrum*, který likviduje ostatní plísně na vnitřních omítkách hrobek a depozitářů.

Tab. 5. Biocidy

Před aplikací biocidu je nutné vypracovat biocidní program, který by měl obsahovat znalost organismů, které mají být likvidovány, a volbu příslušného biocidu.
Dobry biocid, dobry dezinfekční prípravok (baktericid, fungicid) by měl splňovat několik základních požadavků. Musí být ekologický (nesmí zasahovat vyšší organismy, např. včely), efektivní (účinný, pokud možno vůči všem škodlivým organismům v daném místě a na daném materiálu).
Nexistuje biocid (fungicid), který by byl účinný na všechny druhy organismů. Přítomnost bakterií někdy výrazně omezuje působnost aplikovaných biocidů (bakterie jsou v některých případech odolnější proti biocidům než plísně a samy biocidy rozkládají).

Tab. 6. Biocidy pro ochranu historických artefaktů a zdiva hrobek

Incidur Spray – účinný proti bakteriím, mikroskopickým kvasinkovitým a vláknitým houbám a virům. 40 ml/m ² se nanáší ze vzdálenosti cca 30 cm a nechá působit do zaschnutí. Složení: ethanol, propanol (10 až 40 g l ⁻¹ glutaraldehyd, alkylidimethylbenzylamonium chlorid.
Pregnotit UNI – určen k ochraně zdiva, omítek maleb v interiérech i exteriérech. K ochraně zdiva 200 ml přípravku do 10 l vody nebo naředěného nátěrového materiálu. Složení: Tebuconazol 0,50 % Alkylbenzylidimethylamonium chlorid 20 %, Deltamethrin 0,06 %.



Obr. 3. Neúplná hemolýza krevního agaru bakterií *Bacillus cereus*, náležející mezi fakultativní patogeny

■ Ve výjimečných případech lze také použít sporicidní nátěry, samosterilizující za vyšší vlhkosti stavebního materiálu (N-chlorsuccinimid, N-bromacetamid). Pokud však nelze hrobku před vstupem restaurátorů odvětrat, je použití těchto přípravků vyloučeno.

■ V ostatních případech se doporučuje použít na stěny netěkavé biocidy (*tab. 6*). Jejich účinnost závisí na koncentraci likvidovaných mikrobů, pH a interferujících látkách (půda, detergenty, Mn^{2+} , Zn^{2+}).

Závěr

Při mikrobiologických rozbořech, získaných z hrobových materiálů v kryptě sv. Michala, bylo potvrzeno, že mikroflóra jednotlivých hrobů, ale také stěn, může obsahovat fakultativně patogenní mikroorganismy. Proto je nutné při rekonstrukci, ale i při práci archeologů, restaurátorů a dalších, postupovat obezřetně a dodržovat základní bezpečnostní postupy.

Literatura

- [1] Wasserbauer, R.: Textilie z hrobu Rudolfa I., českého krále zv. Kaše. Předběžný průzkum. *Archeologia historica* 18/1993.
- [2] Wasserbauer, R. – Mára, M.: Mykologický průzkum vzorků oděvních částí oblečení generála Jana Šporka. *Znalecký posudek* 23/1993.
- [3] Wasserbauer, R. – Mára, M.: Mikrobiologický rozbor restaurovaných historických textilií Juraja III., Thurzu a Imricha Thurzu. *Znalecký posudek* 32/1994.
- [4] Wasserbauer, R. – Mára, M.: Pohřební plášť Zdeňka Popela z Lobkovic. *Znalecký posudek* 33/1994.

- [5] Wasserbauer, R. – Mára, M.: Mikroflóra Pernštejnské hrobky v Pardubicích. Nepublikovaná práce, 1997.
- [6] Wasserbauer, R.: Mikrobiologická analýza kosterních pozůstatků Břetislava II. *Znalecký posudek* 204/2002.
- [7] Wasserbauer, R.: Mikrobiologická analýza hrobových textilií Václava Viléma Popela z Lobkowitz. *Znalecký posudek* 375/2007.
- [8] Fassatiová, O.: Plísně a vláknité houby v technické mikrobiologii. Praha, SNTL 1979.
- [9] Singh, K. – Frisvad, J. C. – Thrane, U. – Mathur, S. B.: *An Illustrated Manual on Identification of Some Seed-Borne Aspergilli, Fusaria, Penicillia and their Mycotoxins*. Danish Government Institute of Seed Pathology for Developing Countries, 1991.
- [10] Samson, R. A. – Hoekstra, Ellen, S. – van Reenen: *Introduction to Food Borne Fungi*. Centralbureau Voor Schimmelcultuur, Third Edition, Delft, 1988.
- [11] Wasserbauer, R.: Mikrobiologická analýza hrobových textilií Marie Amálie, vévodkyně z Parmy. *Znalecký posudek* 397B/2008.
- [12] Wasserbauer, R.: Mikrobiologická analýza hrobových textilií RMM i. č. T 1099, dámské šaty z roku 1764. *Znalecký posudek* 400/2008.
- [13] Bravermannová, M. – Lutovský, M.: *Hroby, hrobky a pohřebiště českých knížat a králů*. Praha, Libri 2001.
- [14] Lebeda, J. a kol.: *Sanace zvlhlého zdiva budov*. Praha, SNTL 1988.
- [15] Popenková, M. – Svoboda, P.: Sanační systémy, základy výběru vhodného sanačního opatření. [Sborník], konference „Sanace a rekonstrukce staveb“, Praha, ČSS WTA CZ, 2000, s. 95-100.

Článek byl vypracován za podpory výzkumných záměrů VZ1, MSM 6840770001 „Spolehlivost, optimalizace a trvanlivost stavebních konstrukcí“ a MŠMT 210000001.

Wasserbauer, R.: Microflora in Investigation and Reconstruction of Crypts and Graves

Microorganisms are omnipresent. They can be found in waters, the atmosphere, soil, and also on construction sites where they impact masonry and building stone. They are also present in the underground spaces of graves where, in addition to stone, they contribute to the decay of mortal remains. Very frequently, they are found on artistic artifacts and textiles removed from graves. They can become a hazard during restoration work with the remnants. It also proved to be true in opening the royal tomb in Wawel, Krakow, and in occasional complaints of restorers of unspecified health problems during work with grave textiles.

Wasserbauer, R.: Die Mikroflora bei der Untersuchung und Rekonstruktion von Krypten und Gräften

Mikroorganismen sind überall vorhanden. Man findet sie in Gewässern, in der Atmosphäre, im Boden und in Bauwerken, wo sie Mauerwerk und Baustein zersetzen. Sie sind auch unterirdisch in Gräften anwesend, wo sie außer der Einwirkung auf Stein bei der Zerlegung der körperlichen Überreste von Verstorbenen mitwirken. Sehr oft erscheinen sie an Artefakten und aus Gräbern entnommenen Textilien und können bei Restaurationsarbeiten mit Begräbnisüberresten gefährlich sein. Das hat sich übrigens in der Vergangenheit bei der Öffnung einer Gruft im Krakauer Wawel und bei gelegentlichen Klagen von Restaurateuren über unspezifische gesundheitliche Beschwerden bei der Arbeit mit Grabtextilien gezeigt.



19. – 24. dubna 2010
Mnichov

www.bauma.de

Revitalizace brownfields na kontaminovaných městských půdách a zdravotní rizika

RNDr. Libuše JILEMNICKÁ, CSc.
 ČVUT – Fakulta stavební
 Praha

Článek se zabývá výskytem rizikových látek v městských půdách pražské aglomerace a hodnocením zdravotních rizik pro obyvatelstvo v souvislosti s revitalizací brownfields. Je navrženo legislativní zavedení klasifikace městských půd a hygienických limitů rizikových látek. Odstraňování kontaminovaných půd při revitalizaci brownfields významně přispívá ke zlepšení kvality života, ochraně životního prostředí a udržitelnému rozvoji.

Úvod

Městské půdy se vyvíjely s rozvojem velkých městských aglomerací jako součást ekosystémů typických pro městské prostředí, a tak jsou důležitým zdrojem informací o stavebních aktivitách v minulosti a odrazem kulturního a archeologického dědictví. Geneze a chemické složení městských půd je velmi specifické. Mohou vznikat půdotvornými procesy, ale jejich součástí mohou být i umělé příměsi, jako jsou stavební drtě, odpady, popílek, asphalt, kaly. Jejich hydrologie a stupeň komprese se od zemědělských půd intenzivně liší [1]. Městské půdy zajišťují řadu nezastupitelných environmentálních funkcí. Mezi nejvýznamnější patří funkce vsakovací a transformační, ale slouží také k akumulaci kontaminantů a živin a tvoří nárazníkovou zónu před průnikem znečišťujících látek do podzemních vod. Velmi důležitá je jejich sorpční kapacita, po jejím naplnění přestávají být ochrannou bariérou. Na rozdíl od zemědělského půdního fondu, který je chráněn příslušnými zákony, nejsou městské půdy legislativně ošetřeny, i když hygienické limity, tedy maximálně přípustné koncentrace rizikových látek pro městské půdy, byly navrženy Státním zdravotním ústavem již v roce 1994.

První zmínka o udržitelném rozvoji území a ochraně krajiny jako podstatné složky životního prostředí, tedy i městských půd, se objevuje ve Stavebním zákonu č. 183/2006 v kapitole o územním plánování. V současné době se pro stanovení limitů jednotlivých polutantů městských půd používají limitní hodnoty stanovené metodickým pokynem Ministerstva životního prostředí z roku 1996, který nebyl dosud novelizován. Vzhledem k průmyslovým aktivitám v městských aglomeracích, spalování fosilních paliv, rostoucí hustotě automobilové dopravy a ukládání odpadů jsou negativní antropogenní dopady na městské půdy extrémní. Jedním z varujících faktorů je, že znečištění půdy není porovnáno, na rozdíl od znečištění ovzduší, okamžitě. Kontaminované půdy jsou obvykle součástí starých ekologických zátěží, které jsou závažným problémem při revitalizaci brownfields [2]. Brownfields však nelze ztotožňovat s kontaminovanými půdami [3], ale právě znečištěné základové půdy představují významná zdravotní a bezpečnostní rizika pro potenciální uživatele regenerovaných lokalit. Článek se zabývá příčinami znečištění a výskytem rizikových látek

v povrchových vrstvách městských půd na území pražské aglomerace a hodnocením zdravotních rizik pro obyvatelstvo v souvislosti s revitalizací brownfields.

Chemické znečištění půdy jako odraz negativní antropogenní činnosti

Půda je nedílnou součástí horninového prostředí jako nejsvrchnější části zemské kůry, na níž se projevuje nebo může projevit lidská činnost [4]. Antropogenní vliv na horninové prostředí, tedy i na půdu, se často negativně odráží v nepříznivých až rizikových geofaktorech. Mezi významné chemické rizikové geofaktory lze zařadit anomálně vysoké koncentrace toxických stopových prvků v půdách a podzemních vodách a velmi vysoký obsah organických sloučenin uhlíku, především polycyklických aromatických uhlovodíků (PAU), dále polycyklických bifenylů (PCB) či ropných produktů. Znečištění půd lidskou činností lze sledovat v naší zemi již ve středověku jako následek hornické těžby stříbra a polymetalických rud. V nivních sedimentech Labe u Kolína byly nalezeny stopy po středověkém dolování stříbra a olova v kutnohorských dolech. Zvýšený obsah olova může být výsledkem rozvoje sklářských hutí, jak to dokládají znečištěné písky Třeboňské pánve. V okolí sklárny v Chlumu u Třeboně dosahuje obsah olova až 3 000 ppm [5]. Ne vždy musí být zvýšené hromadění těžkých kovů v půdě následek průmyslové činnosti, často může být způsobeno přírodním zvětráváním matečné horniny a půdotvornými procesy. Dokladem geogenního procesu je např. arsen, kterého je v půdách asi pětkrát více než v podložních horninách.

Zemědělský půdní fond je chráněn zákonem č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu, a vyhláškou č. 13/1994 MŽP ČR, která stanoví maximálně přípustný obsah rizikových látek, především rizikových prvků a PAU v zemědělských půdách. Půda je kontaminována, pokud je překročen limit daný vyhláškou a poškozen potravinový řetězec. Avšak i ve velkých městských aglomeracích nacházíme půdy kontaminované toxickými stopovými prvky v koncentracích, které mohou být lidskému zdraví škodlivé. Příčin takového znečištění bývá několik. Největší část znečištění půd těžkými kovy pochází z atmosférického spadu. Ve velkých městských aglomeracích jsou původcem spadu stacionární zařízení využívající pro spalování fosilní paliva, jako jsou teplárny nebo malé, střední a velké kotelny. Mobilní zdroje, zvláště automobilová a železniční doprava, také významně přispívají ke kontaminaci půd z atmosférického spadu. Závažným zdrojem znečištění jsou zastaralé průmyslové technologie a nelze opomenout ani lokální kontaminace při provozních haváriích, jako bylo havarijní znečištění sedimentů Vnořského potoka v roce 1986 (pravděpodobně následkem úniku těžkých kovů, především kadmia, chrómu, mědi, zinku, olova, niklu a stříbra z technologického provozu podniku PAL Kbely). Ke znečištění městských půd přispívá i ukládání odpadů a kaly z čistíren odpadních vod.

Mezi rizikové organické látky patří polycyklické aromatické uhlovodíky, které se dostávají do atmosféry nedokona-

lým spalováním motorových paliv a odpařováním ze zásobníků pohonných hmot. Další z velmi nebezpečných polutantů jsou polychlorované bifenylly, které jsou vzhledem ke svému širokému používání v průmyslu a technice skutečnou hrozbou pro životní prostředí. Nejrozšířenějším organickým kontaminantem jsou ropné produkty s převahou benzínových a naftových frakcí, označované jako nepolární extrahovatelné látky (NEL).

Na rozdíl od zemědělského půdního fondu nejsou městské půdy legislativně chráněny. Hranice, od níž je možné koncentrace toxických stopových prvků a organických látek uhlíku označit za rizikové, se stanovuje pouze podle Metodického pokynu MŽP ČR z roku 1996 „Kritéria znečištění zemin, podzemní vody a půdního vzduchu“ (tab. 1). Jestliže koncentrace rizikových látek dosáhnou limitu C, je nutné rizika analyzovat. Pokud je prokázáno riziko migrace znečištění do okolí a hrozí nebezpečí poškození životního prostředí, je nutná sanace. Tento pokyn je dosud v platnosti, ale jeho význam je omezen. Kritéria A, B, C se používají jako porovnávací hodnoty, jestliže zjištěné koncentrace chemických látek nelze porovnat s hodnotami danými v legislativních předpisech.

Tab. 1. Kritéria pro rizikové látky v nezemědělských půdách*

Stopové prvky [mg kg ⁻¹]	A	B	C			
			obytné	rekreační	průmyslové	obecné
As	30	65	70	100	140	55
Be	5	15	20	25	30	–
Cd	0,5	10	20	25	30	12
Co	25	180	300	350	450	240
Cr celkem	130	450	500	800	1 000	380
Cu	70	500	600	1 000	1 500	190
Hg	0,4	2,5	10	15	20	10
Ni	60	180	250	300	500	210
Pb	80	250	300	500	800	300
V	180	340	450	500	550	–
Zn	150	1 500	2 500	3 000	5 000	720
organické látky	–	–	–	–	–	–
PAU	1	190	280	380	640	40
NEL	100	400	500	750	1 000	500
PCB	0,002	2,5	5	10	30	1

* upraveno podle Metodického pokynu MŽP ČR, 1996
 A – kritéria odpovídají přibližně přirozeným obsahům (překročení se posuzuje jako znečištění složky životního prostředí); B – umělé zavedená kritéria, daná přibližně aritmetickým průměrem limitů A a C (překročení kritéria B se posuzuje jako znečištění, které může mít negativní vliv na zdraví člověka a složek životního prostředí a vyžaduje předběžné hodnocení rizik); C – překročení představuje znečištění, které může znamenat významné riziko ohrožení zdraví obyvatelstva a složek životního prostředí (závažnost rizika musí být potvrzena jeho analýzou)

Využití území:

obytné – lidé mohou být vystaveni kontaminantům při bydlení (přímá expozice – např. inhalace prachu, nepřímá expozice – např.

konzumace pěstované zeleniny); **rekreační** – lidé mohou být vystaveni kontaminantům při rekreační činnosti. Expozice je omezená dobou a probíhá ve venkovním prostoru. Neplatí pro dětská hřiště a pískoviště; **průmyslové** – může dojít k časově omezenému kontaktu s kontaminovanou zemínou; **obecné** – území může být využito libovolným z výše uvedených způsobů.

Monitorování a mapování na území Prahy

Chemické znečištění půdy na vybraných lokalitách pražské aglomerace bylo pravidelně monitorováno od roku 1981. Podle požadavků Magistrátu hlavního města Prahy (dále MHMP) se prováděla stálá měření především v Praze 1, 2, 3 a v Praze 7 a dále v městských částech, jejichž úřady o sledování požádaly. Analýza byla zaměřena na stanovení obsahu toxických stopových prvků, zejména těžkých kovů, a zjištění obsahu organických látek PAU, PCB a NEL. Od roku 1997 byla k regulérně monitorovaným lokalitám přidána též místa se starými ekologickými zátěžemi a skládkami. Výsledky analýzy vzorků ze zemědělských půd byly vyhodnocovány podle vyhl. 13/1994 MŽP ČR k zákonu o ochraně zemědělského půdního fondu. Pro ostatní půdy byly použity limity stanovené v Metodickém pokynu MŽP ČR z roku 1996 o ukazatelích a normativních pro asanace znečištění zeminy a podzemní vody. Následující sdělení jsou rámcovým shrnutím monitoringu se zdůrazněním míst s vysokou koncentrací polutantů [6].

Nejvíce zatížena těžkými kovy a organickými látkami se ukázala být centrální část města, především Praha 1, 2, 3 a Praha 7, a to hlavně na plochách s parkovou úpravou, volných prostranstvích a dětských hřištích. Nevýrazné obohacení těžkými kovy nad limity A, B se objevily v Praze 9, obsah PAU, PCB a NEL zde vystoupil nad limit C. V oblasti Prahy 8 jsou půdy znečištěny NEL, a to nad limit C, a vyskytuje se mírná kontaminace těžkými kovy. Vybrané lokality ve Kbelích se vyznačovaly zvýšeným obsahem těžkých kovů, lokálně i PAU, PCB a NEL. V pásu od Kbel až po Vínův probíhalo měření již zmiňovaného Vínůvského potoka, tedy oblasti silně znečištěné kadmii a dalšími těžkými kovy. Toto znečištění trvá a objevuje se i kontaminace PAU, PCB a NEL. Podobné výsledky, tedy kontaminace kadmii a dalšími těžkými kovy, přinesla i měření v lokalitě Troja – Bohnice, kde příčinou zvýšené koncentrace mohly být aluviální sedimenty Vltavy ovlivněné čistírnou odpadních vod. I když jde o hodnoty nad limit A, jsou naměřené hodnoty podstatně vyšší než v ostatních částech hlavního města. Vyšší je zde i koncentrace NEL, PAU a PCB. V oblasti Rohanského ostrova se prokázala mírná navýšení těžkými kovy a NEL vázaná na divoké skládky. Zajímavý byl zvýšený výskyt organických sloučenin uhlíku v Jinonicích, kde hodnoty vysoce překračovaly maximálně přípustný obsah v limitu C Metodického pokynu. Alarmující je fakt, že tyto nálezy byly učiněny na dětském hřišti. Podobně tomu bylo i u zvýšeného obsahu těžkých kovů, PAU a NEL na pískovištích a dětských hřištích na Zbraslavi.

Zpřesnění a rozšíření monitorování, prováděného pro MHMP, přineslo geochemicko-ekologické mapování povrchových vrstev městských půd pražské aglomerace za účelem zjištění distribuce významných kontaminantů a vyhodnocení zdravotních rizik pro obyvatelstvo [7], [8]. Na rozdíl od stanovení znečišťujících látek v prašném spadu lze geochemickým mapováním odlišit přirozenou kumulaci prvků od koncentrace vzniklou antropogenní činností. Porovnání minimálního, maximálního a průměrného obsahu stopových prvků v půdách pražské aglomerace s jejich průměrným obsahem v půdách České republiky a průměrným obsahem v zemské kůře přináší tab. 2. Z údajů lze vyčíst výrazné anomálie arsenu, olova, zinku, kadmia a mědi v pražských pů-

Tab. 2. Koncentrace stopových prvků v pražských půdách a porovnání s jejich průměrným obsahem v českých půdách a zemské kůře [8]

Prvek* [ppm]	Pražské půdy		České půdy		Zemská kůra
	minimum	maximum	aritm. průměr	průměr	průměr
arsen	7	105	28	7,5	1,8
beryllium	0,4	3	1,5	0,X	2
chróm	9	60	8	2 – 200	2,1
kadmium	0,4	9,1	0,5	0,4	0,16
měď	7	152	45	25,8	24 – 55
nikl	5	60	22	40	99
olovo	15	346	68	41	13
rtuť	0,03	2,45	0,33	0,02 – 0,2	0,086
thalium	0,01	0,89	0,15	0,2	0,72
vanad	14	89	37	90	136
zinek	27	821	156	75	76

* hodnoty jsou v ppm (parts per million, tj. gt^{-1})

dách proti jejich průměrnému obsahu v půdách českých a zemské kůře. Geochemicko-ekologický průzkum kontaminace zemin v pražské aglomeraci prokázal, že především v bývalých průmyslových zónách (např. v Libni, Holešovicích, Vysočanech) koncentrace toxických stopových prvků, zvláště As, Be, Cr, Cd, Pb, Cu, Ni, Hg, Th, V, Zn, vysoce

Tab. 3. Porovnání průměrné a maximální koncentrace vybraných stopových prvků v půdách Prahy 7 s maximálně přípustnými koncentracemi navrženými Státním zdravotním ústavem a se středním obsahem prvků v horninách ČR [7]

prvek	Koncentrace [ppm]				
	klark*	střední obsah v horninách ČR	průměr. obsah	max. obsah	maximálně přípustný obsah podle SZU
arsen	1,7	8,3	42	194	10
beryllium	2	5	2	4	2
chróm	70	99	90	226	85
kadmium	0,1	3	0,2	13	0,4
měď	30	23	126	2 481	25
nikl	44	39	37	92	40
olovo	15	40	125	496	40
rtuť	0,08	0,01	0,7	2,4	0,25
kobalt	12	14	13	31	13
vanad	95	91	58	203	80
zinek	60	82	330	1 462	90

* standardní obsah prvku v horninách zemské kůry

překračuje hygienické limity, tedy maximálně přípustnou koncentraci navrženou Státním zdravotním ústavem.

Porovnání koncentrace vybraných stopových prvků v půdách Prahy 7, jako oblasti nejvíce zatížené atmosférickým spadem, s hygienickými limity, obsahem prvků v zemské kůře a středním obsahem v horninách ČR, přináší tab. 3. Z údajů vyplývá, že maximální obsah rizikových prvků v Praze 7 vysoce překračuje, někdy až řádově, nejen navržené hygienické limity, ale i maximální obsah těchto prvků v půdách pražských.

Znečištění městských půd toxickými stopovými prvky a organickými sloučeninami uhlíku na základě požadavku magistrátu HMP se v rámci monitorování životního prostředí v Praze naposledy provádělo v roce 1999. Výběr byl kromě pravidelně měřených lokalit orientován na lokality se starou ekologickou zátěží a skládky nebezpečných odpadů. Analýza se zaměřila i na dětská hřiště a pískoviště. Monitoring byl zaměřen na zvýšený obsah těžkých kovů, PAU, PCB a NEL. Výsledky, zobrazené v Atlasu životního prostředí z roku 2000, jsou téměř totožné s výskytem kontaminantů zjištěných při geochemicko-ekologickém mapování. Nejvyšší obsah olova, zinku, kadmia a NEL byl v Praze 1, 2, 3, 7 a 9, v pruhu od jihozápadu k severovýchodu.

Od roku 2000 se měření kontaminace městských půd v pražské aglomeraci neprovádějí. Měří se pouze imisní limity v atmosféře, a to obsah suspendovaných prachových částic z automobilové dopravy a dále vybraných těžkých kovů (olovo, niklu, kadmia a arsenu) a PAU. Rizikové látky v městských půdách monitoruje Státní zdravotní ústav pouze se zaměřením na dětská hřiště a pískoviště a případné problémy řeší ve spolupráci s hygienickou službou. Již v roce 1994 navrhl hygienické limity pro městské půdy, tedy maximálně přípustné koncentrace stopových prvků, které nejsou lidskému zdraví škodlivé. Do dnešní doby tento návrh neprošel legislativním procesem, takže například pro dětská pískoviště ochranné limity škodlivých látek vůbec neexistují.

Tab. 4. Formy výskytu vybraných prvků v půdách pražské aglomerace [4]

Typ vazby	Množství [%]					
	kadmium	kobalt	měď	nikl	olovo	zinek
vyměnitelné ionty	8 – 48	1 – 4	0,1	0,1	1 – 10	0,5 – 20
karbonáty	9 – 21	1 – 6	0,2	0,6	2 – 19	4 – 7
oxihydroxidy Fe, Mn	29 – 70	34 – 55	6 – 17	18 – 38	48 – 60	50 – 71
organické látky	3 – 10	2 – 12	42 – 65	9 – 17	12 – 22	8 – 13
silikátový zbytek	3 – 10	31 – 55	31 – 44	52 – 70	8 – 25	9 – 28

Distribuce kontaminantů a hodnocení zdravotních rizik

Významnou příčinou atmosférického spadu na území pražské aglomerace je morfologie terénu, která ovlivňuje proudění vzdušných mas. Území hlavního města patří geomorfologicky k soustavě Pražské plošiny. V její okolní parovině vznikla Pražská kotlina, poměrně úzká sníženina s rozšířením v místě holešovického meandru koryta Vltavy. Právě v tomto ohybu dochází ke zpomalování proudění vzduchu s následným intenzivním atmosférickým spadem. Nejvyšší

koncentrace toxických stopových prvků je soustředěna v centrální části města. V obvodech Prahy 1, 2, 3, 7 a v průmyslových částech Libně, Holešovic a Vysočan jsou zjištěny zvýšené koncentrace všech sledovaných těžkých kovů.

Z hlediska rizikovitosti toxických stopových prvků pro lidské zdraví jsou důležité formy výskytu, tedy chemické vazby těžkých kovů (tab. 4). Převážná část stopových prvků

se nachází ve snadno uvolnitelných a mobilních formách, čímž se zvyšuje riziko pro ovzduší a spodní i povrchové vody. Například kadmium, nikl i kobalt se váže na snadno uvolnitelné oxihydroxidy železa a manganu. Podobně je tomu i u zinku a olova, které se vyskytuje i v organické hmotě. Měď je vázána na organickou hmotu a nerozpustný silikátový zbytek.

Tab. 5. Distribuce rizikových látek v povrchových vrstvách půd pražské aglomerace

Rizikové prvky a organické látky	Zvýšený výskyt	Převažující zdroj znečištění	Zdravotní rizika
arsen	rozšířen celoplošně, vyšší koncentrace ve středu města	spalování fosilních paliv, automobilová doprava, průmyslové technologie	poškození centrální nervové soustavy, porucha látkové výměny, kancerogenní účinky na dýchací systém a kůži
chróm	plošné rozšíření po celé aglomeraci	hutní a chemické provozy, produkce cementu, spalování uhlí, chladičové systémy, čistírenské kaly	toxický v šestimocné formě, způsobuje záněty kůže
kadmium	výrazné anomálie kolem PAL Kbely a na severu při toku Vltavy, jinak nepravidelně	zpracování a úprava neželezných kovů, spalování fosilních paliv a odpadů	kumulace v ledvinách a játrech s retencí více než 10 let, narušení metabolismu Ca, P a vitamínu D, změny pevnosti kostí
nikl	nepravidelný pruh od JZ k SV, nejvyšší koncentrace na Jižním Městě	spalování fosilních paliv, výroba antikoročních slitin, akumulátorů	kancerogenní účinky, poškození dýchacích cest a vnitřních orgánů
olovo	nejvyšší koncentrace ve středu města a kolem hlavních automobilových tras	automobilová doprava, při koagulaci vytváří velmi mobilní prашný aerosol	poškození centrální nervové soustavy, narušuje cévní a imunitní systém, nebezpečný pro jedince v prenatálním a kojeneckém věku
rtuť	nejvyšší koncentrace v centrálních částech a průmyslových částech Holešovic, Libně a Vysočan	spalování tuhých paliv, čistírenské a městské kaly, okolí zpracovatelských závodů	všechny formy toxické, zvláště anorganické sloučeniny napadají ledviny a trávicí ústrojí
thalium	Radošín, Horní Počernice, Kobylisy, skládka v Dolních Chabrech	zpracování cementářských a jílových surovin a sulfidických kovů	silně toxický kov, postihuje centrální nervový i periferní systém
zinek	střed města a kolem hlavních automobilových tahů	metalurgický průmysl, elektrotechnika	těžké poškození dýchacích cest
platinoidy	střed města, velké křižovatky, hlavní automobilové tahy	používání katalyzátorů v automobilech	silné alergy

Distribuci významných kontaminantů povrchových vrstev městských půd na území pražské aglomerace spolu s výskytem, převažujícím zdrojem znečištění a možnými zdravotními riziky, představuje tab. 5. Jedním z nejrizikovějších prvků je arsen, který může pronikat do lidského organismu všemi dostupnými cestami. Nebezpečný je zejména jeho stimulační vliv na další kancerogenní agenty, jako je nikl, kobalt a PAU. Uvolňuje se při spalování nekvalitního uhlí a má nepříznivý vliv na centrální nervovou soustavu, kancerogenní účinky na respirační ústrojí a na kůži a způsobuje metabolické problémy. Arsen kontaminuje půdu do hloubky 30 cm a jeho mobilita závisí na množství organických látek, pH a vlhkosti půdy. Nejvíce je ho ve středu města, ale ve zvýšeném množství je rozšířen celoplošně. Dalším velmi nebezpečným těžkým kovem je olovo, především jeho mobilní formy. Je rozšířeno celoplošně, s průměrnou koncentrací 40-80 ppm, ale ve středu města a kolem hlavních automobilových tahů dosahuje jeho koncentrace až několika set ppm. Představuje riziko pro ovzduší i pro podzemní vody, protože při koagulaci vytváří prашný aerosol přetrvávající 7 až 30 dní. Do organismu se dostává gastrointestinální a respirační cestou a při otravě poškozuje centrální nervovou soustavu, narušuje cévní a imunitní systém a je zvláště nebezpečný pro jedince v prenatálním a kojeneckém věku. Velmi nebezpečné je kadmium, které pochází převážně z galvanizoven a akumulátoroven. Vyskytuje se ve dvou výrazných anomáliích kolem bývalého závodu PAL Kbely a na severu při toku Vltavy a také nepravidelně v Praze 2, 3, v Podolí a na Vyšehradě. Do organismu proniká dýchacím a zažívacím ústrojím a jeho nebezpečí spočívá v tom, že se usazuje v ledvinách a játrech s retencí více než 10 let, narušuje metabolismus vápníku, fosforu a vitamínu D a způsobuje změny v pevnosti kostí.

Dalším toxickým prvkem je rtuť, a to jak v anorganických, tak organických sloučeninách. Kontaminuje půdu v okolí zpracovatelských závodů a vyskytuje se hlavně v průmyslových částech Holešovic, Libně a Vysočan. Kromě atmosférických imisí, vzniklých při spalování tuhých paliv, jsou zdrojem znečištění čistírenské a městské kaly. Do organismu se vstřebávají respiračním a gastrointestinálním traktem, jeho především anorganické sloučeniny napadají ledviny a trávicí ústrojí. Sloučeniny vstupují do potravinového řetězce a snadno se akumulují v rostlinných a živočišných organizmech. Nebezpečným prvkem je také nikl, hlavně pro své kancerogenní účinky, poškozují dýchací cesty a vnitřní orgány. Do organismu se dostává respiračním ústrojím a dermální i zažívací cestou. Jeho mobilita v přírodě je ovlivněna pH, kyselost prostředí ovlivňuje jeho toxicitu. Nikl se na území pražské aglomerace vyskytuje v pruhu od jihozápadu k severovýchodu a nejvyšší koncentrace dosahuje v oblasti Jižního Města. Do ovzduší se dostává při spalování fosilních paliv, při výrobě slitin, akumulátorů a z leteckého průmyslu. Forma výskytu je důležitá u chrómu, který je v šestimocné formě toxický, velmi mobilní a způsobuje vředové záněty kůže. Po dlouhodobém vstřebávání respiračním ústrojím má i kancerogenní účinky. Naopak jako trojmocný je významným biogenním prvkem. Pochází z hutních provozů, cementáren a galvanizoven a na území pražské aglomerace se vyskytuje celoplošně.

Z dalších toxických stopových prvků stojí za zmínku berylium, thalium a vanad. Berylium nepatří mezi těžké kovy, ale je také škodlivé. V pražské aglomeraci se vyskytuje společně s arsenem od středu města k severovýchodu. Do ovzduší se dostává především při spalování tuhých paliv, jeho použití může být v metalurgii a elektrotechnice. Do organismu proniká dýchacím ústrojím, je to významný plicní kancerogen a má toxické účinky na centrální nervovou soustavu. Za toxický stopový prvek je považován i vanad, který se vyskytuje v uhlí a do atmosféry proniká při jeho spalování. V pražských půdách se soustřeďuje do průmyslových částí Holešovic, Libně a Vysočan. Thalium se do ovzduší dostává například při zpracování cementářských a jílových surovin. Tento silně toxický kov postihuje centrální nervovou soustavu a periferní nervstvo.

Zajímavým experimentem je sledování platiny a platino- vých kovů, tedy iridia, palladia, rhodia a ruthenia na frekventovaných křižovatkách ve městech. Jejich zvýšený výskyt se dává do souvislosti s rostoucím používáním katalyzátorů ve spalovacích motorech automobilů. Platinoidy jsou prokazatelně silnými alergeny. Organické sloučeniny, zejména PAU a PCB, představují velké zdravotní riziko pro obyvatelstvo. Polycyklické aromatické uhlovodíky mají kancerogenní účinky, existuje zde riziko leukémie. Vyskytují se podobně jako polychlorované bifenoly nepravidelně, ale především ve středu města a kolem významných automobilových tras.

Revitalizace brownfields jako princip udržitelného rozvoje

Brownfields představují v současném světě naléhavý problém, který nemůže být odstraněn běžnou modernizací zastavěného prostředí města nebo území. Podle zjednodušené definice, vzniklé pro potřeby OECD, jsou brownfields opuštěná a zdevastovaná území se zchátralými a již nefunkčními průmyslovými či obchodními prostorami, kde regenerace a rozvoj je komplikován skutečným nebo předpokládaným znečištěním životního prostředí [9]. Regenerace brownfields může významně přispět k udržitelnému rozvoji

měst a obcí. Zachovává a oživuje historická jádra měst, vytváří zóny klidu a zeleně, zvyšuje bezpečnost a podílí se na zlepšování kvality života nejen pro současnou, ale i pro budoucí generace. Jedním z nejvýznamnějších důvodů, proč revitalizovat brownfields městských aglomerací, je ten, že proces vede k omezení záboru zemědělských a lesních půd. V současné době dávají developeři stále přednost výstavbě na zelených loukách, protože získání povolení k přeměně zemědělské půdy na stavební parcely je poměrně snadné a výstavba je levnější. Výsledkem je přetrvávání devastovaných nemovitostí a narušených území, zatímco oblasti zemědělské půdy a zeleně se zmenšují, což je v příkrém rozporu s principem udržitelnosti. Právě tyto principy by měly být podstatným impulzem při územním plánování, kde zachování kvality života obyvatel je na prvním místě [10]. Při přeměně brownfields na nové lokality je nutné vzít v úvahu řadu ekonomicko-ekologických faktorů. Jsou to zejména neprůhledné vlastnické vztahy, nákladnost procesů přestavby, a především vysoké náklady na vyčištění kontaminované půdy, odstranění kontaminovaných stavebních konstrukcí a sanaci podzemních vod. Řešení problémů kontaminovaných městských půd v brownfields je složitější v porovnání se znečištěním ovzduší, protože často původce takové kontaminace není znám.

V katastrálním území Hlavního města Prahy zaujímají problematicky využívaná místa 1 707 ha zastavěného území, z toho brownfields 747 ha. Zmapování a přesná lokalizace brownfields je náplní databáze případových studií brownfields [11], jejímž základem je dotazník, ve kterém se kromě lokalizace, popisu projektu a financování vyplňují údaje o ekologických zátěžích a jejich odstraňování. Vybrané typy realizovaných projektů revitalizace brownfields nebo investičních záměrů především z Prahy, doplněné o projekty z Plzně a Brna, uvádí *tab. 6*. Kromě typů ekologické zátěže a remediační metody je uvedeno zařazení lokality na základě klasifikace Ministerstva financí ČR Národní strategie regenerace brownfields.

Databáze případových studií je důležitým zdrojem informací o řešení revitalizace brownfields. Možná by však stálo za úvahu stávající databázi rozšířit a doplnit o údaje na základě hodnocení priorit kontaminovaných a potenciálně kontaminovaných míst podle Metodického pokynu MŽP ČR z roku 2008. Systém pro stanovení priorit klasifikuje lokality se starou ekologickou zátěží na základě analýzy rizik do několika základních kategorií podle dalšího vyžadovaného postupu. Velmi důležitým znakem hodnocení je fakt, že sjednocuje přístup ke kontaminovaným lokalitám všeho druhu. Výběr priorit se týká nejen starých skládek a starých ekologických zátěží, ale také potenciálně kontaminovaných míst, která jsou jedním z negativních ekologických faktorů regenerace brownfields. Hlavní předností nového systému je, že nutnost a časová naléhavost remediačních opatření jsou jednoznačně určeny charakterem dopadů kontaminace lokality na lidské zdraví a životní prostředí. Metodický pokyn lze využít při územním plánování a dalším rozhodování o využití lokalit s kontaminační zátěží v souladu se Stavebním zákonem.

Principy zásad udržitelného rozvoje v rámci revitalizace brownfields zajišťují i jiná administrativně-právní opatření [12]. Patří mezi ně „Místní Agenda 21“ jako nástroj uplatňování principů udržitelného rozvoje na místní a regionální úrovni, která vybízí k maximálnímu využití brownfields pro nové aktivity. Také „Ekologický akční program“ je důležité opatření, zaměřené na integrovaný přístup místních samospráv s cílem dosáhnout dlouhodobého zlepšování životního prostředí ve městech a ochrany zdraví obyvatel.

Tab. 6. Vybrané projekty revitalizovaných brownfields

Název projektu	Ekologická zátěž	Remediační metoda	Kategorie lokality podle klasifikace MF ČR*
PZ Škoda Plzeň	kontaminace stavebních konstrukcí, půdy a podzemní vody, skládky	čištěno na pozemku	4b*
Nové Vysočany, Praha	kontaminace stavebních konstrukcí, půdy a podzemní vody	čištěno na pozemku	3b*
Anděl Business Center Smíchov, Praha	kontaminace půdy	odstraněno mimo pozemek	3b
Kolben Business Park, Praha	kontaminace půdy a podzemní vody	inkapsulováno nebo bariéry	3b
KOC Nový Smíchov	kontaminace půdy	odstraněno mimo pozemek	3b
Nová Harfa – Vysočanská spalovna	kontaminace stavebních konstrukcí	odstraněno mimo pozemek	1b*
Karlínská kotelna, Praha	kontaminace stavebních konstrukcí a půdy	čištěno na pozemku	1b
Vaňkovka Brno – administrativní budova a strojárna	kontaminace stavebních konstrukcí, půdy a podzemní vody	odstraněno mimo pozemek	1b

* 4b – pozemky pravděpodobně velmi kontaminované, nejsou dobře umístěné a je na nich velký počet opuštěných budov; 3b – pozemky pravděpodobně velmi kontaminované, dobře umístěné, s velkým počtem opuštěných budov; 1b – pozemky pravděpodobně nekontaminované (nebo lehce kontaminované), dobře umístěné, s několika, popř. žádnými, budovami

Závěr a doporučení

Kontaminace půd je závažným ohrožením a narušením životního prostředí. V důsledku představuje potenciální zdravotní riziko pro celý ekosystém, zvláště pro lidské zdraví. Nebezpečný je především synergický účinek rizikových látek. Z humanotoxikologického hlediska záleží na délce expozice toxického stopového prvku na lidský organismus. Někdy i dlouhodobé účinky nízkých koncentrací škodlivin jsou považovány za nebezpečnější než krátkodobé expozice vysokým koncentracím.

Měření kontaminace povrchových vrstev městských půd na území pražské aglomerace prokázalo zvýšený až rizikový výskyt toxických stopových prvků, zejména těžkých kovů, organických sloučenin uhlíku a ropných produktů v centrální části města a v průmyslových částech Holešovic, Libně a Vysočan. Kontaminované půdy jsou jedním z negativních ekologických faktorů revitalizace brownfields. Regenerace těchto narušených území a devastovaných nemovitostí včetně odstranění kontaminovaných zátěží přinese užitek pro obyvatele měst a obcí, ochrání životní prostředí a významně přispěje ke zlepšení kvality života a k udržitelnému rozvoji.

Důležitým aspektem ochrany celého ekosystému jsou i dopravní řešení v podobě obchvatů měst či výstavby tunelů, které by měly snížit vliv automobilové dopravy na kontaminaci městských půd. Zajímavé by bylo v této souvislosti i nové měření kontaminace půdy ve Stromovce a na Letné v souvislosti s výstavbou tunelu Blanka.

Z uvedených skutečností vyplývají doporučení, která je nezbytné pro ochranu zdraví obyvatel a životního prostředí v rámci administrativně-právních opatření aplikovat:

- zavést klasifikaci městských půd z hlediska využití a v návaznosti určit limity rizikových látek pro jednotlivé kategorie;
- obnovit monitoring městských půd na území hlavního města, ukončený v roce 1999 v souladu s novou kategorizací kontaminovaných míst z hlediska priorit;
- legislativně zavést již navržené hygienické limity, tedy maximálně přípustné koncentrace rizikových prvků v městských půdách;
- k údajům o výskytu rizikových látek v půdě by se mělo přihlížet při urbanistických záměrech, schvalování projektů revitalizace brownfields a při řešení dopravních systémů;
- při revitalizaci brownfields by se měla věnovat velká pozornost účelu nové stavby a možným zdravotním rizikům pro obyvatelstvo;
- při schvalování územního plánu v městských aglomeracích dávat jednoznačně přednost revitalizaci brownfields, protože vede k omezení záboru zemědělských a lesních půd.

Článek byl vypracován v rámci výzkumného záměru č. MSM 6840770006 „Management udržitelného rozvoje životního cyklu staveb, stavebních podniků a území“ za podpory MŠMT.

Literatura

- [1] Norra, S. – Stüben, D.: Urban Soils. JSS – J Soils&Sediments, 3 (4), (2003), pp. 230-233.
- [2] Jilemnická, L.: Problémy starých ekologických zátěží při revitalizaci brownfields ve městech na příkladu pražské aglomerace. In: Management udržitelného rozvoje životního cyklu staveb, stavebních podniků a území. ČVUT Praha, 2007, s. 105-108.
- [3] Kuráž, V.: Remediacce brownfields v ČR – případové studie. Seminář „Revitalizace deprimujících zón pro veřejnou správu č. WB-41-04“. ČVUT Praha, 2005.
- [4] Kukaň, Z. – Reichmann, F.: Horninové prostředí České republiky. Český geologický ústav Praha, 2000. /ISBN 80-7075-413-3/
- [5] Ďurica, D. – Holý, M. – Suk, M.: Člověk jako geologický činitel. Moravské zemské muzeum Brno, 2008. /ISBN 978-80-7028-331-8/
- [6] Praha – Životní prostředí. Ročenky o životním prostředí magistrátu HMP 1995-2006. [CD-ROM]. Magistrát hlavního města Prahy, 2007.
- [7] Ďuriš, M. – Zimová, M.: Geochemicko-ekologické mapování pražské aglomerace. Obvod Praha 7. Měřítko 1:25 000. Český geologický ústav Praha, 1994.
- [8] Ďuriš, M.: Geochemicko-ekologické mapování pražské aglomerace a následné vyhodnocení zdravotního rizika pro obyvatelstvo. MS Český geologický ústav Praha, 1996.
- [9] Mountford, D. – Pesko, C.: Achieving Sustainable Urban Development: from Brownfields to Environmental Management. UNEP Industry and Environment, No. 1, Vol. 23, (2000), pp. 18-21.
- [10] Adams, D. – Craig, W.: Greenfields, Brownfields and Housing Development. Oxford, Blackwell 2002. /ISBN 0-632-06387-4/
- [11] Jirásko, D. et al.: Revitalizace deprimujících zón pro veřejnou správu č. WB-41-04. Projekt MMR ČR, 2004.
- [12] Jilemnická, L.: Administrativně-právní nástroje v procesu revitalizace brownfields. In: Management udržitelného rozvoje

životního cyklu staveb, stavebních podniků a území, s. 121-123. ČVUT Praha, 2008.

Legislativa

- zákon č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu
- zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu
- vyhláška č. 13/1994 MŽP ČR, která vymezuje limity obsahu rizikových prvků a rizikových látek v zemědělské půdě, prováděcí předpis k zákonu č. 334/1992
- metodický pokyn MŽP ČR „Kritéria znečištění zemin, podzemní vody a podzemního vzduchu“, 1996
- metodický pokyn MŽP ČR „Hodnocení priorit – kategorizace kontaminovaných a potenciálně kontaminovaných míst, 2008

Jilemnická, L.: Revitalization of Brownfields on Contaminated Urban Soils and Health Hazards

This paper deals with occurrence of contaminants in urban soils of Prague's agglomeration and evaluation of health risks arising in connection with brownfields redevelopment. Introduction of the urban soil classification and hygienic limits of contaminants into legislation is proposed. Removing contaminated soils as a part of brownfield redevelopment significantly contributes to improvement of the quality of life, environmental protection and sustainable development.

Jilemnická, L.: Revitalisierung von Industriebrachen auf kontaminierten städtischen Böden und Gesundheitsrisiken

Der Artikel befasst sich mit dem Vorkommen von Risikostoffen in städtischen Böden des Prager Ballungsraums und mit der Bewertung der Gesundheitsrisiken für die Bevölkerung im Zusammenhang mit der Revitalisierung von Industriebrachen. Es wird die gesetzliche Einführung einer Klassifizierung städtischer Böden und hygienischer Limits für Risikostoffe vorgeschlagen. Die Beseitigung der kontaminierten Böden bei der Revitalisierung von Industriebrachen trägt zur Verbesserung der Lebensqualität, zum Umweltschutz und zur nachhaltigen Entwicklung bei.

● projekty

Modřanský Háj



Unikátní koncept nízkopodlažních domů, v originálním designu a s flexibilním uspořádáním bytů a domů v těsné blízkosti pražské Modřanské rokle, jedné z nejvyhledávanějších rezidenčních lokalit, realizuje developerská a investiční společnost Quinlan Private Golub.

Projekt nabízí několik rozdílných domů, které se budou nacházet na kopcovitém pozemku hned vedle rozsáhlého lesa. Projekt vznikne v několika fázích a ve výsledku bude zahrnovat 13 bytových domů, 9 terasových domů, 12 vilových domů a 20 dvojvil, které budou mít dohromady k dispozici 600 bytových jednotek. Komplex se bude rozkládat na pozemku o velikosti 12 ha. Celkové náklady se odhadují na 2,84 mld. Kč.



Výstavba byla zahájena v průběhu letošního léta, dokončení prvních domů a bytů se plánuje v první polovině roku 2010. Návrh projektu vznikl v předním českém architektonickém studiu A69.

Tisková informace



INTERNATIONAL CONFERENCE ON MODELLING AND SIMULATION

22. – 25. June 2010

Czech Technical University in Prague



<http://concrete.fsv.cvut.cz/ms10prague/>

Bezpečná vzdálenost mezi vozidly a simulace dopravního proudu

Ing. Petr HOLCNER, Ph.D.
VUT – Fakulta stavební
Brno

Vztah mezi hustotou a rychlostí dopravního proudu je základem každého modelu dopravního proudu – mikroskopického i makroskopického. Přitom respektuje běžně přijímané představy o bezpečném odstupu mezi vozidly. Ten však není jednoznačně definován, popsány jsou dva odlišné přístupy. Analýza bezpečné vzdálenosti je důležitá pro simulační modely i pro posouzení příčin nehod. Pro ověření makroskopických charakteristik simulovaného dopravního proudu a odstupů mezi simulovanými vozidly jsme naprogramovali modifikovaný model IDM v programovacím jazyku JAVA.

Úvod

Základem každého modelu dopravního proudu, mikroskopického či makroskopického, je vztah mezi rychlostí vozidla (dopravního proudu) a vzdáleností od předcházejícího vozidla (hustotou dopravního proudu). V některých modelech (např. mikroskopických „akcelerační“ modely) to nemusí být explicitně vyjádřeno, ale implicitně je tam tento vztah zahrnut (např. při výpočtu akcelerace v daném kroku výpočtu). Při popisu dopravního proudu fundamentálními diagramy je základním definičním grafem vztah hustoty a rychlosti, přitom lokální hustota je inverzní hodnotou ke vzdálenosti mezi vozidly. Běžně se chápe hustota jako nezávisle proměnná veličina a rychlost jako závislá. Ve skutečnosti jde spíše o vztah, ve kterém se určuje dvojice hodnot hustota/rychlost, aniž by se některá dala určit za výchozí a řídicí. V případě odvozování modelu lze vyjít ze známé nebo předpokládané „bezpečné“ vzdálenosti závislé na rychlosti a do fundamentálního grafu hustota/rychlost stanovit vzdálenost mezi vozidly (inverzní k hustotě) v závislosti na rychlosti.

Vztah hustota/rychlost jako základ modelu

Stav dopravního proudu v místě x a v čase t je popsán třemi základními veličinami:

- hustotou $\rho(x, t)$, tj. počtem vozidel na délkovou jednotku, obvykle voz/km;
- rychlostí $u(x, t)$, většinou km/h;
- intenzitou $q(x, t)$, tj. počtem vozidel, která projedou zkoumaným profilem za jednotku času, většinou voz/h.

Hledání a popis vztahů mezi těmito třemi veličinami je základem teorie dopravního proudu [1]. Při ustáleném dopravním proudu platí

$$q = u \cdot \rho. \quad (1)$$

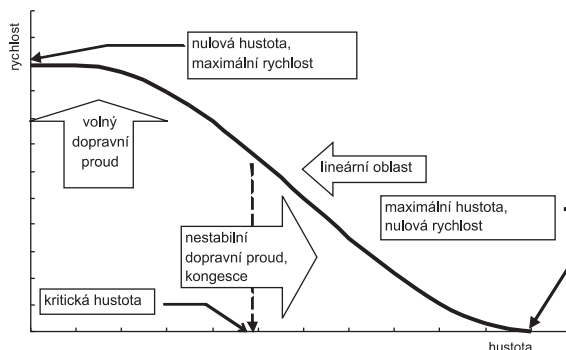
Přitom jeho rychlost závisí na hustotě dopravního proudu

$$u = u(\rho), \quad (2)$$

a tedy

$$q(\rho) = u(\rho) \cdot \rho. \quad (3)$$

V rámci tohoto fundamentálního neopominutelného vztahu lze dopravní proud definovat různou formulací rychlostní funkce $u(\rho)$. Tato závislost zásadně ovlivňuje chování zvoleného modelu a je předmětem zkoumání, které nepřináší jednoznačný výsledek. Uvažujeme o základním modelu pro jeden jízdní pruh, ve kterém si vozidla uchovávají pořadí (nepředjíždějí se). Všechny realistické modely dopravního proudu pak respektují omezení, která jsou patrná z průběhu obecné závislosti rychlosti na hustotě (obr. 1).



Obr. 1. Obecný vztah hustoty a rychlosti v dopravním proudu

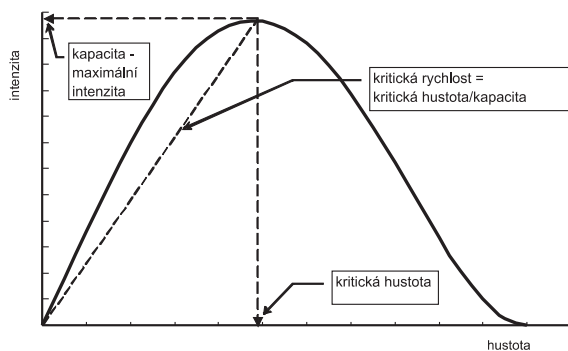
Shoda existuje v základních předpokladech:

- maximální rychlosti (požadovaná rychlost, rychlostní limit, volná rychlost) se dosahuje při hustotě blízké nule. Intenzita je v takovém případě malá, blíží se nule. Dopravní proud se nachází ve stavu nazývaném *volný dopravní proud*;
- maximální hustota je limitována konečným počtem vozidel, která lze umístit na délkovou jednotku vzhledem k nenulové délce vozidel. Kromě toho se započítává i minimální odstup, který mezi sebou vozidla udržují. Při maximální hustotě se dopravní proud zastaví, nebo má rychlost blízkou nule. Vzhledem k tomu je intenzita nulová, nebo blízká nule. Dopravní proud je ve stavu zácpy (*traffic jam*), vozidla stojí, pokud se pohybují, tak pouze *popojížděním (stop and go)*;
- mezi těmito krajními hustotami rychlost v závislosti na hustotě klesá, většinou se v souladu s empirií uvažuje, že klesá monotónně a spojitě;
- někde v intervalu od nulové do maximální hustoty existuje *optimální hustota* z hlediska maximální dosažitelné intenzity (v dopravně inženýrské praxi se hovoří o kapacitě jízdního pruhu). Tato hustota se nazývá *kritická*.

Stacionární modely – obecně

Fundamentální diagramy jsou běžně používaným prostředkem pro popis modelu dopravního proudu. Z hlediska

definice modelu je primární vztah hustota/rychlost [2]. Z něho je odvozen vztah hustota/intenzita (obr. 2). Vzhledem k uvedeným podmínkám pro závislost rychlosti na hustotě dopravního proudu je intenzita nulová při nulové hustotě (a maximální rychlosti), a rovněž při maximální hustotě (rychlost je nulová). Pojmem fundamentální diagram bývá většinou označován právě tento vztah, jenž ukazuje intenzitu, které je možné dosáhnout na silnici při dané hustotě. Uvedená dvojice grafů bývá doplněna závislostí intenzity na rychlosti dopravního proudu.



Obr. 2. Obecný vztah hustota/intenzita v dopravním proudu (fundamentální diagram)

Při popisu dopravního proudu fundamentálními diagramy tohoto typu se většinou implicitně přijímají tyto předpoklady:

- dopravní proud má tendenci dospět do ustáleného stavu, který odpovídá fundamentálnímu diagramu;
- pokud měříme v reálném dopravním proudu dostatečně dlouhou dobu, zjistíme hodnoty odpovídající fundamentálnímu diagramu;
- případné odchylky hustoty, intenzity a rychlosti, které vždy naměříme (pro kratší intervaly měření jsou odchylky větší), mají příčinu pouze v odlišných charakteristikách vozidel (technických parametrech vozidla, schopnostech, momentálním psychickým stavu a svobodné vůli řidiče).

Tyto odlišné charakteristiky lze do modelu zavést statisticky. Tím se model stane úplným.

Jde tedy o stacionární modely, protože se předpokládá tendence k ustálení charakteristik dopravního proudu. Rozlišují se podle vztahu hustota/rychlost.

Stacionární Greenshieldsův model

Tento klasický model slouží jako základ pro matematickou analýzu problematiky [3]. Je charakterizován nerealistickou lineární závislostí rychlosti dopravního proudu na hustotě proudu vozidel. Z lineární závislosti $u(\rho)$ vyplývá parabolická závislost $\rho(r)$ (obr. 3). Lineární závislost pak lze s přihlédnutím k okrajové podmínce formulovat

$$u(\rho) = u_{\max} \cdot \left(1 - \frac{\rho}{\rho_{\max}}\right). \quad (4)$$

Podle rovnice (1) pak dostaneme kvadratickou závislost intenzity na hustotě

$$q(\rho) = u(\rho) \cdot \rho = u_{\max} \cdot \left(\rho - \frac{\rho^2}{\rho_{\max}}\right). \quad (5)$$

Pro nastavení správných parametrů modelu se použije maximální hustota ρ_{\max} a maximální rychlost u_{\max} (Green-

shieldsův lineární model je tímto úplně popsán). Maximální intenzity (kapacity) je dosaženo při hustotě $\rho_{\text{krit}} = \rho_{\max}/2$ a odpovídající rychlost je $u_{\text{krit}} = u_{\max}/2$. Protože se charakteristiky dopravního proudu liší i v závislosti na vnějším prostředí a podle specifických vlastností vozidel v dopravním proudu, neexistuje jednoznačná shoda o hodnotách, na které by se měly dopravní modely kalibrovat.

Greenshieldsův model je nerealistický především v oblasti malých hustot. Ve skutečnosti vozidla, která mají velké odstupy, vzájemně neovlivňují své chování a udržují rychlost blízkou maximální. Při hustotě kolem $\rho_{\max}/2$ je reálná rychlost výrazně nižší než v Greenshieldsově modelu. Důsledkem lineární závislosti rychlosti je symetrie grafu hustota/intenzita, která rovněž neodpovídá skutečnosti. Kapacity je ve skutečnosti dosahováno při nižších hustotách.

Stacionární modely odvozené od bezpečné vzdálenosti

Bezpečný odstup mezi vozidly je velmi často používaný pojem, neexistuje však žádná jeho jednoznačná definice pro praktické použití, přestože z něho bývá odvozena odpovědnost při haváriích. V zákonu 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích, je stanoven požadavek na odstup mezi vozidly v §19 takto: „Řidič vozidla jedoucí za jiným vozidlem musí ponechat za ním dostatečnou bezpečnostní vzdálenost, aby se mohl vyhnout srážce v případě náhlého snížení rychlosti nebo náhlého zastavení vozidla, které jede před ním.“. Tento požadavek je při shodné rychlosti za sebou jedoucích vozidel (stacionární předpoklad) zcela splněn (při identických deceleračních schopnostech vozidel), pokud je reakční doba řidiče kratší nebo rovna časovému odstupu mezi vozidly. To splňuje dále popsáný model konstantního odstupu (běžně se doporučuje odstup 2 s, některé prameny jako minimum uvádějí 1 s).

Dalším vodítkem může být §5, podle kterého je řidič povinen „... umožnit chodci, který je na přechodu pro chodce nebo jej zřejmě hodlá použít, nerušené a bezpečné přejetí vozovky; proto se musí řidič takového vozidla přibližovat k přechodu pro chodce takovou rychlostí, aby mohl zastavit vozidlo před přechodem pro chodce ...“. Matematickou interpretací tohoto požadavku je spíše model pro bezpečné zastavení na rozhledovou vzdálenost. Obdobný požadavek je oprávněný rovněž pro případ řetězových havárií, kdy předcházející vozidlo může zastavit náhle nárazem, nikoli konstantní decelerační odpovídající adhezním podmínkám.

Z hlediska právní odpovědnosti pak rozhoduje spíše výsledek (nastala havárie), nikoli samotná délka odstupu. Obecně platný a spolehlivý návod na určení bezpečné vzdálenosti neexistuje.

Model konstantního časového odstupu

Tento model vychází z obecně uznávaného návodu pro bezpečnou jízdu: „Dodržujte od předcházejícího vozidla časový odstup t_R (typicky v hodnotě $t_R = 2$ s) při libovolné rychlosti“. V literatuře ho lze najít jako lineární CFM a lze ho odvodit z jednoduchého předpokladu, že akcelerace i -tého vozidla je úměrná jeho relativní rychlosti k předcházejícímu vozidlu $i-1$.

Pokud zanedbáme délku vozidla, je požadavkem konstantního časového odstupu přímo definována konstantní hodinová intenzita pro hustotu v celém rozsahu,

$$q = \frac{3600}{t_R} = \text{konst}, \quad \text{pro } t_R = 2 \text{ s} \quad q = 1800 [\text{voz/h}]. \quad (6)$$

Bezpečný odstup je odvozen od požadavku nenarazit na předcházející vozidlo v případě, že brzdí nebo zastavuje. Předpokládá se rovnoměrně zpomalený pohyb a obě vozidla mají stejnou deceleraci, tedy i stejnou brzdnou dráhu. Pokud by následující vozidlo bylo schopné okamžité reakce, konstanta by mohla být $t_R = 0$. Konstanta t_R představuje časový odstup umožňující opožděnou reakci, a proto se často označuje jako reakční doba. Systémy Adaptive Cruise Control (ACC), nebo jinak nazývané systémy inteligentních tempomatů, často deklarují, že se řídí právě požadavkem na dodržení zvoleného časového odstupu za předcházejícím vozidlem.

Aby byl model realistický, je nutno vzít v úvahu nenulovou délku vozidla (4-5 m) a je rozumné zachovat minimální odstup mezi vozidly (2-3 m), aby nezastavovala na dotek nárazníků. Hodnota decelerace není důležitá, ale je stejná pro všechna vozidla. Při nízké hustotě se uplatní rychlostní limit a časový odstup mezi vozidly roste.

Při rychlosti u pak můžeme popsat jednoduchým vztahem vzdálenost vozidel

$$d = d_{\min} + u t_R. \quad (7)$$

Hustota je potom inverzí vzdálenosti vozidel podle vztahu

$$\rho(u) = \frac{1}{d_{\min} + u t_R}. \quad (8)$$

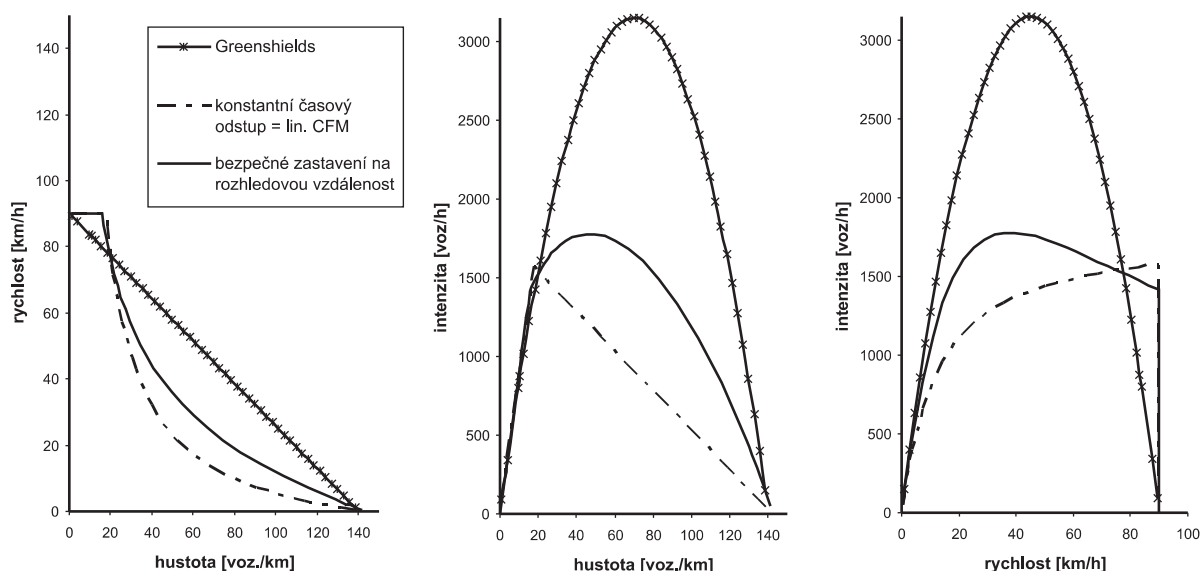
A naopak, po převedení do opačného vztahu, který se běžně uvažuje, závislost rychlosti na hustotě

$$u(\rho) = \frac{1}{t_R} \left(\frac{1}{\rho} - d_{\min} \right). \quad (9)$$

Pro závislost intenzity na hustotě pak dostaneme lineární průběh

$$q(\rho) = u(\rho) \cdot \rho = \frac{1}{t_R} (1 - d_{\min} \rho). \quad (10)$$

Model vykreslený v *obr. 3* je nastaven na tyto parametry: reakční doba (konstantní časový odstup) $t_R = 2,0$ s, minimální odstup mezi vozidly $d_{\min} = 7,0$ m, maximální rychlost $v_{\max} = 90$ km/h.



Obr. 3. Diagramy pro modely Greenshieldsův, konstantního časového odstupu a bezpečného zastavení na rozhledovou vzdálenost

Časový odstup mezi vozidly (konec vozidla a čelo následujícího) definuje samotný model, jejich průběh je konstantní v rozsahu rychlostí menších, než je maximální.

Bezpečné zastavení na rozhledovou vzdálenost

Tento model vychází z dosti přísného požadavku na dodržení takové bezpečné vzdálenosti od předcházejícího vozidla, která umožní zastavit na rozhledovou vzdálenost, omezenou předcházejícím vozidlem. Vzdálenost od předcházejícího vozidla se uvažuje rovná brzdě dráze (při konstantní deceleraci). Takový požadavek odpovídá třeba situaci, kdy předcházející vozidlo havaruje nárazem do pevné překážky (třeba při řetězové havárii). Další odpovídající situací (zcela realistickou) je vstoupení chodce do vozovky za prvním vozidlem.

Brzdná dráha (a tedy požadovaný odstup) je přímo úměrná druhé mocnině rychlosti a nepřímo úměrná deceleraci

$$d = \frac{u^2}{2 a_{\text{dec}}}. \quad (11)$$

Pro zvýšení věrohodnosti je nutné zavést nenulovou délku vozidla d_{\min} a v úvahu rovněž vzít dráhu d_R ujetou během reakční doby t_R . Vztah pro vzdálenost mezi vozidly je pak

$$d = \frac{u^2}{2 a} + d_{\min} + u t_R. \quad (12)$$

Hustota je pak na rychlosti závislá podle vztahu

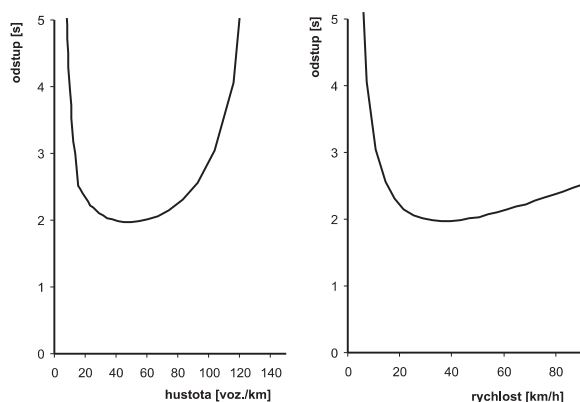
$$\rho(u) = \frac{1}{d} = \frac{1}{\frac{u^2}{2 a} + d_{\min} + u t_R}. \quad (13)$$

Pro intenzitu platí

$$q(u) = u \rho(u) = u \frac{1}{\frac{u^2}{2 a} + d_{\min} + u t_R}. \quad (14)$$

Model vykreslený v *obr. 3* je nastavený s minimální vzdáleností mezi vozidly $d_{\min} = 7,0$ m, reakční doba je uvažová-

na kratší (v porovnání s modelem konstantního časového odstupu) $t_R = 0,7$ s, což lze odůvodnit větší pozorností v městském provozu nebo při špatné viditelnosti, maximální rychlost je opět limitována $v_{\max} = 90$ km/h.



Obr. 4. Závislost časového odstupu mezi vozidly na hustotě a rychlosti dopravního proudu pro model bezpečného zastavení na rozhledovou vzdálenost

U tohoto modelu je zajímavé sledovat, jak se jeví z hlediska časových odstupů mezi vozidly (konec vozidla a čelo následujícího). Závislost časového odstupu na hustotě (vlevo) a na rychlosti (vpravo) dopravního proudu pro model bezpečného zastavení na rozhledovou vzdálenost je vykreslena v obr. 4. Přestože byly výchozí předpoklady odlišné od modelu s konstantním časovým odstupem, výsledné hodnoty se opět blíží deklarovaným hodnotám 2 s v širokém rozsahu hustoty a rychlosti.

Je však zjevné, že uvedené přístupy k bezpečné vzdálenosti se uplatňují v různé míře a za různých podmínek. V městském prostředí lze předpokládat a vyžadovat větší pozornost řidiče, která se projevuje kratší reakční dobou, a zároveň je nutné více respektovat bezpečnou vzdálenost pro zastavení za stojící překážkou. Tou může být kromě chodce i vozidlo na křižovatce, které vjede do mezery před námi. Při nízkých rychlostech a při uvažované nižší reakční době (v příkladu $t_R = 0,7$ s) může být odstup menší než 2 s, což má za následek udržení dostatečné intenzity v městském provozu při nízkých rychlostech, ale předpokládá to větší pozornost řidiče.

Při vysokých rychlostech, požadovaných v extravilánu (hlavně na dálnicích), se výskyt stojící překážky nepředpokládá. Uplatňuje se častěji pravidlo konstantního časového odstupu. Je však nutné si uvědomit, že vzdálenost mezi vozidly při jeho uplatnění roste lineárně, kdežto brzdná dráha kvadraticky. Z toho pak vyplývá možnost kolize při řetězové havárii, kdy konstantní časový odstup nezaručuje bezpečnost.

Nestacionární mikroskopický model IDM

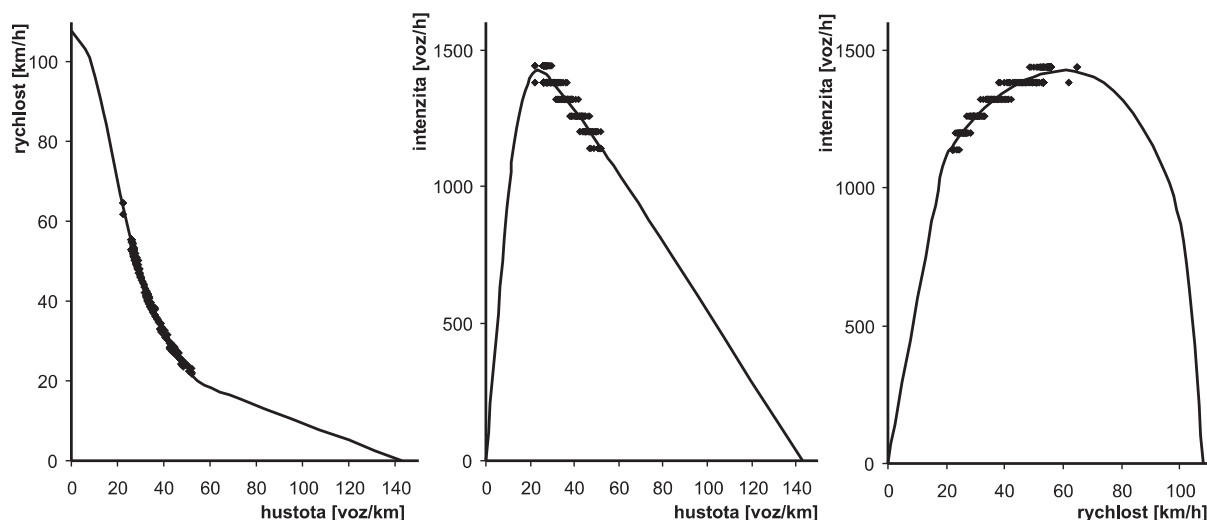
Moderní modely dopravního proudu reflektují především požadavek konstantního časového odstupu. Důležité je, že na rozdíl od stacionárního předpokladu přihlížejí k různé rychlosti vozidel v dopravním proudu Dv_i . Například mikroskopický model IDM [4], [5], [6] (Intelligent Driver Model) určuje tzv. optimální vzdálenost čel jednotlivých následujících vozidel

$$\Delta s_{i\text{opt}} = d_{\min} + v_i T + \frac{v_i}{2\sqrt{a_{i0}b_{i0}}} \Delta v_i. \quad (15)$$

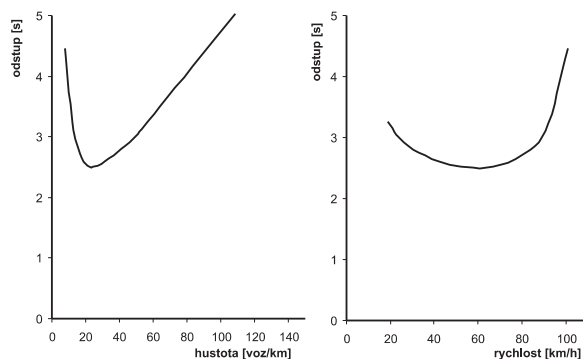
V rovnici první člen představuje délku vozidla (včetně minimálního odstupu), druhý pak reflektuje požadavek na konstantní časový odstup (T je časový odstup považovaný řidičem za bezpečný a odpovídá t_R). Při simulacích byl nastaven parametr $T = 2$ s. Třetí člen pak představuje délku dráhy potřebné pro srovnání rychlostí ($\Delta v_i \rightarrow 0$) při rychlosti v_i . Decelerace je určena z akceleračních parametrů vozidla a_{i0} a b_{i0} jako geometrický průměr. Je nutno však připomenout, že skutečná vzdálenost mezi vozidly při simulaci není totožná s optimální a model není v celém rozsahu hustoty stacionární. Tím je však bližší realitě než modely stacionární.

Fundamentální diagramy na obr. 5 jsou výsledkem simulace dopravního proudu mikroskopickým modelem IDM. V obrázku jsou vyneseny průměrné hodnoty plynulou čarou. Kromě toho jsou bodově vyneseny hodnoty simulovaného minutového profilového měření. Je patrné, že ustálený stav v rozsahu hustot 23-53 voz/km není stacionární – rychlost a hustota dopravního proudu je proměnlivá i pro identická simulovaná vozidla.

Časový odstup v simulovaném dopravním proudu znázorňuje obr. 6. Graf dokumentuje, že nastavený optimální časový odstup je třeba brát jako parametr modelu, nikoli jako výslednou hodnotu. Model se při tomto nastavení parametrů



Obr. 5. Fundamentální diagramy ze simulací dopravního proudu modelem IDM pro různou hustotu dopravního proudu



Obr. 6. Závislost časového odstupu mezi vozidly na hustotě a na rychlosti dopravního proudu pro simulovaný model IDM

odstupu 2 s pouze blíží, ale nedosahuje této hodnoty. Hodnoty mezi 2-3 s jsou však platné ve velkém rozsahu rychlostí, pouze při velmi nízkých nebo vysokých rychlostech – při dopravní zácpě, nebo naopak při volném dopravním proudu, se odstupy prodlužují.

Závěr

Provedené výpočty a simulace dokumentují, že bezpečný odstup mezi vozidly je relevantním základem pro návrh modelu dopravního proudu. To platí pro oba běžně používané způsoby určení bezpečného odstupu. Přestože tato hodnota není jednoznačně definovaná, ukazuje se, že použité postupy vedou k výsledkům natolik blízkým, že řidič je ve skutečnosti může jen obtížně rozlišit, z tohoto hlediska není rozdíl významný. Při analytickém výpočtu brzdných drah a kolizí vozidel je však rozdíl v chápání bezpečné vzdálenosti zásadní. Je však pravdou, že reakce řidiče není strojově přesná a reálný průběh brzdění je odlišný od analytické představy.

Mikroskopická simulace v použitém modelu IDM probíhá podle přesně stanoveného algoritmu, ale změny decelerace probíhají spojitě jako aproximace akceleračního a deceleračního členu. To do jisté míry koresponduje s reakcí řidiče, který rovněž běžně nepoužívá maximální dostupnou deceleraci.

Literatura

- [1] Helbing, D.: Fundamentals of Traffic Flow. Phys. Rev. E55, 3735-3738 (1997).
- [2] Macur, J. – Holcner, P. – Apeltauer, T.: Traffic Flow Simulation and Anti-Congestion Control. [Sborník], konference „Advances in Transport Systems Telematic“, Silesian University of Technology, Katowice, 2007. /ISBN 978-83-917156-6-6/
- [3] Greenshields, B. D.: A Study of Traffic Capacity, 1935, Highway Research Board, Proceedings, Vol. 14: 448-477.
- [4] Kerner, B. S.: The Physics of Traffic. New York, Springer 2004.
- [5] Helbing, D. – Hennecke, A. – Shvetsov, V. – Treiber, M.: Micro and Macrosimulation of Freeway Traffic, Physical Review Letters 82, 2000.
- [6] Apeltauer, T. – Holcner, P. – Kyselý, M. – Macur, J.: Modely dopravního proudu. Silniční obzor, 2005, č. 10, s. 255-260.

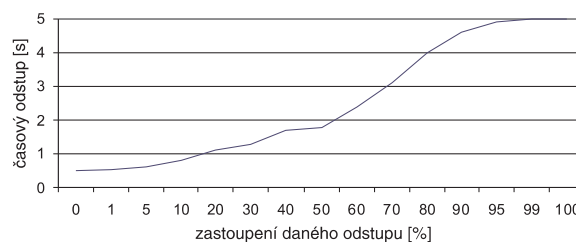
Poznámka lektora

Simulační modely dopravního proudu jsou hojně využívány v dopravně inženýrské praxi ke stanovení údajů, které jsou obtížně zjistitelné přímým průzkumem. Problematika je to stále aktuální.

Modely se rozlišují jako mikroskopické (závislé na dynamice a chování jednotlivých vozidel vzájemně, význam zde hraje především zadání bezpečného odstupu mezi vozidly v pohybu), a nebo makroskopické, ve kterých je jednotkou pozorování celý proud. Samozřejmě, že oba modely jsou

vzájemně propojené. Modely jsou založeny na principu bezpečné jízdy – dodržováním bezpečného odstupu.

Uvedeme zde pouze závažnou poznámku k používání tzv. bezpečného odstupu vozidel, tj. časové nebo délkové vzdálenosti mezi čely následných vozidel. V článku jsou zmíněny odstupy 2 s, nebo vzdálenost pro zastavení. Na Katedře silnic Fakulty stavební ČVUT se řadu let zabýváme přímým měřením dopravního proudu – sledu vozidel – a musíme konstatovat, že skutečný provoz vozidel v kolonách není ve většině situací bezpečný, alespoň ve smyslu dodržování bezpečné vzdálenosti.



Při zjednodušeném doložení na přiloženém grafu vyplývá, že více než 50 % řidičů jezdí v nebezpečných vzdálenostech, tj. kratších než 2 s.

doc. Ing. Petr Slabý, CSc.

Holcner, P.: Safety Gap between Vehicles and Traffic Flow Simulation

The density – intensity relation is fundamental for every traffic flow model, both microscopic and macroscopic. It respects standard conceptions of the safety gap between vehicles. Nevertheless, the safety gap is not defined single valued, two different approaches are described. The safety gap analysis is relevant both for simulation models and accident factor assessment.

Holcner, P.: Sicherer Abstand zwischen Fahrzeugen und Simulierung des Verkehrsstroms

Die Beziehung zwischen der Dichte und Geschwindigkeit des Verkehrsstroms ist die Grundlage jedes mikroskopischen und makroskopischen Verkehrsstrommodells. Sie respektiert dabei die üblicherweise angenommenen Vorstellungen über den sicheren Abstand zwischen den Fahrzeugen. Dieser ist jedoch nicht eindeutig definiert. Es werden zwei unterschiedliche Auffassungen beschrieben. Die Analyse des sicheren Abstands ist wichtig für Simulationsmodelle und für die Beurteilung der Unfallursachen.

27. mezinárodní
stavební veletrh

BATIMAT 2009

2. – 7. listopad 2009

Výstaviště Porte de Versailles, Paříž

● zprávy

Modernizace nástupišť Hlavního nádraží v Praze

V polovině června byla dokončena další významná stavba železniční infrastruktury České republiky, modernizace nástupišť I.-IV. západní části hlavního pražského nádraží. Nástupiště slouží cestující veřejnosti již od podzimu loňského roku, letos pokračovaly dokončovací práce na pomocných objektech a terénní úpravy okolí nástupišť.

Napojení nových tratí od východu, tj. z nových tunelů, a zrušení staré „hrabovské“ spojky a „vítkovské“ trati, si vyžádalo kompletně přestavět severní zhlaví hlavního nádraží. K tomu se přidala nutnost od základu změnit technický stav nástupišť a podchodů do podoby odpovídající moderní osobní dopravě 21. století. Nevyhovující byly i koleje mezi nástupišti, systém odvodnění a celé trakční vedení spolu se sdělovacím a zabezpečovacím zařízením.



Autor: Rostislav Jančar, Technet.cz

Stavba byla zahájena v lednu loňského roku. Průběh modernizace byl rozdělen na dvě etapy. Přes složité podchycování patek sloupů historického ocelového dvoulodního zastřešení kolejiště se podařilo první etapu dokončit včas již v červnu 2008. Byla tak zprovozněna nová nástupiště III a IV. Navazující druhá etapa se týkala I. a II. nástupišť a dokončení středního a jižního nového podchodu.

Náklady na modernizaci Hlavního nádraží v rámci této stavby dosáhnou 1,6 mld. Kč. Investorem je Správa železniční dopravní cesty. Na spolufinancování se bude podílet Evropská unie prostřednictvím Fondu soudržnosti v rámci Operačního programu Doprava. Podíl příspěvků Evropské unie může u tohoto projektu pokrýt až 85 % stavebních nákladů. Zbývající náklady jsou hrazeny Státním fondem dopravní infrastruktury. Zhotovitelem stavby je Sdružení MSS Praha hl. n., jehož členy jsou Metrostav, Skanska DS a Eurovia CS. Projekt vypracoval SUDOP PRAHA.

Tisková informace

● dizertace



Digitální mapa jako senzor polohového lokátoru

Ing. Vladimír Vejvoda

Práce se zabývá perspektivními metodami využití prostředků GPS pro potřeby navigace, kde problémem zůstává přesnost poskytované informace o poloze. Autorem navržená metoda Kalmanova filtru s omezením stavových veličin digitální mapou umožnila s použitím cenově nenáročných komponent zvýšení přesnosti o jeden řád.

Integrované mosty

Ing. Jaromír Křížek

Dizertace se zabývá problematikou integrovaných mostů, tzn. mostů bez ložisek a mostních závěrů, kde most spolupůsobí se zemínou za opěrami. Je odvozena metoda k určování tuhosti pružného zeminového podepření vyjádřeného pomocí modulů reakce. Parametrickými studiemi jsou ověřeny vlivy jednotlivých parametrů na chování mostu. V práci jsou pomůcky umožňující využití výsledků v mostářské praxi.

K optimalizaci smluvních vztahů při výstavbě pozemních komunikací

Ing. David Bureš

V práci je uvedena struktura účastníků výstavby a jejich vazby na smluvní a právní otázky výstavby. Objasňuje se postavení jednotlivých účastníků a navrhuje se změny zachycené v softwaru KEMARGORP s vazbou na současný ASPE.

Teoretický a experimentální výzkum infuzních clon

Ing. Gabriela Páleníčová

Dizertace pojednává o účinnosti injektáže zdiva se zvýšenou vlhkostí, přičemž se vychází z experimentů pro ověření účinnosti injekční látky a stanovení dynamiky vztlínání v různých pórových systémech. Přínosem je použití termovize. Výsledky přispějí k optimalizaci technologie sanace vlhkého zdiva.



<http://web.tuke.sk/lmv/>

Seminář

**LOKÁLNÍ MECHANICKÉ VLASTNOSTI
2009**

11. –13. listopadu 2009, Telč

STAVEBNÍ OBZOR

ROČNÍK 18 ČÍSLO 9/2009

Navigace v dokumentu

OBSAH

Makovička, D. a kol. Ohrožení konstrukce budovy při výbuchu nálože ve vnitřním prostoru	257
Sokolář, R. – Petrů, A. Využití čistírenského kalu při lehčení cihelného střepu	266
Holcner, P. Ověření Wiedemannova modelu dopravního proudu	270
Hodas, S. – Villim, A. Objekty železničního stavitelství v rámci vyhodnocení absolútnych posunov a nová prax	273
Pavlíková, M. a kol. Transport a akumulace solí v omítkách určených pro sanace stavebních konstrukcí	277
Hánek, P. a kol. Vývoj geodetického monitoringu v lokalitě Rabenov	283

OBSAH

Makovička, D. a kol.

**Ohrožení
konstrukce budovy
při výbuchu
nálože
ve vnitřním prostoru 257**

Sokolář, R. – Petrů, A.

**Využití čistírenského
kalu při lehčení
cihelného
střepe 266**

Holcner, P.

**Ověření Wiedemannova
modelu dopravního
proudu 270**

Hodas, S. – Villim, A.

**Objekty železničního
stavitelství v rámci
vyhodnocení absolutních
posunov a nová prax . . . 273**

Pavlíková, M. a kol.

**Transport a akumulace
solí v omítkách určených
pro sanace stavebních
konstrukcí 277**

Hánek, P. a kol.

**Vývoj geodetického
monitoringu
v lokalitě
Rabenov 283**

CONTENS

Makovička, D. et al.

**Exposure
of Building Structure
to Charge
Explosion
in Interior 257**

Sokolář, R. – Petrů, A.

**Use of Water Treatment
Plant Sludge
for Lightening
of Brick Body 266**

Holcner, P.

**Verification
of Wiedemann's
Model of Traffic Flow . . . 270**

Hodas, S. – Villim, A.

**Railway Objects within
Absolute Shifts Position
Processing and New
Practice 273**

Pavlíková, M. et al.

**Salt Transport and
Accumulation
Transport in Renovation
Plasters 277**

Hánek, P. et al.

**Development
of Geodetic
Monitoring
at Rabenov Site 283**

INHALT

Makovička, D. u. a.

**Gefährdung der
Konstruktion eines
Gebäudes bei einer
Explosion
im Innenraum 257**

Sokolář, R. – Petrů, A.

**Verwendung von
Klärschlamm bei der
Porenbildung im
Ziegelscherben 266**

Holcner, P.

**Überprüfung des
Wiedemannschen
Verkehrsstrommodells . . 270**

Hodas, S., – Villim, A

**Objekte des Eisenbahnbaus
im Rahmen der Auswertung
absoluter Verschiebungen
und die neue Praxis 273**

Pavlíková, M. u. a.

**Transport
und Akkumulation
von Salzen
in Sanierputzen 277**

Hánek, P. u. a.

**Entwicklung eines
geodätischen Monitorings
in der Lokalität
Rabenov 283**

REDAKČNÍ RADA

Předseda:

prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.

Místopředseda:

doc. Ing. Alois MATERNA, CSc., MBA

Členové:

doc. Ing. Jiří BROŽOVSKÝ, Ph.D.

prof. Ing. Milena CÍSLEROVÁ, CSc.

prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.

prof. Ing. Rostislav DROCHYTKA, CSc.

doc. Ing. Vladislav HORÁK, CSc.

prof. Ing. Milan JIRÁSEK, DrSc.

doc. Ing. Marcela KARMAZÍNOVÁ, CSc.

doc. Ing. Jana KORYTÁROVÁ, Ph.D.

doc. Ing. Jan KRŇANSKÝ, CSc.

doc. Ing. Karel KUBEČKA, Ph.D.

prof. Ing. arch. Alois NOVÝ, CSc.

prof. Ing. Jiří POSPÍŠIL, CSc.

prof. Ing. Jaromír ŘÍHA, CSc.

prof. RNDr. Ing. Petr ŠTĚPÁNEK, CSc.

prof. Ing. arch. Petr URLICH, CSc.

Ing. Renata ZDAŘILOVÁ, Ph.D.

STAVEBNÍ OBZOR, odborný lektorovaný měsíčník, vydává Fakulta stavební ČVUT Praha společně s Fakultou stavební VUT Brno, Fakultou stavební VŠB TU Ostrava a Českou komorou autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě. Řídí redakční rada, vedoucí redaktorka Marcela Klímová. Adresa redakce: Thákurova 7, 166 29 Praha 6, kontaktní adresa: 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. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

Ohrožení konstrukce budovy při výbuchu nálože ve vnitřním prostoru

doc. Ing. Daniel MAKOVÍČKA, DrSc.
ČVUT – Kloknerův ústav, Praha

Ing. Daniel MAKOVÍČKA, Jr.
Statika a dynamika konstrukcí, Kutná Hora

doc. Ing. Břetislav JANOVSÝ, Dr.
Ing. Vladislav ADAMÍK, CSc.

Univerzita Pardubice – Fakulta chemicko-technologická

Článek je věnován stanovení výbuchového zatížení na obvodovou konstrukci stěn místnosti uvnitř starší zděné budovy při dálkovém odpálení teroristické nálože. Nálož výbušiny s nástražným systémem, přinesená v kufru, byla umístěna ve skladu budovy. Ve vhodnou dobu je ji možné iniciovat na dálku. Jsou stanoveny tlakové účinky výbuchu na vnitřní konstrukci budovy. Pro výpočet zatížení, způsobeného výbuchem, jsou použity zjednodušené přístupy a na příkladu konkrétní konstrukce porovnány s výsledkem trojrozměrného výpočtu, uvažujícího při stanovení zatížení konkrétní tvar a zaplnění místnosti a polohu nálože. Pro výpočet odezvy byl použit ekvivalentní statický výpočet. Pro posouzení odezvy konstrukce jsou stanovena kritéria porušení zdiva a ohrožení okolí výbuchu včetně ohrožení osob tlakovými účinky.

Úvod

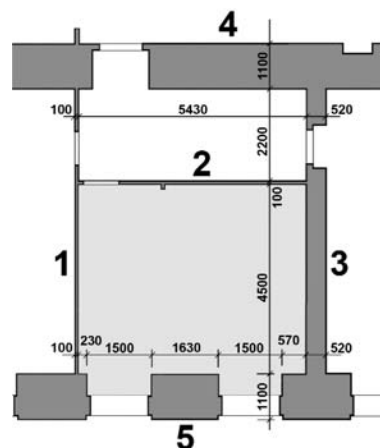
Iniciace i malého množství nálože a následný výbuch může ve vnitřních prostorech budov vyvolat tlakovou vlnu, která zatíží vnitřní prostory postižených místností. Prvotním důsledkem je rozbití okenních a dveřních konstrukcí a výfuk tlaku do okolních prostor. I přes otevření výfukových otvorů je zatížení, které se přenáší do obvodových stěn místnosti, jejího stropu a podlahy, značně vysoké. Nejprve je nutno odhadnout jeho velikost, závislou zejména na velikosti místnosti, jejím zaplnění zařízovacími předměty, velikosti výfukových otvorů, konstrukci nálože a jejím umístění uvnitř místnosti. Velikost zatížení tedy ovlivňuje mnoho parametrů, a proto je nutné při stanovení účinků výbuchu přijmout zjednodušující předpoklady.

Zatížení obvodových konstrukcí místnosti je možné stanovit relativně přesnými výpočty, které zohledňují vnitřní prostor místnosti, skladbu výbušiny a řeší interakci prostředí uvnitř (vzduchu a směsi spalin) s vlastní konstrukcí místnosti. Značně jednodušší jsou přibližné postupy, založené na stanovení parametrů výbuchového zatížení ve volném prostoru, a jejich aproximace na zatížení v polouzavřeném prostoru (po otevření výfukových otvorů).

Na příkladu starší administrativně správní budovy je řešen následek výbuchu nálože Danubitu I o hmotnosti 6,45 kg, přinesené v kufříku do skladovací místnosti v přízemí budovy.

Konstrukce místnosti

Z dostupné výkresové dokumentace bylo možné stanovit pouze geometrii místnosti (obr. 1). Odhadována byla pevnostní třída zdiva a jeho složení podle ČSN 73 1101 [1]; lze však postupovat stejně dobře podle Eurokódu 6 (ČSN EN 1996-1-1), protože pevnostní charakteristiky zdiva na mezi porušení a moduly pružnosti jsou v obou normách přibližně stejné. Ze zkušenosti lze předpokládat, že zdivo starších budov je zpravidla z plných cihel, klasického formátu pevnostní třídy P10 na vápennou (případně vápenocementovou) maltu s výškou spár 10 mm. Cihelné konstrukce lze zjednodušeně posuzovat až do vzniku trhlin jako lineární pružnou soustavu [9], [11].



Obr. 1. Půdorys místnosti v přízemí zděné budovy (obvodové stěny očíslovány pro snazší identifikaci výpočtu odezvy)

Důležitou materiálovou veličinou pro výpočet odezvy zdiva na výbuchové zatížení je realistický modul pružnosti E , který lze odhadnout z modulu přetvárnosti E_{def2} , uváděném v normách pro navrhování, na základě experimentálně ověřených zkušeností autorů příspěvku [9], [11]:

a) pro výpočet dynamické odezvy běžné neporušené kon-

strukce v blízkosti meze porušení

$$E \approx 0,5 \cdot E_{\text{def}2} = 0,5 \cdot 945,0 = 472,5 \text{ MPa};$$

b) pro výpočet dynamické odezvy konstrukce již dříve porušené viditelnými trhlinami

$$E \approx 0,1 \cdot E_{\text{def}2}$$

O únosnosti cihelného zdiva rozhoduje podle norem pro navrhování dosažení pevnosti zdiva v tlaku/tahu za ohybu, samozřejmě s jistotou bezpečnosti, danou součiniteli zatížení, kombinace apod. Toto normové kritérium je nutné doplnit posouzením deformace konstrukce. Zpravidla o skutečné destrukci stěny rozhoduje mezní deformace, odpovídající kritickému úhlu natočení střednice konstrukce v důsledku jejího ohybu.

Výbuchové zatížení

Při výbuchu nálože v otevřeném prostoru je tlakové působení rázové vlny na překážku (zatížení stavební konstrukce) závislé na situování objektu vzhledem k ohnisku výbuchu, na parametrech zatíženého objektu, parametrech rázové vlny apod. Celý jev působení rázové vlny na konstrukci je pak pro účely výpočtu zpravidla zjednodušován řadou předpokladů, a to zvláště s přihlédnutím k intenzitě a časovému průběhu působení rázové vlny a jejímu rozložení na kontaktu s objektem. Při reálné události je konkrétní průběh působení zatížení závislý na vírovém obtékání povrchu konstrukce, atmosférickém tlaku, teplotních podmínkách a dalších faktorech, které jsou při zjednodušené analýze zpravidla zanedbány. Rovněž parametry výbušiny jsou stanoveny z průměrných hodnot; použité vzorce jsou empirické se středními (pravděpodobně) hodnotami součinitelů. Takže i výpočty konstrukcí na účinky rázové vlny jsou těmito nepřesnostmi vstupních veličin celého jevu významně zatíženy.

Pro časový průběh tlakové vlny a následné zatížení konstrukce se nejčastěji používají empirické vzorce různých autorů, do nichž je nutné dosazovat hodnoty v předepsaných jednotkách. Jejich struktura se liší zpravidla pouze velikostí součinitelů. Vzhledem k variabilitě těchto součinitelů se nejistota vzorců pohybuje obvykle v rozmezí $\pm 20\%$. Spolehlivost jednotlivých vzorců se zlepšuje s rostoucí vzdáleností tlakové vlny od ohniska výbuchu.

Při stanovení přetlaku na čele vzdušné rázové vlny, která se od výbuchu šíří do okolí, se vychází z redukované vzdálenosti [2], [6], [7], [12]

$$\bar{R} = \frac{R}{\sqrt[3]{C_w}}, \quad (1)$$

kde \bar{R} je redukovaná odstupová vzdálenost od epicentra výbuchu [$\text{m kg}^{-1/3}$];

R – vzdálenost od epicentra výbuchu [m];

C_w – ekvivalentní hmotnost nálože [kg TNT].

Předpokládáme, že energie uvolněná výbuchem je úměrná hmotnosti výbušiny a řešení spočívá v zavedení referenční výbušiny, za kterou byl zvolen tritrol (trinitrotoluen, TNT). Proto vyjadřujeme hmotnost různých trhavin pomocí tritrolového ekvivalentu k_{TNT} . Pokud tento ekvivalent nenajdeme v odborné literatuře, můžeme jej s dostatečnou přesností vypočítat ze vztahu

$$k_{\text{TNT}-p} = 0,3 Q_v - 0,2$$

$$\text{(vztah platí pro } 2 \text{ MJ kg}^{-1} \leq Q_v \leq 5 \text{ MJ kg}^{-1}\text{),} \quad (2)$$

kde $k_{\text{TNT}-p}$ je tlakový tritrolový ekvivalent výbušiny (pro TNT se rovná 1) a Q_v vypočítané výbuchové teplo (pro TNT se rovná $4,2 \text{ MJ kg}^{-1}$).

Potom celkovou ekvivalentní hmotnost C_w určíme ze vztahu

$$C_w = C_N \cdot k_{\text{TNT}-p} \cdot k_E \cdot k_G, \quad (3)$$

kde C_w je ekvivalentní hmotnost nálože [kg TNT];

C_N – hmotnost použité nálože (reálné) trhavy [kg];

$k_{\text{TNT}-p}$ – tlakový tritrolový ekvivalent;

k_E – koeficient těsnění nálože;

k_G – koeficient geometrie šíření rázové vlny v prostoru.

Koeficient těsnění určíme ze vztahu

$$k_E = 0,2 + 0,8 / (1 + k_B), \quad (4)$$

kde k_B je hmotnost obalu/hmotnost trhavy [kg] a vyjadřuje balistický poměr.

Pro koeficient geometrie šíření k_G platí, že pro detonaci ve volném vzdušném prostoru je $k_G = 1$; pro detonaci na povrchu (terénu) je $k_G = 2$. Koeficient geometrie šíření k_G některých autoři ve vzorcích pro stanovení celkové ekvivalentní hmotnosti neuvádějí. Pak se při pozemním výbuchu dosazuje za ekvivalentní hmotnost nálože C_w do empirických vzorců zpravidla dvojnásobná hodnota.

Výbuchová vlna od ohniska se šíří v kulových vlnoplochách. Při pozemním výbuchu je energie výbuchu přibližně dvojnásobná, protože při úplném odrazu od povrchu terénu se tlaková vlna šíří v polokulových vlnoplochách [2].

Ve zjednodušeném výpočtu [13] považujeme za pozemní výbuch situaci, kdy je výbušina umístěna přímo na terénu ($h = 0 \text{ m}$, $k_G = 2$). Výbuchem ve volném vzdušném prostoru rozumíme situaci, kdy zpoždění odražené vlny od povrchu terénu vůči čele tlakové vlny je větší než délka přetlakové fáze tlakové vlny ($k_G = 1$). Mezi těmito hodnotami se lineárně interpoluje.

Výpočet přetlaku na čele vzdušné rázové vlny podle různých pramenů

Na základě porovnání ruských a amerických pramenů byly shromážděny empirické vzorce vhodné pro pozemní i nadzemní výbuch ve volném (vzdušném) prostředí [2], [7], [12], jejichž autory je v současnosti problematické vysledovat.

■ Ruské prameny [7]

Pro pozemní výbuch ve výšce maximálně 20 m nad terénem mají empirické vzorce podobu:

$$p_+ = \frac{0,1}{\bar{R}} + \frac{0,43}{\bar{R}^2} + \frac{1,4}{\bar{R}^3} \text{ [MPa]}, \quad (5)$$

$$\tau_+ = 1,7 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[6]{C_w} \cdot \sqrt{R} \text{ [s]}, \quad (6)$$

$$\tau_- = 0,016 \cdot \sqrt[3]{C_w} \text{ [s]}, \quad (7)$$

$$p_- = \frac{0,03}{\bar{R}} \text{ [MPa]}, \quad (8)$$

kde \bar{R} je redukovaná odstupová vzdálenost od epicentra výbuchu [$\text{m kg}^{-1/3}$];

R – vzdálenost od epicentra výbuchu [m];

C_w – ekvivalentní hmotnost nálože [kg TNT].

p_+ – přetlak na čele vlny [MPa];

τ_+ – trvání přetlakové fáze [s];
 p_- – podtlak podtlakové fáze vlny [MPa];
 τ_- – trvání podtlakové fáze [s].

Pro nadzemní výbuch ve volném prostoru platí vzorce obdobné, s upravenými koeficienty (dosazují se veličiny ve stejných rozměrech):

$$p_+ = \frac{0,084}{\bar{R}} + \frac{0,27}{\bar{R}^2} + \frac{0,7}{\bar{R}^3} \text{ [MPa]}, \quad (9)$$

$$\tau_+ = 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[6]{C_w} \cdot \sqrt{\bar{R}} \text{ [s]}, \quad (10)$$

$$p_- = \frac{0,03}{\bar{R}} \text{ [MPa]}, \quad (11)$$

$$\tau_- = 0,016 \cdot \sqrt[3]{C_w} \text{ [s]}, \quad (12)$$

kde označení veličin a jejich rozměry jsou stejné jako v předchozím případě.

■ Sadovskij, M. A. [2], [6]

Vzorce jsou odvozeny pro výbuch ve vzduchu, pro pozemní výbuch se za hmotnost nálože C_w dosazuje dvojnásobek skutečné hmotnosti:

$$p_+ = \frac{1,07}{\bar{R}^3} - 0,1 \text{ [MPa]} \quad \text{pro } \bar{R} \leq 1 \text{ m kg}^{-1/3}, \quad (13)$$

$$p_+ = \frac{0,076}{\bar{R}} + \frac{0,255}{\bar{R}^2} + \frac{0,650}{\bar{R}^3} \text{ [MPa]} \quad \text{pro } 1 < \bar{R} \leq 15 \text{ m kg}^{-1/3}, \quad (14)$$

kde p_+ je přetlak na čele vzdušné rázové vlny [MPa], \bar{R} je redukovaná odstupová vzdálenost od epicentra výbuchu [m kg^{-1/3}].

■ Henrych, J. [2]

Pro pozemní výbuch se za hmotnost nálože C_w dosazuje dvojnásobek skutečné hmotnosti:

$$p_+ = \frac{1,40717}{\bar{R}} + \frac{0,55397}{\bar{R}^2} - \frac{0,03572}{\bar{R}^3} + \frac{0,000625}{\bar{R}^4} \text{ [MPa]} \quad \text{pro } 0,05 < \bar{R} \leq 0,3 \text{ m kg}^{-1/3}, \quad (15)$$

$$p_+ = \frac{0,61938}{\bar{R}} + \frac{0,03262}{\bar{R}^2} + \frac{0,2134}{\bar{R}^3} \text{ [MPa]} \quad \text{pro } 0,3 < \bar{R} \leq 1 \text{ m kg}^{-1/3}, \quad (16)$$

$$p_+ = \frac{0,0662}{\bar{R}} + \frac{0,405}{\bar{R}^2} + \frac{0,3288}{\bar{R}^3} \text{ [MPa]} \quad (17)$$

$$\text{pro } 1 < \bar{R} \leq 10 \text{ m kg}^{-1/3}.$$

■ Makovička, D. [8], [9], [12]

Pro pozemní výbuch se za hmotnost nálože C_w dosazuje dvojnásobek skutečné hmotnosti. Dále uvedené empirické vzorce byly ověřovány experimenty s malými náložemi (Semtexu) v blízkosti zatěžované konstrukce [8], [9]. Podkladem byly empirické vzorce předchozích autorů. Výsledná podoba pak odpovídá účinkům rázové vlny od malé pevné nálože ve venkovním prostředí při pozemním výbuchu. Maximální přetlak a podtlak v čele vzdušné rázové vlny a délka jejich trvání:

$$p_+ = \frac{1,07}{\bar{R}^3} - 0,1 \text{ [MPa]} \quad \text{pro } \bar{R} \leq 1 \text{ m kg}^{-1/3}, \quad (18)$$

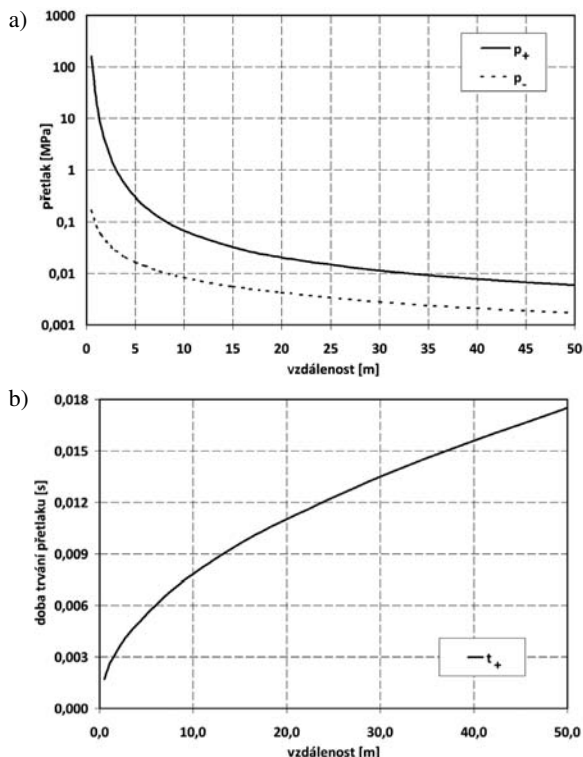
$$p_+ = \frac{0,0932}{\bar{R}} + \frac{0,383}{\bar{R}^2} + \frac{1,275}{\bar{R}^3} \text{ [MPa]} \quad (19)$$

$$\text{pro } 1 < \bar{R} \leq 15 \text{ m kg}^{-1/3}, \quad (20)$$

$$\tau_+ = 1,6 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[6]{C_w} \cdot \sqrt{\bar{R}} \text{ [s]}, \quad (21)$$

$$\tau_- = 1,6 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt[3]{C_w} \text{ [s]}, \quad (22)$$

kde označení veličin a jejich rozměry jsou stejné jako v předchozích případech.



Obr. 2. Parametry tlakové vlny od výbuchu nálože ve volném prostoru v závislosti na vzdálenosti od zdroje R
 a – přetlak p_+ a podtlak p_- šířící se výbušné vlny,
 b – trvání přetlakové fáze τ_+

V případě konkrétní aplikace na starší budovu je zdrojem výbuch Danubitu I o hmotnosti 6,45 kg. Pro tuto výbušinu v daném množství (hmotnosti) byly na základě výše uvedených vzorců vypočteny [13] charakteristiky tlakové vlny, která se šíří ve volném prostoru. Tyto charakteristiky přetlaku včetně doby jeho působení jsou vyneseny v obr. 2 jako

funkce vzdálenosti R posuzovaného stanoviště od zdroje výbuchu. Příklad protokolu z výpočtu pomocí programu [13] je uveden v obr. 3. Vypočtené charakteristiky jsou použitelné pro posouzení šíření výbuchového zatížení vně budovy (po výfuku okny, dveřmi ap.), resp. pro posouzení útlumu intenzity výbuchu se vzdáleností.

Při normálovém (kolmém) dopadu výbuchové vlny na pevnou překážku vzniká odražená vlna s přetlakem odrazu p_{ref} , která zatěžuje stavební konstrukci z čelní strany. Přetlak v odražené vlně odpovídá přibližně dvojnásobku (až osminásobku) přetlaku v dopadající vlně pro danou vzdálenost R (obr. 4).

Při výbuchu v uzavřeném prostoru místností ve stavební konstrukci, při uzavřených odlehčovacích otvorech, dojde vlivem odrazu od povrchu stěn, stropu a podlahy místnosti k navýšení zatížení přibližně o 50 % a doba trvání přetlaku je pak přibližně dvojnásobná. Výsledné zatížení obvodových konstrukcí a dobu jeho trvání lze přibližně vyjádřit

$$p_{load+} \approx 1,5 \cdot p_{ref} \quad (23)$$

$$t_{load+} \approx 2 t_+ \quad (24)$$

Obdobné vzorce jako pro přetlakovou fázi zatížení platí přibližně pro podtlakovou fázi. Přetlak odrazu p_{ref} lze ve vzorci (23) zjednodušeně pro přetlaky p_+ přibližně do 5 MPa uvažovat jako dvojnásobek přetlaku dopadající výbuchové vlny p_+ .

Výpočet odrazného přetlaku p_{ref} v místnostech lze provést přímo $p_{ref} = p_+^f$ podle metody popsané v publikaci [15]. Ke stanovení odrazných přetlaků a impulsů je nutné odečítat jejich hodnoty v pásmu $\bar{R} < 2$ [m kg^{-1/3}] buď z publikovaných grafických závislostí [15], nebo stanovit jejich přibližnou hodnotu z odvozených exponenciálních vztahů:

a) odrazný přetlak:

$$p_{ref}^f = 14,554 \times \bar{R}^{-1,4587} \text{ [MPa]} \quad (25)$$

pro $0,05 < \bar{R} \leq 0,5$ m kg^{-1/3},

$$p_{ref}^f = 5,76 \times \bar{R}^{-2,762} \text{ [MPa]} \quad (26)$$

pro $0,5 < \bar{R} \leq 5$ m kg^{-1/3};

b) odrazný impuls:

$$I_{ref}^f = 0,345 \times \sqrt[3]{C_w} \times \bar{R}^{-1,857} \text{ [kPa.s]} \quad (27)$$

pro $0,05 < \bar{R} \leq 0,5$ m kg^{-1/3},

$$I_{ref}^f = 0,5823 \times \sqrt[3]{C_w} \times \bar{R}^{-1,0976} \text{ [kPa.s]} \quad (28)$$

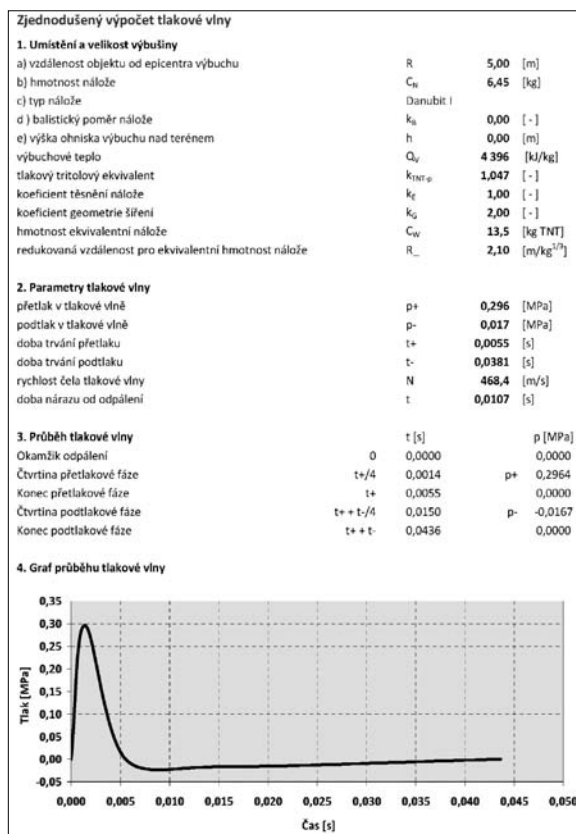
pro $0,5 < \bar{R} \leq 5$ m kg^{-1/3}.

Při dosazování vstupních hodnot C_w do těchto vztahů je nutné respektovat dvě odlišnosti od výpočtů odrazného přetlaku a odrazného impulsu v otevřeném prostoru mimo budovy:

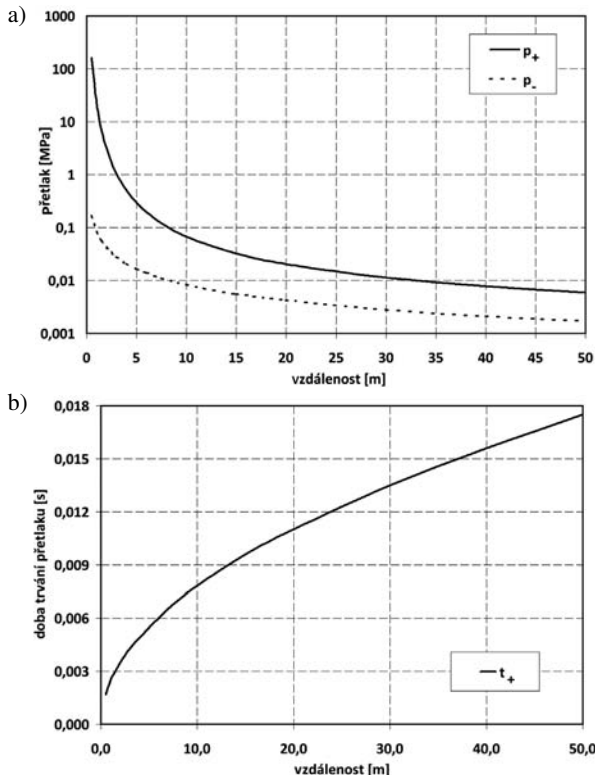
a) indexy f zde označují podmínky detonace ve volném vzdušném prostoru („free air“) v místnosti a za velikost nálože C_w se dosazuje, odlišně od vzorce (3);

b) $C_w = C_N \cdot k_{TNT-p} \cdot k_E \cdot k_G = C_N \cdot k_{TNT-p} \cdot k_E$, (29)

kde koeficient geometrie šíření rázové vlny $k_G = 1$, nikoli 0,5.



Obr. 3. Protokol ze zjednodušeného výpočtu tlakové vlny programem [13]

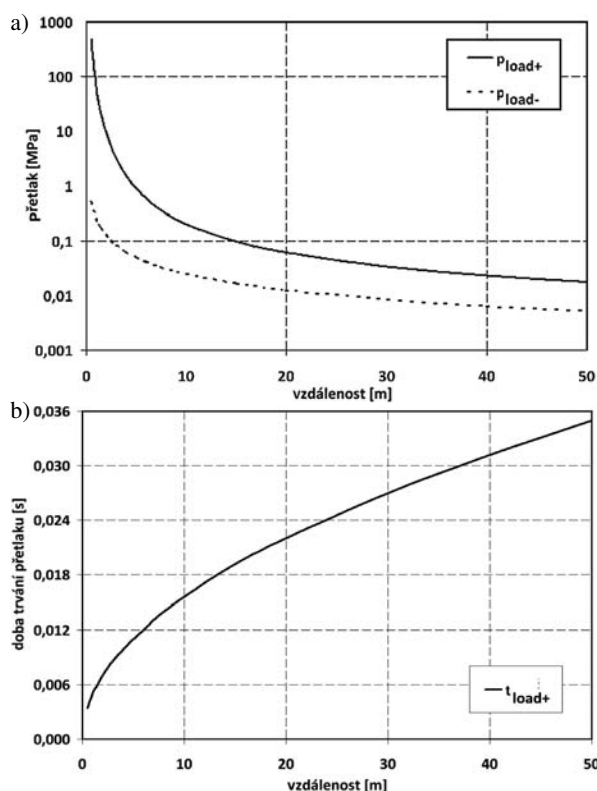


Obr. 4. Velikost přetlaku odrazu p_{ref} pro kladnou fázi tlakového průběhu v závislosti na vzdálenosti R uložení nálože v místnosti od posuzované části konstrukce podle vzorců (18)-(20) v porovnání s výpočty přetlaku odrazu p_{ref} podle vzorců (25)-(26) pro místnosti 1-3 a – průběh přetlaků pro uvažované vzdálenosti nálože od konstrukce, b – zoom průběhu závislostí

Hodnoty výpočtu přetlaku odrazu p_{ref+} , vypočtené dvěma zjednodušenými postupy podle vzorců (18) a (19), odvozenými pro šíření výbuchové vlny ve venkovním prostoru, a dále pro porovnání výsledky přímého výpočtu odrazného přetlaku v místnostech podle vzorců (25) a (26) pro vybrané místnosti podle metodiky [15], jsou vyneseny do obr. 4:

- místnost 1: objem 69 m³, výfukové otvory 1,7 m², plocha stěn, podlahy a stropu 104,9 m² (obr. 1);
- místnost 2: objem 69 m³, výfukové otvory 1,7 m², plocha stěn, podlahy a stropu 91,5 m²;
- místnost 3: objem 255,8 m³, výfukové otvory 24,7 m², plocha stěn, podlahy a stropu 283,1 m².

Z porovnání výsledků oběma zjednodušenými postupy je zřejmé, že obě metodiky jsou pro středně velké a velké místnosti dostatečně přesné a lze je použít pro libovolnou pozici uložení nálože ve vnitřních prostorách místností. Součtové tlakové zatížení na stěny místnosti p_{load+} a p_{load-} v důsledku odrazu od okolních stěn, stropu a podlahy je vyneseno v obr. 5.



Obr. 5. Zátížení od tlakové vlny od výbuchu nálože uvnitř místnosti v závislosti na vzdálenosti R nálože od posuzované zdi a – zatížení p_{load+} a p_{load-} , b – trvání přetlakové fáze t_{load+}

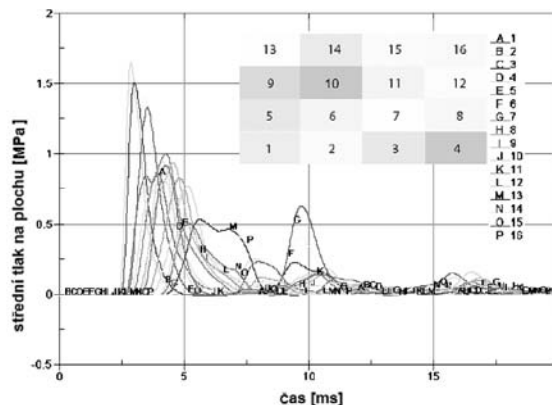
Porovnejme nyní vypočtený přetlak na vybranou stěnu 1 (při označení podle obr. 1), vypočtený programem LS DYNA [16], uvažující interakci prostředí místnosti s jejími stěnami (Fluid-Structure Interaction) na obr. 6. Stěna je rozdělena na 16 polí a v každém z nich je vypočten a vyneseno střední přetlak pro kufřík s výbušninou umístěnou ve středu místnosti. Z obrázku je zřejmé, že v důsledku odrazu od stěn se výbuchové špičky vzájemně superponují a jejich obalová křivka přibližně odpovídá vzorcům (23) a (24).

Porušení okenních a dveřních konstrukcí

O porušení zasklení okenní nebo dveřní konstrukce, a tedy otevření výfukových otvorů místnosti při působení přetlaku

zjednodušeně kolmo na střednicovou rovinu skla, rozhoduje [8], [12]:

- dosažení meze pevnosti skla za ohybu,
- překročení mezní ohybové deformace.



Obr. 6. Průběh středního tlaku na základě trojrozměrného výpočtu interakce tlakové vlny od výbuchu nálože ve středu místnosti se stěnou v bodech odpovídající členění stěny na obdélníky (b)

O vytržení celé okenní nebo dveřní konstrukce rozhoduje způsob zajištění smykové únosnosti spoje okenní konstrukce/stěna (dveře/stěna). O vytržení celých okenních křidel rozhoduje směr působení zatížení na okenní křídlo, tedy zda se při zatížení opírá o ozub okenního rámu, nebo je drží jen závěsy a závěry. Mezní únosnost závěsů okenních křidel je přibližně 8-10krát větší, než odpovídá únosnosti vlastního zasklení oken.

Při zatížení konstrukce účinky výbuchu zpravidla dochází k většímu či menšímu poškození okenních nebo dveřních konstrukcí. Riziko lze odhadnout na základě kritérií odvozených ze zjednodušených modelů interakce rázové vlny s konstrukcí, nebo přesněji na základě výpočtů odezvy konstrukce. Podrobnějším výpočtům poškození oken je věnována práce [8]. Nicméně vzhledem ke značnému přetlaku v posuzovaných místnostech obou budov od výbuchu nástražného systému stačí posouzení oken a dveří podle tab. 1.

Tab. 1. Kritéria poškození oken a dveří přetlakem p_+ v dopadající vzdušné vlně od výbuchu

p_+ [kPa]	Účinek
do 0,5	žádné poškození
0,5 ~ 1	malé poškození okenních výplní (praskliny skel bez vysypání trosek apod.)
1 ~ 2	větší poškození okenních výplní, dílčí vysypání trosek skel
3,5	většina zasklení rozbita
2 ~ 5	částečné poškození rámu dveří a oken; porušení omítky a vnitřních dřevěných konstrukcí místnosti apod.
7,5	úplné rozbití zasklení, poškození dveří a oken, trhliny ve zděných příčkách
5 ~ 20	zničení oken, poškození lehkých příčkových konstrukcí

Výpočet porušení stěn

Pro posuzování zdiva stěn a pilířů konstrukce místnosti lze použít odhad zatížení p_{load+} a délku jeho působení t_{load+}

vypočtených pro možnou vzdálenost R uložení nálože od stěny, okna, dveří nebo pilířů meziokenních či vnitřních.

Pro stanovení nebezpečí porušení byl použit program pro ekvivalentní statický výpočet stěny zatížené rovnoměrně spojité zatížením p_{load+} s délkou působení t_{load+} [14]. V rámci tohoto programu lze volit okrajové podmínky (podepření stěnodesky). V případě příček byly pro konkrétní budovu jednotlivé stěnodeskové prvky zjednodušeně uvažovány jako samostatné, kloubově uložené po celém obvodu. Z hlediska nejistoty ve zjednodušení působení tlakové vlny od výbuchu je i toto zjednodušení přijatelné a opodstatněné z hlediska inženýrského odhadu účinků výbuchu. Příklad protokolu o výpočtu dynamické odezvy konstrukce pro vybranou zděnou stěnu a zvolenou pozici nálože před stěnou je uveden na obr. 7.

Zjednodušený výpočet odezvy stěnodeskové konstrukce			
1. Rozměry, okrajové podmínky a materiál stěnodesky			
a) rozměry stěny, výška a šířka	l_x	2,800	[m]
	l_y	5,600	[m]
b) tloušťka stěny	h	0,520	[m]
c) okrajové podmínky	Kloubové připojení po celém obvodu (1)	typ	1 [-]
d) materiál	Zdivo, cihly píné, P10/M4	typ	8 [-]
e) součinitel duktility		k_m	1,0 [-]
modul pružnosti materiálu		E	473 [MPa]
Poissonův součinitel		ν	0,15 [-]
jednotková hmotnost materiálu		γ	18,00 [t/m3]
2. Zatížení dopadající a odraženou vlnou			
f) rovnoměrné zatížení na plochu stěnodesky	q	64 733	[kN/m ²]
g) doba trvání přetlaku	τ_+	0,0050	[s]
3. Výpočet vlastní frekvence kmitání a dynamického součinitele			
součinitel	λ^2	12,34	[-]
desková tuhost	D	5 664	[kNm]
hmota desky na jednotkovou plochu	μ	9,36	[t/m ²]
první vlastní kruhová frekvence	$\omega_{(1)}$	38,7	[1/s]
první vlastní frekvence	$f_{(1)}$	6,2	[Hz]
dynamický pružnoplustický součinitel	δ	0,097	[-]
4. Pomocný výpočet parametrů stěnodesky			
poměr stran	l_x / l_y	0,500	[-]
název tabulky pro vyhledání parametrů		op1	
dolní mez pro vyhledávání		0,500	
horní mez pro vyhledávání		0,600	
5. Výpočet vnitřních sil pro posouzení stěnodesky			
největší moment v poli ve směru x	m_x	4902,26	[kNm]
největší moment v poli ve směru y	m_y	1923,51	[kNm]
největší moment ve vetknutí ve směru x	m_{xv}	0,00	[kNm]
největší moment ve vetknutí ve směru y	m_{yv}	0,00	[kNm]
6. Výpočet průhybu a odhad porušení			
největší průhyb	y	687,5	[mm]
odhad největšího natočení	φ	52,3	[deg]
úhel lomu zadaného materiálu	ψ	5,0	[deg]
odhad porušení konstrukce lomem			je pravděpodobné

Obr. 7. Protokol z ekvivalentního statického výpočtu obvodové stěny místnosti 3 (obr. 1) pro vzdálenost nálože od stěny 1 m při použití programu [14]

Program [14] pro zjednodušený výpočet vychází z metody ekvivalentního statického výpočtu. Nejprve je tedy nutné stanovit naladění stavební konstrukce nebo její části. Pro zatížení tlakovou vlnou, která vytváří zjednodušeně spojité rovnoměrné zatížení konstrukce, je zpravidla dominantním vlastním tvarem 1. vlastní tvar s kmitnou ve střední části stěnodeskové (mísovitý průhyb) nebo nosíkové konstrukce. Vzorec pro výpočet vlastní frekvence stěnodeskové konstrukce [3]

$$\omega = \frac{\lambda^2}{l_x^2} \sqrt{\frac{D}{\mu}}, \quad (30)$$

kde $D = \frac{1}{12} \frac{Eh^3}{(1-\nu^2)}$ je desková tuhost;

E je modul pružnosti;
 ν – Poissonovo číslo;
 h – tloušťka desky;
 μ – hmota jednotkové plochy desky.

Dynamický součinitel δ , zpravidla odvozený pro ekvivalentní statický výpočet pro soustavu s jedním stupněm volnosti, je funkcí vlastní periody dominantního kmitání konstrukce T a doby působení tlakové vlny t_+ nebo t_- podle toho, zda uvažujeme přetlakovou, nebo podtlakovou fázi. Mezi vlastní periodou T a vlastní kruhovou frekvencí ω platí vztah

$$T = \frac{2\pi}{\omega}. \quad (31)$$

Pro pružně plastickou soustavu je dynamický součinitel δ funkcí poměru doby působení rázové vlny t_+ nebo t_- na vlastní periodě kmitání konstrukce $T_{(i)} = T$ a na přetvárnosti (duktilitě) konstrukce

$$k_m = \frac{y_m}{y_{el}}, \quad (32)$$

kde y_m je celkový pružný + plastický průhyb (posunutí) konstrukce, y_{el} je pružná část průhybu (posunutí).

Obvykle lze součinitel duktility k_m pro rázové jevy (velmi rychlé) při ohybovém namáhání konstrukce uvažovat v rozmezí pro zdivo 3-5, pro železobeton, ocel a dřevo 5-10. Pro zatížení rázovou vlnou je velikost dynamického součinitele s uvažováním přetvárnosti konstrukce v mezích $\delta = 1 \sim 2$. Jeho velikost odvodil Newmark [6] pro zjednodušenou soustavu s jedním stupněm volnosti

$$\frac{1}{\delta} = \frac{T_{(i)} \cdot \sqrt{2 \cdot k_m - 1}}{\pi \cdot \tau_+} + \frac{1 - \frac{1}{2 \cdot k_m}}{1 + 0,7 \cdot \frac{T_{(i)}}{\tau_+}}. \quad (33)$$

Kombinace statického a dynamického zatížení

Jestliže dojde k překročení meze únosnosti R_{fd} , objeví se v materiálu konstrukce trhliny. Takže pro bezpečnou konstrukci musí platit nejnepříznivější podmínka, a to na základě porovnání napětí

$$\min(\sigma_g \pm \sigma_{expl}) \geq -R_{fd}, \text{ nebo po úpravě } \sigma_{expl} - \sigma_g \leq R_{fd}, \quad (34)$$

kde σ_{expl} je napětí od účinků tlakové vlny výbuchu a σ_g je normálové napětí v daném místě (spáře) od vlastní tíhy nadloží nebo podmínka přípustného mezního pootočení ψ . Jeho hodnota na mezi porušení je přibližně v rozmezí 2,3°-5,7° pro zdivo [6], [9], minimálně 6,5° pro železobeton a 10,5° pro ocel

$$\psi = 2 \arctg(2y/l), \quad (35)$$

kde y je maximální dosažený průhyb desky (ve středu rozpětí) a l je rozpětí konstrukce v kratším směru.

Při navrhování konstrukcí podle teorie mezních stavů bývá vhodnější, zejména pro železobetonové konstrukce, uvažovat místo meze únosnosti R_{fd} moment na mezi únosnosti, případně i v kombinaci s normálovou silou. V případě programu [14] pro zjednodušený výpočet únosnosti konstrukce je výstupem programu průhyb a maximální moment od účinků výbuchu.

Ohrožení stavební konstrukce

Při výpočtu úrovně zatížení p_{load+} se toto zatížení pohybuje uvnitř místností v řádu megapascalů nebo stovek kilopas-

calů. Při porovnání tak vysokých zatížení s únosností oken a dveří podle *tab. 1* je zřejmé, že okenní a dveřní otvory budou výbuchovou vlnou proraženy (zničeny) a umožní výfuk tlaku do okolních prostor (venkovních nebo vnitřních).

Vypočtené ohybové momenty ve střední části stěnodesky m_x a m_y , maximální průhyb y ve středu stěnodesky a úhel φ natočení střednice stěnodesky uvádí *tab. 3*. Za mezní hodnotu,

při které dochází k havárii zdiva stěnodesky (zlomení, vymetení úlomků cihel apod.), byl zvolen úhel $\psi = 5^\circ$. Jednotlivé zdi místností jsou pro přehlednost očíslovány, viz půdorys na *obr. 1*.

Z *tabulky 3* je zřejmé, že příčky do tloušťky 150 mm budou výbuchem zničeny. Protože výbuchové tlaky výrazně překračují mez jejich únosnosti, budou trosky vymeteny do okolních prostor. Tlusté zděné stěny a meziokenní pilíře tloušťky od 900 mm výše budou zničeny pouze při umístění nálože v jejich blízkosti okolo 1 m. Při vzdálenosti větší než 2 m masivní konstrukce přenesou výbuchové tlaky bez zhroutilí a dalších vážných závad. Samozřejmě omítka bude poškozena, ve zdech se projeví trhliny, mohou vypadnout úlomky cihel, ale konstrukce se nezřítí.

Zbývá problematika stropních konstrukcí a podlah. Podrobnější výkresy, případně sdělení, nebyly k dispozici, a tudíž nebylo možné se jimi podrobněji zabývat. Podle řezu konstrukcí jde o tloušťku stropních konstrukcí okolo 1 m, zahrnujících konstrukci podhledu stropu, pravděpodobně stropní trámy, záklop, konstrukci násypů a podkladních vrstev a konstrukci podlahy.

Je pravděpodobné, že pokud se zřítí masivní nosná zeď nebo pilíř (tl. nad 900 mm) pod stropem, konstrukce nad ním se propadne a dojde i k poškození vyšších podlaží. Pokud byl nástražný systém umístěn tak, že by tlusté stěny a pilíře nebyly porušeny, mohlo by přesto dojít k poškození stropů, zřícení nebo porušení podhledů, vysypání násypů (dílčí), a zřejmě významnějšímu poklesu podlahy (lavorovitý) ve vyšším podlaží s důsledky porušení i tenkých příček nad tímto poklesem.

Ohrožení osob
Vliv výbuchu na osoby lze rozdělit na přímý účinek tlakové vlny a druhotný účinek od letících trosk. Zvlášť nebezpečné jsou přetlaky v rozmezí 0,005-0,020 MPa, při kterých je velmi pravděpodobné poranění osob troskami létajícími (na velké vzdálenosti desítek až stovek metrů) rozbitých skleněných výplní

Tab. 2. Funkce λ^2 pro výpočet 1. vlastní frekvence stěnodeskové konstrukce [13]

$\eta = \frac{L_x}{L_y} \quad \pi^2(1 + \eta^2)$	$\sqrt{97,41 + 227,2 \cdot \eta^2 + 237,7 \cdot \eta^4}$	$\sqrt{97,41 + 242,9 \cdot \eta^2 + 500,5 \cdot \eta^4}$
$\sqrt{237,7 + 265,1 \cdot \eta^2 + 237,7 \cdot \eta^4}$	$\sqrt{500,5 + 283,3 \cdot \eta^2 + 237,7 \cdot \eta^4}$	$\sqrt{500,5 + 302,7 \cdot \eta^2 + 500,5 \cdot \eta^4}$

Tab. 3. Ohrožení stěn místností (podle *obr. 1*) při různé vzdálenosti nálože od zdiva

Číslo prvku (<i>obr. 1</i>)	Vzdálenost nálože od prvku	Zatížení od výbuchu	Doba působení zatížení	Maximální moment svisle	Maximální moment vodorovně	Maximální průhyb	Natočení	Odhad poškození
	R [m]	p_{load+} [MPa]	t_{load+} [s]	M_{ver} [kNm]	M_{hor} [kNm]	γ [mm]	φ [deg]	
1	zeď 6 700×2 800×100							
	1,5	20,53	0,006	359,5	141,1	7 088,30	157,7	velmi pravděpodobné
	2,5	5,0853	0,0078	115,8	45,4	2 282,40	117	velmi pravděpodobné
2	zeď 5 430×2 800×100							
	2	9,2745	0,007	187,8	75,8	3 696,60	138,5	velmi pravděpodobné
	5	0,8892	0,011	28,3	11,4	556,8	43,4	velmi pravděpodobné
3	zeď 6 700×2 800×520							
	1	64,733	0,005	4 902,30	1 923,50	687,5	52,3	velmi pravděpodobné
	3	3,1512	0,0086	408,9	160,4	57,3	4,7	poškození trhlínami
	6	0,5847	0,012	105,3	41,3	14,8	1,2	není pravděpodobné
4	zeď 5 430×2 800×1 100							
	1	64,737	0,005	10 202,00	4 122,00	150,9	12,3	pravděpodobné
	2	9,2745	0,007	2 030,20	820,4	30,0	2,5	není pravděpodobné
	4	1,5219	0,0098	459,7	185,8	6,8	0,6	není pravděpodobné
5	meziokenní pilíř 1 630×2 800×1 100							
	1	64,737	0,005	9 227,40	4 049,80	44,3	6,3	poškození trhlínami
	2	9,2745	0,007	1 751,10	768,5	8,4	1,2	není pravděpodobné
	4	1,5219	0,0098	368,6	161,8	1,8	0,3	není pravděpodobné

oken a dveří. Při tomto tlaku nejsou trosky sraženy k zemi, ale „plachtí“ venkovními nebo i vnitřními prostorami. Pro odhad ohrožení osob lze použít *tab. 4*. Kromě uvedených úrazů mohou být lidé zraněni padajícími částmi zdiva, popř. propadlými stropy. Druhotné účinky havárie části budovy jsou mnohdy nebezpečnější než účinky od přetlaku výbuchu.

Při hodnocení ohrožení osob v okolí místností s teroristickou náloží se tlaková vlna bude šířit okolními chodbami ve větších vzdálenostech i při relativně malých, pro zdravého člověka bezpečných přetlacích. Pro invalidní nebo starší osoby však může být i nízký přetlak nebezpečný vzhledem k ohrožení pádem na podlahu a druhotným zraněním.

Tab. 4. Zranitelnost osob přetlakem v dopadající vzdušné rázové vlně p_+

Skupina zranitelnosti	Přetlak p_+ [MPa]	Popis zranění	
0	méně než 0,010	zranění od přímého působení tlakové vlny je nepravděpodobné	
1	0,010 až 0,030	lehké úrazy osob	při přetlaku cca 0,015 MPa dojde k povalení stojící osoby
			při přetlaku cca 0,034 MPa dojde k prasknutí ušních bubínků
2	0,030 až 0,150	těžké úrazy osob	
3	0,150 až 0,200	smrtelná zranění	

Závěr

Na příkladu konkrétní budovy je řešena možnost ohrožení její bezpečnosti výbuchem teroristické nálože, přinesené do budovy v kufru a vybavené systémem pro její iniciaci. V rámci příspěvku jsou porovnány zjednodušené postupy stanovení účinků výbuchu, tedy parametrů tlakové vlny a vyvozeného zatížení, kterým působí tlaková vlna na vnitřní konstrukce a případně se šíří i do okolí objektu otevřenými (rozbitými) okenními a dveřními otvory. Vzhledem k nejistotám ve stanovení všech parametrů výbuchového zatížení je předložena zjednodušená metodika, která umožňuje tyto parametry stanovit a na jejich základě posoudit vlastní stavební konstrukci. Nejistotu ve stanovení parametrů výbuchového zatížení lze stanovit podle výsledků výpočtu pomocí empirických vzorců několika autorů.

Analýza stavební konstrukce ohrožené výbuchem je založena na ekvivalentním statickém výpočtu, vycházejícím ze soustavy s jedním stupněm volnosti, a stanovením dynamického součinitele pro pružně plastickou soustavu. Na základě maximálních momentů a průhybů konstrukce je posuzováno ohrožení konstrukce výbuchem.

Příspěvek je doplněn tabulkami s údaji o porušování okenních a dveřních otvorů výbuchem a vlivu výbuchu na osoby. Konečně na příkladu konkrétní místnosti je analyzováno její ohrožení i ohrožení celé budovy při variantním umístění nálože v blízké či větší vzdálenosti od nosné konstrukce a příček.

Použité programy [13] a [14], vycházející ze zjednodušené metodiky stanovení zatížení od výbuchu, vypracované autory příspěvku a dostupné na webových stránkách ČVUT, jsou jistě cenné pro rychlý a dostatečně inženýrsky oprávněný odhad porušení konstrukce zatížené výbuchem.

Práce na této problematice byla podporována projektem č. 103/08/0859 GA ČR „Odezva konstrukci při statických a dynamických zatíženích působených přírodní a lidskou činností“.

Literatura

- [1] ČSN 73 1101 Navrhování zděných konstrukcí. ČNI, 1980.
- [2] Henrych, J.: Dynamika výbuchu a jeho užití. Praha, Academia 1973.
- [3] Hořejší, J. – Šafka, J. a kol.: Statické tabulky, TP 51. Praha, SNTL 1987.
- [4] Janovský, B.: Výbuch ve vnitřním prostoru objektů, vnitřní výbuch. [Učební texty], Univerzita Pardubice, 2002.
- [5] Janovský, B. – Šelešovský, P. – Horkel, J. – Vejs, L.: Vented Confined Explosions in Stramberk Experimental Mine and AutoReaGas simulation. J. Loss Prevention in the Process Industries, 19, 2006, pp. 280-287.
- [6] Koloušek, V. a kol.: Stavebné konštrukcie namáhané dynamickými účinkami. Bratislava, SVTL 1967.
- [7] Korenev, B. G. a kol.: Dinamicheskij rascot sooruzhenij na specialnyje vozdejsťvija. Spravochnik. Moskva, Strojizdat 1981.
- [8] Makovička, D.: Shock Wave Load of Window Glass Plate Structure and Hypothesis of its Failure. In: Structures Under Shock and Impact '98. Computational Mechanics Publications, Southampton, WIT Press 1998, pp. 43-52.
- [9] Makovička, D.: Failure of Masonry under Impact Load Generated by an Explosion. Acta Polytechnica, Vol. 39, No. 1/1999, pp. 63-91.
- [10] Makovička, D. – Makovička, D.: Poškození konstrukcí při výbuchu uvnitř nebo vně objektu. In: Betonové konstrukce v extrémních podmínkách, Česká betonářská společnost, 2004, s. 105-112.
- [11] Makovička, D. – Makovička, D.: Vliv opakovaných extrémních zatížení na ohybovou únosnost zdiva. Stavební obzor, 15, 2006, č. 2, s. 37-43.
- [12] Makovička, D. – Janovský, B.: Příručka protivýbuchové ochrany staveb. Praha, Česká technika 2008.
- [13] Makovička, D. – Makovička, D.: Zjednodušený výpočet tlakové vlny. Programový soubor, 2009. http://pvoch.cvut.cz/vy-pocet_vlny/
- [14] Makovička, D. – Makovička, D.: Zjednodušený výpočet odezvy stěnodeskové konstrukce. Programový soubor, 2009, http://pvoch.cvut.cz/odezva_desky/
- [15] Baker, W. E. – Westine, P. S. – Cox, P. A. et al.: Explosion Hazards and Evaluation. Amsterdam, Elsevier 1983.
- [16] LS-DYNA User's Manual: Nonlinear Dynamic Analysis of Structures, Version 950. Livermore Software Technology Corporation, 1999.

Makovička, D. et al.: Exposure of Building Structure to Charge Explosion in Interior

This paper seeks to examine explosion loading on the external structure of walls of a room inside an older masonry building in case of remote blasting of a terrorist charge. The charge of the explosive with a tripwire, brought in a suitcase, was placed in the store of the building. It can be initiated remotely at the right time. Compressive effects on the inner structure of the building have been determined. For the calculation of the loading caused by the explosion, simplified methods were used and, in an example of a specific structure, compared with the result of a 3D computation, assuming the specific shape, filling of the room and the position of the charge in determining the loading. An equivalent structural analysis was applied for the calculation of the response. Criteria of masonry failure and a threat to the surroundings of the explosion, including health hazard to people, are determined for the assessment of the response of the structure.

Makovička, D. u.a.: Gefährdung der Konstruktion eines Gebäudes bei einer Explosion im Innenraum

Der Artikel behandelt die Bestimmung der Explosionsbelastung der Außenwandkonstruktion eines Raums im Innern eines älteren gemauerten Gebäudes bei Fernauslösung einer terroristischen Sprengladung. Die in einem Koffer an Ort und Stelle gebrachte Sprengladung mit einem Lockmittelsystem wurde im Lager des Gebäudes platziert. Im geeigneten Moment kann sie von fern gezündet werden. Es werden die Druckwirkungen der Explosion auf die innere Konstruktion des Gebäudes

bestimmt. Für die Berechnung der durch die Explosion ausgeübte Belastung werden vereinfachte Ansätze benutzt und am Beispiel der konkreten Konstruktion mit dem Ergebnis einer dreidimensionalen Berechnung verglichen, die bei der Bestimmung der Belastung die konkrete Form und die Ausfüllung des Raums sowie die Lage der Sprengladung in Betracht zieht. Für die Berechnung der Reaktion wurde eine äquivalente statische Berechnung angewandt. Zur Beurteilung der Reaktion der Konstruktion werden Kriterien der Beschädigung des Mauerwerks und der Gefährdung der Umgebung der Explosion einschließlich der Gefährdung von Personen durch die Druckwirkungen bestimmt.



CBS

Česká betonářská společnost ČSSI

**Soutěž
VYNIKAJÍCÍ
BETONOVÁ
KONSTRUKCE
2009**

7. ROČNÍK
STAVBY REALIZOVANÉ V LETECH 2007 – 2008

www.csbeton.eu

● dizertace



Analýza způsobů ochrany povrchových objektů před vlivy ražených podzemních staveb

Ing. Pavel Růžička

Dizertace poukazuje na velký význam pravděpodobnostního řešení vlivu pevnostních a přetvárných parametrů předstunuté clony z tryskové injektáže, která omezuje deformace při tunelování podél zástavby. Vyřešení ochrany má velký praktický vliv.

Psychologické aspekty přípravy navrhování staveb

Ing. Karel Smejkal

Práce je zaměřena na vytvoření nových součástí metodiky navrhování občanských staveb z hlediska psychologických aspektů. Byla vytvořena preferenčně strukturální metoda použitelná jako podklad pro komplexní návrh stavby.

Návrh alternativní metody pro predikci časových řad

Ing. Petr Kalčev

Dizertace se věnuje analýze časových řad, což je jeden z nejčastěji používaných modelových přístupů. Autor navrhl vlastní alternativní metodu, kterou nazval teorie vln.

Modelování gravitačního pole Země založené na konceptu Hilbertova prostoru

Ing. Otakar Nesvadba

Navržené postupy jsou alternativou k metodě konečných prvků a vypořádávají se s problematikou numerické stability výpočtu a vhodné volby báze funkcí.

Bytová politika a limity reprodukce bytového fondu

Ing. Lucie Brožová

Dizertace se zabývá problematikou státní bytové výstavby. Byl vytvořen model této politiky. Přínos autorky je zejména v oblasti bydlení seniorů, pro něž se navrhuje různé možnosti řešení a ukazují se dopady a důsledky.

Využití čistírenského kalu při lehčení cihelného střepu

doc. Ing. Radomír SOKOLÁŘ, Ph.D.
Ing. Aleš PETRŮ

VUT – Fakulta stavební
Brno

Posuzován byl vliv různého množství kalu z čistírny odpadních vod jako lehčiva ve směsi pro výrobu tepelně izolačních tvarovek typu THERM v porovnání se standardním lehčivem – pilinami. Z technologického hlediska zvyšuje jeho přidávek množství rozdělovací vody a pevnost výsušku i vypáleného střepu při srovnatelné objemové hmotnosti střepu vylehčeného pilinami. Kal jako vyhořívající lehčivo je výhodný z hlediska emisí CO a SO₂ při výpalu a výrazně nezvyšuje množství vyluhovatelných toxických látek ve vypáleném střepu.

Úvod

Hledání vhodného, a zejména levného, lehčiva pro výrobu cihlářských tvarovek pro obvodové zdivo je stále aktuálnějším a důležitějším krokem technologie výroby těchto produktů. Zvyšování tepelně izolačních vlastností tvarovek typu THERM (součinitel prostupu tepla tvarovek tloušťky 440 mm dosahuje hodnot okolo 0,25 W m⁻²K) přináší neustálé zvyšování podílu děrování tvarovek (nad 50 %) a současně zeslabování tloušťky střepu. Tento trend vytěšňuje dříve standardně používaný typ lehčiva – dřevěné piliny v množství do 30 % objemových výrobní směsi. Stále větší nedostatek a rostoucí cena této suroviny nutí výrobce zabývat se jejich možnou náhradou. Navíc nově používané alternativy (např. kaly vznikající při recyklaci papíru) přinášejí pro stávající technologii výroby mnoho pozitiv – zvyšují pevnost výsušku i vypáleného střepu, zlepšují přetvárné vlastnosti těsta apod.

Vlastnosti a použití

Kal z čistírny odpadních vod (ČOV) je nevyhnutelným odpadem při úpravě vody a jejím čištění. Představuje přibližně 1-2 % objemu čištění vod, je v něm však obsaženo až 80 % původního znečištění. Tento druh odpadu je klasifikován jako nebezpečný katalogového čísla 190811 – Kaly z biologického čištění průmyslových odpadních vod obsahující nebezpečné látky. Surové kaly mohou obsahovat různorodé patogenní mikroorganismy, produkty rozkladu a zvýšenou koncentraci těžkých kovů (Zn, Cu, Co, Pb, Hg, Cr, Cd). Zpracovávají se zahušňováním, stabilizací (biologickou, chemickou, tepelnou), odvodněním (flotací, odstředěním), dezinfekcí.

Využití pro tento odpad se hledá především v zemědělství (kolem 35 %), čemuž nahrává legislativa i dosavadní publikované možnosti [1]-[4]. Vzhledem ke stále se zpřísňujícím hygienickým limitům se bude využití kalů v zemědělství omezovat, protože většina kalů z větších měst a průmyslových aglomerací nesplňuje potřebná kritéria. Aplikace v ze-

mědělství je navíc převážně sezónní a odpad se produkuje celoročně. Odhaduje se [5], že náklady spojené se zneškodňováním kalů činí v současné době asi 60 % veškerých provozních nákladů čistíren odpadních vod. Vzhledem ke směrnici EU, které vyžadují čistírnu v každé městské aglomeraci (i obcích s více než 2 tis. obyvateli), se očekává výrazné zvýšení produkce kalů o 50 % proti roku 1997.

V Evropě se ročně vyprodukuje kolem 7 mil. t kalů ročně, z toho 40 % se ukládá na skládky, protože nevyhovuje limitním hodnotám, 37 % se využívá k přímé aplikaci v zemědělství, 11 % se spaluje, 4 % se ukládají v jiné formě a pro 8 % existují jiné způsoby využití (solidifikace a následné spalování) [6].

Patent na využití kalu z odpadních vod v cihlářství pochází z roku 1889. Kal z ČOV se od roku 1979 například úspěšně využívá při výrobě cihel v Port Elizabeth v Jižní Africe [7]. Přidává se až 30 % kalu k surovině, zneškodňuje se nejen kal (670 tis. t ročně), ale i toxické těžké kovy, stejně jako nebezpečné mikroorganismy. V ČR již proběhly polo-provozní zkoušky s přidáváním těchto kalů a výsledné zprávy [8], [9] uvádějí shodné závěry – bazické kaly kovů jsou již při homogenizaci vázány sorpčně i iontově na hlinitokřemičitany. Při sušení dochází k dehydrataci hydroxidů, dekalcinaci a postupně přeměně na těžko rozpustné oxidy. Při výpalu vznikají hlinitokřemičitany a křemičitany kovů. Sloučeniny chromu přecházejí na těžko rozpustný oxid chromitý. Proti jiným způsobům je téměř vyloučen úlet oxidů kovů do ovzduší.

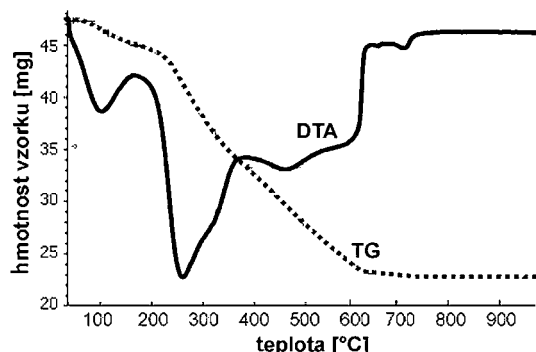
Literatura [10]-[15] uvádí mnoho dalších referencí, které se shodují v základních závěrech. Kal primárně slouží jako lehčivo, snižuje objemovou hmotnost a pevnost, limitní hodnota přídatku do 30-40 %, větší množství již způsobuje technologické problémy a pokles pevnosti střepu větší než 50 %. Dále zvyšují plastičnost a zlepšují reologické vlastnosti těsta, díky obsaženým vláknům umožňují rychlejší sušení výlisků. Nevýhodou může být zápach při sušení a výpalu, náchylnost k tvorbě výkvětů a černých jader. Případná emise toxických látek se dá ovlivnit přísadou dalších látek (vodního skla, ostřiva aj.).

Využívá se také zpopelněný kal, který působí jako tavivo [16], přidáním 10 % mají cihly větší pevnost než bez popela. V Japonsku [17] existuje dokonce speciální použití – popel z kalu, slisovaný a vypálený na 1 050 °C do dlaždic se používá při výstavbě Tokijského metra.

Výhodou je i vysoká výhřevnost kalů z ČOV – uvádí se [10] obvykle v intervalu 10,5-18,8 MJ⁻¹ kg, což je srovnatelná hodnota s hnědým uhlím nebo palivovým dřevem. V praxi se výhřevnost pohybuje spíše na nižší hodnotě. Platí to však pouze pro sušinu. Vysoký obsah vody v kalech (45 až 95 %) vyžaduje energii na vysušení, což v některých případech může přinést dokonce zápornou tepelnou bilanci. V cihlářství však takový obsah vody může být výhodou, protože se nemusí přidávat rozdělovací voda. Konkrétní příklad [14] uvádí úsporu až 7 mil. l/rok. Ani konzistence, závislá na obsahu vody, není problém. V tekutém stavu (čerpatelném,

tj. 15-20 % sušiny) jsou sice vyšší náklady na dopravu, ale výhodou je snazší manipulace a větší bezpečnost pro obsluhu. Ve stavu rypném (kal odvodněný na vlhkost cca 50 %) jej pak může velice jednoduše dávkovat běžný skříňový podavač.

Sledovaný chemicky neupravený kal pochází z čističky odpadních vod v Modřicích. Pro experiment byl dávkován k cihlářské zemině v dodaném stavu (sušina kolem 25 %).



Obr. 1. Termická analýza kalu – navážka 47, 1643 mg [2]

Celková ztráta žháním 52,5 % (obr. 1) je srovnatelná s hodnotami zjištěnými u papírenských kalů. Rentgenová analýza prokázala pouze přítomnost kalcitu a křemene.

Metodika experimentů

Cílem výzkumných prací bylo experimentálně posoudit vliv sledovaného kalu jako lehčiva v surovinové směsi pro výrobu tepelně izolačních tvarovek typu THERM cihelny TONDACH Šlapanice. Na případové studii, která výběrem surovin zohledňuje i ekonomické hledisko v podobě minimalizace přepravních nákladů (vzdálenost mezi ČOV a cihelnou je 15 km), je demonstrován vliv rostoucího podílu kalu (0-30 %) především na pórovitost vypáleného střepe (objemová hmotnost, zdánlivá pórovitost) a na užité vlastnosti (pevnost, součinitel tepelné vodivosti, výkvětotvornost) v porovnání s nelehčenou variantou, resp. střepe lehčeným pilinami. Jsou zohledněny i vlivy kalu na vlastnosti vytvářecí směsi (pevnosti výsušku, rozdělovací vody, citlivosti k sušení) a ekologické aspekty použití (emise CO a SO₂ během výpalu, vyluhovatelnost toxických látek), protože je zařazen do kategorie nebezpečných odpadů.

Bylo připraveno pět směsí (% hmotnostní) lišících se přídávkem lehčiva do základní cihlářské zeminy, která se používá pro výrobu tvarovek typu THERM, a to:

- zemina (100 %) – (označení S)
- zemina (90 %) + kal z ČOV (10 %) – (označení SKA),
- zemina (80 %) + kal z ČOV (20 %) – (označení SKB),
- zemina (70 %) + kal z ČOV (30 %) – (označení SKC),
- zemina (96 %) + piliny (4 %) – (označení SPI).

Zkušební vzorky (cihelky) velikosti 100x50x14 mm (podle ČSN 72 1565-4) byly připravovány ručním stloukáním do forem z těsta, jehož pracovní vlhkost w_r odpovídala deformačnímu poměru 0,6 podle Pfefferkorna (ČSN 72 1074). Na takto připravených vzorcích byla stanovena citlivost k sušení podle Bigota CSB (ČSN 72 1565-11) a délková změna sušením DS (ČSN 72 1565-5). Na výsušcích byla provedena zkouška pevnosti v ohybu σ_{po-s} (ČSN 72 1565-7). Množství emisí během výpalu připravených vzorků sledoval elektronický analyzátor spalin (TESTO M-I 300). Výpal probíhal v laboratorní elektrické peci o objemu 5 dm³. Použitá pálící křivka: nárůst teploty 250 °C/h, max. teplota 950 °C

s výdrží 1 h na této teplotě. Vzorky se vypalovaly vždy po dvou kusech, v peci se uložily druhou největší plochou na podložku z cordieritu. Následně se zkoušela náchylnost ke vzniku výkvětů (ČSN 72 1565-13) a pevnost v ohybu σ_{po-s} (ČSN 72 1565-7). Vyluhovatelnost toxických látek byla stanovena chemickým rozbohem vodného výluhu vypálených střepe. Pórovitost vypáleného střepe byla posouzena na základě nasákavosti N , objemové hmotnosti ρ a zdánlivé pórovitosti PZ (ČSN 72 1565-6). Součinitel tepelné vodivosti λ střepe byl stanoven nestacionární metodou horkého drátu měřidlem Shotherm QTM.

Tab. 1. Kal jako nebezpečný odpad z hlediska vyluhovatelnosti

Ukazatel	Třída vyluhovatelnosti - limit		Kal
	I	IIb	
[mg.l ⁻¹]			
pH	–	≥6	7,33
rozpuštěné látky	400	6 000	4 110
chloridy	80	1 500	76
fluoridy	1	15	0,2
sírany	100	2 000	452
As	0,05	0,2	<0,05
Ba	2	10	0,14
Cd	0,004	0,1	<0,003
Cr	0,05	1	0,011
Cu	0,2	5	0,07
Hg	0,001	0,02	0,0045
Mo	0,05	1	<0,50
Ni	0,04	1	0,081
Pb	0,05	1	<0,05
Sb	0,006	0,07	<0,05
Se	0,01	0,05	<0,02
Zn	0,40	5	0,02
DOC	50	80	1 099
fenoly	0,1	–	0,38

Vlastnosti plastického těsta

Příměs kalu v cihlářské zemině zvyšuje množství rozdělovací vody, citlivost k sušení, pevnost v ohybu výsušku (v porovnání se směsí S bez příměsí) a smrštění sušením (tab. 2). Z těchto důvodů je vhodné použít ve směsi i vyšší podíl ostřiv, např. křemenného písku nebo elektrárenského popílku, který může dále zvyšovat tepelně izolační vlastnost střepe.

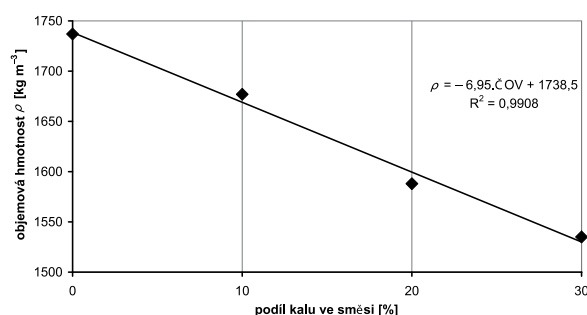
Vlastnosti vypáleného střepe

Kal prokázal dostatečnou lehčící schopnost – pro dosažení objemové hmotnosti vypáleného střepe kolem 1 550 kg m⁻³, což je v současné době průměrná hodnota dosahovaná u tvarovek THERM, postačí kolem 25 % kalu (přepočteno na

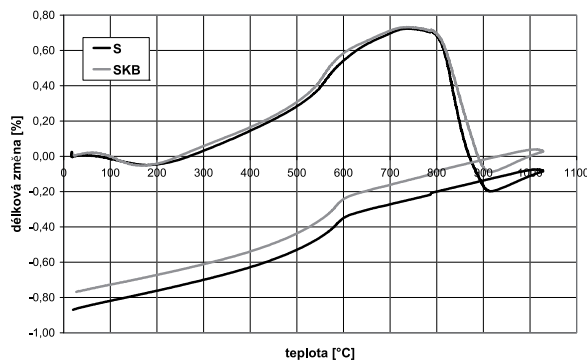
sušinu) v surovinové směsi. Zvýšení množství kalu ve směsi s cihlářskou zemínou snižuje objemovou hmotnost vypáleného střepu, které lze modelovat lineárním průběhem s vysokou hodnotou spolehlivosti \bar{R} (obr. 2).

Tab. 2. Vlastnosti plastického těsta

Vzorek	w_r	DS	CSB	σ_{p0-s}
	[%]			
S	30,4	-8,7	1,8	2,9
SKA	37,2	-9,0	2,0	5,4
SKB	41,0	-9,6	2,1	4,9
SKC	47,8	-9,8	2,3	4,1
SPI	35,3	-6,7	1,9	6,0



Obr. 2. Vliv podílu kalu na objemovou hmotnost vypáleného střepu



Obr. 3. Vliv přidavku kalu na délkové změny střepu během výpalu (DKTA)

Dilatometrické křivky na obr. 3 dokumentují nepatrný vliv příměsí kalu na délkové změny střepu během výpalu. Pouze je třeba počítat s menším smrštěním střepu po výpalu (o 0,1 %) v případě jeho použití, čímž je do určité míry kompenzováno větší smrštění sušením takto lehčených střepů

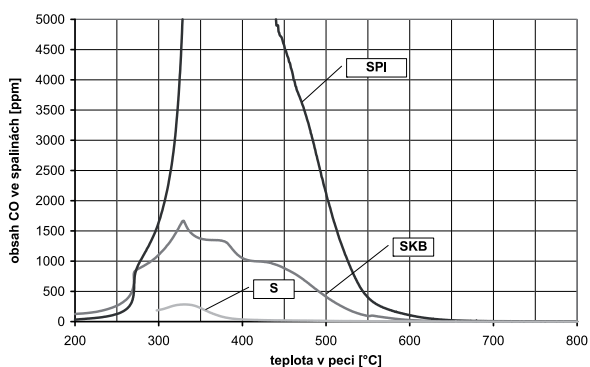
Tab. 3. Vlastnosti vypáleného střepu

Vlastnost	Jednotka	S	SKA	SKB	SKC	SPI
celková délková změna DC	[%]	-9,8	-9,1	-10,1	-10,5	-8
objemová hmotnost ρ	[kg m ⁻³]	1 737	1 677	1 588	1 535	1 580
nasákavost varem N	[%]	18,4	20,4	24,8	27,4	22,8
pevnost v tahu za ohybu σ_{p0-p}	[MPa]	12,1	11,3	10	8,7	9
součinitel tepelné vodivosti λ	[W m ⁻¹ K ⁻¹]	0,57	0,483	0,47	0,442	0,472

(tab. 2), které se promítá i do celkové délkové změny DC (tab. 3). Nezanedbatelným přínosem je i větší pevnost v ohybu střepu lehčeného kalem v porovnání se střepem lehčným pilinami při porovnatelné objemové hmotnosti, resp. porovnatelném součiniteli tepelné vodivosti střepu (směs SKB vs. SPI).

Ekologické aspekty využití

Obsah oxidů uhlíku ve spalínách byl měřen jako oxid uhelnatý CO, který přístroj měří přímo (CO₂ pouze nepřímou počítá). Nesporná výhoda kalu z ČOV (směs SKB) v porovnání s pilinami (směs SPI) z hlediska obsahu CO ve spalínách při výpalu střepu vylehčeného na obdobnou objemovou hmotnost je jasně dokumentována na obr. 4. Velmi příznivých výsledků dosáhl i z hlediska vzniku emisí SO₂ ve spalínách – ani maximální množství kalu (30 %) v surovinové směsi nezvyšuje obsah oxidu siřičitého ve spalínách. U všech posuzovaných směsí nepřesáhl 5 ppm. Paradoxně jde o nižší hodnoty, než jaké byly naměřeny u porovnávacích směsí SPI (max. 31 ppm SO₂ při 450 °C), resp. S (max. 81 ppm SO₂ při 950 °C).



Obr. 4. Obsah CO ve spalínách během výpalu

Zkouška vyluhovatelnosti toxických látek probíhala podle ČSN EN 12457-4. Zatřídění bylo provedeno v souladu s vyhláškou Ministerstva životního prostředí o podrobnostech nakládání s odpady. Pro stanovení vodného výluhu byl použit vypálený střep s maximálním přidavkem kalu (SKC – obsah 30 % hmotnostních kalu) a střep bez příměsí (S). Jak je patrné z tab. 4, v některých položkách byly překročeny limitní hodnoty pro splnění podmínek I. třídy vyluhovatelnosti (fluoridy, sírany, chróm). Jde však o problém použití cihlářské zeminy, neboť toto zvýšení bylo zjištěno u obou posuzovaných střepů (tedy i u střepu bez příměsí). Podmínky maximálních hodnot pro II. třídu vyluhovatelnosti oba vypálené střepy splnily.

Na vyšší obsah síranů ve vypáleném střepu s použitím lehčiva kalu z ČOV poukazuje i mírné zvýšení náchylnosti

ke vzniku výkvětů. Příměs kalu pouze nepatrně zvyšuje obsah chromu a molybdenu ve vodném výluhu (tab. 4).

Tab. 4. Porovnání vodného výluhu na vzorku s kalem (SKC) a s nelehčeným standardem (S)

Látka	Naměřená hodnota - vzorek		Limitní hodnota I	Limitní hodnota II
	S	SKC		
[mg.l ⁻¹]				
pH	10,8	10,53	5,5 – 11	5,5 – 12
rozpuštěné látky	874	1 120	–	–
DOC	5	2	10	30
chloridy	<1	1	500	–
fluoridy	5,47	3,35	3	5
sírany	501	686	500	–
arzén (As)	0,003	0,003	0,05	0,1
baryum (Ba)	0,04	0,04	1	10
kadmium (Cd)	0,0001	0,0002	0,005	0,05
chrom (Cr)	0,1	0,17	0,1	1
měď (Cu)	<0,005	<0,005	0,5	1
rtuť (Hg)	0,0002	0,0001	0,002	0,005
molybden (Mo)	<0,05	0,07	–	–
nikl (Ni)	<0,02	<0,02	0,1	0,5
olovo (Pb)	<0,001	<0,001	0,1	0,5
antimon (Sb)	<0,001	<0,001	0,05	0,1
selen (Se)	0,007	0,005	0,05	0,1
zinek (Zn)	<0,02	<0,02	5	5
ztráta sušením (105 ÚC)	0,52	0,24	–	–

Závěr

Využití kalů z čistíček odpadních vod jako lehčiva v cihlářské výrobě představuje perspektivní možnost likvidace tohoto nebezpečného odpadu, jehož toxické látky jsou pevně vázány ve struktuře střeptu. Z technologického hlediska je možné jejich vliv na vlastnosti plastického těsta i vypáleného střeptu označit ve všech směrech jako analogický s kaly papírenskými [18], které se v cihlářské výrobě běžně používají.

Článek vznikl za podpory projektu 1M6840770001 MŠMT ČR v rámci výzkumného centra CIDEAS.

Literatura

- [1] Váňa, J.: Využití bioodpadů v České republice. *Odpady*, 8, 1998, č. 3, s. 10. /ISSN 1210-4922/
- [2] Růžek, P. – Kusá, H. – Hrazdíra, J.: Využití kalů z čistíren odpadních vod. *Odpady*, 8, 1998, č. 3, s. 12. /ISSN 1210-4922/
- [3] Hrazdíra, J. – Kusá, H. – Růžek, P.: Recyklace kalů z ČOV stabilizovaných vápnem. [Sborník], seminář „Recyklace odpadů“, VŠB-TU Ostrava, 1997.
- [4] Kolektiv: Využití kalů z čistíren odpadních vod. [Sborník], seminář ČVVS, 1994.
- [5] Bednařík, V. – Vondruška, M. – Houser, J.: Co s čistírenským odpadem. *Odpady*, 11, 2001, č. 6, s. 8-9. /ISSN 1210-4922/
- [6] Raclavská, H. – Matýšek, D. – Mališ, J. – Valerián, P.: Mobilita rizikových prvků v kalcích z ÚČOV. [Sborník], seminář „Recyklace odpadů III“, VŠB-TU Ostrava, 1999.
- [7] Coghlan, A.: Sewage Sludge Bulks up House Bricks. *New-Scientist*, 2002, No. 2358.
- [8] Toman, J. – Sirmý, J.: Možnosti likvidace průmyslových kalů v cihlářské výrobě. [Výzkumná zpráva], Geobrick, Brno.
- [9] Viktorin, F. – Toman, J.: Technologie likvidace neutralizačních kalů zapracováním do cihlářských surovin a jejich laboratorní kontrola. [Výzkumná zpráva], Geobrick, Brno.
- [10] Dondi, M. – Marsigli, M. – Fabbri, B.: Recycling of Industrial and Urban Wastes in Brick Production – A Review. *Tile&Brick International*, 13, 1997, No. 3-4, pp. 268-272. /ISSN 0938-9806/
- [11] Cabrera, J. G. – Stentiford, E. I.: The Properties of Brick Manufactured with Pulverised Fuel Ash and Sewage Sludge. *Interbrick*, 2, 1986, No. 2.
- [12] Balgaranova, J. – Petkov, A. – Pavlova, L. – Alexandrova, E.: Utilization of Wastes from the Coke-Chemical Production and Sewage Sludge as Additives in the Brick-Clay. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, XXXVII, Book 3, 2002.
- [13] Joo-Hwa, Tay: Bricks Manufactured from Sludge. *Journal of Environmental Engineering*, 113, 1987, No. 2.
- [14] Liew, A. G. at al.: Incorporation of Sewage Sludge in Clay Brick and its Characterization, *Waste Management & Research*, 22, 2004, No. 4.
- [15] Wiebusch, B. – Seyfried, C. F.: Utilization of Sewage Sludge Ashes in the Brick and Tile Industry. *Water Science and Technology*, 36, 1997, No 11.
- [16] Aspects of Sewage Sludge Utilization and its Impact on Brick-making. *Global Ceram. Rev.*, 1994, No. 1.
- [17] Lin, D.-F. – Huang, Weng, C.-H.: Use of Sewage Sludge Ash as Brick Material. *Journal of Environmental Engineering*, 127, 2001, No. 10.
- [18] Sokolář, R. – Petrů, A.: Vliv lehčiv na vlastnosti keramického střeptu a emise CO a SO₂ při výpalu. *Keramický zpravodaj*, 2006, č. 6, s. 4-10. /ISSN 1210-2520/

Sokolář, R. – Petrů, A.: Use of Water Treatment Plant Sludge for Lightening of Brick Body

The effect of various amounts of sludge from the wastewater treatment plant used as a lightening agent in mixtures for production of thermal insulating THERM blocks was judged in comparison with a standard lightening agent, sawdust. From technological perspective, its addition increases quantity of mixing water and strength of the dry product, as well as of the burnt bodies while maintaining comparable bulk density of the bodies lightened with sawdust. Sludge is beneficial as a burning lightening agent given CO and SO₂ emissions during burning and it does not raise the quantity of extractible toxic matters in the burnt bodies substantially.

Sokolář, R. – Petrů, A.: Verwendung von Klärschlamm bei der Porenbildung im Ziegelscherben

Es wurde der Einfluss einer unterschiedlichen Menge von Klärschlamm als Porenbildner in der Mischung für die Herstellung von wärmedämmenden Formziegeln des Typs THERM im Vergleich mit standardmäßigem Porenbildner - Sägespänen - beurteilt. Vom technologischen Gesichtspunkt erhöht seine Beigabe die Menge des Anmachwassers und die Festigkeit des ausgetrockneten Formlings und auch des gebrannten Scherbens bei vergleichbarer Dichte von mit Sägespänen porosiertem Scherben. Der Schlamm als verbrennender Porenbildner ist vom Gesichtspunkt der Emission von CO und SO₂ beim Brennen vorteilhaft und erhöht die Menge ausscheidbarer toxischer Stoffe im gebrannten Scherben nicht wesentlich.

Ověření Wiedemanna modelu dopravního proudu

Ing. Petr HOLLNER, Ph.D.
VUT – Fakulta stavební
Brno

Významným představitelem psycho-fyziologických mikroskopických modelů dopravního proudu je Wiedemannův model. Je založen na posouzení vzdálenosti mezi vozidly a rozdílu rychlostí, podle čehož přisoudí vozidlu některý z jízdních režimů. Příspěvek se zabývá podrobnou analýzou dějů v takto simulovaném dopravním proudu a aplikací Wiedemannových kritérií na reálný dopravní proud. Sledování reálných vozidel se provádělo přesnou GPS RTK metodou.

Úvod

Základní požadavky, kladené na model dopravního proudu, jsou jednoduché a samozřejmé, není však snadné je splnit do důsledků. Ve stručnosti se požaduje:

- bezkolizní simulace dopravního proudu složeného z autonomních vozidel,
- dodržení fyzikálně rozumných akcelerací,
- asymetričnost akcelerace a decelerace,
- nelinearita modelu [1].

K tomu se samozřejmě přidává přirozený požadavek, aby model co nejlépe simuloval reálné děje, což se většinou považuje za hlavní motiv konstruování modelů. Splnění tohoto požadavku se i obtížně prokazuje. Je nutno si připustit, že úspěšnost modelu se musí posuzovat vzhledem k účelu použití. Nelze očekávat univerzální shodu s realitou ve všech parametrech a v celém rozsahu zkoumaných provozních režimů.

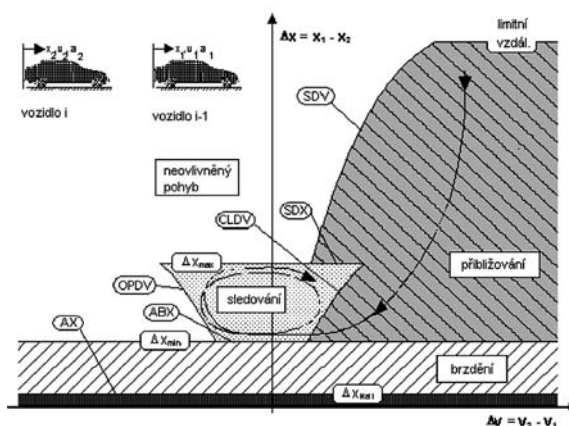
Očekávaným produktem simulace na líniové komunikaci nebo na dopravní síti jsou základní charakteristiky dopravního proudu – hustota, rychlost a intenzita – pro zobrazení jejich vzájemného vztahu se standardně používají fundamentální diagramy. Intenzita je pak brána jako základní údaj pro návrh dopravní sítě včetně projekčních parametrů. Pro tyto účely existují komerční softwary, založené na různých modelech dopravního proudu. Uživatelé tyto produkty hodnotí především podle věrohodnosti výsledků, uživatelského komfortu a přesvědčivosti vizualizací. Při utilitárním přístupu se jen málokdo zajímá o princip použitého modelu a tvůrce softwaru ani takové podrobnosti nezveřejňují. V dalším textu jsou podrobně popsány vlastnosti Wiedemanna modelu, který je deklarován jako základ některých programových vybavení.

Popis modelu

Wiedemannův model [2] je typickým představitelem psycho-fyziologických modelů [3], založených na stanovení režimu vozidla podle rozdílu rychlostí vozidel $dV = V_i - V_{i-1}$, jejich vzdálenosti $dS = S_{i-1} - S_i$ a rychlosti V_i . Pro ilustraci se používá vykreslení do grafu $dV-dS$ a podle toho, v jaké jeho oblasti se vozidlo nachází, přisoudí se mu jeden z předepsaných jízdních režimů. Na vodorovnou osu se vynášejí rozdíl rychlostí, na svislou rozdíl pozic. Hranice mezi re-

žimy závisí i na okamžité rychlosti, předpis pro akceleraci je pak pro jednotlivé režimy odlišný.

Základní je režim sledování, který má nastat při rozdílu rychlostí blízkém nule a při vzdálenosti mezi vozidly blízké optimu vzhledem k rychlosti. Model předpokládá, že vozidla mají tendenci setrvávat v tomto režimu, pokud vedoucí vozidlo nemění výrazně rychlost. Wiedemann si byl vědom, že reálný dopravní proud není stacionární a rychlost jednotlivých vozidel mírně kolísá, vzdálenosti mezi nimi se mění. Pro režim sledování tedy předpokládal nenulovou akceleraci $a = \pm 0,2 \text{ m s}^{-2}$. Ke změně mezi těmito dvěma hodnotami dochází, pokud vzdálenost mezi vozidly nebo rozdíl rychlostí dosáhne hraniční hodnoty. Ideální představa o fungování tohoto modelu, kdy se má vozidlo plynule v režimu přibližování dostat do optimální vzdálenosti, a pak setrvávat v režimu sledování, je uvedena v obr. 1. Režim intenzivního brzdění má nastat při deceleraci předcházejícího vozidla. Tato ideální představa však neodpovídá ani realitě dopravního proudu, ani realitě samotného modelu. V obrázku jsou označeny v původní notaci hranice kolizní vzdálenosti AX a hranice intenzivního brzdění ABX . Oblast režimu sledování je ohraničena křivkami $OPDV$, SDX a $CLDV$, oblast přibližování je oddělena od volného režimu křivkou SDV – hranice a jejich výpočet podrobně definoval Wiedemann [2].

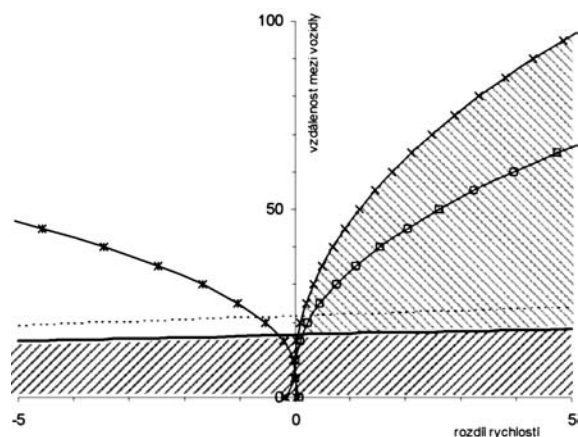


Obr. 1. Ideální fungování Wiedemanna modelu

Významný rozdíl je patrný již při vykreslení definovaných mezí ve skutečných rozměrech. Wiedemannovy meze, vykreslené v obr. 2, ukazují, že předpokládaná oblast sledování je relativně malá. Limitní vzdálenost pro vnímání předcházejícího vozidla, deklarovaná Wiedemannem v hodnotě 150 m, leží až mimo vykreslenou oblast.

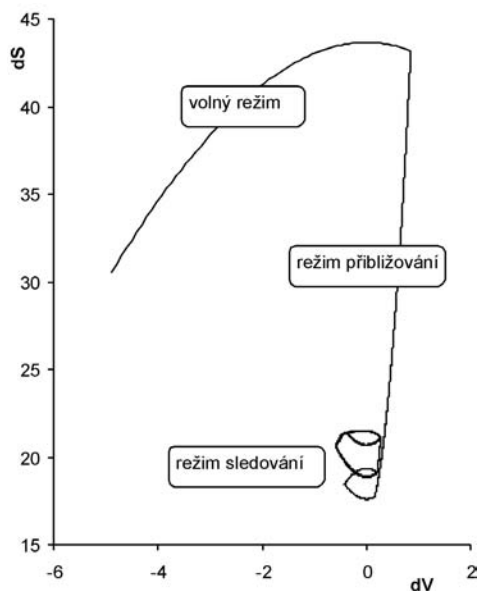
Chování vozidla

Pro ověření modelu v nejjednodušších podmínkách slouží simulace, při které se ověřuje chování za vozidlem jedoucím konstantní rychlostí 15 m s^{-1} . Wiedemannovo simulované vozidlo mělo startovací rychlost 10 m s^{-1} a vzdálenost mezi vozidly byla na počátku 30 m. Cílem pokusu bylo ověřit předpokládané chování modelu v režimu volného



Obr. 2. Wiedemannovy meze

vozidla, přibližování a následování a také, zda dochází při této jednoduché situaci k nouzovému brzdění. Výsledky jsou demonstrovány v grafu $dV-dS$ v (obr. 3). Na první pohled je patrné, že simulované vozidlo mění nespojitě svou rychlost, což je ve shodě s definicí modelu, ale v rozporu s realitou. Detailní zobrazení dosahovaných režimů je v obr. 4a.



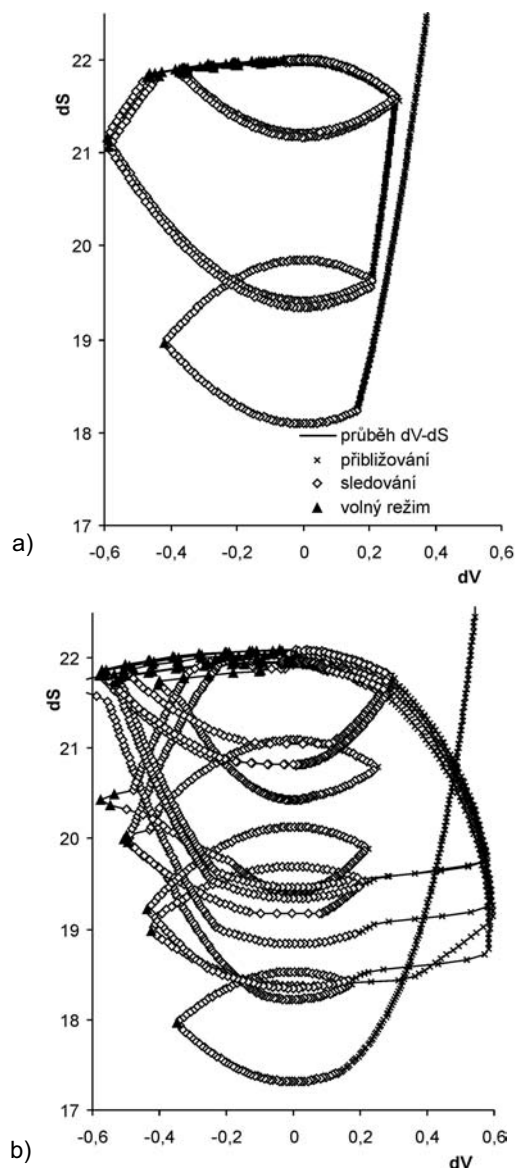
Obr. 3. Výsledky simulace Wiedemannova modelu

Problematičnost navrženého algoritmu je zřejmá, pokud simulujeme další vozidla v pořadí. Již pro druhé následující vozidlo se ukazuje, že předpoklad setrvávání v režimu sledování není naplněn za těchto jednoduchých podmínek. Graf $dV-dS$ pro druhé vozidlo je v obr. 4b. Je patrné, že simulované vozidlo přechází do režimu přibližování a v něm opět vykazuje nespojité chování. Nemí však schopno se trvale udržet v režimu sledování, vystupuje z něj opakovaně do ostatních režimů a nespojitost jeho reakcí, provázená nerealistickými skoky v akceleraci, se zvětšuje.

Porovnání s reálným vozidlem

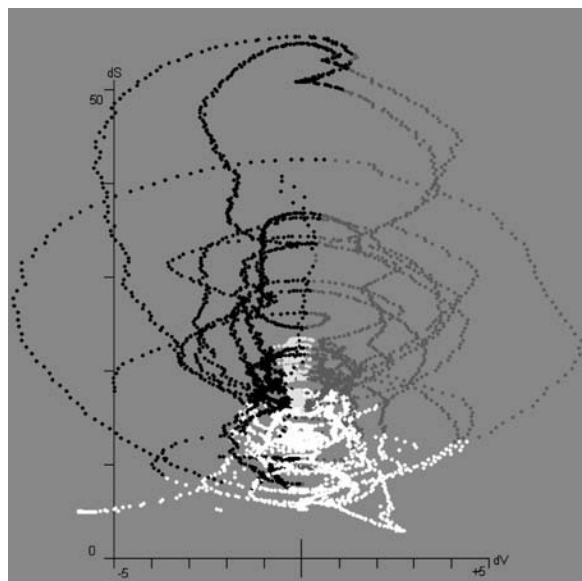
Pro objektivní porovnání modelů s chováním reálných vozidel jsme prováděli měření pohybu vozidel v dopravním proudu GPS RTK metodou s přesností 0,01 m a frekvencí záznamu 0,01 s. Určení polohy a rychlosti vozidel nabízí

možnost zkoumat vztah rozdílu rychlosti a vzdálenosti vozidel [4]. To jsme doplnili o výpočet teoretických režimů pro reálná vozidla podle Wiedemannova modelu. Graf $dV-dS$ po 0,1 s pro změřené vozidlo, ve kterém jsou odlišeny jednotlivé režimy tak, jak je definuje Wiedemannův model v závislosti na rychlosti, je vyneseno v obr. 5 (režim nouzového brzdění bílou barvou, režim sledování vozidla uprostřed světle šedou, neovlivněný pohyb černě, tmavší šedá vpravo značí přibližovací režim). Protože se hranice jízdních režimů mění se změnou rychlosti, jsou v těchto grafech jednotlivé režimy „promíchány“, pro stejnou nebo blízkou kombinaci $dV-dS$ mohou platit různé režimy.

Obr. 4. Graf $dV-dS$, detail

Výsledky měření nenaznačují žádnou změnu chování reálného vozidla v oblasti sledování v porovnání s blízkým okolím. Vozidla dosahují větších rozdílu rychlosti, než se předpokládají pro sledování. Předpoklad, že se druhé vozidlo bude udržovat v oblasti sledování malými oscilacemi rychlosti, nebyl potvrzen. Poměrně velká část jízdy byla vyhodnocena v režimu nouzového brzdění. To je však v rozporu s naměřenými hodnotami decelerací, trajektorií $dV-dS$ v grafu (nouzová, intenzivní decelerace by sejevila velkou

vzdáleností vykreslených bodů a rychle rostoucími hodnotami dS v grafu), a neodpovídá to ani osobní zkušenosti řidičů při měření. Byli instruováni, aby se snažili dodržovat nejmenší, ale bezpečné vzdálenosti. Ani jeden z řidičů nevnímal žádnou ze situací jako nebezpečnou nebo nouzovou a nedostal se do režimu prudkého intenzivního brzdění. Tento rozpor by byl řešitelný nastavením parametrů.



Obr. 5. Graf $dV-dS$ po 0,1 s pro změřené vozidlo

Naměřené hodnoty dále nepotvrzují předpoklad uváděný pro Wiedemannův model, že trajektorie přibližování vozidla je jednoduchá a jednoznačná tak, jak je naznačeno šipkou v úvodním obrázku. Podle toho by dojíždějící vozidlo mělo mít vyšší rychlost po celou dobu přibližovacího manévru, po jeho dokončení by se měla rychlost vyrovnat a udržovat v rozsahu přibližně $-0,8 \text{ m s}^{-1}$ až $+0,4 \text{ m s}^{-1}$. Podle měření však i po přiblížení rozdíl rychlostí překmitává z kladných do záporných hodnot a zpět ve větším rozsahu, přibližně $-1,8 \text{ m s}^{-1}$ až $+1,8 \text{ m s}^{-1}$.

Pokud zkoumáme další důležité charakteristiky vozidla v dopravním proudu, rozšiřují se pochybnosti dále, především na průběh zrychlení vozidla. Tato hlavní veličina určuje pohyb vozidla a vytváří přímou vazbu na skutečné vozidlo, jehož rychlost je dána výhradně nastavením akcelerace (v mezích daných nejen fyzikálními omezeními, ale i požadovaným komfortem) plynovým nebo brzdovým pedálem. Wiedemannův model se projevuje krátkodobými změnami akcelerace při přechodech do jiného režimu na krátkou dobu. Tyto odchylky mají zcela nespojitý průběh.

Popsané pokusy jsme prováděli pro identická simulovaná vozidla. V originálním Wiedemannově modelu mají parametry vozidel náhodné hodnoty s normálním rozdělením. To omezuje pozorované zesilování fluktuací a přibližuje simulované děje skutečnosti. Nicméně požadavek na „rozumné“ chování při identických vozidlech není neoprávněný.

Shrnutí

Pokud se zabýváme mikroskopickými ději v dopravním proudu, vykazuje sledovaný model tyto nedostatky:

- v rozporu s psychickými a fyziologickými charakteristikami je i nespojitost dějů, které model předpokládá, na hranicích mezi jednotlivými režimy;

- režim sledování se nepodařilo prokázat v mezích předpokládaných Wiedemannem;
- při aplikaci modelu v cyklických okrajových podmínkách na simulované kruhové dráze se nedosáhlo bezkolizního toku dopravního proudu;
- v režimu přibližování a v režimu nouzového brzdění se akcelerace počítá mimo jiné i z akcelerace předcházejícího vozidla. Citlivost řidiče pro odhad této veličiny je ve skutečnosti velmi malá, přitom se model odvolává na jeho psychické a fyziologické charakteristiky.

Wiedemannův model není tedy pro zkoumání podrobných dějů v dopravním proudu vhodný. Přitom se však úspěšně etabloval v softwarových balících pro komerční využití a výpočty zatížení v dopravní síti. V dopravně inženýrské praxi se totiž požadují agregované výsledky makroskopického charakteru – především intenzity. Ty jsou při správném nastavení parametrů modelu věrohodné, bez ohledu na nerealistickou simulaci mikroskopických dějů. Pozorované fluktuace v akceleraci, které mají krátkodobý charakter, nemají velký význam pro souhrnné kapacitní výsledky. Pro děje v dopravním proudu mají naopak velký význam, protože vnášejí do dopravního proudu nerealistické vzruchy, které se mohou dále zesilovat.

Literatura

- [1] Apeltauer, T. – Holcner, P. – Kyselý, M. – Macur, J.: Modely dopravního proudu. Silniční obzor, 2005, č. 10, s.255-260. /ISSN 0322-7154/
- [2] Wiedemann, R. – Reiter, U.: Microscopic Traffic Simulation: The Simulation System MISSION, Background and Actual State. Project ICARUS (V1052) Final Report, Brussels, CEC. 2: Appendix A., 1992.
- [3] Olstam, J. J. – Tapani, A.: Comparison of Car-Following Models. LiTHITN-R-2004-5, Department of Science and Technology (ITN), 2004.
- [4] Wagner, P.: Empirical Description of Car-Following, Traffic and Granular Flow 03. Berlin/Heidelberg, Springer-Verlag 2005. /ISBN 3-540-25814-0 /

Holcner, P.: Verification of Wiedemann's Model of Traffic Flow

Wiedemann's microscopic model is a major representative of the psycho-physiological model type. Based on vehicle distance and speed difference it assigns the vehicle the driving regime and appropriate acceleration. This paper analyzes processes in simulated traffic flow and then applies Wiedemann's criteria to real traffic flow. The vehicles monitoring was made by the accurate GPS RTK method.

Holcner, P.: Überprüfung des Wiedemannschen Verkehrsstrommodells

Ein bedeutendes Muster psychophysiologischer Modelle des Verkehrsstroms ist das Wiedemann-Modell. Es basiert auf der Beurteilung des Abstands zwischen den Fahrzeugen und des Unterschieds der Geschwindigkeiten, nach dem es einem Fahrzeug eins der Fahrregimes zuerkennt. Der Beitrag befasst sich mit einer ausführlichen Analyse der Geschehnisse in einem derart simulierten Verkehrsstrom und mit der Anwendung der Wiedemannschen Kriterien auf den realen Verkehrsstrom. Die Verfolgung der realen Fahrzeuge wurde mit der genauen GPS-RTK-Methode durchgeführt.

Objekty železničného staviteľstva v rámci vyhodnotenia absolútnych posunov a nová prax

doc. Ing. Stanislav HODAS, Ph.D.

Ing. Andrej VILLIM

ŽU – Stavebná fakulta

Žilina

V dnešnej dobe je uprednostňované modelové vyhodnotenie, pri ktorom kontrolné geodetické merania porovnávame k priestorovej polohe registrovanej v danom modeli železničnej infraštruktúry. Z dôvodu správnosti a objektívnosti meraní a výsledkov je potrebné pracovať v jednotnom homogénnom systéme pre projektovú dokumentáciu, budovanie priestorovej siete vzťahnutej na štátnu ŠPS, súradnicovú a výškovú sústavu v modeli a vrátane pre meračské práce a práce železničného staviteľstva, pričom je vyžadované medzinárodnou úniou železníc UIC vyhodnotenie v priestorovom európskom terestrickom referenčnom systéme ETRS/89 a až následne prepočet na príslušný národný systém jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej S-JTSK/03, 05.

Úvod

Všetky odvetvia, špeciálne dopravná infraštruktúra, vy-užívajú zisťovanie polohy a výšky na stavebné účely a následne kontrolu priestorovej polohy pri jej údržbe počas prevádzky líniovej infraštruktúry. V príspevku je poukázané na vyžadovanú jednu z najvyšších presností pri určovaní priestorovej polohy bodov v oblasti zisťovania deformácií – t.j. posunov objektov v železničnej infraštruktúre. Bezpečnosť a plynulosť uskutočňovanej dopravy po týchto stavebných konštrukciách musí spĺňať veľmi vysoké nároky na presnosť vykonania prác kladenú technickými normami a predpismi STN [9], ČSN a UIC.

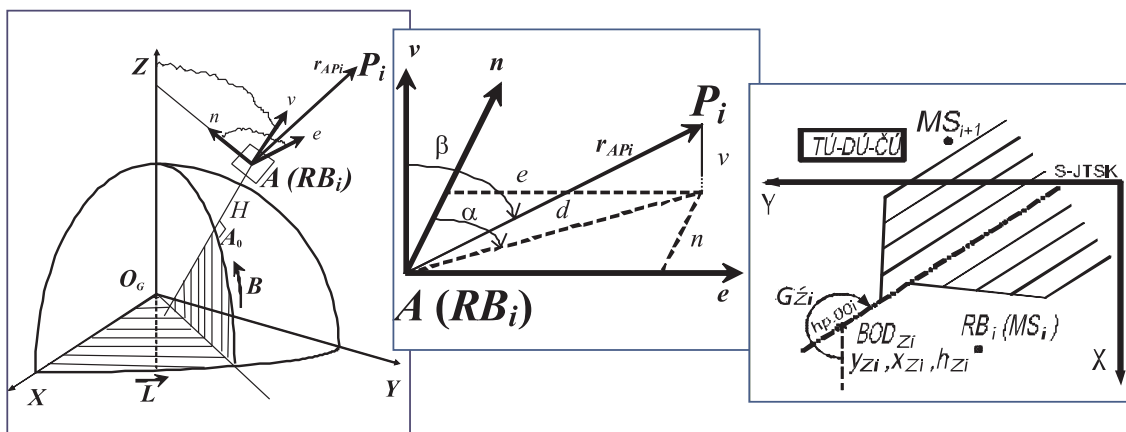
Vedecká výskumná práca sa zaoberá danou témou komplexne od napojenia meraní železničnej infraštruktúry na vybudovanú priestorovú sieť, cez meračské siete a podrobné merania v koľajisku, až po spracovanie koľajových zhlaví, tvorby ich modelov, modelové vyhodnotenie a analýzu sme-

rových a výškových pomerov železničných objektov, vrátane dát projektovej dokumentácie. Špecifickou úlohou sú riešenia spojení a rozvetvení koľajovej infraštruktúry, ktoré zoskupujú množstvo výhybkových, križovatkových, oblúkových, prechodnicových a líniových objektov, t.j. koľajové zhlavia štátnych a neštátnych železníc.

Zistená aktuálna poloha objektov je porovnávaná s modelovou priestorovou polohou, ktorá je registrovaná v informačnom systéme konkrétneho správcu koľajiska a ktorá sa považuje za absolútnu vzhľadom na globálny systém. Výsledným produktom výskumu je systémové riešenie s názvom ZHIS – koľajové zhlavie v informačnom systéme [2], [3]. Úvahy je možné naplno využiť, len ak sa pracuje, vyhodnocuje a analyzuje v rámci absolútného vyhodnotenia k záväznej osi trate, zhlaví, objektu a pod. Všetky tieto skutočnosti ako železničný projekt, geodetické merania, analýza posunov, model, dodatočná dokumentácia, práca traťových strojov musia byť naviazané na jednotný priestorový súradnicový systém, ktorý musí byť homogénny pre všetky činnosti, aby sa porovnávali správne hodnoverné prvky, t.j. merané body a body zodpovedajúce v konkrétnom modeli. V súčasnosti sú vyžadované železničnou organizáciou UIC pre práce s osou líniových objektov v oblasti železničného staviteľstva priestorové súradnice systému ETRS/89, a až následne je vykonávaný prepočet na štátne priestorové siete, napríklad pre Slovenskú republiku a Českú republiku S-JTSK/03, 05. Geodetické merania koľajiska je potrebné pripojiť metódami globálnych navigačných satelitných systémov – GNSS ako sú GPS, GLONASS, GALILEO a pod., na body homogénnej siete cez takzvané referenčné body RB_i podľa obr. 1.

Meračské siete koľajových zhlaví a ETRS/89

Začlenením referenčných bodov koľajového zhlaví do siete bodov ŠPS sa referenčné body zhlaví RB_i stanú reali-



Obr. 1. Lokálny topocentrický systém s osami n, e, v a polárne súradnice a, b, d

záciami Slovenského terestrického referenčného rámca (SKTRF) v príslušnom dátume. Kvalita týchto realizácií je charakterizovaná plnou globálnou kovariančnou maticou. Začlenením RB_i medzi body štátnej priestorovej siete (ŠPS) dotvoríme homogénnu štruktúru pre následné kontrolné merania v koľajisku.

Koľajové rozvetvenia riešené v grafických systémoch (CAD), ako i v ZHIS [2], sú vzťahované k referenčnému výkresu, ktorý tvorí rovinu. Plochu elipsoidu však nie je možné zobraziť s dvojitou krivosťou do roviny bez skreslenia. Jednou z možností riešenia je transformovať geocentrické súradnice systému ETRS/89 na lokálne topocentrické vzhľadom na RB_i (ako vzťažný bod zhlaví).

Horizontálny pravouhlý topocentrický súradnicový systém so začiatkom v bode A je uvedený na obr. 1, os v je daná smerom normály k elipsoidu v bode A , pričom kladný smer osi je orientovaný von z elipsoidu. Osi n a e ležia v horizontálnej rovine kolmej k osi v a prechádzajúcej topocentrom A (napríklad totožný s RB_i). Transformačné vzťahy sú uvedené v rovnici (1), pre inverznú transformáciu platí (2) vzhľadom na ortogonálnosť rotačných matic a pre transformácie kovariančných matic použijeme (3).

$$\begin{bmatrix} n \\ e \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin B \cos L & -\sin B \sin L & \cos B \\ -\sin L & \cos L & 0 \\ \cos B \cos L & \cos B \sin L & \sin B \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} = \mathbf{R}(B, L) \cdot \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} = \mathbf{R}^T(B, L) \cdot \begin{bmatrix} n \\ e \\ v \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$\Sigma_{n,e,v} = \mathbf{R} \cdot \Sigma_{XYZ} \cdot \mathbf{R}^T, \quad \Sigma_{XYZ} = \mathbf{R}^T \cdot \Sigma_{n,e,v} \cdot \mathbf{R}. \quad (3)$$

Polohu kontrovaného bodu P_i v horizontálnom systéme môžeme vyjadriť aj pomocou polárnych súradníc – azimutu α , zenitového uhla β a dĺžky d . Podľa obr. 1 platí (4) a in-

verzné transformačné vzťahy podľa [5], [6], [7], [8] sú uvedené v (5).

$$n = d_i \cdot \sin \beta \cos \alpha, \quad e = d_i \cdot \sin \beta \sin \alpha, \quad v = d_i \cdot \cos \beta, \quad (4)$$

$$d = (\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2)^{1/2},$$

$$\beta = \arccos \frac{\cos L_A \cos B_A \cdot \Delta X + \sin L_A \cos B_A \cdot \Delta Y + \sin B_A \cdot \Delta Z}{s}, \quad (5)$$

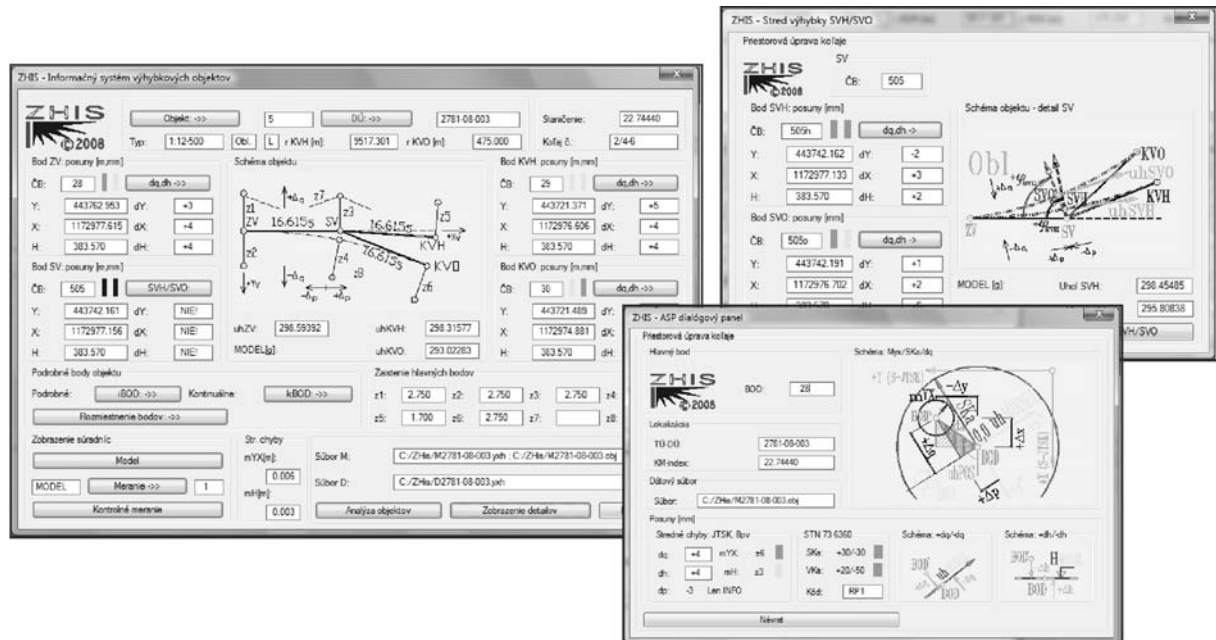
$$\alpha = \arctg \frac{-\sin L_A \cdot \Delta X + \cos L_A \cdot \Delta Y}{-\sin B_A \cos L_A \cdot \Delta X - \sin B_A \sin L_A \cdot \Delta Y + \cos B_A \cdot \Delta Z}.$$

Polárne súradnice α , β , d sú zhodné s hodnotami, ktoré získavame z terestrických geodetických meraní. Umožňujú kombinované spracovanie satelitných systémov GNSS [6] a terestrických metód [2], [6]. Ďalšou výhodou je možnosť vzájomnej transformácie medzi topocentrickými a geocentrickými súradnicami v systéme ETRS/89 so zachovaním homogenity. Nevýhodou je potreba následného prepočtu do národných systémov, pre Slovenskú i Českú republiku S-JTSK.

Priestorový model a absolútne vyhodnotenie

Pravidelnou kontrolou polohy a výšky zabezpečíme permanentnú údržbu priestorovej osi objektov, hlavne v koľajových rozvetveniach a spojeniach – zhlaviach, kde sa nachádza značné množstvo na seba navzájom komplikovaných konštrukcií. Absolútne spracovanie je dnes samozrejmosťou (firmy sa ešte stále snažia v praxi uvedenému vyhnuť), musí v sebe zachovávať dve základné štruktúry, medzi ktorými vznikajú, vyhodnocujú a analyzujú sa priestorové posuny.

Jedným základným prvkom je registrovaná poloha jednotlivých objektov v danej časti koľajiska ako modelu, napríklad projektovaný, optimalizovaný alebo iný záväzný stav ich polohy. V našom prípade ide jednoznačne o modelové spracovanie. Vo výskumných projektoch publikovaných v [1], [2], [3] sa sústredila pozornosť na skupiny koľajových zhlaví v rámci sparovania ich jednotlivých modelov v unifi-



Obr. 2. Registrovaný výhybkový objekt vyhl. č. 5 v ZHIS 2781-08-003 a analyzované posuny vzhľadom na model

kovanom procese štátnych a súkromných železníc v súčinnosti so železničným staviteľstvom s výsledkami kontrolných meraní v koľajisku, ktoré sú druhým vstupujúcim prvkom v procese vyhodnotenia. Výsledná databáza meraní je automatizovane porovnávaná s modelom konkrétneho zhlavlia, ktorý je registrovaný v informačnom systéme správcu daného úseku koľajiska.

Základom je spoločne definovaná a interpretovaná priestorová sústava, aby boli porovnávané a analyzované priestorové posuny správne bez vnesenia rozdielu medzi systémami. Model a geodetické merania musia byť homogénne závislé, ale pritom musíme zohľadniť aj presnosť určenia bodov meračských sietí MS_i a tiež vlastných meraní podrobných bodov P_i (obr. 3). Nesmie nastať nežiaduci vplyv rozdielu súradnicového systému modelu a systému praktického merania v koľajisku. Na záver ešte presnosť priestorovej polohy ovplyvňujú traťové stroje ASP, ktoré musia zistené posuny odstrániť priamo v koľajisku.

Model, okrem vyhodnocovania posunov, umožňuje prehľad a získavanie informácií o zabudovaných objektoch v danom koľajovom zhlaví jeho výberom v podklade z CAD [10] modelu pomocou softvérového systému pre železnice ZHIS [2]. Výhybkový objekt č. 5 z časti koľajiska 2781-08-003 po zobrazení registrovaných informácií, vrátane priestorových posunov, t.j. smerových a výškových posunov, je uvedený na obr. 2. ZHIS automaticky posúdi veľkosť zistených priestorových posunov vzhľadom na stredné chyby merania polohy a výšky m_{xy} , m_h a tiež smerové posuny vzhľadom na kritéria absolútnej polohovej odchýlky od projektovaných súradníc osi koľaje SKa a absolútnej výškovovej odchýlky nivelety VKa normy STN 73 6360 [9], pri farebnom odlíšení splnenia stupňa kritérií.

Priestorové posuny Δy , Δx , Δh (S-JTSK) systém ZHIS prepočítava automatizovane do smeru kolmého na dotyčnici (normála) na každom analyzovanom bode P_i (pričný, pozdĺžny a výškový posun – Δq , Δp , Δh) na obr. 3.

Presnosť prác vzťahnutých k osi koľajiska

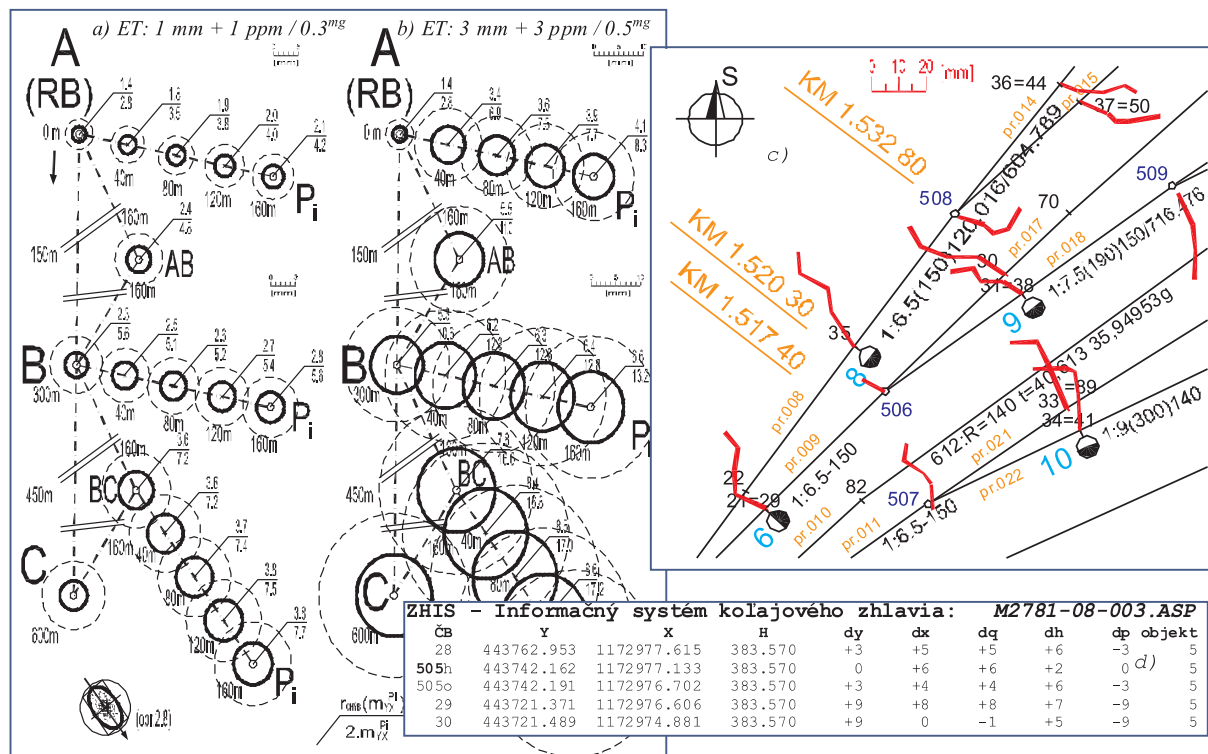
Priestorový model je vytváraný a registrovaný pracovníkmi z oblasti železničného staviteľstva buď z projektu, alebo ak neexistuje, bude vytvorený po novom základnom geodetickom meraní pri vypracovaní jeho digitálnej dokumentácie. Výsledky meraní dodáva geodet po ukončení kontrolného merania, a následne zodpovedný pracovník železničnej štruktúry rozhodne o realizácii zistených posunov a o rozsahu ich vykonania v koľajisku.

Posuny, ako súradnicové rozdiely Δy , Δx , Δh , sa prakticky v železničnej praxi nevyužívajú na opravu priestorovej polohy pomocou automatických strojných podbíjačiek (ASP), ale môžu slúžiť na monitoring správania sa objektov koľajiska alebo zosuvných oblastí v časových intervaloch – opakované kontrolné merania. Posuny môžu byť doplnené do hladiny danej kontrolnej etapy v podklade z CAD automaticky aj v grafickej forme na obr. 3c a v súbore *.ASP v číselnej forme pre pracovné stroje ASP na obr. 3d.

Presnosťou prác sa zaoberá [2], vynikajúce výsledky je možné dosiahnuť pri podrobnom meraní koľajiska elektronickými teodolitmi (ET, UMS) technickej rady: 1 mm + 1 ppm / 0,3^{mg}. Výsledné presnosti určenia polohy $m_{xy}^{P_i}$ bodov P_i prezentuje obr. 3 od referenčného bodu RB , každého koľajového zhlavlia podľa dĺžky železničného polygónu. Referenčné body $A (= RB_i)$ a body meračských sietí v koľajisku MS_i sú určované metódami GNSS a závisia aj od vzdialenosti pri ich observácii (meraní).

Záver

Železničné staviteľstvo, hlavne časti zoskupení sústavami výhybkových a križovatkových objektov ako koľajové zhlavlia, vyžaduje veľmi vysokú presnosť na vykonanie geodetických prác, a zároveň aj prác podbíjačiek ASP pracovníkmi železničného staviteľstva. So zvyšovaním požadovanej maximálnej rýchlosti vlakových súprav, t.j. vyššie rýchlostné



Obr. 3. Presnosť určenia P_i od bodov $A (RB_i)$ a smerové posuny Δq , Δp , Δh

pásma, sú kladené aj zvýšené nároky na presnosť vykonania všetkých prác.

Vyhodnotenie a analýza posunov relatívne (medzi bodmi, častí úsekov a pod.) predstavuje síce presné vyhodnotenie len v rámci daného úseku – napríklad trate alebo koľajového zhlavia, ale z pohľadu napojenia týchto častí alebo stavieb medzi sebou zabezpečí len absolútne vyhodnotenie k pevnej homogénnej priestorovej súradnicovej sústave. Absolútne vyhodnotenie posunov vzhľadom na polohu pre Európsky kontinent – ETRS/89, prípadne globálne na Zem – WGS/84, zahŕňa v sebe tiež prvky relatívneho vyhodnotenia medzi jednotlivými meranými bodmi na líniových objektoch alebo na rozvetvených výhybkových zhlaviach.

Článok je publikovaný v rámci výskumného grantového projektu VEGA 1/0474/09 (2009-2011).

Literatúra

- [1] Ižvolt, L.: VEGA 1/0474/09 Zohľadnenie nových podmienok navrhovania a posudzovania konštrukcie železničnej trate z aspektu nedopravného zaťaženia. Výskumný projekt 1/0474/09 (2009-2011), VEGA Ministerstvo školstva SR, 2009.
- [2] Hodas, S.: Modelové vyhodnotenie geodetických meraní napojení zhlaví v koľajisku. Stavební obzor, 17, 2008, č. 3, s. 74-78. /ISSN 1210-4027/
- [3] Hodas, S.: Modelová kontrola priestorovej polohy objektov zhlaví po geodetických meraniach. EURNEX-Zel 2008 Cesty k zvyšovaniu konkurencieschopnosti európskeho železničného systému, 16. medzinárodné sympóziu, CETRA – Centre for Transportation Research Žilina, EURNEX – European Rail Research Network of Excellence FAV Berlin, D, SVSD Bratislava, Žilinská univerzita, 2008, s. 299-308.
- [4] Hodas, S.: Identifikácia polohy bodov na prechodnici a určenie posunov. [Sborník], mezinárodní vědecká konference „Geodézie a kartografie“, VUT Brno/Český svaz geodetů a kartografů, Brno, 2009, s. 149-154.
- [5] Hodas, S. – Villim, A.: Posuny objektov železničného staviteľstva v rámci absolútneho vyhodnotenia. [Sborník], seminář „Theoretical Foundations of Civil Engineering“, Moscow State University of Civil Engineering and Arkhangelsk State University, 2009, pp. 553-558.
- [6] Hefty, J. – Husár, L.: Družicová geodézia, Globálny polohový systém. STU Bratislava, 2003, s. 115.
- [7] Leitmanová, K. – Klobošiak, M.: SKTRF2001 referenčný rámec pre štátnu priestorovú sieť. [Zborník], „Geodetické informačné systémy“, STU Bratislava, 2002, s. 23-38.
- [8] Mojžeš, M. – Janák, J.: New Gravimetric Quasigeoid of Slovakia. Bolletino di geofisica teoretica ed applicata, 40, No. 3-4, 1999, pp. 211-217.
- [9] STN 73 6360 Geometrická poloha a usporiadanie koľaje železničných dráh normálneho rozchodu, 1999, Z1/2003.
- [10] AutoCAD, AutoLISP, VisualLISP, DCL, In: Softvér, AUTODESK, www.autodesk.cz, 1994-2009.

Hodas, S. – Villim, A.: Railway Objects within Absolute Shifts Position Processing and New Practice

Nowadays, engineers prefer model interpretation, where control geodetic measurements can be compared with respect to the spatial position registered in the particular infrastructure model. For the sake of correctness and objectivity of measurements and final results, specialists work in the unified homogenous system for the planning documentation, for the spatial coordinate net related to the State Spatial Datum (ŠPS), for the coordinate and height datum of the model including (detailed measurements). For railway engineering, the UIC organization requires processing within the ETRS/89 datum prior to the state-owned datum as the S-JTSK/03, /05, etc. for the Slovak Republic and the Czech Republic.

Hodas, S. – Villim, A.: Objekte des Eisenbahnbaus im Rahmen der Auswertung absoluter Verschiebungen und die neue Praxis

In heutiger Zeit wird die Modellauswertung bevorzugt, bei der man die geodätischen Kontrollmessungen mit der im gegebenen Modell der Eisenbahn-Infrastruktur registrierten räumlichen Lage vergleicht. Aus dem Grunde der Richtigkeit und Objektivität der Messungen und Ergebnisse ist es für die Planungsunterlagen, den Aufbau eines auf das staatliche Raumnetz bezogenen Netzes, für das Koordinaten- und Höhensystem im Modell und auch für die Messarbeiten und Eisenbahnbauarbeiten notwendig, in einem einheitlichen homogenen System zu arbeiten, wobei durch den UIC die Auswertung im räumlichen System ETRS/89 und erst nachfolgend die Umrechnung auf das nationale System S-JTSK/03, 05, usw. gefordert wird.

• projekty

**JURYS
INN**

První hotel mimo Irsko a Velkou Británii otevřel v Praze přední irský řetězec Jurys Inns. Nový čtyřhvězdičkový hotel o rozloze 15 000 m² je situován na atraktivním a frekventovaném místě v Sokolovské ulici, přímo u stanice metra Florenc.

Hostům nabídne 214 komfortně vybavených pokojů, dvě konferenční místnosti, restauraci, bar a kavárnu. Kromě klasicky řešených pokojů jsou k dispozici i bezbariérové. K dispozici bude také podzemní parkoviště se 40 parkovacími místy. Všechny pokoje budou vybaveny individuálně nastavitelnou klimatizací, připojením na internet, trezorem, minilednicí, kávovarem a satelitním LCD televizorem. Hostům bude k dispozici také posilovna a čistírna. Ve všech veřejných prostorech bude možné bezplatné WIFI připojení k internetu.

Architektem budovy je Andreas Den, původem z Dánska. Celkové náklady činily 25 mil. Eur.

Tisková informace



Transport a akumulace solí v omítkách určených pro sanace stavebních konstrukcí

Ing. Milena PAVLÍKOVÁ, Ph.D.

Ing. Zbyšek PAVLÍK, Ph.D.

Ing. Martin KEPPERT, Ph.D.

Ing. Radka PERNICOVÁ

Ing. Lukáš FIALA

Ing. Jan MIHULKA

Bc. Hannah BENEŠOVÁ

prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.

ČVUT – Fakulta stavební, Praha

Článek se zabývá ověřováním vlastností a funkčnosti omítek určených pro sanace objektů poškozených vlhkostí a výkvětovými solemi.

Úvod

Většina stavebních materiálů obsahuje soli, které primárně vznikají jako reakční produkty vytvrzovacího procesu, zatímco jejich sekundární výskyt je spojován s transportem solných roztoků do porézní struktury, tedy se zatížením konstrukce vlhkostí. Solný roztok proniká do porézního materiálu kapilárním vztlínáním. Po následné změně okolního prostředí dochází k odpaření vlhkosti a krystalizaci solí jak uvnitř pórů, tak na povrchu materiálu, a ke vzniku výkvětů.

Solí obsažené v konstrukci nemusí nutně vyvolat poškození stavebního materiálu, pokud při krystalizaci nevzniká výrazně objem. Příkladem může být uhličitán vápenatý, který tvoří vápenné výkvěty na povrchu konstrukcí, ale nepůsobí destruktivně. Z tohoto pohledu jsou nejnebezpečnější dusičnany, sírany a chloridy. Dusičnany se do půdy dostávají jako rozkladné produkty organických látek nebo z chemických hnojiv. Sírany pronikají do konstrukce spadem kyselých dešťů a chemickým hnojením, nebo mohou být obsaženy ve stavební hmotě. Chloridy jsou hlavní složkou posypové soli pro zimní ošetření komunikací, dále se vyskytují ve spodních minerálních vodách a vodách provozních, např. z úpraven vody.

Chování solí v pórech závisí na obsahu vlhkosti v materiálu a na jejich rozpustnosti, na teplotě a vlhkosti okolního prostředí atd. Soli, nad jejichž roztoky se ustavuje rovnovážná relativní vlhkost vyšší než 75 %, snadno a často krystalizují (NaCl, KCl), soli s rovnovážnou relativní vlhkostí 50–75 % krystalizují zřídka (NaNO₂) a soli s rovnovážnou relativní vlhkostí nižší než 50 % zůstávají v roztoku (K₂CO₃). Tyto soli jsou však hygroskopické a způsobují nárůst vlhkosti materiálu.

Opakované navlhání a vysoušení konstrukce přispívá ke krystalizaci a rozpouštění solí, dochází ke vzniku nasycených až přesycených roztoků, překročení prahu rozpustnosti a k růstu krystalů. Schopnost pohlcovat a vázat za určitých klimatických podmínek vlhkost je u jednotlivých solí limitována relativní vzdušnou vlhkostí a množstvím vody, které je schopna sůl přijmout. Obsah solí v materiálu tedy významně ovlivňuje jeho sorpční vlastnosti, musíme počítat se změnou průběhu sorpční izotermy a předpokládáme nárůst sorpce vlhkosti s nárůstem obsahu solí. Hygroskopičnost solí

také přispívá k celkovému zavlhčení materiálů. Často ani radikální opatření nezabrání vztlínající vlhkosti a zdívno nevyšchne.

Pro volbu způsobu sanace konstrukce je rozhodující znalost obsahu solí ve zdívu. Je nutné zdůraznit, že klasifikace a nebezpečnost solí není v současných technických normách, týkajících se sanace stavebních konstrukcí, striktně definována. Výjimku tvoří pouze návrh ČSN P 73 0610 [1], dle něhož je obsah specifických anorganických solí tříděn do skupin podle nebezpečnosti pro stavební konstrukci (tab. 1).

Další způsob, jak obsah solí klasifikovat, je zařadit změřenou koncentraci solí dle programu EUREKA EU-1270 [2]. Tato klasifikace používá pět základních stupňů, a zároveň definuje nebezpečnost a míru poškození solemi. Z tohoto hlediska je v porovnání s předchozím způsobem pro stavební praxi vhodnější.

Tab. 1. Klasifikace salinity dle ČSN P 73 0610 [1]

Stupeň zasolení	Množství soli vzorku materiálu					
	chloridy		dusičnany		sírany	
	[mg g ⁻¹]	[hm. %]	[mg g ⁻¹]	[hm. %]	[mg g ⁻¹]	[hm. %]
nízký	<0,75	<0,075	<1,0	<0,1	<5,0	<0,5
zvýšený	0,75–2,0	0,075–0,2	1,0–2,5	0,1–0,25	5,0–20	0,5–0,2
vysoký	2,0–5,0	0,20–0,50	2,5–5,0	0,25–0,50	20–50	2,0–5,0
extrémně vysoký	>5,0	>0,50	>5,0	>0,50	>50	>5,0

Tab. 2. Klasifikace salinity dle EUREKA EU-1270 [2]

Sůl	Stupeň 0	Stupeň 1	Stupeň 2	Stupeň 3	Stupeň 4
	[% hm.]				
chloridy	0–0,01	0,01–0,03	0,03–0,09	0,09–0,28	0,01–0,28
dusičnany	0–0,01	0,01–0,05	0,05–0,15	0,15–0,50	0,01–0,50
sírany	0–0,02	0,02–0,08	0,08–0,24	0,24–0,77	0,02–0,77

Klasifikační stupně z tab. 2 mají dle publikace [2] toto slovní doplnění:

- *stupeň 0* odpovídá nízké koncentraci solí, obsaženo je pouze stopové množství solí a poškození zdíva je vyloučeno;
- *stupeň 1* představuje velmi nízké zatížení stavební konstrukce solemi, pouze v nepříznivých případech (např. u silné stěny se zdrojem konstantní kapilární vlhkosti) může dojít k poškození;

- *stupeň 2* udává střední zatížení solemi se sníženou trvanlivostí omítek a nátěrů;
- *stupeň 3* je z hlediska trvanlivosti omítek a nátěrů považován za kritický, i přes aktivní vertikální izolační vrstvy zůstane zdivo díky hygrokopickým vlastnostem solí vlhké;
- *stupeň 4* znamená extrémně vysoké zasolení, při kterém se poruchy objevují ve velice krátkém časovém horizontu.

Základní metodou povrchové úpravy poškozeného zdiva bývá většinou použití sanačních omítek, u rezného zdiva pak sanačních spárovacích malt [3]. Z ekonomických důvodů je aplikace sanačních omítek s dlouhou životností dostatečným vyřešením problému vlhkosti a zasolení zdiva, neboť na základě výsledků mnoha laboratorních zkoušek bylo prokázáno, že sanační omítky použité na zasolené a vlhké zdivo před více než patnácti lety stále plní svou funkci a zdaleka není vyčerpána kapacita jejich pórů pro ukládání solí [4].

Jako sanační omítka WTA [5] je označována suchá maltová směs s vysokou pórovitostí a propustností pro vodní páru a sníženou kapilární vodivostí vlhkosti. Dalším typem je podkladní (vyrovnávací, porézní podkladní) omítka používaná pro vyrovnání nerovností podkladního zdiva, na kterou jsou kladeny nižší požadavky [5]. Pro snížení obsahu solí ve zdivu byly dále vyvinuty velmi nasákové porézní omítky, tzv. kompresní (obětované), které odvádějí soli ze zdiva a po určité době, zpravidla od několika měsíců až do dvou let, bývají odstraněny.

Rozhodujícím kritériem pro návrh a úspěšné použití sanačních omítek je jejich životnost. Kvalita různých typů je ovlivněna zejména druhem použitého pojiva a celkovou recepturou [6]. Svou funkci plní za předpokladu, že otevřená pórovitost, dle typu omítky, dosahuje 35–45 %. Vzduchové póry mohou vznikat pomocí tenzidů nebo lehčenými plnivými, jako je perlit, pemza atd., či kombinací obojího. Kromě obsahu pórů je velmi důležitým parametrem jejich průměr, neboť póry s průměrem větším než 60 μm nejsou již kapilárně aktivní. Hydrofobizační přísady ovlivňují vázání vody na stěny pórů omítky, což vede ke snížení nasákovosti, a tím ke zvýšení odolnosti proti pronikání vody a roztoků obsahujících soli. Rozhodující vlastností omítek je jejich dlouhodobá odolnost proti solím obsaženým ve vztlínající vodě.

V tomto článku se zabýváme stanovením vazebné izotermie, součinitele vlhkostní vodivosti a difúzního součinitele chloridů průmyslově vyráběných sanačních omítek. Pro porovnání uvádíme parametry pro čisté vápennou omítku.

Materiály

Předmětem ověřování byly průmyslově vyráběné sanační omítky, označené S1 až S6. Pro porovnání byla připravena také vápenná omítka s označením VO (tab. 3). Vysoký vodní součinitel vzorku VO byl zvolen pro zajištění dostatečně vysoké pórovitosti referenční vápenné omítky. K přípravě porovnávací vápenné omítky byl použit vápenný hydrát CL 90 Carmeuse (Vápenka Mokrá), jako plnivo byl namíchán v poměru 1:1:1 třídní křemičitý písek granulometrie 0-2 mm (Heidelberg Cement Group, Brněnské písky, filiálka Bratčice).

Po navážení jednotlivých složek byly směsi míchány po dobu 3-4 minut v míchačce odpovídající normovým požadavkům na provedení míchačky a počtu otáček během zkoušky. Vzorky záměsí byly odlity do forem, jejichž velikost odpovídala požadavkům experimentů. Po vyjmutí byly udržovány v prostředí s vysokou relativní vlhkostí a periodicky vlhčeny jemným rozprašovačem po 28 dní tak, aby proběhla reakce všech složek.

Metody

Měření probíhala v klimatizované laboratoři při 25 ± 2 °C a 30 ± 5 % relativní vlhkosti. Uváděné výsledky jsou průměrem ze tří a více hodnot.

Tab. 3. Složení sanačních omítek

Označení	Složení	Vodní součinitel
V0	vápenný hydrát, křemičitý písek frakce 0/2 mm	0,250
S1	vápenný hydrát, portlandský cement, vápencová drť, přísady	0,175
S2	bílý cement, vápencová drť, perlit, přísady	0,175
S3	vápenný hydrát, cement, perlit, omítkový písek, přísady	0,330
S4	vápenný hydrát, cement, perlit, omítkový písek, přísady	0,375
S5	vápenný hydrát, cement, minerální plnivo, přísady	0,230
S6	vápenný hydrát, cement, minerální plnivo, přísady	0,220

Materiálové parametry

Objemová hmotnost pro sanační omítky byla určena vážením vysušených vzorků a měřením lineárních rozměrů. Hustota byla stanovena héliovou pyknometrií přístrojem Pycnomatic ATC. Pórovitost vzorků byla vypočtena z hodnot objemové hmotnosti a hustoty získaných pomocí vzorce

$$p = 100 (1 - \rho_v / \rho_{mat}) [\%], \quad (1)$$

kde ρ_v je objemová hmotnost vzorku [kg m^{-3}] a ρ je hustota materiálu [kg m^{-3}]. Pórovitost byla měřena s přesností 3 %.

Distribuce pórů

Distribuce velikosti pórů byla stanovena rtuřovou porozimetrií (MIP) přístroji Pascal 140 a Pascal 440 (Thermo). Metoda je založena na vtláčování rtuti do pórů materiálu; čím vyšší je aplikovaný tlak, tím menší póry jsou rtutí intrudovány. Při vyhodnocení byl uvažován kontaktní úhel rtuti a vzorku 130° , povrchové napětí 480 mN m^{-1} a hustota $13,534 \text{ g cm}^{-3}$. Vzorky byly nejprve vysušeny, a poté rozdrceny. Měření se provádělo na úlomcích velikosti cca 1 mm a hmotnosti 1 g. Porozimetrie v tomto experimentálním uspořádání detekuje póry průměru 3 nm až 100 μm . Distribuce velikosti pórů, získaná pomocí MIP, se může používat pouze pro relativní porovnání pórových systémů studovaných materiálů, nikoli pro numericky absolutní popis pórového systému.

Součinitel vlhkostní vodivosti a součinitel difúze pro soli

Matematické modely, nejčastěji užívané pro popis transportu solí porézním materiálem, jsou založeny na Fickově difúzní rovnici. Jako vstupní data slouží transportní a akumulační parametry vlhkosti a solí. Jedním ze způsobů, jak tyto parametry, popisující míru a rychlost transportu solního roztoku, stanovit, je inverzní matematická analýza koncentračních profilů vlhkosti a iontů solí. Známe-li tedy v čase prostorové rozložení vlhkosti a obsahu solí, můžeme pro stanovení součinitele vlhkostní vodivosti v závislosti na vlhkosti a součinitele difúze solí v závislosti na jejich koncentraci využít obdobné metody inverzní analýzy jako pro stanovení součinitele teplotní vodivosti v závislosti na teplotě [7].

Pro inverzní analýzu experimentálních dat je nezbytné zvolit optimální matematicko-fyzikální model pro popis současného transportu vlhkosti a iontů solí. Tento model by

měl vystihovat fyzikální podstatu popisovaného jevu. Neměl by však obsahovat mnoho vstupních materiálových parametrů, které je obtížné určit, a již vůbec by neměl obsahovat empirické parametry, které je nezbytné získat zpětnou verifikací a kalibrací modelu. Proto jsme pro popis transportu solného roztoku použili difúzně advektivní model Beara a Bachmata [8], který kromě difúze iontů ve vodě uvažuje také vliv transportu vody na transport solí a vliv vázání iontů solí na stěny porézního prostoru. Matematické vyjádření transportu vodného roztoku solí vede k systému dvou parabolických rovnic, přičemž rovnice (2) popisuje bilanci solí

$$\frac{\partial(wC)}{\partial t} = \text{div}(wD \cdot \text{grad}(C_f)) - \text{div}(C_f \cdot \vec{v}) - \frac{\partial C_b}{\partial t} \quad (2)$$

a rovnice (3) definuje bilanci vlhkosti ve tvaru

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \text{div}(\kappa \cdot \text{grad}(w)), \quad (3)$$

kde D je součinitel difúze solí [$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$], C_f a C_b je koncentrace volných iontů ve vodě a vázaných iontů na stěnách pórů materiálu [kg m^{-3}], w je obsah vlhkosti [$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$], κ je součinitel vlhkostní vodivosti [$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$], \vec{v} je Darcyho rychlost [m s^{-1}], t je čas [s].

Vstupní parametry $C_f(x, t)$, $C_b(x, t)$ a $w(x, t)$ v rovnicích (2) a (3) určíme experimentálně, zbylé dvě materiálové charakteristiky určíme inverzní analýzou vlhkostních a koncentračních profilů. Studovaný problém transportu solného roztoku zjednodušíme na jednorozměrný případ a pro řešení soustavy dvou parabolických rovnic použijeme Boltzmannovu-Matanovu metodu [9] s předpokladem konstantních počátečních podmínek a Dirichletových okrajových podmínek, uvedených pro naměřené profily koncentrace v rovnicích

$$C(0, t) = C_1, \quad (4)$$

$$C(\infty, t) = C_2, \quad (5)$$

$$C(x, 0) = C_2. \quad (6)$$

Aplikací dvou Boltzmannových transformací a několika algebraickými úpravami dostáváme finální vztahy pro výpočet součinitele difúze solí v závislosti na jejich koncentraci $D(C)$ a pro výpočet součinitele vlhkostní vodivosti v závislosti na vlhkosti $\kappa(w)$

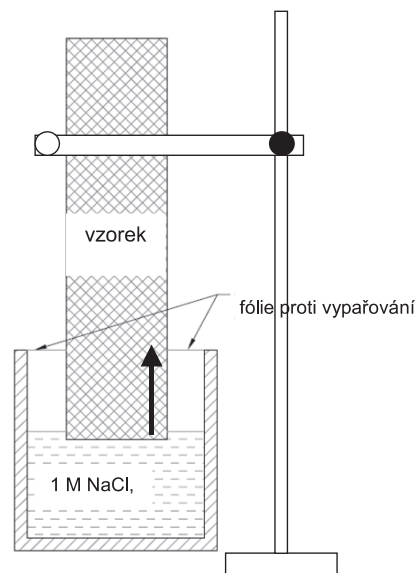
$$D(z_0) = - \frac{C_f(z_0) \cdot \kappa(z_0) \frac{dw}{dz}(z_0)}{w(z_0) \frac{dC_f}{dz}(z_0)} + \frac{1}{2t_0 \cdot w(z_0) \frac{dC_f}{dz}(z_0)} \cdot \int_{z_0}^{\infty} \left(\frac{d(w \cdot C_f)}{dz} + \frac{dC_b}{dC_f} \frac{dC_f}{dC_b} \right) dz, \quad (7)$$

$$\kappa(z_0) = \frac{1}{2t_0 \left(\frac{dw}{dz}(z_0) \right)} \cdot \int_{z_0}^{\infty} \left(z \frac{dw}{dz} \right) dz. \quad (8)$$

V rovnicích (7) a (8) je t_0 čas, ve kterém známe $w(x, t_0)$, $C_f(x, t_0)$, $C_b(x, t_0)$, z_0 je prostorová proměnná, $D(z_0) = D(w_0, C_{f0})$, $C_{f0} = C_f(z_0, t_0)$, $\kappa(z_0) = \kappa(w_0, C_{f0})$.

Jak jsme již uvedli, pro aplikaci difúzně advektivního modelu Beara a Bachmata je nezbytné kromě vazebné izo-

termy solí experimentálně stanovit také profily obsahu vlhkosti a koncentrace solí v daném materiálu. Pro tyto experimenty bylo nejprve nutné připravit vzorky $40 \times 20 \times 300$ mm na podélných stranách parotěsně a vodotěsně izolované epoxidovou pryskyřicí. Po vytvrdnutí pryskyřice byly vzorky uloženy do vakuové sušárny, kde zůstaly při 65°C do ustálení hmotnosti. Po vychladnutí na vzduchu byly upevněny do stojanu a neizolovanou stranou ponořeny 1-2 mm do vodného roztoku NaCl o koncentraci 1M (obr. 1).



Obr. 1. Schéma vertikálního sorpčního experimentu

Ve stanovených intervalech, které závisí na vlastnostech materiálu, byly po 20 mm rozřezány a pryskyřice odstraněna. Takto upravené byly váženy a následně sušeny ve vakuové sušárně při teplotě 110°C do ustálení hmotnosti. Z rozdílu hmotnosti byl vypočítán obsah vlhkosti pro každý vzorek. Vzorky nasycené roztokem chloridu sodného byly po vysušení a zvážení vyluhovány ve váženke s 200 ml vroucí destilované vody. Váženky byly parotěsně uzavřeny páskou a ponechány po dobu dvou týdnů v laboratoři při teplotě $25 \pm 2^\circ \text{C}$. Poté byl ve výluhu stanoven obsah chloridů. Stanovené profily vlhkosti a koncentrace solí byly následně použity jako vstupní data pro inverzní počítačovou analýzu.

Vazebné izotermy chloridů

Vazebná izoterma chloridů vyjadřuje závislost obsahu chemicky a fyzikálně vázaných iontů v pórovém systému materiálu na obsahu volných iontů v pórovém roztoku za izotermických podmínek. Pro potřeby tohoto výzkumu byla použita modifikovaná metoda Tanga a Nilssona, založená na adsorpci iontů z roztoku známé koncentrace [10]. Zcela vysušené vzorky $40 \times 40 \times 10$ mm byly umístěny do váženek a zalaty 200 ml roztoku chloridu sodného známé koncentrace. Váženky byly vodotěsně a parotěsně izolovány parafínovou páskou a ponechány v laboratoři při teplotě $25 \pm 2^\circ \text{C}$. Po ustavení rovnováhy byl z výluhu stanoven obsah chloridů.

Obsah iontů ve výluhu odpovídá množství volných iontů v pórovém roztoku. Obsah iontů vázaných na stěnách pórů lze vypočítat dle vztahu

$$C_b = \frac{V \cdot (C_0 - C_1)}{m_0}, \quad (9)$$

kde C_b je obsah vázaných chloridů [mg g^{-1}], C_0 je počáteční koncentrace chloridů v roztoku [mg l^{-1}], C_1 je rovnovážná

koncentrace chloridů [mg l^{-1}], V je objem roztoku chloridů [m^3] a m_0 je hmotnost vysušeného vzorku [kg].

Z měření roztoků s různou počáteční koncentrací C_0 byla získána vazebná izoterma chloridů, tedy funkce $C_b = C_b(C_p)$. Měření vazebné izotermy iontů představuje časově náročný experiment. Ustavení rovnováhy je dlouhodobá záležitost a celé měření trvá obvykle několik měsíců. V průběhu experimentu probíhala častá kontrola, zda není izolace váženky poškozena a roztok se neodpařuje. Pro urychlení loužení se vzorky ve vážkách protřepávaly.

Obsah chloridů v roztoku

Ke stanovení obsahu chloridů v roztocích byl použit přístroj inoLab 740 pH/ION s iontově selektivní elektrodou. Přístroj se skládá z terminálu pro ovládání a zobrazování a měřicího modulu pro připojení elektrochemického článku ISE. Měření probíhalo za ustálené teploty průběžně monitorované vestavěným čidlem. Článek je tvořen referenční elektrodou plněnou elektrolytickým roztokem a iontově selektivní elektrodou. Nejdůležitějším krokem byla kalibrace iontově selektivní elektrody na příslušný roztok známé koncentrace iontů. Článek se ponoří do měřicího roztoku a na displeji přístroje se zobrazí koncentrace iontů v mg l^{-1} . Chyba měření, deklarovaná výrobcem, dosahuje při použití kondičního roztoku až 10 % absolutní hodnoty, což je způsobeno zejména vysokou citlivostí elektrod na přítomnost příměsových iontů v roztocích.

Koncentrace iontů v roztoku byla stanovena i kapalinovou chromatografií. Měřicí přístroj CHROM SDS 150 obsahuje vakuovou pumpu, Injection Kit MIK 010 s ventilem Rheodyne 775i pro velmi přesné a reprodukovatelné dávkování vzorků $\pm 0,1$ %. Vzorek byl dávkován stříkačkou Hamilton o obsahu 10 μl přes filtrační disk. Pomocí kapilár byla připojena detekční kolona WATREX, pro aniony (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}). Mobilní fází byl 5 mM kyselý ftalan draselný 5 % acetonitrilu (v/v). Před analýzou bylo nutné provést kalibraci pomocí standardů, na přípravu roztoků byla použita ultračistá voda. Průchod iontů kolonou byl detekován přístrojem SHODEX CD5 a data zpracována v softwaru SS420 χ . Tato metoda je považována za jeden z nejpřesnějších způsobů měření koncentrace iontů v roztocích, nicméně chyba měření může být až 2 % z absolutní hodnoty.

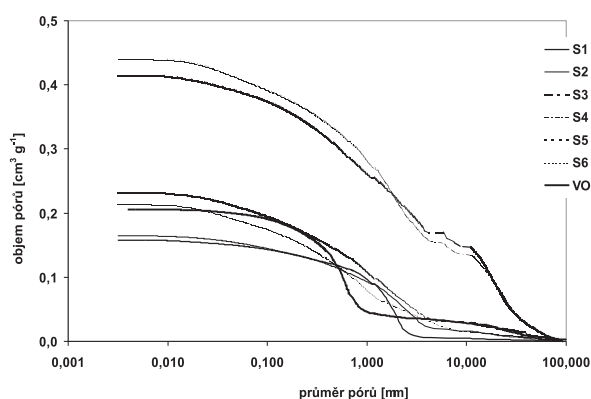
Tab. 4. Materiálové parametry omítek

Typ omítky	Objemová hmotnost	Hustota	Otevřená pórovitost
	[kg m^{-3}]		
VO	1 650	2 605	36,7
S1	1 671	2 674	37,5
S2	1 251	2 608	52,0
S3	1 030	2 464	58,2
S4	1 023	2 492	58,95
S5	1 199	2 504	52,1
S6	1 236	2 564	51,8

Výsledky a diskuze

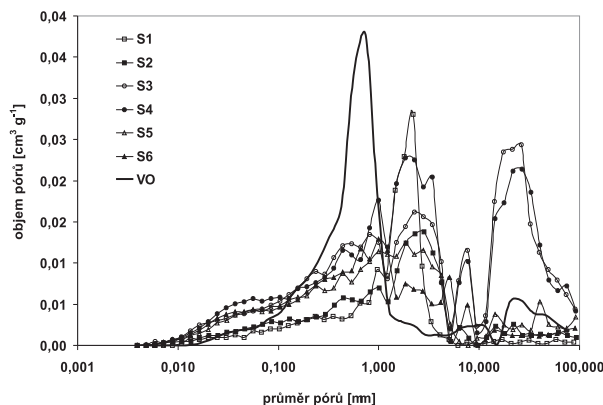
Základní materiálové charakteristiky studovaných omítek jsou shrnuty v tab. 4. Nejvyšší objemovou hmotnost i hustotu můžeme pozorovat u omítky S1, která má však odlišné složení a velmi nízký vodní součinitel, tudíž i velmi nízkou

pórovitost 37,5 %. Její parametry se nejvíce přibližují hodnotám naměřeným pro porovnávací výpennou omítku. Naopak nejnižší objemovou hmotnost vykazují omítky S3 a S4, složené z vápenného hydrátu, portlandského cementu a perlitu, které byly namíchaný s vodním součinitelem 0,330 a 0,375, čemuž odpovídá i vysoká otevřená pórovitost 58,20 a 58,95 %, která se liší pouze rozsahem chyby měření dané metody. U omítek S5 a S6, které mají obdobné složení i vodní součinitel, můžeme pozorovat obdobné základní parametry včetně vysoké otevřené pórovitosti 52 %. Omítka S2 má parametry blízké omítkám S5 a S6, avšak liší se její složení i vodní součinitel. Z hlediska požadavků kladených na sanační omítky splnily všechny vzorky požadavek na vysokou otevřenou pórovitost.



Obr. 2. Kumulativní křivky objemu pórů

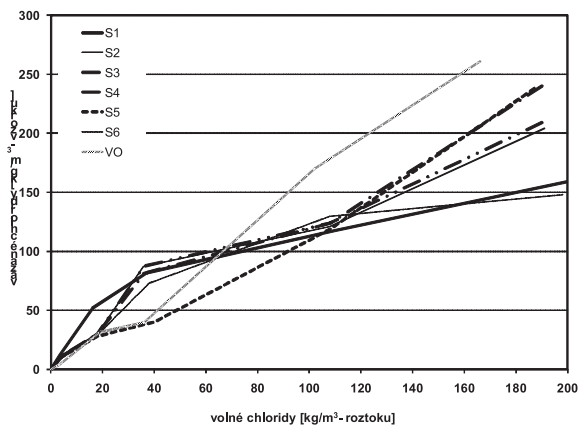
Abychom mohli posoudit vliv velikosti, množství a uspořádání pórů na akumulaci a transport vlhkosti a solí, bylo nutné stanovit distribuční křivky pórů. Kumulativní porozimetrické křivky studovaných omítek v oblasti průměru pórů do průměru 100 μm ukazuje obr. 2. Je zřejmé, že pórové systémy materiálů S1, S2, S5 a S6 jsou charakterem velmi podobné, nejvyšší přírůstky objemu pórů se nacházejí v oblasti kolem 1 μm , rozdíl je pouze v celkovém objemu pórů, kdy materiály S1 a S2 dosahují pouze dvou třetin hodnot S5 a S6. Naproti tomu omítky S3 a S4 (vzájemně velmi podobné) se od ostatních vzorků zásadně liší, neboť obsahují navíc velké množství pórů v oblasti 10 až 100 μm , které výrazně zvyšují jejich celkovou pórovitost. Tyto rozdíly je možné sledovat i na obr. 3, kde je znázorněn přírůstek objemu pórů (frekvenční porometrická křivka).



Obr. 3. Křivky rozdělení pórů

Křivky omítek S3 a S4 se od ostatních výrazně liší bimodálním charakterem, tzn. mají dvě výrazná maxima reprezentující dva typy pórů, zatímco vzorky S1 a S5 obsahují jen

jedno výrazné maximum. Výsledky získané rtuťovou porozimetrií odpovídají hodnotám základních materiálových parametrů a dokládají, že zásadní vliv na vlastnosti a chování sanačních omítek má jejich složení a použitý vodní součinitel. Křivky vazebných izoterm jsou prezentovány na obr. 4. Tvarem odpovídají izotermě BET se strmým nárůstem až do bodu maximálního nasycení.



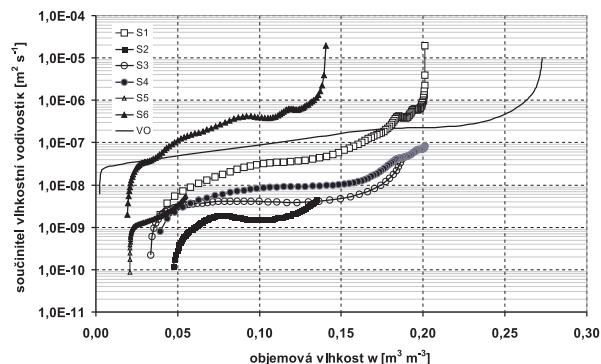
Obr. 4. Vazebné izotermy chloridů

Abychom zjistili maximální vazebnou kapacitu omítek, byl jako extrémní případ zvolen nasycený roztok chloridu sodného, tzn. 4 M či 20% roztok o hustotě okolo 1 150 kg m⁻³. Jak ukazuje obr. 4, maximální vazebná kapacita chloridů v případě sanační omítky S4 dosahovala 240 kg chloridových aniontů na 1 m³ vzorku, což koresponduje s její vysokou otevřenou pórovitostí a velkým množstvím pórů v oblasti 10 až 100 μm. Shodnou hodnotu (liší se v rozsahu použité metody měření), 238 kg chloridových aniontů na 1 m³ vzorku, vykazuje omítka S5, která má odlišné složení i distribuci pórů a o 11,5 % nižší pórovitost proti vzorku S4. Omítky S2 a S3, u kterých jsme naměřili shodnou vazebnou kapacitu, tj. 204 a 209 kg chloridových aniontů na 1 m³ vzorku, se opět liší v rozsahu chyby měření, dosahují 85 % vazebné kapacity omítky S4. Podobné hodnoty, tj. 159 a 148 kg chloridových aniontů na 1 m³ vzorku, pozorujeme u omítek S1 a S6, které se liší zejména pórovitostí, a to o 30 % při porovnání naměřených hodnot. Nejvyšší vazebnou kapacitu jsme zaznamenali pro vápennou omítku (261 kg m na 1 m³ vzorku). Je pravděpodobně způsobena reakcí volného hydroxidu vápenatého v omítce s NaCl a vznikem CaCl₂.

Podle klasifikace salinity dle EUREKA EU-1270 dosahují v extrémním případě nasycenosti roztoku chloridu sodného všechny omítky stupně 4, což by v případě tak vysoké salinity znamenalo výskyt poruch ve velice krátkém časovém horizontu a nutnost okamžité sanace takto zatížené konstrukce. Součinitele vlhkostní vodivosti jednotlivých omítek lze sledovat na obr. 5.

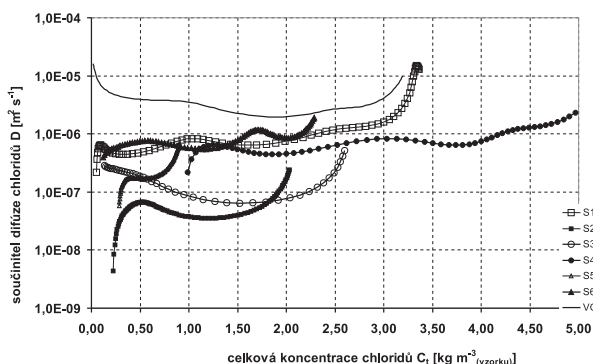
Vypočtené funkční závislosti součinitele vlhkostní vodivosti na vlhkosti zřetelně demonstrují míru a rychlost transportu kapalné vlhkosti v materiálech. Nejpomaleji byl solný roztok transportován v omítce S5. V případě této omítky, která bezpochyby obsahuje hydrofobizační přísady, došlo během sorpčního experimentu k nasáknutí roztoku pouze do 6 % objemu. Velmi nízký součinitel vlhkostní vodivosti měla i omítka S2, která nasákla maximálně do 13 % objemu. I omítky S3 a S4 vykazují v porovnání se standardní vápennou omítkou výrazné snížení transportu kapalné vlhkosti. Pouze v případě omítky S6 došlo k nárůstu součinitele vlhkostní vodivosti proti vápenné omítce v téměř celém rozsahu

vlhkosti, u omítky S1 byl nárůst pozorován při vyšším obsahu vlhkosti. Tento nárůst je poněkud nezvyklý, protože porovnání hodnot maximální vlhkosti z obr. 5 a pórovitosti z tab. 4 ukazuje výraznou hydrofobizaci i u těchto omítek. Omítky S2-S5 lze tedy z pohledu transportu vlhkosti, v našem případě transportu solného roztoku, doporučit pro sanace zavlhlých stavebních konstrukcí, použití omítek S1 a S6 by mohlo být problematické.



Obr. 5. Součinitel vlhkostní vodivosti omítek

Součinitele difúze chloridů v závislosti na nárůstu jejich koncentrace jsou prezentovány v obr. 6. Nejnižší hodnoty byly v tomto případě zjištěny pro omítku typu S2, dosti nízké byly i pro S3. Nejrychleji byly chloridové ionty transportovány v porovnávací omítce VO. U ostatních omítek byly hodnoty součinitele difúze chloridů mírně nižší než u VO. Je možné konstatovat, že z hlediska míry a rychlosti transportu solí jsou nejhodnější omítky S2 a S3.



Obr. 6. Součinitel difúze chloridů pro omítky

Z kvantitativního hlediska jsou vypočtené difúzní koeficienty vysoké, typicky o dva řády vyšší než difúzní koeficient chloridových iontů ve vodě, a proto je možné předpokládat, že transport chloridových iontů byl urychlen elektrochemickými silami mezi vnitřním povrchem materiálů a roztokem. Rychlost transportu chloridových iontů mohla být zvýšena i osmotickými jevy či povrchovou difúzí.

Závěr

V článku jsou prezentovány základní fyzikální a vlhkostní parametry omítek určených pro sanace historických objektů. Konkrétně byly studovány průmyslově vyráběné sanační omítky, které se lišily jak složením, tak vodním součinitelem. Všechny vykazují vysoké hodnoty celkové otevřené pórovitosti, přičemž jejich porézni struktura je tvořena

převážně kapilárními póry, což demonstrují naměřené křivky distribuce pórů. Ze získaných výsledků je tudíž zřejmé, že rozhodující vliv na jejich chování a trvanlivost mají především přídavné látky a modifikátory, které zcela změny charakter porézní struktury materiálu, tedy velikost a uspořádání pórů, ale také chemicko-fyzikální působení povrchu pórů.

Z hlediska transportních vlastností vlhkosti a chloridů splnily nejlépe požadavky kladené na povrchové vrstvy určené pro sanace historických objektů omítky S2 a S3, jejichž součinitele vlhkostní vodivosti a difúze chloridů byly dosti nízké. Omítky S5 představuje také dosti dobré řešení, zřejmě díky velmi vysoké hydrofobizaci. Uspokojivé vlastnosti vykázala omítky S4. Omítky S1 a S6 se neukázaly jako vhodné, zejména díky vysokému součiniteli vlhkostní vodivosti.

Článek vznikl za podpory projektu č. 103/09/0780 GA ČR.

Literatura

- [1] ČSN P 73 0610 Hydroizolace staveb – sanace vlhkého zdiva – základní ustanovení. ČSN, 2000.
- [2] Stillhammerová, M.: Short Overview on Problems of Water Soluble Salts in Slovak Republic. European Research on Cultural Heritage, Vol. 5, 2006, pp. 119-123.
- [3] Blaha, M. – Bukovský, L.: Prevence a odstraňování vlhkosti. Brno, ERA group 2004. /ISBN 80-86517-48-9/
- [4] Blaha, M.: Omítky. Praha, Grada Publishing 2004. /ISBN 80-247-0898-1/
- [5] Sanační omítkové systémy. Směrnice WTA 2-2-91 včetně doplňku 2-6-99. WTA CZ, 2002. /ISBN 80-02-01503-7/
- [6] Balík, M. a kol.: Odvlhčování staveb. Praha, Grada Publishing 2005. /ISBN 80-247-0765-9/
- [7] Černý, R. – Toman, J.: Determination of Temperature and Moisture Dependent of Thermal Conductivity by Solving the Inverse Problem of Heat Conduction. Proceedings of International Symposium of Moisture Problems in Building Walls, University of Porto, 1995, pp. 299-308.
- [8] Bear, J. – Nadhamat, Y.: Introduction to Modelling of Transport Phenomena in Porous Media, Vol. 4. Dordrecht, Kluwer 1990.
- [9] Matano, C.: On the Relation between the Diffusion Coefficient and Concentration of Solid Metals. Jap. J. Phys., Vol. 8, 1933, pp. 109-115.
- [10] Tang, L. – Nilsson, L. O.: Chloride Binding Capacity and Binding Isotherms of OPC Pastes and Mortars. Cement and Concrete Research 23, 1993, pp. 247-253.

Pavlíková, M. et al.: Salt Transport and Accumulation Transport in Renovation Plasters

The paper deals with the testing of properties and functionality verification of plasters for renovation of building structures damaged by moisture and salt efflorescence.

Pavlíková, M. u. a.: Transport und Akkumulation von Salzen in Sanierputzen

Der Artikel befasst sich mit den Eigenschaften und der Funktionstüchtigkeit von Putzen, die für die Sanierung von Objekten bestimmt sind, die durch Feuchtigkeit und Ausblühungen bildende Salze beschädigt worden sind.

● dizertace



Řízení vlastností hybridních kompozitů

Ing. Aleš Jíra

Dizertace je zaměřena na zajištění stability femorální komponenty totální náhrady kyčelního kloubu se zřetelem k regulaci ohybové tuhosti soustavy diafýza/děrk implantátu a ke snížení efektu rigidních implantátů ve stěně femuru. Zohledňují se rekonstrukční procesy během distanční osteogeneze a podpora vazivové vrstvy v rozhraní kosti s implantátem.

Experimentální výzkum a CFD simulace multisolárního komína

Ing. Radim Gallo

V dizertaci se řeší problematika fyzikálních stavů v multisolárním komínu pro větrání objektů bez nároků na elektrickou energii, tzn. využitím přirozeného větrání. Používají se autorovy výsledky měření během zahraniční stáže.

Problém konformity Gaussova-Krugerova zobrazení v poledníkových pásech

Ing. Radek Hampl

V práci se studují vlastnosti Gaussova-Krugerova zobrazení v poledníkových pásech, a to v závislosti na vzdálenosti středního poledníku. Autor odvodil rovnice zobrazení a navrhl kritérium pro míru jejich konformity a klad mapových listů pro území ČR. Dále sestavil kritériální tabulku pro globální aplikace zobrazení.

Linear Structures Foundation in Estuarine Deposits Environment in Northern Ireland

Ing. Mgr. Jan Valenta

Dizertace řeší problematiku zakládání konstrukcí v prostředí estuarinních jíílů v severním Irsku. Definuje se modifikovaná analýza CAPWAP pro výpočet únosnosti beraněných pilot v prostředí těchto jíílů.

Vláknobeton s plnou náhradou přírodního kameniva recykláty

Ing. Vladimíra Vytlačilová

Práce stanoví základní mechanické vlastnosti vláknobetonového kompozitu s náhradou kameniva cihelným nebo betonovým recyklátem a ukazuje, jak tyto vláknobetonové navrhovat. Výsledky jsou využitelné v praxi.

Proces regenerace brownfields v Austrálii

Ing. arch. Kristýna Šílová

Dizertace, která vychází ze zkušeností autorky s problematikou brownfields ve státě NSW, obsahuje metodický pokyn, podle něhož by se mělo řídit využití brownfields v ČR.

Využití mikroskopické simulace při problematice dopravních kongescí v centru Prahy

Ing. Michal Oudes

Práce obsahuje obecný popis příčin kongescí, který autor aplikuje na území centra Prahy a navrhuje způsob, jak těmto kongescím přecházet. Je založena na měřeních in situ a mikroskopické simulaci s podporou software VISSIM. Výsledkem jsou doporučení úprav včetně vyhrazených jízdních pruhů.

Vývoj geodetického monitoringu v lokalitě Rabenov

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

Ing. Pavel HÁNEK jr.
JU – Zemědělská fakulta, České Budějovice

Příspěvek zmiňuje změny terénu, měřických technologií a zpracování v lokalitě Rabenov na území rekultivovaného hnědouhelného velkolomu Chabařovice u Ústí nad Labem. Pozornost je věnována výrokům o stabilitě bodů pomocí fuzzy matematiky.

Úvod

Následující text navazuje na článek [7], uveřejněný v tomto časopise v roce 2005. V něm bylo popsáno zájmové území, ve kterém se sledují svahové sesuvy, a byla charakterizována měřická síť včetně způsobu stabilizace stanoviskových bodů a podrobných bodů terénu. V neposlední řadě byly uvedeny výsledky prvních čtyř etap měření s naznačením způsobu zpracování a vyhodnocení. Můžeme se proto omezit jen na krátký přehled.

Vzhledem k finanční i technické náročnosti rekultivací a revitalizací je ve střední Evropě (ale i jinde ve světě) proces znovuvytvoření (obnovení) kulturní krajiny relativně na začátku. Lokalita Rabenov v těsné blízkosti Ústí nad Labem je součástí bývalého povrchového dolu Chabařovice, na které probíhá první hydričká rekultivace velkého povrchového dolu v ČR. Po ukončení těžby a následných sanačních a rekultivačních pracích se zbytková jáma zaplaví vodou a v nádrži Milada s rozlohou 247,6 ha bude celkem 34,4 mil. m³ vody (obr. 1). Lokalita se využívá i jako prostor k získání potřebných informací o rekultivacích a jejich průběhu.



Obr. 1. Letecký pohled na zájmové území (zdroj: www.mapy.cz)

V prostoru sesuvu rekultivovaného svahu vulkanického vrchu Rovný byla v roce 2003 vybudována místní přesná

prostorová síť Rabenov se čtyřmi vrcholy. Síť má tvar lichoběžníka, v němž je s ohledem na konfiguraci terénu kromě obvodových stran měřena jen úhlopříčka RAB 01-RAB 03 délky 419 m, ležící zhruba na horizontále na vypuklém zlomu terénu. Převýšení bodů RAB 02 a RAB 04 dosahuje přibližně 65,5 m na délku 693 m. Body RAB 01-RAB 03 jsou tvořeny vrty hloubky 21 m, vystrojené pažnicemi, umožňujícími měření prostorových deformací též pomocí geotechnických metod, prováděných Katedrou geotechniky FSv ČVUT v Praze, která také zajistila osazení všech bodů. Dnes neexistující bod RAB 04 byl stabilizován na betonové patce sloupu zrušeného elektrického vedení. Kromě toho bylo stabilizováno zhruba třicet charakteristických pozorovaných (podrobných) bodů terénu.

Změny v konfiguraci sítě a měřických pracích

V roce 2007 došlo na základě výsledků geotechnických a geodetických měření k významné změně projektu rekultivace. Změna zahrnovala vybudování rozsáhlých pilotových kotvených opěrných stěn v místech ohrožených sesuvy a změny výšky terénu (tj. nehomogenní navážky), která byla pro snížení tlaků zemin a zvýšení stability svahu snížena v horní části území zhruba o 1 m, ve svahu až o 5 m, a naopak v části území u jižního břehu vodní nádrže je zemina přitěžována. Při terénních úpravách byly zničeny téměř všechny podrobné body a stanoviskový bod RAB 04. Vzhledem k tomu, že je okolí stanoviště RAB 04 po provedení sanačních prací považováno za stabilní, nejde o kritický problém. Jedinou významnou škodou je narušení rozměru a tvaru původní měřické sítě. V případě zničení většiny podrobných bodů to však znamená závažnější problém, protože byla narušena kontinuálnost sledování svahových sesuvů. Destrukci bodů se ovšem nedalo vzhledem k přesunu zemin zamezit a bude je nutné znovu vybudovat. V souvislosti se sanačním opatřením došlo navíc i k posunutí zájmového území pro monitorování svahu blíže k jezeru, kde jsou nově zřízeny tři vystrojené sondy, z nichž jedna by měla sloužit jako nový stanoviskový bod. Tím dostane měřická síť nový tvar a rozměr, resp. vznikne nová síť doplněná o nové podrobné body.

Od roku 2007 v důsledku změny terénu lokality probíhají terestrická měření přesnými totálními stanicemi pouze v „zachované“ části měřické sítě, a nově pak v území blíže k jezeru (zájmové území je v obr. 1 vyznačeno bílým obdélníkem). V měřické síti tvořené body RAB 01-RAB 03 i nadále probíhají měření sloužící k testování vlivu všesměrných nebo cílených odrazných hranolů dálkoměrů na přesnost měření lokální prostorové sítě včetně jejího určení. V posunutém (novém) zájmovém území vzhledem k nedokončeným terénním pracím nedošlo zatím ke stabilizaci nových podrobných bodů ani k definitivnímu rozhodnutí o novém stanoviskovém bodu, a tak v současnosti probíhají měření sloužící jako podklad pro tvorbu trojrozměrných modelů

terénu a podélných profilů, ze kterých je možné sledovat postup a časový průběh terénních úprav, resp. jejich přetvoření. Kromě toho samozřejmě v síti pokračují observace inženýrskými aparaturami GNSS (globálních navigačních satelitních systémů) pro převod do státních referenčních systémů S-JTSK a Bpv.

Do května 2009 bylo provedeno 13 etap pozemních a 10 etap měření GNSS. Pro bod RAB 02 dosahuje průměrná směrodatná odchylka v poloze 2,4 mm, ve výšce 2,8 mm. Posuny téhož bodu, vztažené k základní etapě, dosahují v ose Y hodnoty +42 mm, v ose X se pohybují v závislosti na ročním období a hladině spodní vody v rozmezí -58 mm až +37 mm, v ose Z -28 mm až +38 mm. Měření GNSS je charakterizováno průměrnou směrodatnou odchylkou všech sledovaných bodů (max. 10) v poloze 3,1 mm a 4,8 mm ve výšce. Rozdíly souřadnic téhož bodu z určení oběma způsoby výjimečně dosahují 30 mm. Roční změny dnes již neexistujících pozorovaných (podrobných) bodů terénu dosahovaly +184 mm až -104 mm v souřadnicích Y , X a hodnot +45 mm až -180 mm v souřadnici Z .

Zpracování dat

Vyrovnaní sítě

Měřická síť je vyrovnána jako volná prostorová síť s pevným bodem RAB 01 a daným směrem charakterizovaným spojnicí bodů RAB 01 a RAB 03. Do bodu RAB 01 je vložen počátek místního ortogonálního pravotočivého souřadnicového systému o souřadnicích $Y = 1\ 000$ m, $X = 5\ 000$ m, $Z = 100$ m. Do směru RAB 01-RAB 03 je vložena osa $+X$. Vzhledem k tomu, že leží téměř na horizontále, souřadnicová osa $+Y$ směřuje v podstatě po spádnicí terénu. Zachování tohoto souřadnicového systému se předpokládá i v případě doplnění sítě o nový stanoviskový bod. Výpočet lze provést v programu Rocinante, který je součástí projektu GNU Gama. Výpočetní vzorce pro vyrovnání sítě jsou uvedeny např. v [3] (s ohledem na prostor je zde, stejně jako ostatní dobře dohledatelné výrazy, nebudeme uvádět).

■ **Transformace do referenčních systémů** se na základě rozborů a ověření v řadě diplomových prací provádí pro výšku a polohové souřadnice bodu odděleně.

■ **Pro výškovou transformaci** je využit výpočet průměrného výškového posunu souřadnicových systémů z identických bodů, který je následně aplikován na podrobné body sítě

$$Z_B = \Delta_z + Z_B^p,$$

kde Z_B je výška podrobného bodu v cílovém souřadnicovém systému (výškovém systému);

Z_B^p – výška podrobného bodu v původním souřadnicovém systému;

Δ_z – průměrný výškový posun.

Průměrný výškový posun vypočteme ze vztahu

$$\Delta_z = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_{Z_i}}{n},$$

kde δ_{Z_i} je výškový rozdíl i -tého identického bodu a n je počet identických bodů.

Výškový rozdíl i -tého identického bodu se vypočte podle vzorce

$$\delta_{Z_i} = Z_i - Z_i^p,$$

kde Z_i je výška identického bodu v cílové souřadnicové soustavě, Z_i^p je výška identického bodu v původní souřadnicové soustavě.

■ **Polohová transformace** se provádí ve dvou krocích. Na základě obsáhlých ověření je výhodné v našem případě provést první transformační krok pomocí shodnostní Helmertovy transformace [8], která je upravenou klasickou podobnostní Helmertovou transformací s vyrovnáním koeficientů podle metody nejmenších čtverců. Při jejím použití dochází k posunutí, pootočení a změně měřítka transformované sítě. Shodnostní Helmertova transformace zachovává všechny popsané vlastnosti až na změnu měřítka, které zůstává totožné. Transformované souřadnice bodů se vypočtou podle postupů uvedených v [8]. Aplikace shodnostní Helmertovy transformace zajistí zachování vnitřní přesnosti místní sítě, a přitom umožní její umístění do nadřazené sítě většího rozsahu. Po Helmertově shodnostní transformaci je možné provést jako druhý krok Jungovu transformaci. Při jejím použití dochází k rozdělení zbylých odchylek na identických bodech transformovaným bodům. Vzorce pro výpočet transformace jsou uvedeny např. v [2]. Provedením Jungovy transformace dosáhneme žádoucího ztotožnění souřadnic identických bodů, tzn. identické body si zachovají původní souřadnice v cílovém souřadnicovém systému.

■ **Výpočet souřadnic bodů a sklonu stabilizačních znaků** – parametr sklonu stabilizačního prvku je údaj, který lze při použití speciální signalizační tyče [7] (se dvěma všesměrnými odraznými hranoly) určit navíc proti běžným způsobům geodetického zaměření využívajícího zaměření na jeden odrazný hranol. Na základě tohoto parametru lze uvažovat o směrech zemních tlaků ve svrchní vrstvě zemin v okolí podrobného bodu. Sklon stabilizačního prvku je počítán vždy mezi dvěma etapami. Pro výpočet souřadnic určovaného bodu a sklonu stabilizačního znaku je využita aplikace analytické geometrie v prostoru. Prostorové souřadnice horního a dolního hranolu signalizačního přípravku se vypočtou pomocí trojrozměrné polární metody. Poté lze z vypočtených souřadnic hranolů a při známých rozměrech signalizačního přípravku [4] vypočítat souřadnice určovaného podrobného bodu, který je „skrytý“ vegetací nebo nerovnostmi v úrovni terénu. Pro jejich výpočet použijeme upravený vzorec, známý v analytické geometrii, jako výpočet bodu na přímkce dělené v poměru r/s [1]

$$X_b = \left(\frac{r}{s} + 1\right) X_h - \frac{r}{s} X_{h_H},$$

$$Y_b = \left(\frac{r}{s} + 1\right) Y_h - \frac{r}{s} Y_{h_H},$$

$$Z_b = \left(\frac{r}{s} + 1\right) Z_h - \frac{r}{s} Z_{h_H},$$

kde X_b, Y_b, Z_b jsou souřadnice podrobného bodu;

X_h, Y_h, Z_h – souřadnice odrazných hranolů;

r, s – konstantní vzdálenost od paty přípravku ke středu dolního hranolu, resp. vzdálenost mezi středy hranolů.

Analytická geometrie v prostoru umožňuje rovněž určit změnu sklonu stabilizačního prvku mezi etapami, čímž dokážeme doplnit monitorovací informace o zajímavý parametr informující o dějích ve svrchní části zemin. Z vypočtených souřadnic hranolů na každém podrobném bodě v jednotlivých etapách vypočteme směrový vektor. Z nich lze vyčíst změnu sklonu stabilizačních značek mezi různými etapami měření. Jde tedy opět o aplikaci analytické geometrie, konkrétně o výpočet úhlu, který svírají dvě přímky v prostoru.

Vyřčení výroku o kvalitě (přetvoření) bodu

Tato část je věnována matematickému modelu, který využívá fuzzy matematiku a slouží k zařazení bodu do kvalitativních kategorií. Důvodem pro tvorbu a nasazení takového matematického modelu je, že v geodetické praxi běžně používané rozlišování bodů na přetvořené a nepřetvořené začíná být příliš hrubé a pro tvorbu předpovědních dějových modelů nevyhovující. V neposlední řadě by model měl pomoci zjednodušit interpretaci a pochopení výsledků geodetických měření. V textu tedy nastíníme, jak takový matematický model, využívající fuzzy logiku při procesu určování svahových změn a jejich projevů, vypadá. Po aplikaci modelu je možné body a jejich posuny začlenit do několika kategorií, což umožňuje vytváření jemnějších následných „předpovědních“ modelů. Tříděním bodů do vícestupnicové škály se zároveň přibližujeme lidskému myšlení a rozhodování, které samo o sobě používá n -stupňové kategorizování. Definice a vzorové řešení modelu jsou ve zjednodušené formě uvedeny v [6] a v úplném rozsahu v [5].

Nástin modelu

Okolnosti, ovlivňující konečný výrok o kvalitě bodu a jeho přetvoření, se dají rozdělit do dvou skupin – na objektivní a subjektivní. Objektivní hlediska představuje souřadnicová směrodatná odchylka určovaného bodu v jednotlivých etapách měření, způsob a kvalita stabilizace bodu, významnost pozorovaného bodu a osobní chyba měřiče, resp. jeho kvalita, zahrnující zkušenost a svědomitost. Pro automatizovaná měření lze osobní chybu měřiče nahradit chybou automatického zacílení přístroje. Dalším objektivním hlediskem jsou klimatické podmínky při měření. Subjektivní hlediska v našem případě reprezentují pocity účastníků měření, např. zhodnocení blízkého okolí bodu v terénu, pocit měřiče při cílení. Hledisko pocitu měřiče je opět možné v případě automatizovaného měření nahradit intenzitou přítáho vlnového záření, a pak je přeřadit do kategorie objektivních hledisek. Pro všechny stanovené okolnosti (předpoklady) se nadefinují fuzzy množiny a určí se funkční příslušnost jednotlivých pozorování do příslušných množin. Pro předpoklady, reprezentované fuzzy množinami, se poté sestaví rozhodovací mechanismus, který je tvořen skupinou fuzzy pravidel. Složitost a rozsah pravidel závisí na počtu a typu stanovených kritérií, ale i na očekávaném výstupu po jejich aplikování, resp. na složitosti celého rozhodovacího modelu. Správně sestavení fuzzy pravidel je rozhodující pro vytvoření funkčního a správně hodnotícího modelu. Po aplikaci fuzzy pravidel dostáváme hodnotu příslušnosti do „výsledné“ množiny, která představuje výrok o kvalitě bodu. Jestliže máme vypočtenou hodnotu příslušnosti do této množiny, můžeme provést její defuzzyfikaci, tj. operaci, která transformuje hodnotu příslušnosti do fuzzy množiny na konkrétní výstupní hodnotu (na jednoznačný závěr, který lze aplikovat).

Závěr

Způsob stanovení výroku o přetvoření bodu, využívající navržený model, např. v případě vybudování nové sítě podrobných bodů, si vyžádá drobné úpravy v měřickém postupu. To znamená proti běžné registraci navíc evidovat u všech bodů stav jejich okolí a pocit měřiče při cílení. Doposud se u těchto charakteristik zaznamenával pouze „nepříznivý stav“. Rovněž by byl vhodný test měřičů, který by určil jejich osobní chybu, resp. stanovit kritéria pro jejich rozřazení do kvalitativních skupin. Pro registraci měřených dat v totálních stanicích pak stanovit kódovací klíč.

V souvislosti s vývojem budování sítě permanentních stanic pro měření GNSS se jako další vhodná optimalizace měřických prací jeví možnost nahrazení vlastní referenční stanice virtuální referenční stanicí (VRS) sítě CZEPOS (Česká síť permanentních stanic pro určování polohy), což by při současném vybavení přineslo časové i ekonomické úspory.

Článek byl zpracován v rámci VZ 04 CEZ MSM 6840770005 „Udržitelná výstavba“.

Literatura

- [1] Bubeník, F. – Pultar, M.: Matematické vzorce a metody. Praha, Vydavatelství ČVUT 1994. /ISBN 80-01-01164-X/
- [2] Cimbálník, M. – Mervart, L.: Vyšší geodézie 1. Praha, Vydavatelství ČVUT 1999. /ISBN 80-01-01597-1/
- [3] Dušek, R. – Vlasák, J.: Geodézie 50 – příklady a návody na cvičení. Praha, Vydavatelství ČVUT 1999. /ISBN 80-01-01929-2/
- [4] Hánek, P. (jr.): Aplikace prostorové analytické geometrie při určování svahových posunů. [Sborník], 12. konference Společnosti důlních měřičů a geologů, Hustopeče, 2005.
- [5] Hánek, P. (jr.): Využití matematických postupů v inženýrské geodézii. [Dizertační práce], Praha, ČVUT, 2009.
- [6] Hánek, P. (jr.): Fuzzy logika v matematickém modelu stability měřického bodu. Geodetický a kartografický obzor 55 (97), 2009, č. 5, s. 106-110. /ISSN0016-7096/
- [7] Hánek, P. – Janžurová, I. – Hánek, P. (jr.): Geodetická měření pro určení svahových sesuvů v lokální prostorové síti Rabenov. Stavební obzor, 14, 2005, č. 1, s. 21-25. /ISSN 1210-4027/
- [8] Soukup, L.: Shodnostní Helmertova transformace. http://slon.fsv.cvut.cz/vyuka/LS/gde4/studijni_materialy/shodnostniHelmertovka.pdf, 2005.

Hánek, P. et al.: Development of Geodetic Monitoring at Rabenov Site

This article describes changes of the terrain, measuring technologies, and processing at the Rabenov site, on the territory of a reclaimed, former giant brown coal open-cast Chabařovice near the town of Ústí nad Labem. The text focuses on statements on the stability of points using fuzzy mathematics.

Hánek, P. u. a.: Entwicklung eines geodätischen Monitorings in der Lokalität Rabenov

Der Beitrag behandelt die Veränderung des Geländes, der Messtechniken und der Verarbeitung in der Lokalität Rabenov auf dem Gebiet des rekultivierten ehemaligen großen Braunkohlentagebaus Chabařovice bei Ústí nad Labem. Die Aufmerksamkeit wird den Aussagen über die Stabilität der Punkte mit Hilfe der Fuzzy-Mathematik gewidmet.

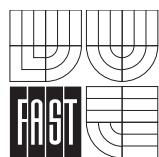
Všechna čísla časopisu

STAVEBNÍ OBZOR

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

● zprávy

Inovace výukových laboratoří stavební fyziky na FAST VUT v Brně



V červnu letošního roku byl do výukových laboratoří na Ústavu fyziky Fakulty stavební VUT v Brně nainstalován nový konfokální mikroskop Olympus Lext OLS 3100, který v současné době patří mezi špičkové konfokální mikroskopy zaměřené na práce v materiálovém inženýrství. Tato více než dvoumiliardová investice byla z převážné míry financována z Fondu rozvoje vysokých škol MŠMT ČR (projekt 1108/2009 „Instrumentální vybavení výukových laboratoří stavební fyziky“ – 1,75 mil. Kč) a menší měrou Fakultou stavební VUT (vnitřní grantový systém, projekt „Výuková laboratoř konfokální mikroskopie“ – 397 tis. Kč).

V současné době prudkého technologického rozvoje jsou kladeny stále větší nároky na inovace vzdělávacího procesu. Dlouhodobé úsilí o změnu skladby a zaměření fyzikálního praktika na Fakultě stavební VUT v Brně vedlo k zavedení celé řady nových moderních laboratorních úloh, z nichž mnohé byly publikovány v tuzemsku i v zahraničí. Toto dlouhodobé úsilí je motivováno snahou posunout náplň laboratorní výuky blíže ke stavební fyzice, a zejména k materiálovému inženýrství, tj. zavádět úlohy, které by vycházely ze současného stavu těchto disciplín. Především posílení problematiky testování povrchových struktur nedestruktivními optickými metodami bylo v současné době ve výukových laboratořích velmi žádoucí vzhledem k velkému technologickému pokroku, ke kterému došlo v této oblasti. Vedle strukturálních testovacích metod, založených na mechanickém a elektromagnetickém vlnění (akustické, ultrazvu-

kové a rentgenové metody včetně rozptylu pod malými úhly SAXS), zažívají svou renesanci právě optické mikroskopické metody. V posledních deseti letech je to zejména konfokální mikroskopie, která svými specifickými vlastnostmi začala konkurovat dokonce i elektronové mikroskopii (nikoli ve zvětšení, ale především v kvalitě trojrozměrného obrazu). Její široké spektrum aplikací lze nalézt nejen v materiálovém inženýrství (většinou anorganické materiály kovové, polymerní, polovodičové ap.), ale také v biologii, fyziologii a lékařství (většinou organické materiály na buněčné úrovni zkoumané fluorescenční technikou). Použití konfokální mikroskopie v materiálovém inženýrství se netýká jen testování kovových, polymerních a polovodičových látek, ale také keramických a cementových materiálů. Zejména v posledních letech se konfokální mikroskopie osvědčila jako platný nástroj analýzy hydratovaných cementových struktur, a to např. v oblasti testování lomových povrchů, pórovité struktury, Hadleyho dutých zrn nebo morfologie strukturálních trhlin. Tento výčet možností ovšem není zdaleka úplný, existuje celá paleta dalších možností, jak využít konfokální mikroskopii ke strukturálním analýzám.

Rozvoj nových instrumentálních metod v oblasti testování struktury materiálů vyžadoval, aby na něj bylo patřičně reagováno i ve výuce. Zejména bylo třeba zajistit, aby se studenti mohli seznamovat s novými metodami nejen teoreticky na přednáškách, ale zejména prakticky v laboratorních cvičeních. V oblasti testování stavebních materiálů je zavedení konfokální mikroskopie do výukových laboratoří plně v souladu s požadavkem doby. Tato technika povyšuje povrchovou strukturální analýzu zejména lomových povrchů cementových a keramických materiálů na kvalitativně novou úroveň. Studenti se v instrumentálně inovované laboratoři seznámí se způsobem práce na konfokálním mikroskopu a provedou řadu charakteristických měření na lomových površích v rámci série nových laboratorních úloh. Získají tak praktické zkušenosti s jednou z velmi progresivních metod povrchové analýzy materiálů, poučí se o možnostech, ale také o limitech této metody. Vytvoří si vlastní, konkrétnější představu o struktuře stavebních materiálů.

Založením malé studentské laboratoře konfokální mikroskopie získala Fakulta stavební VUT, a tím i celé Vysoké učení technické v Brně, velmi moderní instrument, který významným způsobem obohatí výukové možnosti této vysoké školy a přiblíží ji v oblasti povrchového testování materiálů k obdobným zahraničním pracovištím.



*Konfokální mikroskop Olympus Lext OLS 3100
ve studentské laboratoři FAST VUT*

*prof. RNDr. T. Ficker, DrSc.
Ústav fyziky FAST VUT*

DNY OTEVŘENÝCH DVEŘÍ

na Fakultě stavební ČVUT v Praze

pro zájemce o studium a širokou veřejnost

28. listopadu 2009 a 29. ledna 2010

www.fsv.cvut.cz/pr

● projekty

Amazon Court

Na Rohanském nábřeží v Praze vyrostla nová energeticky úsporná budova. Amazon Court svým technickým řešením plně zapadá do investiční strategie projektu River City Prague společnosti Europolis. V sedmi nadzemních a třech podzemních podlažích nabízí nájemníkům 19 800 m² kancelářských prostor a 2 200 m² pro služby a multifunkční využití. Ve dvou podzemních podlažích je k dispozici 254 parkovacích míst, ve třetím podzemním podlaží se nachází technické zázemí budovy a skladovací prostory.

Jak je typické pro karlínské budovy společnosti Europolis, i Amazon Court využívá energeticky úsporných technologií, jež spočívají ve spojení nejmodernějších technických vymožeností s promyšleným využitím přírodních zákonitostí. Typickým příkladem tohoto přístupu je již prověřený systém zajištění klimatu vnitřních prostor pomocí záplavového větrání, jež zajišťuje nadstandardní přísun čerstvého vzduchu při zachování akustické pohody, které nelze konvenčními systémy dosáhnout.



Projekt je jedinečný nejen technologickými aspekty, ale bezpochyby i architektonickým a stavebním řešením. Dva železobetonové trakty budovy jsou propojeny deseti „mosty“, ve kterých jsou umístěny atraktivní kancelářské prostory. Toto řešení společně s unikátní konstrukcí prosklených štítových stěn ze severu a jihu budovy nabízí ojedinělý výhled na panoramata Prahy a vytváří dominantní prvek – rozlehlé atrium.



Prostor atria zaujme systémem různobarevných posuvných žaluzií, které reagují na pohyb slunce, vodními plochami a rozmanitou zelení, jež dohromady vytvářejí veřejný prostor s unikátní atmosférou. Atrium je zastřešeno fólií ETFE, tj. pneumaticky podporovanou membránovou konstrukcí s vynikajícími mechanickými a tepelně izolačními vlastnostmi, která byla na budově Amazon Court použita poprvé v České republice.

Za neotřelý design a technické inovace získala budova mezinárodní ocenění Mipim Architectural Review „Future Project“ Award 2008.

Tisková informace



INTERNATIONAL CONFERENCE ON MODELLING AND SIMULATION

22. – 25. June 2010

Czech Technical University in Prague



<http://concrete.fsv.cvut.cz/ms10prague/>

• dizertace



Využití výkonového zpoplatnění pro financování pozemních komunikací v ČR

Ing. Josef Svoboda

Dizertace rozebírá destrukční účinky jednotlivých kategorií nákladních vozidel na životnost vozovek a zabývá se i rizikem objíždění zpoplatněných úseků dálnic. Prověřuje návratnost prostředků vložených do zpoplatnění sítě vybraných silnic. Z výsledků vyplývá vhodnost zpoplatnit v budoucnu i vozidla nad 3,5 t.

Problematika směsí recyklace za studena z hlediska vybraných funkčních charakteristik

Ing. Jan Valentin

V teoretické části se určují vybrané technologické vlastnosti zkoumaných směsí a ověřují se experimentem. Výsledkem jsou doporučení, jakým směrem se dále ubírat při využití za studena recyklovaných směsí.

Digitální technologie v oblasti katastru nemovitostí

Ing. Jana Zaoralová

Dizertace se zaměřuje na technologii digitálních náčrtů pro obnovu katastrálního operátu novým mapováním a na základě výsledků komplexních pozemkových úprav. Věnuje se i přípravě podkladů, využití dat katastru pro další úlohy a možnostem mobilního mapování. Výsledkem je technologie vhodná pro praxi a implementovaná do softwarového vybavení.

Aerodynamická kvantifikace meziprostoru větrných vrstev v obalových konstrukcích

Ing. Karel Sedláček

Práce řeší problematiku navrhování a matematického modelování provětrávaných vzduchových vrstev u dvouplášťových fasád a šikmých střech. Byla vyvinuta experimentální aparatura pro měření parametrů provětrávaných vrstev.

Účinky teploty na betonové mosty

Ing. Ondřej Tomaschko

V parametrické studii se sledují vlivy klimatické, geometrické a materiálové na teplotní namáhání betonového mostu.

Práce je doplněna dlouhodobým měřením na dvou mostech. Měření jsou statisticky zpracována a porovnána s údaji normem či jinými zdroji.

Hodnocení účinků zeleně při snižování hluku ze silniční dopravy

Ing. Daniel Polič

Práce vychází z měření na jedenácti lokalitách, v níž se porovnávají hodnoty hluku naměřené v úsecích se zeleným pásem a na srovnatelných úsecích bez zeleně. Výsledkem je zjištění, že vliv vegetace na útlum hluku ze silniční dopravy nedosahuje účinnosti, která se obvykle předpokládá.

Vliv způsobu využití území na jeho retenční kapacitu

Ing. Kateřina Uhlířová

Dizertace se zabývá ověřováním dvou hydrologických modelů na experimentálním povodí Palečnice. Na základě výsledků proběhl výpočet odtokových poměrů pro různé scénáře využití území a pro návrh technických opatření v podobě suchých nádrží. Práce preferuje jeden ze zmíněných modelů pro využití v praxi.

Zjišťování vitality dřevin fyzikálními metodami

Ing. Karel Mach

Autor proměřil ultrazvukovou a elektrodiagnostickou metodou rozsáhlý soubor listnatých a jehličnatých stromů a výsledky statisticky vyhodnotil. Dospěl k názoru, že vhodnější pro zjišťování vitality dřevin je metoda ultrazvuková.

Combination of Remote Sensing Data Analysis Techniques for Thematic Mapping

Ing. Petr Junek

Práce se zaměřuje na tematické mapování pomocí dálkového průzkumu Země. Konkrétně se mapuje Čelekenský poloostrov se zaměřením na geologii. Výsledkem je geologická mapa poloostrova. Druhá část dizertace mapuje časové



PRAHA
aqua-therm
INTERNATIONAL

Aqua-therm
Praha 2009

24. – 28. listopadu 2009
Pražský veletržní areál Letňany

www.aquatherm.cz

STAVEBNÍ OBZOR

ROČNÍK 18 ČÍSLO 10/2009

Navigace v dokumentu

OBSAH

Štěpánek, P. – Girgle, F. Navrhování konstrukcí z betonů ultravysokých pevností	289
Gratza, R. – Kytýr, J. Vliv doby působení zatížení na stabilitu termoplastového dílce	296
Kucharczykova, B. a kol. Průběh smrštění betonů s pórovitým kamenivemí	302
Čejda, M. – Říha, J. Model vývoje průsakové cesty na přehradě Mostišťě	305
Nový, M. Statistická třídění ve stavebnictví	310
Rejstřík	I – V

OBSAH

Štěpánek, P. – Girgle, F.
**Navrhování konstrukcí
z betonů ultravysokých
pevností** 289

Gratza, R. – Kytýr, J.
**Vliv doby působení
zatížení na stabilitu
termoplastového
dílice** 296

Kucharczyková, B. a kol.
**Průběh smrštění
betonů s pórovitým
kamenivem** 302

Čejda, M. – Říha, J.
**Model
vývoje
průsakové
cesty
na přehradě
Mostiště** 305

Nový, M.
**Statistická třídění
ve stavebnictví** 305

Rejstřík I – V

CONTENT

Štěpánek, P. – Girgle, F.
**Design of Structures from
Concretes of Ultra-High
Strengths** 289

Gratza, R. – Kytýr, J.
**Effect of Time of Loading
Impact on Stability
of Thermoplastic
Structures** 296

Kucharczyková, B. et al.
**Shrinkage of Concrete
with Porous
Aggregate** 302

Čejda, M. – Říha, J.
**Model of Piping
Process and its
Application
to Mostiště
Embankment
Dam** 305

Nový, M.
**Statistics of Classification in
Construction Industry** ... 305

Register I – V

INHALT

Štěpánek, P. – Girgle, F.
**Entwurf von Bauteilen
aus ultrahochfesten
Betonen** 289

Gratza, R. – Kytýr, J.
**Der Einfluss der Einwirkungs-
zeit einer Belastung auf die
Stabilität eines Thermoplast-
Bauteils** 296

Kucharczyková, B. u. a.
**Verlauf des Schwindens
von Betonen mit porösem
Zuschlagstoff** 302

Čejda, M. – Říha, J.
**Ein Modell der Entwicklung
des bevorzugten Durchsicke-
rungswegs und seine
Anwendung auf eine
Beschädigung der Talsperre
Mostiště** 305

Nový, M.
**Statistische Klassifikation
im Bauwesen** 305

Register I – V

REDAKČNÍ RADA**Předseda:**

prof. Ing. Jiří STUDNIČKA, DrSc.

Místopředseda:

doc. Ing. Alois MATERNA, CSc., MBA

Členové:

doc. Ing. Jiří BROŽOVSKÝ, Ph.D.

prof. Ing. Milena CÍSLEROVÁ, CSc.

prof. Ing. Robert ČERNÝ, DrSc.

prof. Ing. Rostislav DROCHYTKA, CSc.

doc. Ing. Vladislav HORÁK, CSc.

prof. Ing. Milan JIRÁSEK, DrSc.

doc. Ing. Marcela KARMAŽINOVÁ, CSc.

doc. Ing. Jana KORYTÁROVÁ, Ph.D.

doc. Ing. Jan KRŇANSKÝ, CSc.

doc. Ing. Karel KUBEČKA, Ph.D.

prof. Ing. arch. Alois NOVÝ, CSc.

prof. Ing. Jiří POSPÍŠIL, CSc.

prof. Ing. Jaromír ŘÍHA, CSc.

prof. RNDr. Ing. Petr ŠTĚPÁNEK, CSc.

prof. Ing. arch. Petr URLICH, CSc.

Ing. Renata ZDAŘILOVÁ, Ph.D.

STAVEBNÍ OBZOR, odborný lektorovaný měsíčník, vydává Fakulta stavební ČVUT Praha společně s Fakultou stavební VUT Brno, Fakultou stavební VŠB TU Ostrava a Českou komorou autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě. Řídí redakční rada, vedoucí redaktorka Marcela Klímová. Adresa redakce: Thákurova 7, 166 29 Praha 6, kontaktní adresa: 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. Nevyžádané rukopisy se nevracejí.

INDEX 47 755, ISSN 1210-4027

Navrhování konstrukcí z betonů ultravysokých pevností

prof. RNDr. Ing. Petr ŠTĚPÁNEK, CSc.
Ing. František GIRGLE
VUT – Fakulta stavební
Brno

V posledních dvou dekádách dochází k prudkému rozvoji v technologii betonu. Běžně je dosahováno materiálových charakteristik, jež nebyly před několika desítkami let vůbec myslitelné. Jsou vyvíjeny ultravysokohodnotné betony, jejichž pevnost v tlaku dosahuje hodnot vyšších než 300 MPa. V kombinaci s vlákny, která zvyšují tahovou pevnost materiálu, je nyní možné navrhovat vylehčené a tenkostěnné prvky bez výztuže. Jsou popsány technologie používané v zahraničí, realizované stavby a historie vývoje vysokopevnostních betonů. Dále je uvedena studie vlivu pevnostních charakteristik základního materiálu na únosnost a dimenzování jednoduchého prefabrikovaného prvku, na němž je vidět přínos těchto materiálů.

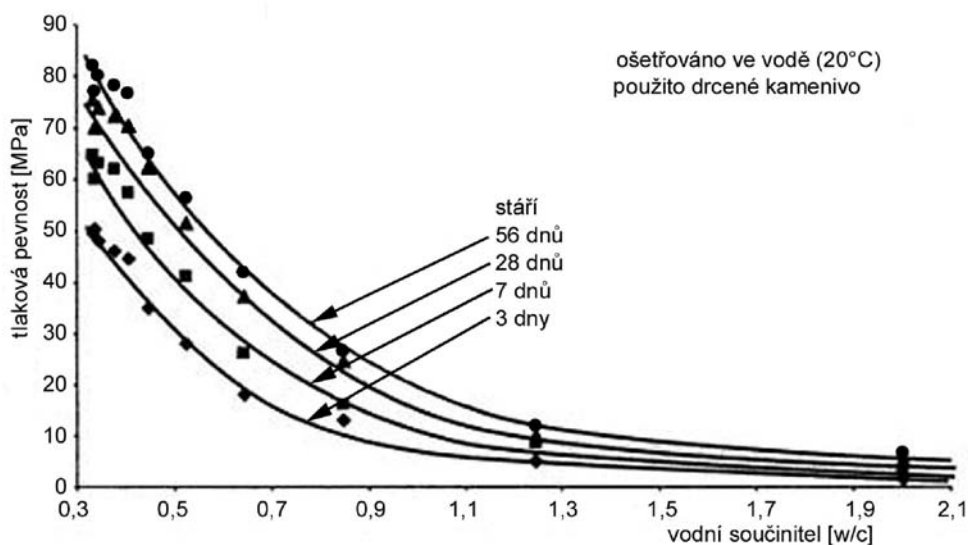
Úvod

Beton je stavební materiál hojně využívaný ve stavebnictví již od starověku. Ovšem prakticky dvě tisíciletí se používal v podobě, v jaké ho znali starověcí Římané. Zlom v navrhování betonových konstrukcí nastal v polovině devatenáctého století. Železobeton s přidanou výztuží v tažené oblasti

umožnil vytvářet prvky větších rozponů a částečně eliminoval problém s nízkou tahovou pevností betonu. Dalším působivým krokem ve vývoji betonových konstrukcí byl vynález předpjatého betonu, v němž předpínací výztuž dává předepnutým prvkům větší tahovou rezervu, a dovolí tak dále zvětšovat rozpětí navrhovaných prvků. Poslední revolucí v technologii betonu je počátek výroby vysokohodnotných (HPC) a ultravysokohodnotných betonů (UHPC), resp. UHPC vyztužených vlákny (UHPFRC), která umožňují návrh subtilních, elegantních, a přitom trvanlivých a ekonomicky rentabilních konstrukcí.

Historie vývoje

Do šedesátých let dvacátého století byly v podstatě všechny železobetonové stavby navrhovány z betonu tlakové pevnosti 15-20 MPa, který byl prověřený a ekonomický. Ze začátku byl nárůst pevnosti z dnešního hlediska nepatrný, ale natolik významný, že v průběhu jedné dekády došlo ke znásobení v tlaku třikrát až na hodnoty atakující 60 MPa [1]. Tato hranice je daná technologií výroby, při níž v té době používané plastifikátory na bázi lignosulfanu již nedokázaly účinně snížit vodní součinitel, který je pro dosažení betonů vyšších pevností spolu s malou pórovitostí klíčový [2], [3]. Závislost pevnosti na vodním součiniteli je uvedena na obr. 1.



Obr. 1. Závislost pevnosti na vodním součiniteli, cement 42,5 [2]

Zlom nastal na přelomu sedmdesátých a osmdesátých let, kdy se začaly používat cenově dostupné superplastifikátory na bázi naftalenu, jejichž velké dávky umožnily snížit vodní součinitel pod hranici 0,3. Tento poměr je pro zajištění dostatečné hydratace veškerého cementu v betonové směsi považován za minimální. Vodní součinitel klesal až k hodnotám 0,2, což mělo za následek, že cement nikdy zcela nezhydratoval a spolu s křemičitými úlety plnil roli vysoce pevného a jemného plniva, které snížilo pórovitost směsi, a přispělo tak ke zvýšení pevností betonu v tlaku až k 130 MPa [1]. Tyto betony se začaly označovat jako vysokohodnotné. Betony vysokých pevností jsou však křehčí než klasické (NSC – betony normálních pevností). Na začátku osmdesátých let tak začal vývoj jemnozrných betonů s velmi hutnou a stejnorodou cementovou maticí, která lépe odolávala vzniku mikrotrhlin uvnitř zatíženého prvku, a tím zlepšila tahovou pevnost betonů při dosažení velmi vysokých pevností v tlaku [4], [5]. Pro tento materiál se vžilo označení ultravysokohodnotný beton (UHPC). Vývoj vysokohodnotných betonů prošel těmito etapami:

➤ **DSP (Densified System With Small Particles)** [3], [5]

Vyšší pevnosti se dosahuje snížením celkové poróznosti výsledného kompozitu kombinací mikrosiliky a nízkého vodního součinitele. Je poukázáno na skutečnost, že nejslabším článkem těchto směsí může být kamenivo. Systém vyrábí s pevností v tlaku 150-200 MPa dánská firma Aalborg Cement pod obchodním názvem DENSIT® (využití pro přímo pojižděné vrstvy vozovek, průmyslové podlahy atd.).

➤ **MDF (Makro-Defect Free)** [1], [6]

Organicko-cementové kompozity jsou složeny z organických polymerů (PVA – polyvinylalkoholu), hlinitanového cementu a kalcinovaného bauxitu jako kameniva. Polyvinylalkohol z počátku slouží jako účinný dispergující prostředek, poté jako reaktivní pojivo. Vzniká matrice obsahující jak keramickou, tak organickou složku. Tyto kompozity na bázi cementu dosahovaly v laboratorních podmínkách impozantních pevností v tahu za ohybu, ovšem problémem byla velice obtížná příprava směsi, a tedy i limitované použití.

➤ **HPC (High Performance Concrete)** [1]

Směsi s pevností v tlaku 60-150 MPa a vodním součinitelem 0,2-0,3, který zajišťují vysoké dávky superplastifikátorů, se vyznačují vysokou zpracovatelností a trvanlivostí. Jde však o křehký materiál, který je méně houževnatý než NSC.

➤ **RPC (Reactive Powder Concrete)** [1], [4], [7], [10]

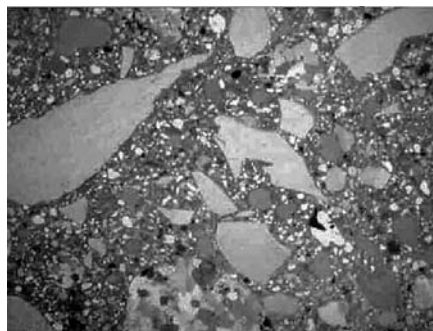
Beton ultravysokých pevností (vyšších než 150 MPa v tlaku) na bázi jemnozrných složek navazuje na technologii DSP a je základem moderních UHPC. Komerčně dostupný je například DUCTAL®, CERACEM®, CEMTEC®.

Technologie, složení, materiálové charakteristiky

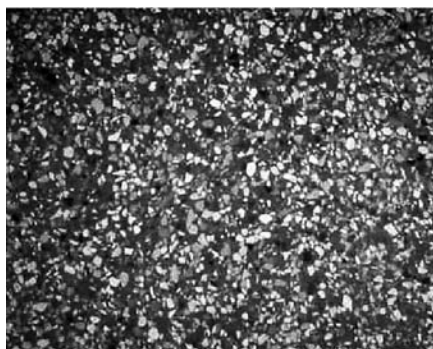
Betony ultravysokých pevností jsou novým typem materiálu, jehož základem je cementová matrice s charakteristickou tlakovou pevností vyšší než 150 MPa. V současné době lze u tohoto materiálu dosahovat pevnosti v tlaku až 300 MPa [4]. Třebaže tento kompozit nazýváme betonem, jde spíše o "studenou keramiku" [1] s maximálními zrnky kameniva v řádu 1-2 mm a extrémně hutnou strukturou (obr. 2). Těchto

vlastností je dosaženo uplatněním následujících technologií [7]:

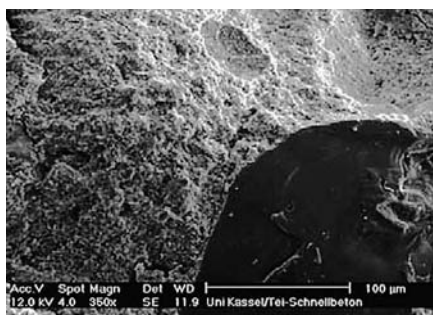
- je použito více jemnozrných složek směsi maximální velikosti 300 μm , které snižují pórovitost výsledného kompozitu;
- zvýšení hustoty uspořádání částic v systému optimalizovanou granulometrií částic a díky velmi nízkému vodnímu součiniteli;
- kvalitní ošetřování čerstvého betonu vede ke zmírnění vlivu chemického smrštění cementu;
- zlepšení houževnatosti materiálu a zvýšení jeho tahové pevnosti vložení rozptýlené výtuzže ocelovými, případně polymerovými mikrovláknky.



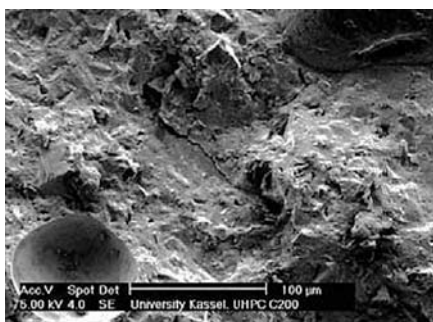
a)



b)



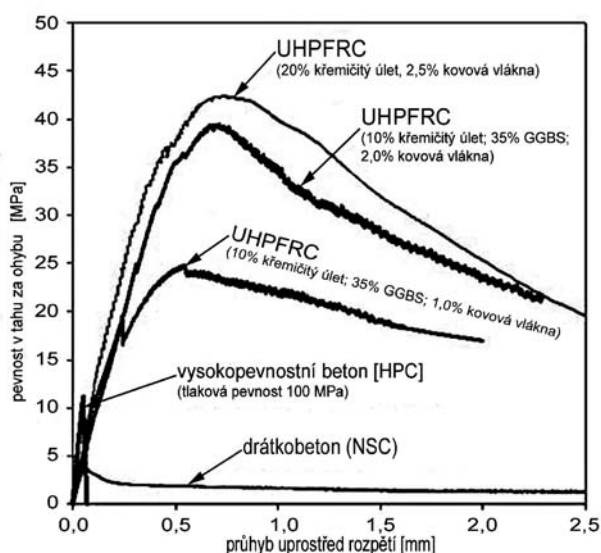
c)



d)

Obr. 2. Struktura betonu
a – normální pevnost (skutečná velikost) [11], b – UHPC [11] (zvětšeno 2x), c – HPC 100 μm [4], d – UHPC 100 μm [4]

V porovnání s betony NSC, které obsahují zpravidla čtyři základní složky (cement/pojivo, kamenivo/plnivo, vodu a příměsi), betony HPC pak s pěti základními složkami směsí (cement, kamenivo, reaktivní plnivo, voda a příměsi), má UHPC šest, a nebo dokonce i více složek (cement, další pojivo, filler/křemičitý úlet, jemné kamenivo, ocelová nebo syntetická vlákna a příměsi). Toto složení při dodržení optimalizované granulometrie dává mnohem hutnější strukturu, a tím i menší náchylnost ke vzniku mikrotrhlin. Tu zlepšují i rozptýlená ocelová vlákna (hmotnostní obsah nejčastěji 1-4 %, ovšem vyskytlo se i dávkování 12 %), čímž se zlepšují i tahové vlastnosti materiálu a únosnost prvku při ohybu. Tyto betony jsou někdy označovány jako UHPFRC. Velmi často jsou proto prvky vyráběné z UHPFRC navrhovány bez dodatečné vázané (nepředepnuté) výztuže. Vliv rozptýlené výztuže na tahovou únosnost prvku je patrný z obr. 3, v němž hodnoty v procentech udávají podíl z celkového objemu záměsi.



Obr. 3. Závislost napětí v ohybu na průhybu vzorku pro různé druhy betonů [13]
(GGBS – mletá granulovaná vysokopecná struska)

Vodní součinitel se v těchto betonech pohybuje v rozmezí 0,15-0,20 při velkých dávkách portlandského cementu ($700-1\ 000\ \text{kg m}^{-3}$). Značné je taktéž použití křemičitých úletů, které se dávkuje mezi 20-30 % hmotnosti cementu [11]. Důležitá je i velikost a průměr ocelových vláken – nejčastěji se používají vlákna délky 12-20 mm jmenovitého průměru 0,2 mm. Výsledná směs musí být velmi dobře zpracovatelná. Tato vlastnost ovlivňuje výrazně cenu výsledné konstrukce a čas potřebný k uložení betonové směsi do bednění. Typické složení záměsi UHPC je uvedeno v tab. 1, očekávané materiálové charakteristiky výsledného kompozitu pak v tab. 2.

Tab. 1. Typické složení záměsi UHPC [16]

Složení záměsi	Hmotnost [kgm^{-3}]	Podíl z celk. hm. [%]
portlandský cement	712,0	28,5
jemný písek	1020,0	40,8
křemičitý úlet	231,0	9,3
mletá struska	211,0	8,4
superplastifikátor	30,7	1,2
zpomalovače tuhnutí	30,0	1,2
kovová vlákna	156,0	6,2
voda	109,0	4,4

Tab. 2. Předpokládané materiálové charakteristiky pro záměs z tab. 1 [16] (rozmrazovací cykly – údaj pro 300 opakování)

Materiálové charakteristiky	Rozsah
tlaková pevnost [MPa]	180,0 - 225,0
modul pružnosti [GPa]	55,0 - 58,5
pevnost v tahu za ohybu [MPa]	40,0 - 50,0
pronikání chloridových iontů [m^2/s]	$1,9 \times 10^{-14}$
odolnost proti změnám teploty	100%
vznik solných výkvětů [kg/m^2]	<0,012
obsah vzduchu	2 - 4%
objemová hmotnost [kg/m^3]	2,440 - 2,550

Samostatným typem jsou silně vyztužené betony HR-UHPC [3], [12], ve kterých je kombinován vysoký stupeň vyztužení klasickou nepředepjatou výztuží a výborné vlastnosti UHPC. Takto vzniklý převyztužený kompozit může dosahovat pevnosti v tlaku atakující hranici 400 MPa a v tahu za ohybu podle stupně vyztužení 100-300 MPa [12].

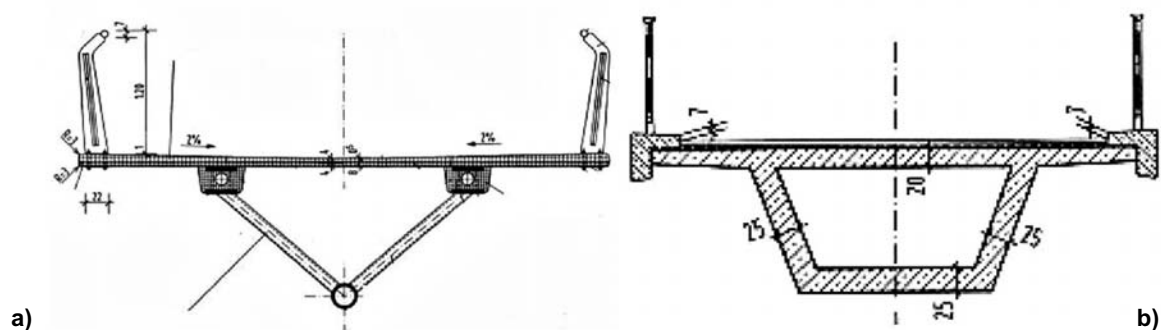
Příklady aplikací

Z kompozitů ultravysoké pevnosti byly v posledních letech po celém světě realizovány desítky významných konstrukcí, například:

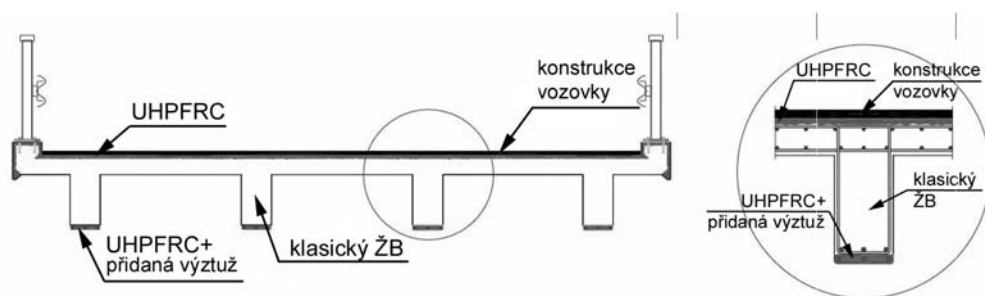
- lávka pro pěší (první konstrukce z UHPC), Sherbrook, Kanada, 1997 [7];
- mostní konstrukce nadjezdu v Bourg-lés-Valence, Francie, 2001 [11];
- lávka pro pěší, Soul, Jižní Korea, 2002 [7];
- lávka pro pěší pře řeku Fulda (obr. 4, obr. 5), Kassel, Německo, 2004 [8];
- zastřešení mýtní stanice viaduktu Milau, Francie, 2005 [11].



Obr. 4. Lávka pro pěší přes řeku Fulda, Kassel, Německo, 2004 [8]



Obr. 5. Lávka přes řeku Fulda – alternativy provedení typického řezu [8]
a – UHPC, b – běžný beton



Obr. 6. Příklad sanace železobetonového mostu tenkou vrstvou UHPC [14]

Výrobky z UHPC se používají i v aplikacích mimo stavební průmysl. Jde například o bezpečnostní prvky, které se vyznačují vysokým odporem proti proražení a značnou požární odolností. V porovnání s ocelí, která se v těchto aplikacích běžně používá, vycházejí betonové konstrukce ekonomičtěji. Důvodem je například nižší objemová hmotnost betonu a nižší výsledná hmotnost prvku, čímž se snižují náklady na jeho zabudování [9].

Vysokohodnotné betony lze používat i pro sanace a zesilování stávajících železobetonových konstrukcí [14]. Například je staticky účinné nadbetonovat tenkou deskou z UHPC, která bude spřažena se stávající konstrukcí, čímž se zajistí zvýšení únosnosti sanovaného prvku (obr. 6), či poškozené pylony mostu opatřit tenkou vrstvou vysokohodnotného kompozitu, a tím ho nejen sanovat před účinky agresivního prostředí, ale zároveň zesílit.

Vliv tahové pevnosti na únosnost prvku

Předpoklady výpočtu

Při návrhu a posouzení průřezu z vysokopevnostních materiálů (HPC, UHPC, Ferrocement apod.) lze vycházet ze dvou základních přístupů. V prvním je k výpočtu přistupo-

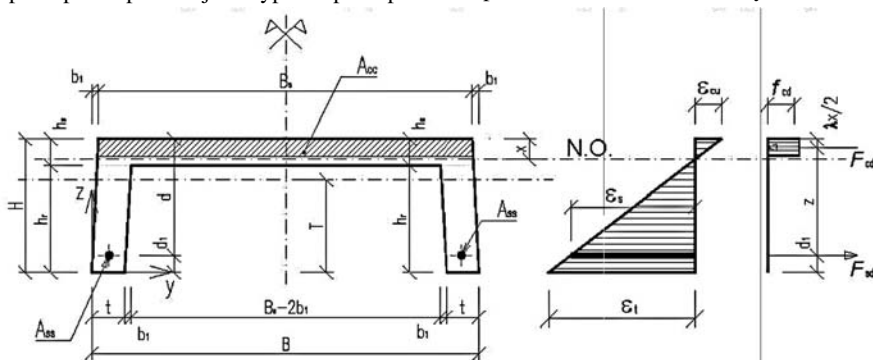
váno s přihlédnutím k plastickému působení dílčích materiálů (vložené výztuži, betonu) s vyloučením působícího betonu v tahu, ve druhém je pak uvažován lineární (nelineární) průběh napětí po průřezu s využitím tahových vlastností základní matrice.

Metoda dílčích součinitelů (plastický výpočet)

Způsob výpočtu vychází z platných normativních předpisů [17]. Únosnost je determinována plným využitím matrice v tlaku f_{ck} a vložené výztuže v tahu f_{yk} , s únosností matrice v tahu se neuvažuje. Rozložení sil a předpokládaný průběh přetvoření po průřezu je patrný z obr. 7.

Výpočet s využitím betonu v tahu (pružný výpočet)

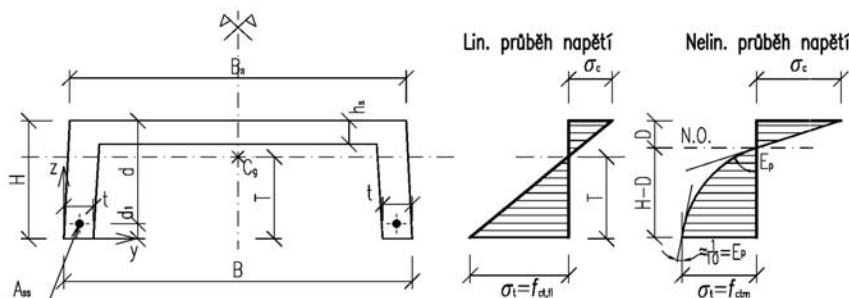
Při výpočtu momentu na mezi únosnosti byly uvažovány dvě možnosti působení základní matrice. V prvním případě je předpokládán lineární průběh napětí po průřezu, kdy je vyčerpána únosnost dosažením napětí v tahu za ohybu $f_{ct}f_l$ v krajních vlákních. Ve druhém je pak uvažováno částečné zplastizování matrice v tažených vlákních a náhrada průbě-



Obr. 7. Průběh přetvoření a silové působení po průřezu při plastickém chování

hu napětí po průřezu parabolou 3° s omezením napětí v krajních vláknech na hodnotu napětí v prostém tahu f_{ctm} . Při uvažovaném spolupůsobení výztuže je betonový průřez nahrazen průřezem ideálním. Průběh napětí a přetvoření po výšce průřezu je znázorněn na obr. 8.

napětí. Materiálové charakteristiky jsou voleny s respektováním závislosti mezi tahovou a tlakovou pevností základního materiálu, kdy nárůst o 1 MPa v tahu odpovídá zvýšení tlakové pevnosti o cca 6 MPa. Vypočtený průběh napětí po průřezu je uveden na obr. 10.

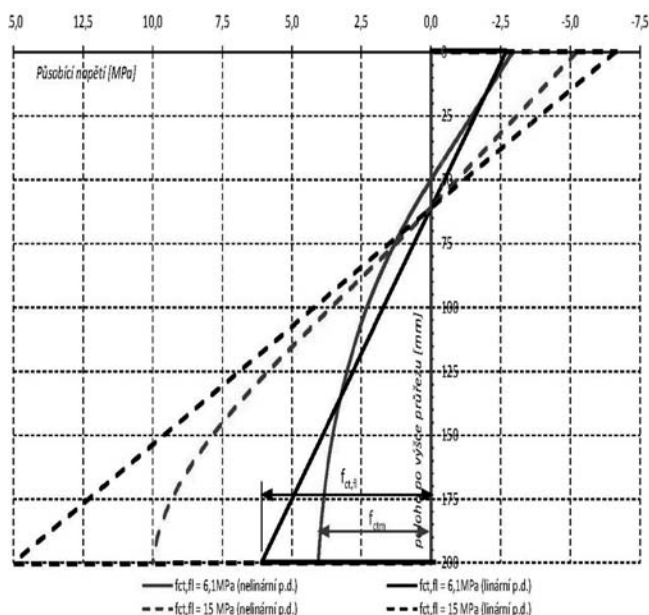


Obr. 8. Průběh přetvoření a napětí po výšce průřezu (lineární/nelineární působení v tahu)

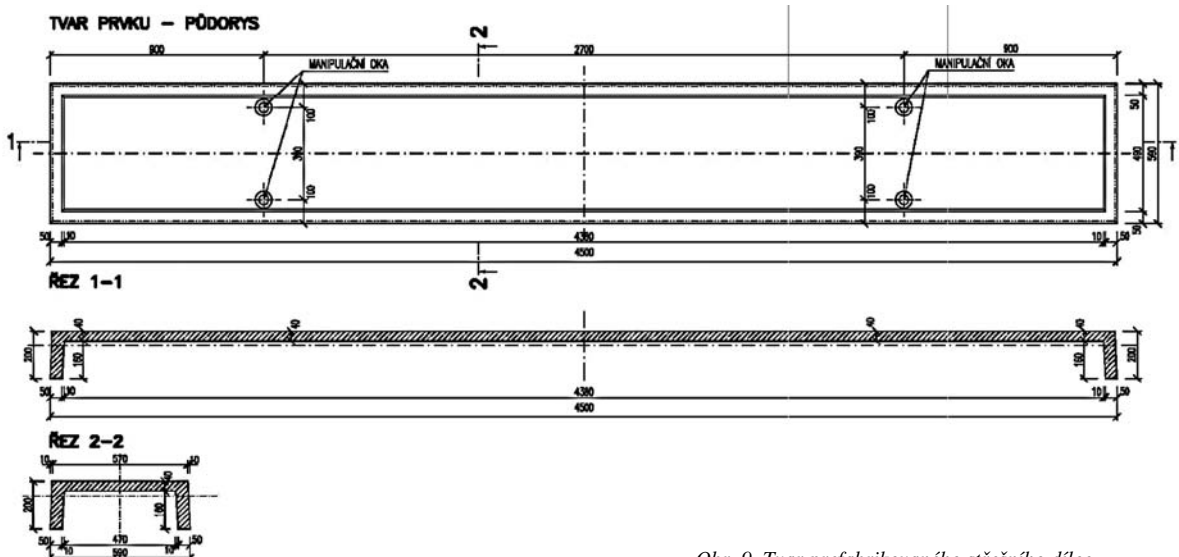
Zatížitelnost prefabrikovaného prvku

Tvar dílce vychází z možného využití prefabrikovaného prvku pro vodorovnou stropní (střešní) konstrukci. Rozměry jsou patrné z obr. 9. Základní půdorysné rozměry jsou navrženy 4 500x590 mm. Obdélníkový střešní dílec má v řezu tvar písmene U, přičemž horní deska tl. 40 mm je ztužena obvodovými žebry tl. 50 mm, celková výška včetně ztužujících žebek je 200 mm. Prvek byl vyztužen při dolním povrchu v každém žebru vždy jedním prutem Ø 14 mm, v horní desce potom dalšími třemi pruty stejného průměru.

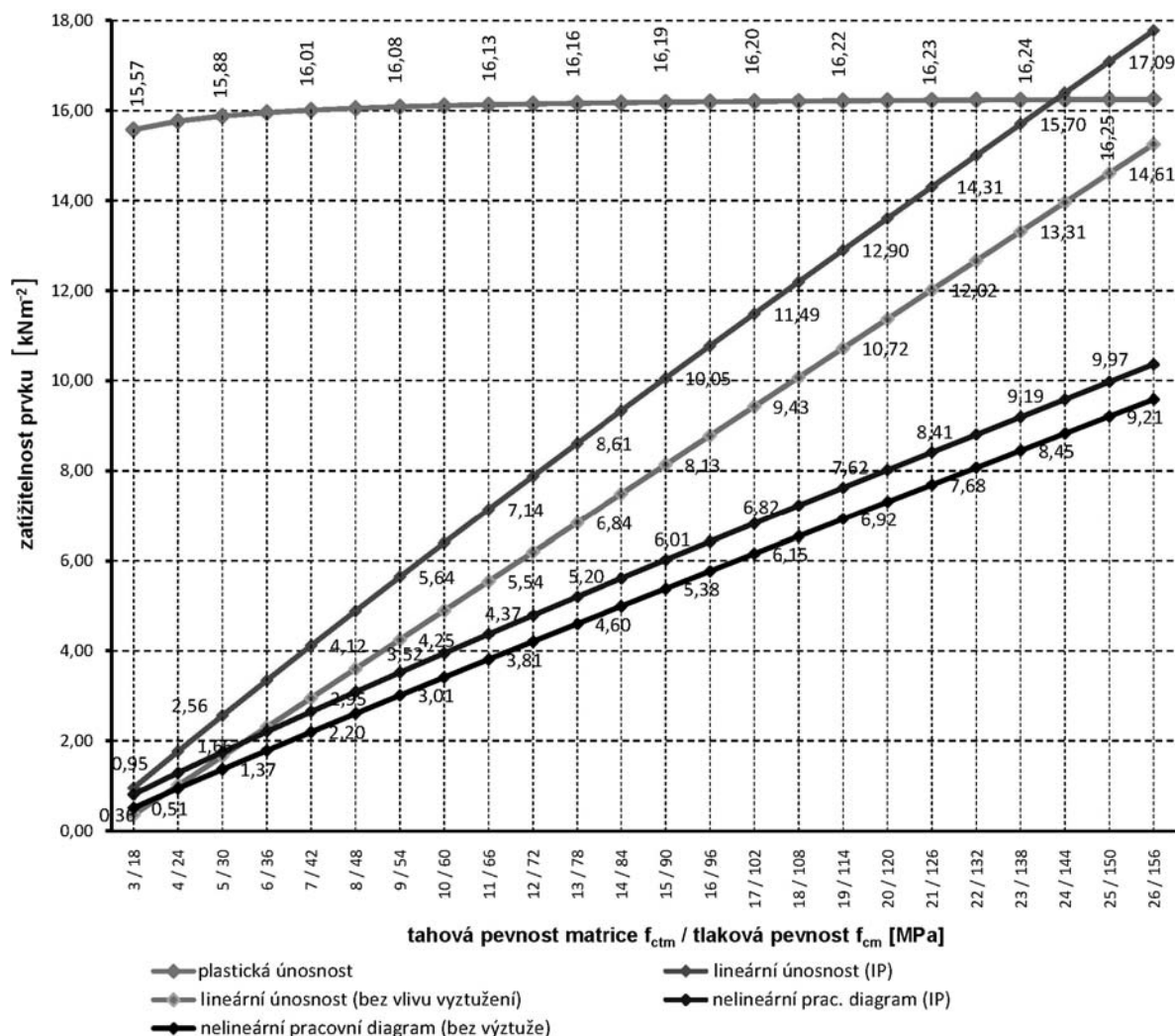
Výsledek studie vlivu pevnosti v tahu matrice na únosnost daného dílce je patrný z obr. 11. Je vidět, že při dosažení pevnosti matrice v tahu za ohybu kolem 20 MPa již není výstižné počítat únosnost dílce metodou mezních přetvoření, při které je mezní stav určen dosažením mezního přetvoření v jednotlivých materiálech. Vyšší a také reálnější únosnost dává výpočet za předpokladu lineárního průběhu napětí po výšce průřezu. Zpracován byl i vliv nelineárního chování matrice v tahu (průběh napětí v tažené oblasti aproximuje parabola 3°), ovšem vzhledem k nízkým modulům pružnosti základní matrice a předpokladu porušení při dosažení v krajních vláknech napětí v prostém tahu f_{ctm} , se kterými bylo ve výpočtu uvažováno, vychází vyhodnocení tohoto působení materiálu nepřiznivěji než únosnost získaná z lineárního průběhu



Obr. 10. Průběh přetvoření po průřezu pro různou tahovou pevnost matrice



Obr. 9. Tvar prefabrikovaného střešního dílce



Obr. 11. Závislost únosnosti na tahové pevnosti matrice

Závěr

V posledních letech se možnosti použití UHPC rychle mění. Existují již návrhové postupy a doporučení (Francie [15], Německo, Japonsko) umožňující využít tento progresivní materiál pro navrhování stavebních konstrukcí. Rychlý rozvoj nanotechnologií umožňuje vyrábět stále účinnější superplastifikátory, které spolu s novými znalostmi v oblasti návrhu složení vysokopevnostních betonů umožní vyrábět kvalitní UHPC z lokálně dostupných materiálů. Lze tak realizovat moderní stavby, které jsou subtilní, elegantní, a přitom trvanlivé a ekonomicky příznivé.

Nové druhy tenkostěnných prvků dokáží využít vlastnosti UHPC. S tím souvisí i nalezení nových oblastí, kde se uplatní především:

- menší objem ukládané směsi a nižší množství (případně i nulové) staticky nutné výtuzže;
- menší plocha bednicích prvků;
- malá vlastní tíha, tzn. prvek zbytečně nevyčerpává svou únosnost na přenesení vlastní tíhy, a tím ve výsledku opět klesne cena konstrukce;
- použití UHPC umožňuje prefabrikaci větších částí staveb, a tím snížení nákladů na dopravu a montáž;
- předepnuté prvky nemusí být vyztužovány nenapjatou betonářskou výtuzží ani v kotevních oblastech.

Jak je z provedené studie vlivu tahové pevnosti matrice na únosnost prvku patrné, u betonů ultravysokých pevností se již vyplatí konstrukci navrhovat bez přidání nepředpjaté výtuzže, protože již nemá ze statického hlediska v průřezu podstatný význam. Je nutné ovšem stanovit, jak vysoká tahová pevnost matrice, uvažovaná ve výpočtu, je bezpečná tak, aby byla zaručena dostatečná spolehlivost prvku, resp. konstrukce. Přitom kvalita přípravy směsi, její ukládání i ošetřování má dominantní vliv na výsledné fyzikálně mechanické vlastnosti matrice. Jinými slovy jde o to, jaký zvolit dílčí součinitel spolehlivosti materiálu a vhodný návrhový diagram pro pevnosti UHPC v tahu a tlaku.

Příspěvek vznikl v rámci práce na projektech č. 103/07/0400 GA ČR „Optimalizace vylehčených desek z vysokohodnotných cementových kompozitů vyztužených vlákny“ a FI IM 5/136 „Vláknocementové kompozity s nekovovou výtuzží RFCC“. Při případném vyztužování lze účelně aplikovat i materiály a technologie, které byly vyvinuty na FAST VUT v Brně v rámci řešení projektu 1H-PK2/57 MPO ČR „Trvanlivé betonové konstrukce nové generace se zvýšenou odolností vůči agresivním vlivům“.

Literatura

- [1] Aitcin, P. C.: Vysokohodnotný beton (High-Performance Concrete). Praha, ČBS/ČKAIT, 2005. /ISBN 80-86769-39-9/
- [2] Illston, J. M. – Domone, P. L. J.: Construction Materials: Their Nature and Behaviour. Taylor & Francis 2001. /ISBN 0-419-15470-1/
- [3] Buitelaar, P.: UHPC – Developments and Applications During 25 Years. In: International Symposium on UHPC, Kassel, 2004; www.ferroplan.com; www.uni-kassel.de. /ISBN: 3-89958-086-9/
- [4] Schmidt, M. – Fehling, E.: Ultra-High-Performance Concrete: Research, Development and Application in Europe; UHPC – 10 years of Research and Rdevelopment at the University of Kassel, 2005. /ISBN: 3-89958-086-9/
- [5] Bache, H. H.: Densified Cement Ultra Fine Particle Based Materiále. In: Second International Conference on Superplasticizers in Concrete, Ottawa, 1981.
- [6] Birchall, J. D. – Kelly, A.: New Inorganic Materiále. Scientific American, Vol. 248, 1983.
- [7] Acker, P. – Behloul, B.: Ductal Technology: A Large Spectrum of Properties, A Wide Range of Applications. Lafarge, Paris, 2004.
- [8] Schmidt, M. – Teichmann, T.: Ultra-High-Performance Concrete: Basis for Sustainable Structures. CESB 07 Prague Konference, 2007.
- [9] Khurana, R. – Magarotto, R. – Moro, S.: User Friendly Ultra High Performance Concrete. Al Wataniya Concrete Co., 2006; www.watancon.com
- [10] Rossi, P. – Parant, É. – Laurence, O. – Fakri, P.: Mechanical Behavior of a New Cementitious Composite with Stress-Hardening – Part I.: Bending Behavior. Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées, Vol. 238, 2002; www.lcpc.fr
- [11] Resplendino, J.: Les Bétons Fibrés Ultra Performants – Perspectives offertes vis-à-vis de la pérennité et la maintenance des ouvrages; Toulouse, 2006; www.piles.setra.equipement.gouv.fr
- [12] Buitelaar, P.: Heavy Reinforced Ultra-High Performance Concrete. In: International Symposium on UHPC, Kassel, 2004; www.ferroplan.com; www.uni-kassel.de /ISBN: 3-89958-086-9/
- [13] Le, T. T. – Soutsos, M. N. – Millard, S. G.: Ultra-High Performance Fiber Reinforced Concrete. University of Liverpool, 2007; http://pcwww.liv.ac.uk
- [14] Wuest, J.: Structural Behaviour of Reinforced Concrete Elements Improved by Layers of Ultra High Performance Reinforced Concrete. In: 6th International PhD Symposium in Civil Engineering, Zurich, 2006; http://e-collection.ethbib.ethz.ch/view/eth:29055
- [15] AFGC/SETRA: Ultra High Performance Fibre-Reinforced Concretes. Interim Recommendations, January 2002; www.afgc.asso.fr
- [16] U. S. Department of Transportation, Federal Highway Administration: Material Property Characterization of Ultra-High Performance Concrete; August 2006; FHWA-HRT-06-103.
- [17] ČSN EN 1992-1-1 (73 1201) Navrhování betonových konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- [18] Podklady o experimentech FSv ČVUT Praha (prof. P. Hájek), 05/2009.

Štěpánek, P. – Girgle, F.: Design of Structures from Concretes of Ultra-High Strengths

Technology of concrete has undergone dramatic progress in the last two decades. Material characteristics totally unthinkable a few decades ago are ordinarily achieved. Ultra-high quality concretes, whose compressive strength exceeds values of 300 MPa, are being developed. Using combinations with fibres which raise material tensile strength, light and thin-walled elements without reinforcement can be designed now. This article describes technologies used abroad, completed constructions and history of development of high-strength concrete. Further, it presents a study of strength characteristics of the basic material on the load-bearing capacity and dimensioning of a simple prefabricated element, on which the benefit of such materials becomes visible.

Štěpánek, P. – Girgle, F.: Entwurf von Bauteilen aus ultrahochfesten Betonen

In den letzten zwei Jahrzehnten kommt es zu einer rasanten Entwicklung in der Betontechnologie. Es werden gewöhnlich Materialcharakteristiken erzielt, die vor einigen Jahrzehnten überhaupt nicht denkbar waren. Es werden ultrahochwertige Betone entwickelt, deren Druckfestigkeit Werte über 300 MPa erreicht. In Kombination mit Fasern, die die Zugfestigkeit des Materials erhöhen, ist es jetzt möglich, leichte und dünnwandige Elemente ohne Bewehrung zu entwerfen. Es werden im Ausland angewandte Technologien, ausgeführte Bauwerke und die Entwicklungsgeschichte der hochfesten Betone beschrieben. Des Weiteren wird eine Studie des Einflusses der Festigkeitscharakteristiken des Grundmaterials auf die Tragfähigkeit und Bemessung eines einfachen vorgefertigten Elements angeführt, an dem der Beitrag dieser Materialien zu sehen ist.

**DACH+HOLZ International**

24. – 27. února 2010

Kolín nad Rýnem

Výstava DACH+HOLZ International se konala poprvé v březnu 2008 ve Stuttgartu jako společné setkání odborníků z oboru pokrývačů a tesařů. V turnusech se koná každé dva roky a místo konání se střídá mezi lokalitami na jihu a na severu.

www.dach-holz.de

Vliv doby působení zatížení na stabilitu termoplastového dílce

Ing. Roman GRATZA, Ph.D.

Ing. Jiří KYTÝR, CSc.

VUT – Fakulta stavební
Brno

V praxi se často ukazuje, že rozhodujícím aspektem při navrhování a posuzování termoplastových konstrukcí, zvláště nádrží, je ztráta stability. V příspěvku je řešen časový vývoj ztráty stability termoplastového dílce z polyvinylidenfluoridu. Prokázalo se, že ve výpočtech je nutné uvažovat reologické chování, pro daný materiál nejvhodněji pomocí vazkopružného materiálového modelu aproximovaného pomocí Pronyho řady. Úloha byla řešena programovým systémem ANSYS.

Úvod

Mezi odborníky často panují pochybnosti o správné funkčnosti termoplastových konstrukcí během celé zaručené doby jejich životnosti. Praxe potvrzuje, že termoplasty jsou vhodné pro konstrukce přiměřeně zatěžované a používané za určitých podmínek. Podstatným faktorem při návrhu konstrukce je však obvykle snaha o dosažení minimální ceny. Z hlediska provozu plastových konstrukcí se pak ukazuje, že je často podhodnocen vliv změny teploty a doby působení zatížení buď v důsledku neznalosti chování materiálu, nebo často při záměrném použití méně kvalitních materiálů či menších dimenzí výrobku pro snížení ceny.

Motivací pro řešení uvedeného problému je předpovídat či určovat dobu, kdy nastane ztráta stability části nebo celé

konstrukce. Proto je nutné respektovat fyzikálně chemické vlastnosti termoplastových materiálů, zejména v závislosti na úrovni napětí, změně teploty a vývoji v čase. Výběr výpočtového modelu, vystihujícího chování materiálu, a volba vhodných výpočtových metod jsou stěžejní pro získání kvalifikovaných výsledků, které by se co nejvíce přiblížily skutečnému chování konstrukce a byly vhodné pro bezpečný návrh.

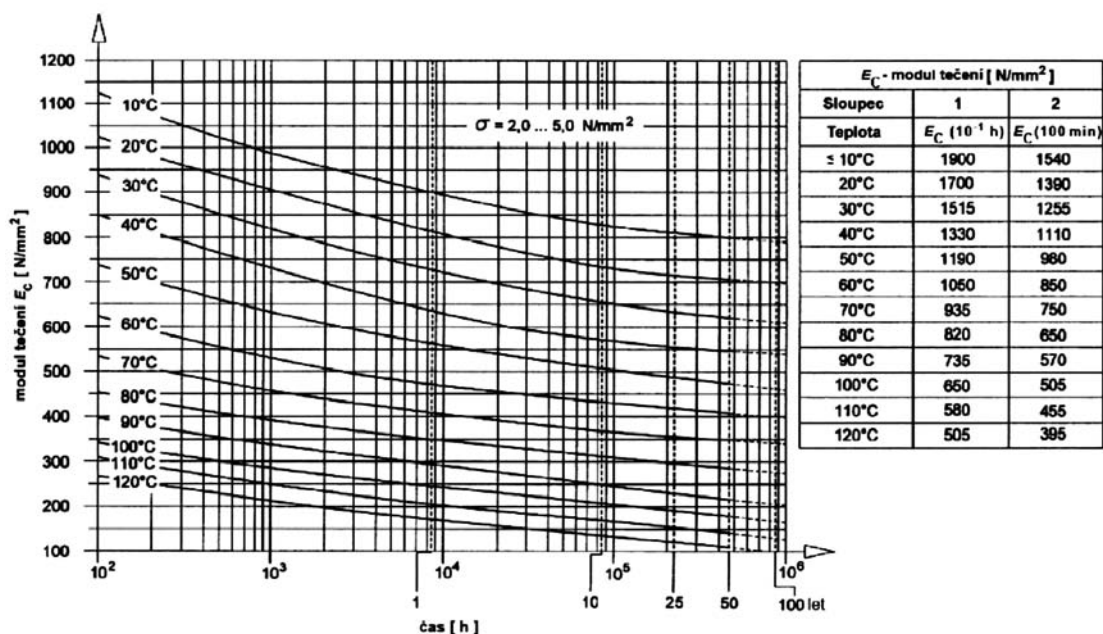
Materiálové charakteristiky

V článku se dále uvažují některé mechanické vlastnosti termoplastů, a to izotropní či anizotropní chování materiálu, modul tečení, Poissonův součinitel a mez pevnosti v čase.

Izotropii či anizotropii materiálu ovlivňuje technologie výroby, druh materiálu, případně další faktory. Polymery lze často uvažovat jako izotropní v případech, kdy jsou homogenní, neplněné, nebo plněné s prostorově neuspořádaným plnivem a chovají se v makroskopickém měřítku relativně izotropně.

Modul tečení v tahu není často totožný s modulem tečení v tlaku. Tuto vlastnost ve více či méně zřetelně podobě mají všechny plasty. U některých termoplastů je však tento rozdíl menší, a proto při technických výpočtech může být zanedbán. Pak lze pro materiál uvažovat pouze dvě základní veličiny, a to modul tečení a Poissonův součinitel.

Modul tečení, získaný z jednoduché smluvní krátkodobé tahové zkoušky při dané rychlosti zatěžování [3], není vhodné používat pro výpočty stavu deformace a napjatosti termoplastových výrobků či konstrukcí pro dlouhodobé užívání,



Obr. 1. Závislost sečného modulu tečení E_c na napětí, teplotě a čase

protože při různých deformačních rychlostech se různě mění mez kluzu, mez pevnosti i samotný modul tečení. Se snižující se rychlostí poměrného přetvoření se snižuje napětí na mezi kluzu i napětí na mezi pevnosti, avšak poměrné přetvoření pro příslušnou mez kluzu či mez pevnosti vzrůstá, což vede ke snížení hodnot modulů tečení.

U termoplastů je modul tečení často uvažován jako sečný modul tečení E_C [4], [5], který je pro danou teplotu v určitém okamžiku dán podílem mezi určitou úrovní napětí a celkovým poměrným přetvořením. Sečný modul tečení obecně závisí na úrovni napětí, na poměrném přetvoření, čase, teplotě i na okolním prostředí (např. na náplni nádrže s jistým chemickým složením). Závislost sečného modulu tečení E_C na napětí, teplotě a čase pro polyvinylidenfluorid (PVDF) je uvedena na obr. 1, v související tabulce jsou krátkodobé hodnoty sečného modulu.

Pro stanovení reologického chování materiálu na poměrném přetvoření, napětí, čase a teplotě se používají dva postupy. Prvním se sleduje změna poměrného přetvoření v čase při konstantním napětí a konstantní teplotě (zkoušky tečení), druhým pak změna napětí v čase při konstantním poměrném přetvoření a teplotě (zkoušky relaxace napětí). Pro většinu plastů přitom platí, že sečný modul tečení E_C se přibližně rovná relaxačnímu modulu E_R , případně bývá větší [11].

Hodnoty sečných modulů tečení E_C termoplastů se nejčastěji získávají z dlouhodobých tahových a ohybových zkoušek podle norem [4], [5]. Realizují se rovněž tlakové zkoušky pro získání sečného modulu tečení, které poskytují hodnoty o něco vyšší než z tahových a ohybových zkoušek [14].

Pro některé termoplastové materiály jsou hodnoty sečných modulů tečení E_C uvedeny ve směrnici [8] z tahových zkoušek a v normě [6] z tříbodových ohybových zkoušek. Tahová zkouška má jednodušší způsob realizace a lépe se vyhodnocuje. Ohybová zkouška umožňuje postihnout tahové i tlakové namáhání, ale v hodnotách sečných modulů tečení se může projevit vliv nestejnomybného stárnutí materiálu a vliv plastického chování, zejména při vyšších hodnotách působícího napětí. Vzhledem k finanční náročnosti zkoušek se získané hodnoty materiálových charakteristik často extrapolují; např. hodnoty v řádu 10^3 až 10^4 hodin se extrapolují až o dva řády dále, tzn. lze odhadovat s přijatelnou přesností chování v řádu desítek let. Volba hodnot sečných modulů tečení přitom navíc úzce souvisí se způsobem namáhání konstrukce, volbou materiálového modelu apod.

Poissonův součinitel ν se u většiny termoplastů při normální teplotě pohybuje v rozmezí 0,3-0,4. U všech termoplastů se zvětšuje s růstem teploty a v oblasti měknutí termoplastů se blíží 0,5 [12]. Rovněž se zvětšuje s velikostí a dobou působení mechanického namáhání. U tvrdých termoplastů, zejména obsahujících minerální plniva, se hodnoty Poissonova součinitele pohybují mezi 0,2-0,3.

U homogenních termoplastů v obecném případě je pevnost v tlaku v závislosti na čase, pokud neuvažujeme stabilitu, obvykle vyšší než pevnost v tahu. Proto se většinou provádějí jen tahové zkoušky a předpokládá se stejná pevnost v tahu i v tlaku [10].

Křivkami tečení do lomu se v [6] a [8] uvádí pevnost v závislosti na čase a na teplotě. Pevnost materiálu je rovněž velmi závislá na vlivu působícího prostředí, UV záření, technologii výroby apod. [10]. Křivky tečení do lomu se získávají z dlouhodobých zkoušek při víceosé napjatosti, které se podle [7] realizují v plastových potrubích při stálém vnitřním tlaku. Získané údaje představují dolní hodnoty meze pevnosti v čase s určenou pravděpodobností 97,5 %. Pro tyto

závislosti jsou k dispozici grafy [6], [8] nebo i rovnice, např. ve tvaru

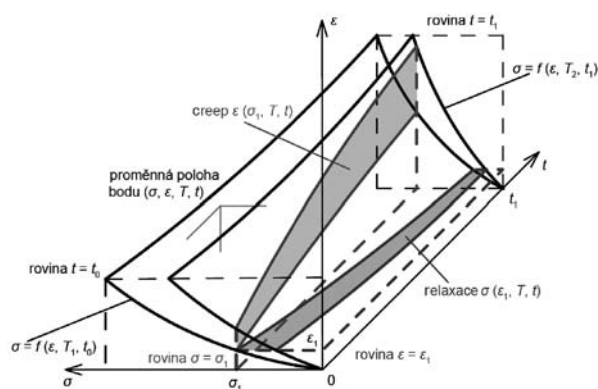
$$\log t = A + B \frac{\log \sigma}{T} + \frac{C}{T} + D \log \sigma, \quad (1)$$

kde t je čas (např. předpokládaná životnost), σ mez pevnosti, T teplota, A až D koeficienty získané experimentálními zkouškami.

Reologické chování

S rychlostí zatěžování a odtěžování konstrukce i s délkou času, pro něž je zatížení konstantní, úzce souvisejí dva reologické jevy (obr. 2), a to relaxace a tečení (creep). V termoplastových materiálech mohou oba jevy probíhat současně podle více či méně složitých konstitutivních vztahů [9], které lze do jisté míry vyjádřit jako proměnnou plochu $F(\sigma, \epsilon, T, t)$ závislou na napětí σ , poměrném přetvoření ϵ , teplotě T a čase t .

Protože se v každém místě zatěžované konstrukce obecně liší napětí, teplota i další vlivy, např. koncentrace působícího okolního prostředí, podléhá termoplastová konstrukce v různých místech jinému procesu stárnutí. V praxi se však při navrhování a posuzování těchto konstrukcí pro materiálový model většinou nepoužívá plocha $F(\sigma, \epsilon, T, t)$, ale často jen sečný modul tečení [9].



Obr. 2. Relaxace a creep jako součást obecného reologického procesu

Při zjednodušených výpočtech lze u materiálového modelu termoplastové konstrukce, zejména při řešení stability, uvažovat jediný sečný modul tečení (např. určený podle maximální předpokládané velikosti napětí v konstrukci, hodnoty teploty, doby působení zatížení, s ohledem na vliv okolního prostředí), a pak tento modul aplikovat na celou konstrukci.

Přitom na použití příslušných hodnot sečného modulu tečení E_C lze pohlížet konzervativně z hlediska bezpečného návrhu (např. při výpočtu ztráty stability použitím co nejnižších hodnot modulu), nebo z hlediska vystižení skutečného chování konstrukce (použitím průměrných hodnot modulu v závislosti na čase, podle úrovně napětí, teploty v konstrukci apod.).

Při přesnějších výpočtech lze v materiálových modelech uvažovat proměnnou plochu F nebo sečný modul tečení E_C jako funkci včetně vlivu působení okolního prostředí, a to po celou dobu životnosti konstrukce, popř. i s uvažováním historie zatěžování.

Dále je rozebrán a v řešeném příkladu rovněž aplikován vazkopružný materiálový model, u něhož je smykový a objemový modul tečení aproximován pomocí Pronyho řady [1], [13]. Umožňuje do jisté míry vystihnout reologické chování termoplastů pomocí sečných modulů tečení [10].

Vazkopružný materiálový model

U materiálových modelů pro vystižení reologického chování (relaxace, tečení) se obvykle uvažuje rozdělení veličin na složku objemovou a deviátorovou. Závislost mezi funkcemi popisujícími časový vývoj napětí a poměrného přetvoření pro vazkopružný materiálový model (Maxwellův–Weichertův model), využívající pro aproximaci smykových a objemových modulů tečení Pronyho řadu [1], [12], je obvykle popsána v integrálním tvaru. U izotropního vazkopružného materiálu může být konstitutivní vztah pro tenzor napětí σ_{ij} vyjádřen při uvažování lineární teorie vazkopružnosti ve tvaru

$$\sigma_{ij}(t) = 3 \int_{t_0}^t K_C(t-\tau) \frac{\partial \varepsilon_{ij}^{\text{vol}}(\tau)}{\partial \tau} d\tau + 2 \int_{t_0}^t G_C(t-\tau) \frac{\partial \varepsilon_{ij}^{\text{dev}}(\tau)}{\partial \tau} d\tau, \quad (2)$$

kde t je současný čas, τ předchozí čas, K_C a G_C jsou objemový a smykový sečný modul tečení, $\varepsilon_{ij}^{\text{vol}}$ a $\varepsilon_{ij}^{\text{dev}}$ jsou tenzory objemového a deviátorového poměrného přetvoření. Sečné moduly tečení K_C a G_C , získané z modulu E_C a Poissonova součinitele ν podle zásad teorie pružnosti pro izotropní materiál, lze vyjádřit pomocí Pronyho řady ve tvarech [12]

$$K_C(t) = K_\infty + \sum_{i=1}^{n_K} K_i e^{-\frac{t}{\tau_{R,i}^K}}, \quad (3)$$

$$G_C(t) = G_\infty + \sum_{i=1}^{n_G} G_i e^{-\frac{t}{\tau_{R,i}^G}}, \quad (4)$$

kde K_∞ a G_∞ jsou limitní objemový a smykový sečný modul tečení, n_K a n_G jsou počty skupin Maxwellových vazkopružných modelů, K_i a G_i jsou objemový a smykový sečný modul tečení jednotlivých skupin, $\tau_{R,i}^K$ a $\tau_{R,i}^G$ jsou příslušné relaxační časy.

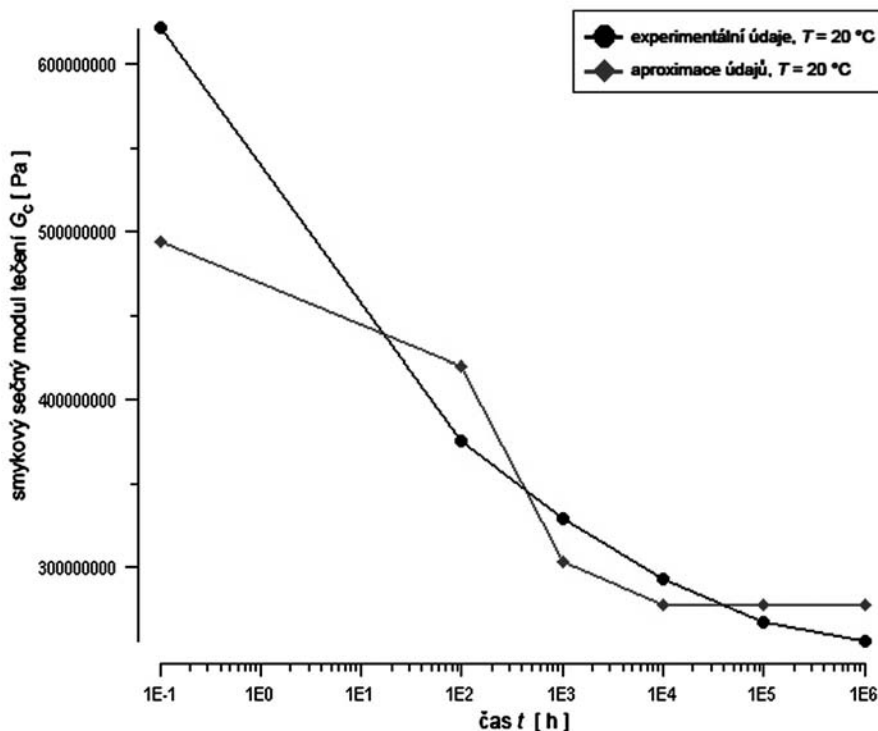
Pro vyjádření závislosti veličin vazkopružného materiálového modelu na změně teploty se využívá poznatku [12], že odezva chování materiálu při zatížení je při působení vyšší teploty po kratší dobu stejná jako při působení nižší teploty po delší dobu. Proto lze zadávat nejen materiálové hodnoty pro každou teplotní úroveň zvlášť, ale i využít funkce závislosti materiálových hodnot na teplotě, např. funkce Williama–Landela–Ferryho (WLF) nebo Toola–Narayanaswamy (TN). Vazkopružný materiálový model lze získat aproximací experimentálních dat pomocí nelineární regrese, a to zadáváním objemových a smykových sečných modulů tečení pro určitý čas a teplotu. Takto vytvořený konstitutivní vztah se jeví vhodný pro termoplasty, u nichž sečné moduly tečení v daném okamžiku nejsou tolik závislé na velikosti napětí, ale jen na teplotě (např. pro PVDF do určité úrovně napětí) [10].

Řešení stability

Vyšetřování ztráty stability konstrukcí je problémem obecně nelineárním, úplné řešení úlohy je tedy možné získat pouze aplikací metod nelineární mechaniky. V počáteční fázi řešení lze pro přiblížení se ke kritickému zatížení využít výpočet lineární stability. Při řešení lineární stability jde v podstatě o hledání kritického zatížení [2]. Řešení lineární stability vychází z podmínek rovnováhy na deformované konstrukci. Proti formulaci problému na základě klasické lineární mechaniky přibude v podmínkách rovnováhy člen s maticí počátečních napětí. Platí

$$([K] + \lambda_i [K_\sigma]) \{y_i\} = \{0\}, \quad (5)$$

kde $[K]$ je matice tuhosti konstrukce, λ_i je i -té vlastní číslo, $[K_\sigma]$ matice počátečních napětí a $\{y_i\}$ je i -tý vlastní vektor. Pro výpočet vlastních čísel se používá převážně blokovaná Lanczosova metoda nebo metoda iterace podprostoru [2].



Obr. 3. Vazkopružný materiálový model – závislost smykového sečného modulu [Pa] PVDF na čase [h] pro teplotu 20 °C (nelineární regrese – 100 iterací)

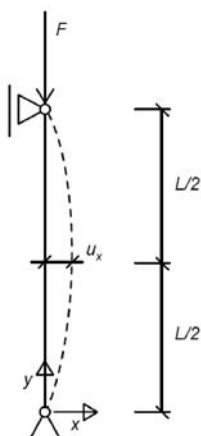
Uvedená analýza stabilitního problému představuje lineární řešení úlohy, tj. nerespektuje se geometrická ani fyzikální nelinearita.

Nelineární řešení problému ztráty stability v čase se realizuje postupným přitěžováním konstrukce s respektováním nelineárního chování s využitím imperfekcí. Při tomto řešení se musí kritické zatížení definovat jiným způsobem, např. jako nejmenší zatížení, při němž se soustava stává singulární, nebo jako zatížení, při kterém je dosaženo nepřijatelných deformací, případně dojde-li ke ztrátě pevnosti či únosnosti [9].

Ztráta stability termoplastového dílce

Pro ověření stability vybraného dílce z termoplastu byly v [9] pomocí programu ANSYS [13] řešeny různé případy lineární a nelineární stability porovnáním řady výpočtů pro různé teploty, druhy a typy prvků, volby imperfekcí i další vlivy. Tyto výsledky byly porovnány se zjednodušeným analytickým řešením vzpěru prutu podle teorie pružnosti, u něhož byl modul pružnosti nahrazen sečným modulem tečení [9].

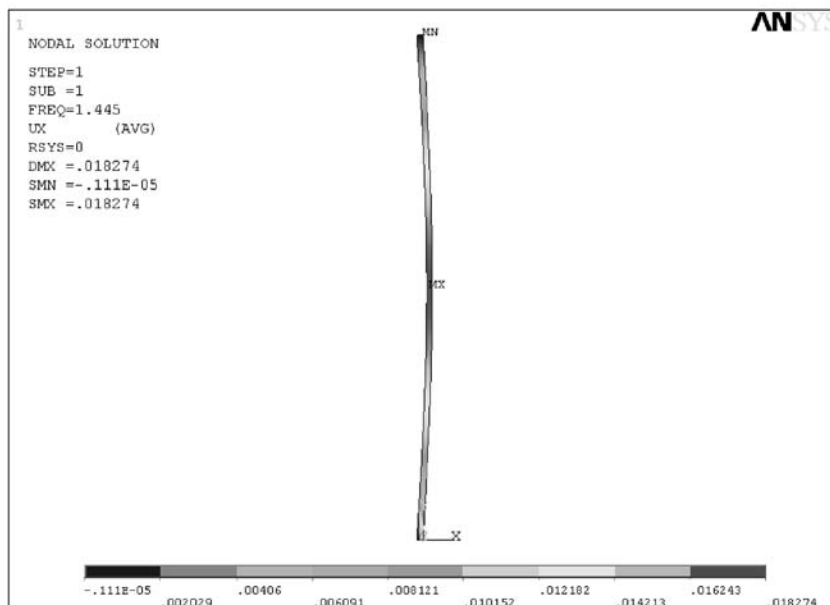
Dále je uvedena vybraná varianta, u níž byla pro řešený dílec sledována ztráta stability při



Obr. 4. Schéma modelu dílce

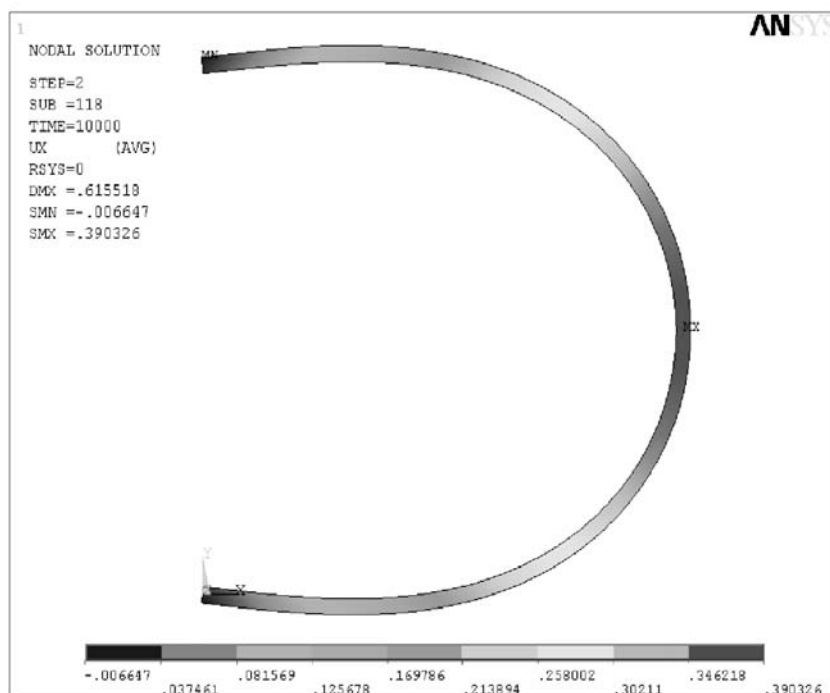
působení zatížení v čase. Modelovaný dílec z polyvinylidenfluoridu ve tvaru desky o rozměrech 1,000×0,200×0,012 m byl uvažován s hodnotami sečného modulu tečení vybranými z obr. 1 pro konstantní teplotu 20 °C. Pro aproximaci experimentálních dat u vazkopružného materiálového

modelu byla využita nelineární regrese [13] pro zvolených pět skupin Maxwellových vazkopružných modelů, využitých jak pro smykový, tak pro objemový sečný modul tečení. Průběh smykového sečného modulu tečení v závislosti na čase (v logaritmickém měřítku) po 100 iteracích, kde ještě není dosaženo shody mezi zadanými experimentálními údaji a aproximovanými údaji pomocí Pronyho řady, je znázorněn na obr. 3 spojniciemi diskretních bodů, volených v závislosti na dostupných údajích (obr. 1) a podle řádů logaritmické stupnice na časové ose.



Obr. 5. První vlastní tvar, lineární stabilita, kritický násobek zatížení $\lambda_1 = 1,445$, počáteční sečný modul tečení $E_c = 1\,700$ MPa, čas 0,1 h, teplota 20 °C

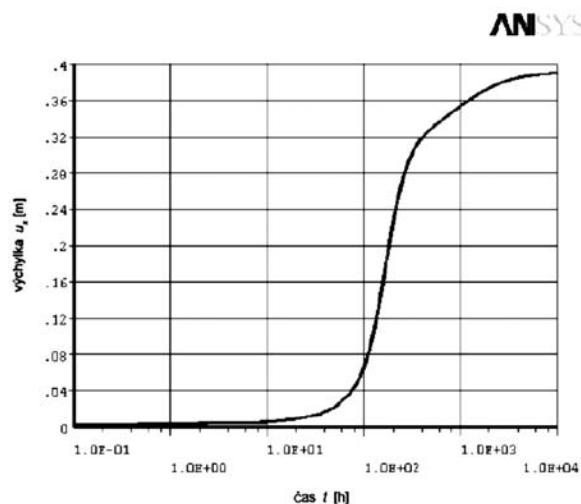
Teprve po 1 000 iteracích bylo dosaženo výborné shody aproximace hodnot smykových a objemových sečných modulů se zadanými experimentálními údaji. Grafy jsou v tomto případě téměř totožné (na obr. 3 není znázorněno) a jsou ve tvaru průběhu experimentálních dat. Aproximace hodnot sečných modulů, získané po 1 000 iteracích, se pak použily ve výpočtu.



Obr. 6. Posunutí dílce v příčném směru, nelineární výpočet v čase při využití vazkopružného modelu (čas 10 000 h, teplota 20 °C, počáteční výchylka $u_x = 0,5$ mm)

U řešeného dílce byly zvoleny okrajové podmínky tak, že ve spodní části bylo zabráněno všem posuvům a v horní části bylo zamezeno posuvům v příčném směru. Silové zatížení přitom působilo ve směru nejdélšího rozměru (obr. 4), přičemž velikost síly byla $F = 420$ N.

Výsledky výpočtu nelineární stability při působení zatížení v čase s počátečním vychýlením $u_x = 0,5$ mm uprostřed dílce ve tvaru prvního vlastního tvaru ztráty stability (obr. 5) s použitím prvku PLANE182 jsou uvedeny na obr. 6 a obr. 7. K větší změně v posunutí ve směru příčném na dílec došlo zhruba po 20 h, k výrazné změně pak v čase 100-300 h (obr. 7).



Obr. 7. Graf závislosti příčné výchylky uprostřed dílce na čase (v logaritmickém měřítku), nelineární výpočet v čase, teplota 20 °C

Výpočet umožnil sledovat vývoj ztráty stability dílce po celou uvažovanou dobu. Výsledky řešení přitom velmi závisí na výchozí imperfekci a posouzení ztráty stability je závislé na zvolených kritériích (např. mezní vychýlení či mez pevnosti). Pro porovnání uvedme, že při lineárním výpočtu stability nedeformovaného dílce pro dané zatížení a podmínky při kritickém násobku zatížení $\lambda_1 = 1$ vychází sečný modul tečení přibližně 1 176 MPa. To odpovídá přibližně době 70-80 h (obr. 1), kdy by bylo dosaženo při lineárním výpočtu stability kritického zatížení.

Závěr

Výpočet umožnil sledovat ztrátu stability termoplastového dílce v čase. Přitom k výrazné změně v posunutí v příčném směru došlo již po cca 100 hodinách působení zatížení. Potvrdilo se, že např. u tlačené stěny nádrže, kde hrozí ztráta stability, je při uvažování časově závislého chování materiálu vždy nutné posuzovat a kontrolovat odolnost proti ztrátě stability konstrukce [9]. Informace o určení či předpověděni doby, kdy konstrukce ztrácí stabilitu, je velice užitečná. Přitom nezanedbatelný vliv na řešení stability má nejen čas, ale i teplota. Uvažuje-li se nelineární stabilitní řešení, pak se musí vždy zohlednit historie zatěžování.

Z textu článku i materiálů [9], [10] vyplývá, že výpočty termoplastových stavebních konstrukcí a dílců je nutné realizovat pomocí dlouhodobých hodnot materiálových charakteristik. Data mají charakter funkční závislosti a pro výpočet by měla být uvedena ve formě grafů nebo rovnic, tj. závislosti meze pevnosti na čase při určité teplotě, závislosti modulu tečení na teplotě při jisté úrovni napětí pro určitý čas apod. Data v této podobě však většinou nejsou k dispozici, protože je náročné data získat, a přitom druhů plastů je stále

více. Vhodným zdrojem k získání dlouhodobých hodnot materiálových charakteristik je např. evropská norma [6], směrnice [8] či další normy DIN, popř. materiálové katalogy některých výrobců.

Při volbě materiálových modelů popisujících reologické chování termoplastů se ukazuje, že je vhodné daný konstitutivní vztah vždy vyzkoušet na jednoduchých numerických modelech a přihlížet k charakteru zatížení. Vazkopružný materiálový model, u něhož je smykový a objemový sečný modul tečení aproximován pomocí Pronyho řady, se osvědčil pro termoplasty, u nichž moduly tečení v daném okamžiku nejsou výrazně závislé na velikosti napětí, ale jen na teplotě. Vazkopružný materiálový model je vhodný i v případech, kdy je termoplastová konstrukce odtěžována.

Článek vznikl za podpory projektu MSM 0021630519 v rámci činnosti výzkumného záměru "Progresivní spolehlivé a trvanlivé nosné stavební konstrukce".

Literatura

- [1] Belytschko, T. – Liu, W. K. – Moran, B.: Nonlinear Finite Elements for Continua and Structures. New York, John Wiley & Sons 2000.
- [2] Bittnar, Z. – Šejnoha, J.: Numerické metody mechaniky 1, 2. Praha, Vydavatelství ČVUT 1992.
- [3] ČSN EN ISO 527-1 Plasty – stanovení tahových vlastností – Část 1: Základní principy. ČSN, 1997.
- [4] ČSN EN ISO 899-1 Plasty – stanovení krípkového chování – Část 1: Kríp v tahu. ČSN, 2004.
- [5] ČSN EN ISO 899-2 Plasty – stanovení krípkového chování – Část 2: Kríp v ohybu při třibodovém zatížení. ČSN, 2004.
- [6] ČSN EN 1778 Charakteristické hodnoty pro svařované konstrukce z termoplastů – Stanovení dovoleného namáhání a modulů pro navrhování svařovaných dílů z termoplastů. ČSN, 2002.
- [7] DIN 16887 Prüfung von Rohren aus thermoplastischen Kunststoffen; Bestimmung des Zeitstand-Innendruckverhaltens. 1990.
- [8] DVS – Merkblätter und Richtlinien Fügen von Kunststoffen 68/IV. 2006.
- [9] Gratza, R.: Analýza únosnosti konstrukcí a prvků z termoplastů. [Dizertace], VUT Brno, 2007.
- [10] Gratza, R. – Kytýr, J.: Vliv časového faktoru při zatížení na termoplastové konstrukce. CIDEAS – dílčí výzkumná zpráva 2.5.2.2 - 31: 2007, 14 s.
- [11] Kolouch, J.: Strojní součásti z plastů. Praha, SNTL 1981.
- [12] Osswald, T. A. – Menges, G.: Material Science of Polymers for Engineers, 2nd Edition. Munich, Carl Hanser Verlag 2003.
- [13] Theory Reference – ANSYS, release 11.0.
- [14] <http://www.simona.de>

Gratza, R. – Kytýr, J.: Effect of Time of Loading Impact on Stability of Thermoplastic Structures

In practice, it is often to be found out that the decisive factor for the design and evaluation of thermoplastic structures, especially vessels, is the loss of stability. This paper focuses on the time development of the stability loss of a thermoplastic segment made from polyvinylidene fluoride (PVDF). It has been proved that when computing, the rheological behaviour of the analysed material has to be considered using, ideally, a viscoelastic material model approximated by Prony series. The problem has been solved using the ANSYS program system.

Gratza, R. – Kytýr, J.: Der Einfluss der Einwirkungszeit einer Belastung auf die Stabilität eines Thermoplast-Bauteils

In der Praxis zeigt es sich oft, dass der entscheidende Aspekt beim Entwurf und der Beurteilung von Thermoplastkonstruktionen, insbesondere Becken und Behältern, der Stabilitätsverlust ist. Im Beitrag wird die zeitliche Entwicklung des Stabilitätsverlustes eines Thermoplastbauteils aus Polyvinylidenfluorid behandelt. Es wurde nachgewiesen, dass es notwendig ist, in den Berechnungen ein rheologisches Verhalten anzusetzen, für das gegebene Material am günstigsten mit Hilfe eines mit Hilfe einer Prony-Reihe approximierten zähelastischen Materialmodells. Die Aufgabe wurde mit dem Programmsystem ANSYS gelöst.

● projekty



Pražská novorenesanční budova, ve které dlouho sídlila Československá obchodní a živnostenská komora, se proměnila v pětihvězdičkový hotel. Náměstí Republiky se tak po dokončení obnovy okolních historických domů stalo chloubou historické části města. Hotel se pyšní 135 pokoji, plesovým sálem Franz Josef I., jehož součástí jsou unikátní vitráže a balkóny. Součástí objektu jsou restauranty mEating Point a Taste!t.

Historie uvedeného místa sahá až do daleké minulosti, v níž zde měli sídlo čeští králové – odtud pojmenování hotelu. Pozůstatky románského domu, které byly odhaleny v průběhu revitalizace, byly zakomponovány do prostranství, v němž se nachází bazén s whirlpoolem.



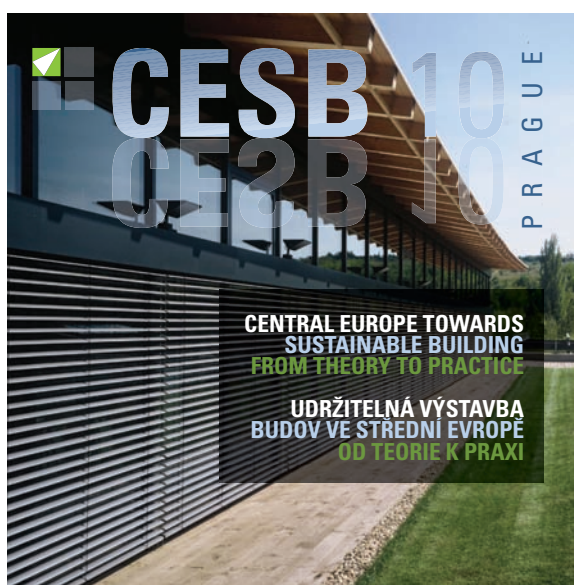
Náklady na přestavbu a interiérové řešení si vyžádaly investici dosahující téměř 1,5 mld. Kč. Investorem projektu byla společnost HMG. Architektonický a designový koncept včetně nových exteriérových součástí spoluvytvářela společnost Feigin Architects z Izraele. Interiéry hotelových společných prostranství pocházejí z dílny britského studia ARA Design. Revitalizace hotelu byla zahájena v roce 2006 a dokončena letos v říjnu. Generálním projektantem a dodavatelem stavby byla jihlavská společnost GEO-ING. Development zajišťovala společnost HMG.

Tisková informace

● konference

CESB 10

Akce je součástí série mezinárodních setkání odborníků konaných v roce 2010 v různých částech světa a zaměřených na udržitelnou výstavbu budov. Konference CESB10 – Central Europe Towards Sustainable Building se věnuje středoevropskému regionu, především České republice, Maďarsku, Německu, Polsku, Rakousku, Slovensku, Slovinsku a Švýcarsku. Cílem je shrnout stávající stav a pokrok udržitelné výstavby budov v těchto zemích, a současně diskutovat podmínky dalšího směřování udržitelné výstavby ve středoevropském regionu.



www.cesb.cz

TERM

Praha 30. 6. – 2. 7. 2010

ORGANIZERS

CSBS IISBE CZECH – Czech Sustainable Building Society
CTU IN PRAGUE, Faculty of Civil Engineering,
 Department of Building Structures
CIDEAS – Centre for Integrated Design of Advanced Structures
KLOKNER INSTITUTE OF CTU

INTERNATIONAL CONVENERS

CIB – International Council for Research and Innovation
 in Building and Construction
iisBE – International Initiative for a Sustainable Built Environment
UNEP-SBCI – Sustainable Building and Construction Initiative of UNEP



Průběh smrštění betonů s pórovitým kamenivem

Ing. Barbara KUCHARCZYKOVÁ, Ph.D.
 Ing. Petr DANĚK, Ph.D.
 Ing. Tomáš VYMAZAL, Ph.D.
 Ing. Petr MISÁK
 Ing. Ondřej POSPÍCHAL
 VUT – Fakulta stavební
 Brno

Příspěvek se zabývá objemovými změnami betonů s pórovitým kamenivem. Jde zejména o měření smrštění v počátečním stadiu tuhnutí a tvrdnutí betonu s možností pokračování v dlouhodobém měření smrštění od vysychání. Součástí textu jsou výsledky experimentální analýzy.

Úvod

Lehký beton lze, vzhledem k jeho vlastnostem, zařadit mezi speciální vysokohodnotné betony, pro jejichž výrobu je použito kamenivo nízké objemové hmotnosti. Výzkum a vývoj v této oblasti je v posledních letech orientován zejména na dosažení vysoké pevnosti a trvanlivosti při zachování nízké objemové hmotnosti výsledného kompozitu. Tato snaha je ovšem doprovázena řadou problémů souvisejících jak s návrhem složení čerstvého betonu, tak s návrhem konečného konstrukčního prvku. Jednou ze základních problematik, souvisejících s uplatněním lehkého betonu v praxi, je určení jeho celkové reologie, která je ovlivněna zejména nízkým vodním součinitelem, poměrně vysokým obsahem jemných částic a mírou nasycení pórovitého kameniva [1], [2].

Materiál a měřicí metody

Cílem experimentů bylo pořízení kontinuálního záznamu průběhu smrštění u betonů s pórovitým kamenivem. Šlo zejména o zachycení počátečního autogenního smrštění, případného nabývání a následného smrštění vlivem vysychání. Pro výzkum byl použit lehký beton předpokládané pevnostní třídy LC 35/38 – D1,8.

Složení betonu

Pro výrobu čerstvého betonu bylo použito pórovité kamenivo Liapor CZ/4-8/600, písek Zaječí 0-4 mm, cement CEM I – 42,5 R, létavý elektrárenský popílek Třinec, plastifikátor Sika Viscocrete 1035, voda a stabilizátor Sika Control – 5 SVB. Voda, lehké pórovité kamenivo, plastifikátor a stabilizátor byly dávkovány objemově, ostatní složky hmotnostně (tab. 1).

Pro potřeby výpočtu a dávkování vody (zejména předmáčecí) byl stanoven průběh nasákavosti znázorněný na obr. 1. Rozhodující jsou hodnoty získané měřením během prvních minut míchání (obr. 1a), a dále pak celkový průběh nasákavosti naměřený zejména v prvních 48 h (obr. 1b) [3]. Průběh nasákavosti a počáteční míra nasycení zrn pórovitého kameniva hrají významnou roli v celkovém průběhu a velikosti smrštění, jde zejména o hodnotu a průběh autogenního smrš-

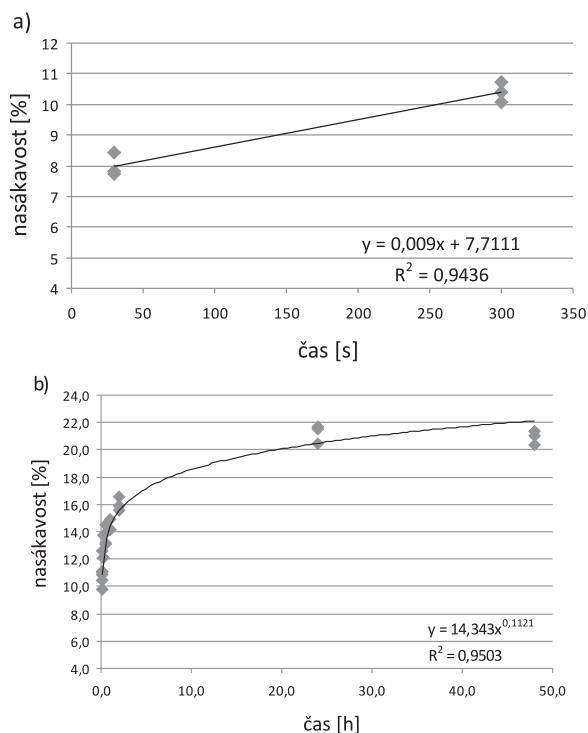
tění, které probíhá v prvních 24 h po uložení betonu, a následně o hodnotu nabývání, které je pro betony s pórovitým kamenivem typické.

Měření smrštění

Zvolit způsob a počátek měření smrštění, zejména u betonů s nízkým vodním součinitelem, je poměrně složité. Jak je uvedeno v literatuře [4], [5], normové zkušební metody [6], vyvinuté pro měření smrštění vlivem odpařování vody u běžného betonu, nejsou pro využití příliš vhodné a nelze jimi postihnout počáteční autogenní smrštění, které probíhá v prvních 24 h po uložení betonu do formy. U betonů s pórovitým kamenivem je situace navíc komplikována obsahem vody v pórové struktuře kameniva, která se může postupně uvolňovat a zaplňovat póry vzniklé samovysycháním, což může vést k nabývání.

Měřicí zařízení

V současné době je na Ústavu stavebního zkušebnictví VUT FAST v Brně ověřována metoda, která by měla být schopna postihnout objemové změny jak v počátečním stadiu tuhnutí betonu, tak dlouhodobé smrštění vlivem vysychání. Měřicí žlaby firmy Schleibinger [7] délky 1 m s mírně

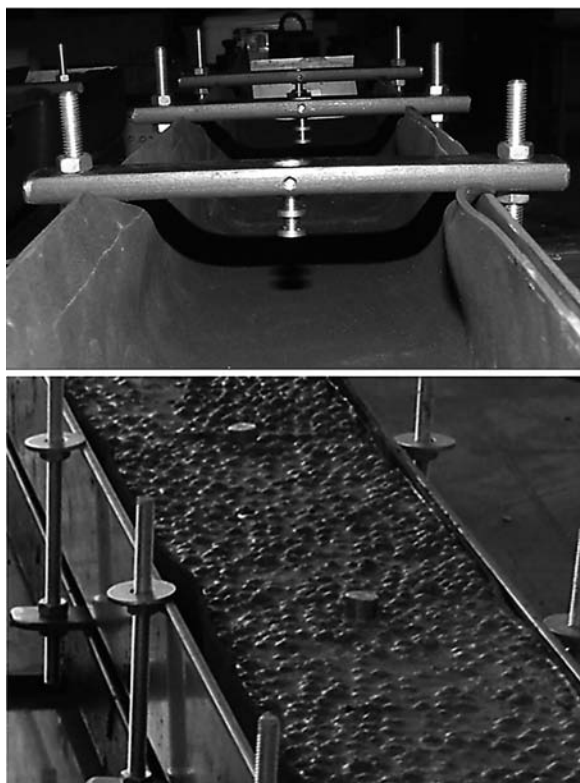


Obr. 1. Průběh nasákavosti pórovitého kameniva [% hmot.]
 a – během míchání v časech 30 s a 5 min, b – na vzorku kameniva ponořeném ve vodě

Tab. 1. Složení čerstvého betonu

Materiál	Jednotka	Množství
Liapor 4-8/600 (dávkováno ve vysušeném stavu)	m ⁻³	0,36
DTK Zaječí 0-4 mm	kg m ⁻³	700
CEM I – 42,5 R	kg m ⁻³	440
popílek Třinec	kg m ⁻³	80
Sika Viscocrete 1035	kg m ⁻³	5
voda záměsová	l	180
stabilizátor	l	1,6
voda předmáčecí (hmotnostní nasákavost 30 min)	l	52

kónusovým průřezem o výšce 60 mm a šířce horní hrany 100 mm slouží pro záznam délkových objemových změn v ose zkušební tělesa (obr. 2). Deformace jsou snímány indukčním snímačem s možností záznamu hodnoty na 0,00001 mm a kontinuálně zaznamenávány do ústředny [8]. Žlaby byly doplněny spodními ocelovými lištami, které umožňují přichycení zkušebního zařízení k vibračnímu stolu pomocí magnetu, a umožní tak dokonalé zhutnění jak tuhých (suchých), tak velmi měkkých směsí. Pro měření smrštění na povrchu tělesa byly vyrobeny a do horního povrchu zkušební prvku zabetonovány speciální terče. Počátek měření v ose tělesa je dán rychlostí tuhnutí čerstvého betonu – pro

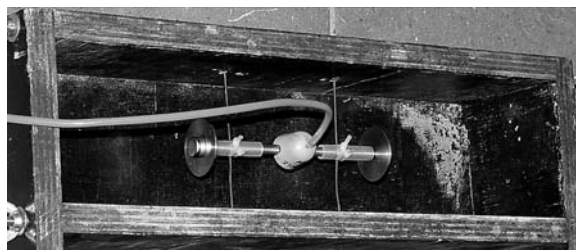


Obr. 2. Upravené měřicí žlaby

účely měření je vhodné, aby směs byla natolik „zavadlá“, aby pohybem nevytlačovala čelo ze žlabu. U jednotlivých směsí se může lišit, avšak u betonů s rychlým nárůstem pevnosti je možné zahájit měření již 1-2 h po výrobě. K měření na povrchu tělesa se používá příložený deformetr, tudíž měření je možné zahájit až při dostatečné soudržnosti betonu a

měřících terčů (u betonů s rychlým nárůstem pevnosti lze měření zahájit 12-20 h po výrobě tělesa).

Současně s betonáží žlabů byl vyroben zkušební trámec 100x100x400 mm, v jehož ose byl zabetonován strunový tenzometr TES/5,5/T. Měření bylo možné zahájit ihned po výrobě, jeho průběh kontinuálně zaznamenávala měřicí ústředna dataTaker DT80G (obr. 3).

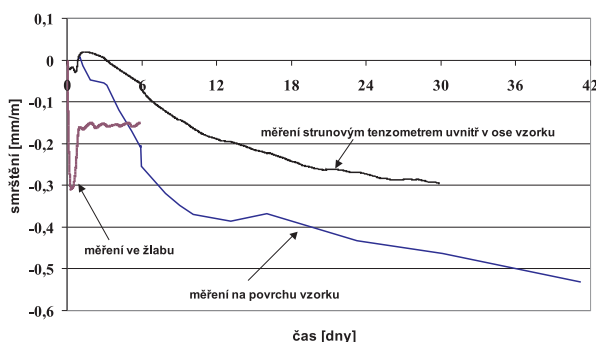


Obr. 3. Trámec se zabudovaným strunovým tenzometrem

Všechna zkušební tělesa byla po výrobě zakryta fólií, aby se zabránilo nadměrnému vysychání povrchu.

Výsledky

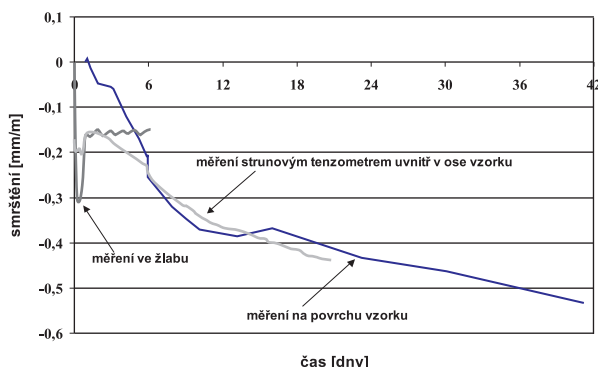
Výstupy měření lze sledovat na obr. 4. Graf znázorňuje průběh smrštění stanovený měřením ve žlabu, a to jak v ose tělesa (kontinuální záznam pořízený indukčním snímačem), tak i na jeho povrchu (měřeno příložným deformetrem v pravidelných intervalech). Třetí křivka znázorňuje průběh smrštění měřený strunovým tenzometrem v ose zkušebního trámce. Jak je vidět, průběh jednotlivých měření se liší, avšak je možné je vzájemně propojit. Křivka pořízená měřením v ose žlabu zachycuje počáteční autogenní smrštění, které začíná v počátku hydratace a trvá přibližně 10-12 h od uložení betonu do formy, poté je zaznamenáno strmé nabývání, které se ustaluje přibližně po 24 h od výroby tělesa. V této fázi již nemá příliš velký význam pokračovat v měření na vzorku uloženém ve žlabu, neboť čela vzorku jsou uchycena do kotvicích háků, které brání volnému smršťování ztvrdlého betonu. Nicméně, vzorky byly ponechány ve žlabech po dobu šesti dnů, a teprve poté vyjmuty.



Obr. 4. Průběh smrštění betonu měřený v ose žlabu, na povrchu tělesa ve žlabu, strunovým tenzometrem v ose trámce

V tomto období se již měřilo smrštění na povrchu tělesa příložným deformetrem, které bylo zahájeno cca po dvaceti hodinách od uložení betonu do formy. Jak je vidět na obr. 4, nelze jím zachytit počáteční autogenní smrštění, je zaznamenáno pouze smrštění od vysychání. Okamžik vyjmutí tělesa ze žlabu se projeví odskokem křivky, způsobeným ukotvením vzorku do čela žlabu; po vyjmutí tělesa již jde o volné

smrštění od vysychání. Poslední křivka znázorňuje průběh smrštění pořízený zabetonovaným strunovým tenzometrem. Jak je z grafu patrné, tento způsob měření opět neumožňuje zachytit počáteční autogenní smrštění. Trámec byl umístěn ve formě po dobu šesti dnů, poté vyjmut. V tomto okamžiku byl opět zaznamenán odskok v průběhu měření, neboť stěny formy částečně bránily volnému smrštění.



Obr. 5. Napojení jednotlivých měření

Jak již bylo řečeno, ačkoli se jednotlivé záznamy liší, je možné je propojit. Jelikož záznam měření strunovým tenzometrem uvnitř tělesa zachycuje část procesu nabývání, lze tuto křivku posunout svisle po ose y, čímž dojde k napojení na záznam pořízený v ose žlabu. Dále pak záznam pořízený měřením na povrchu vzorku velmi dobře kopíruje sestupnou větev určenou měřením strunovým tenzometrem (obr. 5).

Shrnutí

Měřicí žlaby se ukázaly jako vhodné pro měření smrštění v počátečním stadiu tuhnutí a tvrdnutí betonu a umožnily zachytit počáteční autogenní smrštění a následné nabývání, které bývá u lehkých betonů typickým jevem. Zabetonované terče na povrchu zkušebního tělesa ve žlabu pak umožňují dlouhodobé měření smrštění od vysychání. Oba průběhy lze vzájemně propojit.

Strunový tenzometr uvnitř zkušebního vzorku neumožnil zachycení autogenního smrštění, avšak zachytil část procesu nabývání, což opět umožňuje propojení tohoto měření s měřením ve zkušebním žlabu.

Uvedené výsledky potvrzují nezbytnost měření objemových změn již v počátečním stadiu tuhnutí a tvrdnutí cementových kompozitů. Stanovením objemových změn způsobem doporučeným v normě [6] se můžeme u některých druhů cementových kompozitů dopustit poměrně velké chyby, neboť toto měření lze zahájit většinou až po vyjmutí zkušebních těles z formy, což bývá zpravidla 24 h od betonáže. Tato skutečnost znemožňuje zachytit případné autogenní smrštění, jehož hodnota u betonů s nízkým vodním součinitelem není zanedbatelná.

Příspěvek byl zpracován za podpory výzkumného záměru 0021630511 MŠMT a projektu č. 103/09/P057 GA ČR.

Literatura

- [1] Odehnalová, P. – Kucharczykova, B.: Smršťování a vznik smršťovacích trhlin lehkého betonu v závislosti na uložení. *Beton TKS* 2009(3), s. 58-58. /ISSN 1213-3116/
- [2] Adánek, J. – Juránková, V. – Kucharczykova, B.: Porous Aggregate Strength and its Influence on Lightweight Concrete Strength.

- In: Proceedings of the 9th International Conference Modern Building Materials, Structures and Techniques. VGTU, Vilnius, 2007, pp. 27-28. /ISBN 978-9955-28-131-3/
- [3] Reports of Project Eurolight (2000). Project Funded by the European Union under the Industrial & Materials Technologies Programme (Bríte-EuRam III). Contract BRPR-CT97-0381, Project BE96-3942.
 - [4] Aicin, P.-C.: Vysokohodnotný beton. Edice betonové stavitelství, Praha, ČKAIT/ČBS 2005. /ISBN 80-86769-39-9/
 - [5] Chandra, S. – Berntsson, L.: Lightweight Aggregate Concrete – Science, Technology and Applications. Knovel Release, 2002. /ISBN 0-8155-1486-7/
 - [6] ČSN 73 1320 Stanovení objemových změn betonu. ČSNI, 1988.
 - [7] www.schleibinger.com
 - [8] Kucharczykova, B. – Plšková, I. – Adánek, J.: Metody měření objemových změn betonu ve fázi tuhnutí a tvrdnutí. [Sborník], konference „Zkoušení a jakost ve stavebnictví“, ČVUT Praha, 2008, s. 197-201.

Kucharczykova, B. et al.: Shrinkage of Concrete with Porous Aggregate

This paper deals with volume changes of porous aggregate concrete. Namely, it focuses on the shrinkage measuring, especially in the early stage of concrete setting and hardening with the ways and means of long-term measuring of drying shrinkage. Finally, this article presents the results of experimental analysis.

Kucharczykova, B. u. a.: Verlauf des Schwindens von Betonen mit porösem Zuschlagstoff

Der Beitrag befasst sich mit den Volumenänderungen von Betonen mit porösen Zuschlagstoffen. Es geht insbesondere um die Messung des Schwindens im Anfangsstadium der Erstarrung und Erhärtung des Betons mit der Möglichkeit der Fortsetzung der langfristigen Messung des Schwindens ab der Austrocknung. Bestandteile des Textes sind die Ergebnisse experimenteller Analysen.

Absolventi mohou získat titul EUR ING



Fakulta dopravní, Fakulta elektrotechnická, Fakulta stavební a Fakulta strojní ČVUT mají akreditaci v Evropské federaci inženýrských národních asociací (FEANI) a jejich absolventi mohou požádat o udělení titulu EUR ING. Podmínky pro její přiznání (<http://www.feani.cz/>) jsou velice náročné, jsou ověřovány Evropskou monitorovací komisí a průběžně kontrolovány. Každoročně inovovaný „Index FEANI“, kde jsou fakulty s akreditací zapsány, je unikátním zevrubným a spolehlivým zdrojem informací o vysokých technických školách ve státech zastoupených ve FEANI. Pro školy uvedené v Indexu i pro jejich absolventy je dokladem o kvalitě poskytovaného vzdělání. Různorodost inženýrského vzdělávání v Evropě dokládá existence 40 různých vzdělávacích soustav a 50 různých akademických titulů a profesních označení. Vzájemné uznávání profesní kvalifikace je předmětem dlouhodobého snažení různých organizací a získání titulu EUR ING je jednou z cest.

Zapsáním žadatele do „Registru FEANI“ potvrzuje FEANI inženýrskou profesní kvalifikaci odpovídající evropské úrovni a oprávnění používat titul EUR ING.

Tisková informace

Model vývoje průsakové cesty na přehradě Mostišťě

Ing. Marek ČEJDA
prof. Ing. Jaromír ŘÍHA, CSc.
VUT – Fakulta stavební
Brno

Článek popisuje výsledky modelové analýzy průběhu poruchy hlinitého těsnění hráze vodního díla Mostišťě. Modelové hodnocení vnitřní eroze bylo provedeno jednodimenzionálním hydrodynamickým a erozním modelem. Součástí řešení je kalibrace modelu a simulace průběhu progresivní eroze jádra v průběhu povodňové epizody na jaře roku 2006.

Úvod

Vnitřní eroze a její modelování

Při proudění vody zeminami může při vytvoření vhodných podmínek dojít k vnitřní erozi a filtrační deformaci materiálu hráze nebo jejího podloží. Konečným a nejnebezpečnějším stádiem poruchy je vznik privilegované průsakové cesty (trubice). Tento proces nazýváme v dalším textu souhrnně „piping“. Počáteční fází pipingu je kombinace základních typů filtrační deformace, jako jsou sufoze, eroze, ztekucení a další, které vedou k degradaci a změně struktury zeminy. Při další progresi porušení dochází ke zpětné erozi, a následně k vytvoření spojitě průsakové cesty. V další fázi v závislosti na druhu zeminy a hydraulických podmínkách může docházet k erozi stěn průsakové trubice, k jejímu rozšiřování a k zintenzívnění procesu eroze.

Eroze průsakové trubice započne ve chvíli, když tečné napětí na jejím plášti překročí hodnotu mezního (kritického) tečného napětí nebo nevymílací rychlosti vody v trubici. Hodnoty kritického tečného napětí, resp. nevymílací rychlosti, jsou závislé na druhu a vlastnostech zeminy a mohou být za předpokladu homogenního prostředí uvažovány jako konstantní. Vznik eroze tedy závisí jednak na hydraulických podmínkách v trubici, zejména na rychlosti vody, hydraulickém gradientu a smykovém napětí u stěn potrubí, dále pak na vlastnostech zeminy.

V případě sypané hráze může k tomuto procesu dojít například v tělese těsnicího jádra, jak to ukazuje situace na hrázi vodního díla (VD) Mostišťě v letech 1996 až 2005. Důsledkem pipingu pak může být prosednutí tělesa hráze vedoucí až k jejímu úplnému protržení.

Výzkumem a modelováním procesu pipingu se v současné době zabývá více autorů, např. C. F. Wan a R. Fell [6] na The University of New South Wales v Sydney v Austrálii nebo N. Benahmed ve výzkumném ústavu Cemagref ve Francii [1]. Tito autoři se věnují studiu pipingu převážně v laboratorních podmínkách (hole erosion test, slot erosion test). Výsledky jejich výzkumů byly cenným výchozím podkladem pro naše hodnocení.

V dalším textu je sestaven jednoduchý jednodimenzionální (1D) matematický model popisující proces pipingu v těsnění sypané hráze. Model byl kalibrován s využitím dat na zdokumentovaném případě poruchy těsnění hráze VD Mostišťě. Na kalibrovaném modelu byl simulován možný vývoj poruchy během povodně v roce 2006 v případě, že by nebyla v letech 2004/2005 provedena rozsáhlá oprava jádra hráze VD Mostišťě.

Základní údaje

Vodní dílo Mostišťě se nachází na řece Oslavě v km 65,948 v blízkosti obcí Mostišťě a Vídeň. Náleží k dyjsko-svratecké vodohospodářské soustavě. Plocha povodí nádrže je 222,94 km², délka vzdutí 5,385 km a maximální zatopená plocha 93 ha. Provozovatelem díla je Povodí Moravy, s. p., závod Dyje. Z hlediska výkonu dohledu je VD Mostišťě zařazeno do kategorie I dle vyhlášky 471/2001 Sb. VD Mostišťě má tyto vybrané charakteristiky:

- celkový objem nádrže 11,937 3 mil. m³,
- objem neovladatelného retenčního prostoru 0,943 7 mil. m³,
- objem ovladatelného retenčního prostoru 0,609 4 mil. m³,
- objem zásobního prostoru 9,338 9 mil. m³,
- objem prostoru stálého nadržení 1,045 3 mil. m³.

Nádrž byla uvedena do provozu v roce 1960 primárně za účelem akumulace vody pro vodárenský odběr pro skupinový vodovod Velké Meziříčí – Třebíč, tj. pro zásobení cca 70 tis. obyvatel. Dalšími účely jsou zajištění trvalého minimálního průtoku pod VD, zajištění odběru vody pro provoz sádek a bočního rybníku pod VD, transformace povodňových průtoků a výroba elektrické energie v malé vodní elektrárně.

Model průsakové eroze

Koncepční model

Piping vzniká jako výsledek několika typů vnitřní eroze. Při jeho rozboru se vycházelo ze stavu, kdy je již plně vyvinuta spojitá průsaková trubice, počáteční fáze průsakové eroze nebyla předmětem analýzy a modelového hodnocení. Při koncipování matematického modelu byla zavedena řada zjednodušujících předpokladů:

- proudění bylo vzhledem k jeho převažujícímu směru v průsakové trubici schematizováno 1D modelem;
- skutečný průřez hypotetické průsakové trubice byl aproximován po délce konstantním kruhovým průřezem;
- obecně nestacionární proudění v trubici, vyplývající z časové změny polohy hladiny vody v nádrži (okrajová podmínka), bylo aproximováno kvazistacionárním modelem proudění s konstantní rychlostí a průtokem po délce trubi-

ce; tento předpoklad je podpořen relativně pomalými změnami polohy hladiny vody v nádrži a jejich rychlou odezvou po délce trubice;

- hustota vody je konstantní a nezávisí na tlaku, teplotě a na koncentraci vynášených částic;
- ztráty na vtoku do trubice (styk filtr/jádro) a na výtoku z trubice (styk jádro/filtr) jsou zanedbatelné, rychlost proudění vody v návodní stabilizační části je zanedbatelná;
- výtok z trubice do filtrů na vzdušném líci jádra lze přirovnat k výtoku do volného prostoru;
- vstupní a výstupní veličiny byly uvažovány deterministicky a byly odvozeny při kalibraci modelu.

Stavové veličiny

Neznámými veličinami výpočtu jsou průřezová rychlost v trubici $v(t)$, Reynoldsovo kritérium $Re(t)$, součinitel ztrát třením $\lambda(t)$, sklon čáry energie $J_E(t)$, tečné napětí $\tau(t)$ na plášti trubice, průměr trubice $D(t)$, průtočná plocha trubice $A(t)$, průtok $Q(t)$ a rychlost eroze $\dot{\varepsilon}(t)$.

Známe (zadávané) veličiny jsou rozdíl $H(t)$ hladiny v nádrži a kóty výtoku z trubice, kóta H_K koruny hráze, kóta H_O osy výtokového otvoru na vzdušné straně jádra hráze, délka L průsakové trubice, kritické tečné napětí τ_c , koeficient erodovatelnosti C_e , hustota vody ρ_v , objemová hmotnost zeminy ρ_z , kinematická viskozita vody ν , absolutní drsnost Δ pláště trubice a Coriolisovo číslo α . Hodnoty τ_c a C_e byly ověřovány kalibrací modelu. Výpočtové schéma je na obr. 1.

Matematická formulace problému

Úpravou Bernoulliho rovnice [2] ve smyslu přijatých předpokladů se získá vztah

$$H = \frac{\alpha v^2}{2g} + \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}. \quad (1)$$

Úpravou se získá výtoková rovnice ve tvaru

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot H}{\alpha + \lambda \frac{L}{D}}}. \quad (2)$$

Součinitel ztrát třením závisí na relativní drsnosti stěn trubice a na hodnotě Reynoldsova kritéria. Pro výpočet lze použít např. Whiteovu-Colebrookovu rovnici [3]

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{\Delta}{3,7D} \right). \quad (3)$$

Pro výpočet Reynoldsova kritéria slouží vztah

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu}, \quad (4)$$

kde ν je kinematická viskozita vody [2].

Sklon čáry energie J_E je úměrný kvadrátu průřezové rychlosti. Pro její výpočet lze použít Darcyho-Weisbachovu rovnici [3] tvaru

$$J_E = \lambda \frac{1}{D} \frac{v^2}{2g} = \frac{H}{L}. \quad (5)$$

Tečné napětí τ je vyvoláno vazkostí mezi dvěma vrstvami kapaliny, které se pohybují různou rychlostí. Lze jej stanovit podle vztahu

$$\tau = \rho_v \cdot g \cdot R \cdot J_E, \quad (6)$$

kde ρ_v je hustota vody a R je hydraulický poloměr ($R = D/4$).

Rovnici (6) lze pro případ kruhového průřezu a po dosazení J_E ze vztahu (5) upravit do tvaru

$$\tau = \frac{1}{8} \lambda \cdot \rho_v \cdot v^2. \quad (7)$$

Rychlost eroze $\dot{\varepsilon}(t)$ vyjadřuje hmotnost odneseného (erodovaného) materiálu za jednotku času na jednotkovou plochu stěny trubice [$\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-2}$]. Při jejím stanovení se vychází z rozdílu tečného napětí na plášti trubice a z kritického tečného napětí τ_c , při kterém začíná docházet k erozi. Intenzita eroze daného materiálu je vyjádřena koeficientem erodovatelnosti C_e . Rychlost eroze lze vyjádřit vztahem [6]

$$\dot{\varepsilon} = C_e (\tau - \tau_c). \quad (8)$$

Vyjadřuje časovou změnu hmotnosti erodovaného materiálu na jednotkovou plochu stěny trubice

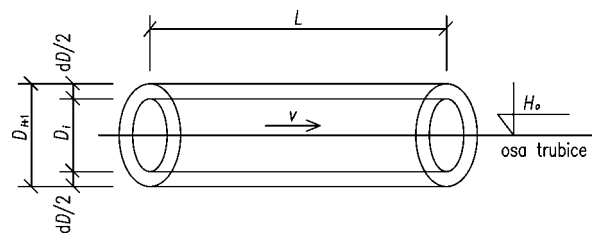
$$\dot{\varepsilon} = \frac{1}{\pi \cdot D \cdot L} \frac{dm}{dt}, \quad (9)$$

kde dm/dt je časová změna hmotnosti erodovaného materiálu. Změnu hmotnosti lze také vyjádřit ze změny průměru trubice za čas dt

$$dm = \frac{1}{2} \rho_z \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot dD, \quad (10)$$

kde ρ_z je objemová hmotnost erodované zeminy, dD je změna průměru trubice za čas dt . Dosazením (10) do (9) lze po úpravě s využitím (8) vyjádřit změnu průměru trubice v čase (obr. 1)

$$dD = \frac{2 \cdot \dot{\varepsilon}}{\rho_z} \cdot dt = \frac{2 \cdot C_e \cdot (\tau - \tau_c)}{\rho_z} \cdot dt. \quad (11)$$



Obr. 1. Výpočtové schéma

Pro průtok vody během časového intervalu dt platí

$$Q = v \cdot A \approx \text{konst.}, \quad (12)$$

kde Q je průtok a A je průřezová plocha trubice. Ta se v případě trubice kruhového průřezu vyjádří jako

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}. \quad (13)$$

Okrajovou podmínkou je závislost $H(t)$. Počáteční podmínkou je průměr trubice $D(t=0) = D_0$ a z něj vyplývající hydraulické charakteristiky na začátku řešení. Postup výpočtu je znázorněn vývojovým diagramem na obr. 2.

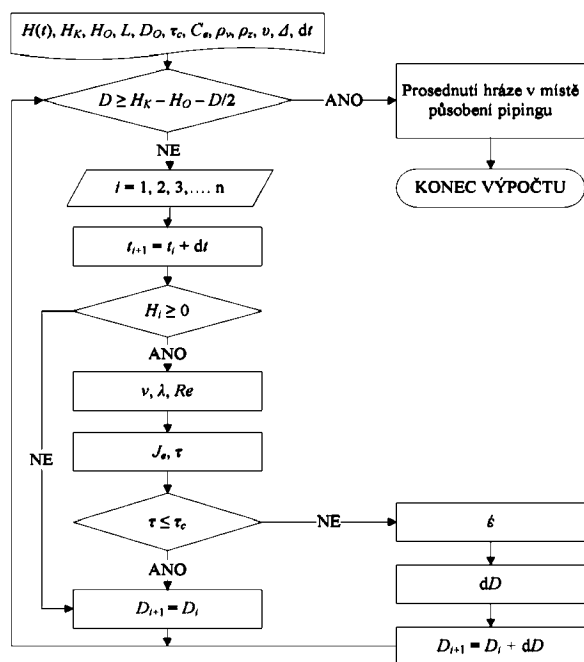
Aplikace modelu

Navržený model byl použit pro rekonstrukci a analýzu poruchy zemního těsnění hráze VD Mostiště.

Popis VD Mostiště

Hráz VD Mostiště (obr. 3) [4] je kamenitá z hutněného

lomového kamene se štíhlým zemním těsněním. Délka hráze je 292 m a její maximální výška dosahuje 28,7 m. Těsnicí jádro umístěné při návodní straně je z hutněných prachových hlín. Jádro je v horní části hráze svislé, ve spodní části hráze šikmé. Zemní těsnění je zavázáno na skalní podloží injekční štolou. Skalní podloží je těsněno jednořadou injekční clonou.



Obr. 2. Vývojový diagram algoritmu

Porucha

Anomální chování těsnicího jádra přehradní hráze se poprvé projevilo v roce 1996 vývojem nového průsaku do přístupové chodby. V dalších letech při vysokých hladinách v nádrži následovalo postupné zvyšování průsakového množství. V roce 2002 byly zahájeny přímé průzkumné práce a při pravobřežním zavázání byla zaznamenána porucha těsnicího jádra.

Vývoj průsakového režimu v tělese hráze v letech 1995 až 2005 byl dokumentován ve zprávách o technicko-bezpečnostním dohledu (TBD). Z měření vyplynulo zjištění o negativním progresivním vývoji průsaků. Protože hráz neměla v té době drenážní systém, skutečnou velikost průsaku jádrem bylo možné odvodit pouze podle průsaku propustným betonem do přístupové chodby, další obtížně identifikova-

telné průsakové množství bylo převáděno za rubem chodby do údolí. Bylo ověřeno, že při dosažení hladiny v nádrži cca na kótě 476,10 m n. m. (viz obr. 3) se začínaly objevovat výrony do přístupové chodby a průsak z prostoru pravého svahu.

Výsledky prací [4], [5] naznačují, že vrcholová štíhlá část jádra obsahuje nevhodný a nedostatečně zhutněný materiál vykazující zřejmě poškození na několika místech. Lokalizovat věrohodně jednotlivá nebezpečná místa v jádre nebylo možné. Dále bylo zjištěno, že v některých místech prakticky absntují ochranné vrstvy – filtry, koruna těsnicího jádra výškově nevyhovuje normativním požadavkům.

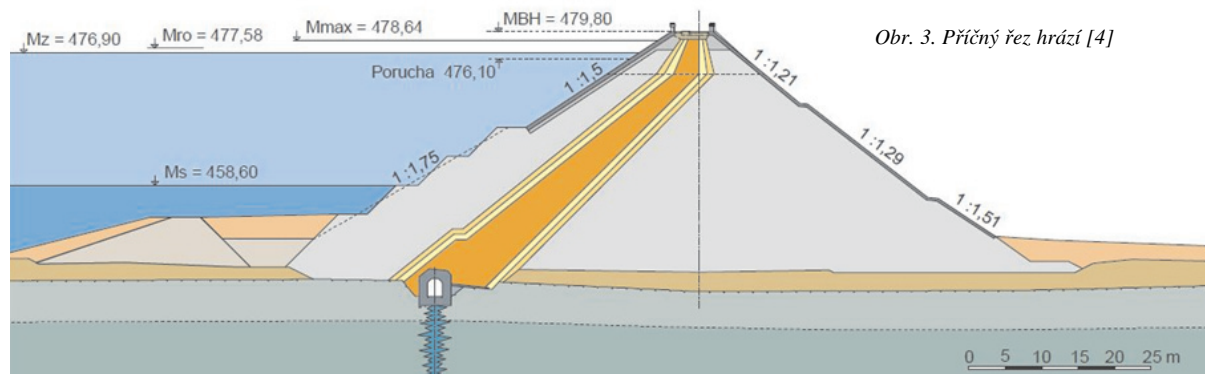
Stav byl ohodnocen jako úplné porušení těsnicího jádra privilegovanou průsakovou cestou nad úroveň zhruba 476,10 m n. m. nejméně ve dvou místech (obr. 3). Odnos jemnozrné frakce z jádra byl kompenzován sedáním nadložních vrstev, které se projevilo jako místní propad na koruně hráze.

Měřený průsak do přístupové chodby zdaleka nereprezentoval celkové množství prosakující těsnícím jádrem při pravém zavázání hráze. Paradoxní bylo, že průsaky byly zaznamenávány především díky zhoršené vodotěsnosti betonů přístupové chodby. Problematika studia skutečného průsakového množství byla v průběhu průzkumů a následné opravy VD Mostiště předmětem úvah řady odborníků. S přihlédnutím k jejich závěrům byla na základě vlastního rozboru a také po konzultaci s pracovníky TBD uvažována hodnota odpovídající čtyřnásobku měřených průsaků v chodbě.

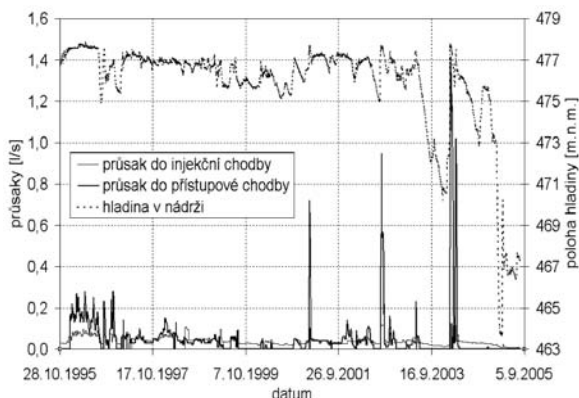
Kalibrace modelu

Matematický model, popsáný ve druhém oddílu, byl kalibrován a testován na sérii dat z technicko-bezpečnostního dohledu prováděného na VD Mostiště. Tento dohled vykonává nad vodním dílem společnost VODNÍ DÍLA-TBD, a. s. K dispozici byla data z let 1981-2005, z nichž bylo využito období 1995-2005, tj. od prvních zaznamenaných zvýšených průsaků až do opravy jádra v roce 2005. V tomto období se periodicky objevoval zvýšený průsak do přístupové chodby, který výrazně kolísal v závislosti na poloze hladiny v nádrži a projevoval se zřetelně vzestupným trendem (obr. 4). Pro ilustraci je na obr. 4 zachycen rovněž běžný průsak měřený v injekční chodbě.

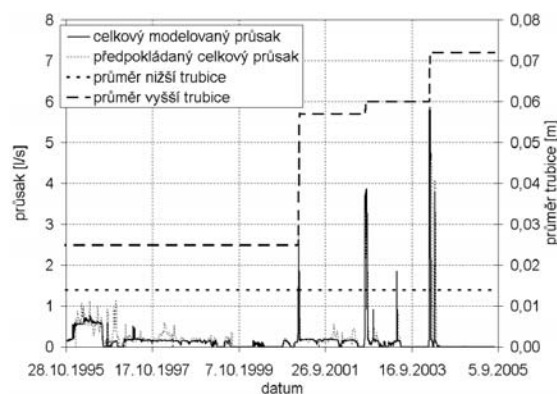
Do matematického modelu byly pro předběžný výpočet zadány parametry τ_c , C_e eroze vycházející ze záznamů TBD, z projektové dokumentace VD Mostiště, z inženýrsko-geologického průzkumu [5] a také z dostupné literatury [6]. Výstupní data byla zpětně porovnávána s naměřenými průsaky v rámci TBD a v závislosti na zjištěných odchylkách probíhala korekce výškové polohy průsakové trubice, jejího počátečního průměru a také hodnot τ_c , C_e . Během kalibrace modelu byly identifikovány dvě na sobě nezávislé trubice.



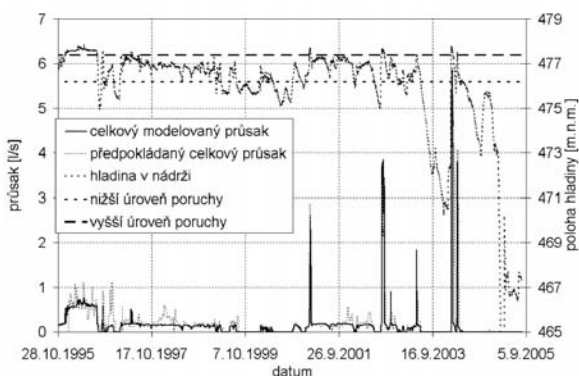
Obr. 3. Příčný řez hrází [4]



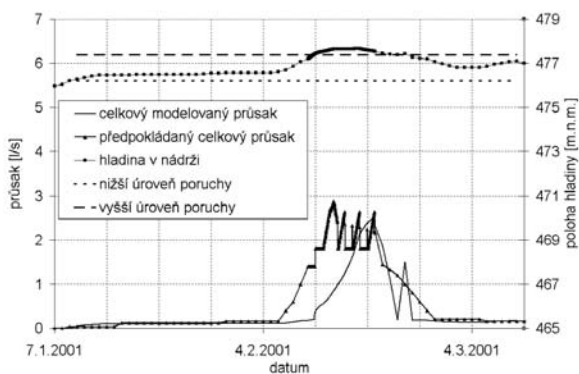
Obr. 4. Zaznamenaný průsak (1995-2005)



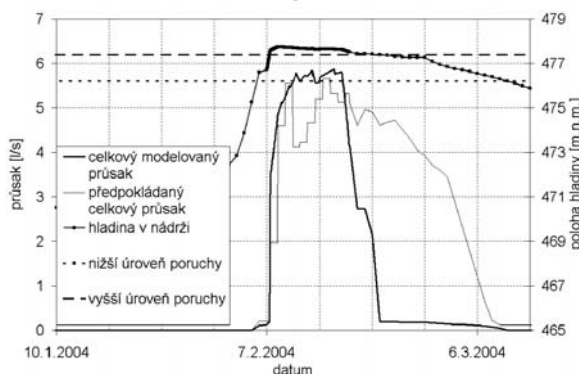
Obr. 8. Modelový vývoj průměru trubic (1995-2005)



Obr. 5. Zaznamenaný a modelovaný průsak (1995-2005)



Obr. 6. Detail shody zaznamenaného a modelovaného průřezu (únor 2001)



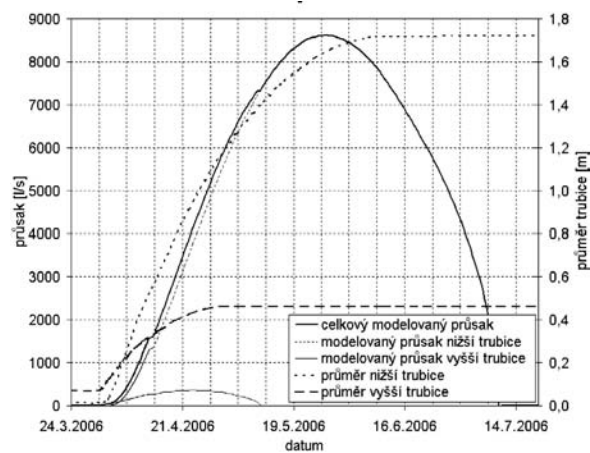
Obr. 7. Detail shody zaznamenaného a modelovaného průřezu (únor 2004)

Ty vykazovaly různé vlastnosti i výškovou polohu. Eroze u nich přitom probíhala různou rychlostí. Systematickým ověřováním různých poloh bylo odvozeno výškové umístění hypotetických trubic v jádře vodního díla, počáteční průměry trubic, kritické tečné napětí na plášti trubic a koeficient erodovatelnosti. Výsledky kalibrace modelu jsou zřejmé z obr. 5 až obr. 7.

Kalibrace modelu přinesla řadu nových poznatků o poměrech v porušeném těsnicím jádře vodního díla. Nižší vytvořená trubice se nachází v kvalitnějším materiálu ($\tau_c \approx 20$ Pa), její průměr na počátku modelovaného období činil 0,014 m a v průběhu jednotlivých povodňových epizod se výrazněji nezvětšoval (obr. 8), tzn. nebylo zřejmě překročeno kritické tečné napětí a nedocházelo k erozi. Výše lokalizovaná trubice se proti tomu nachází v tenké vrstvě méně kvalitního materiálu ($\tau_c \approx 1$ Pa). Ten se v důsledku postupné eroze vyplavoval a trubice se zřejmě rozšiřovala do odolnějšího materiálu ($\tau_c \approx 8$ Pa), čímž docházelo ke zpomalování eroze její stěny. Počáteční průměr trubice byl 0,025 m a během povodňových epizod se postupně rozšířil až na 0,072 m (obr. 8). Koeficient erodovatelnosti byl v obou případech podobný ($C_e = 1 \cdot 10^{-5} \text{ s m}^{-1}$). Uvedený jev může souviset s větším prosedáním materiálu v místech níže položené trubice, u níž se projeví větší zatížení vyšším nadložím.

Simulace povodňové události v roce 2006

S využitím kalibrovaného erozního modelu byla provedena simulace hypotetického scénáře, který vycházel z průběhu skutečné povodně na jaře 2006 za předpokladu, že by



Obr. 9. Modelovaný vývoj průměru trubic během jarní povodně v roce 2006

v roce 2005 nebyla provedena oprava jádra VD. Během této události dosáhla hladina vody v nádrži historického maxima na kótě 478,58 m n. m. Cílem simulace bylo zjistit možné následky této povodně a vývoj poruchy během ní. Simulace předpokládala standardní manipulaci se spodními výpustmi dle manipulačního řádu. Vstupní data vycházela z podkladů TBD a vlastníka vodního díla.

Matematický model ukázal výrazný vývoj poruchy v místě obou trubíc, způsobený vysokým hydraulickým gradientem a překročením kritického tečného napětí. Průměry obou trubíc se během povodně rozšířily natolik, že již nelze hovořit o průsaku, ale o koncentrovanému průtoku průlomovým otvorem představujícím úplnou poruchu hráze (*obr. 9*). U níže položené trubice došlo vlivem extrémně vysokého hydraulického gradientu k velmi rychlé erozi, kdy se trubice rozšířila až na průměr $D_1 = 1,72$ m s maximálním průtokem $Q_1 = 8,62$ m³ s⁻¹. Průměr výše položené trubice se rozšířil na $D_2 = 0,46$ m s maximálním průtokem $Q_2 = 0,36$ m³ s⁻¹.

Závěr

Vnitřní eroze zemin je druhou nejčastější příčinou poruch sypaných hrází (za přelítím hrází). Studium problémů vnitřní eroze se však omezuje převážně na laboratorní experimenty. Důvodem je nedostatek věrohodných informací o průběhu filtračních deformací na skutečných vodních dílech.

V tomto článku je uvedeno zpětné modelové hodnocení průběhu poruchy těsnicího prvku hráze VD Mostiště, které

vyvrcholilo celkovou opravou jádra přehradu v roce 2005. Práce obsahovala kalibraci modelu a odvození erozních charakteristik materiálu jádra, výškové umístění a parametry průsakových trubíc. Kalibrace prokázala akceptovatelný souhlas mezi vypočtenými a odhadnutými průsakovými množstvími. Součástí byla rovněž modelová prognóza situace při povodni na jaře roku 2006. Výsledky studie potvrdily oprávněnost obav a postupu rekonstrukce jádra v roce 2005.

Příspěvek byl zpracován jako součást řešení projektu NAZV QH 81 223 a interního projektu NIV VG 239 Fakulty stavební VUT. Nezbytné podklady a konzultace poskytl pracovníci společností Povodí Moravy, s. p., Vodní díla – TBD, a. s., a PÖYRY Environment, a. s.

Literatura

- [1] Benahmed, N.: Internal Erosion in Hydraulic Works, Laboratory Tests Procedure and Results. In: Workshop on Internal Erosion in Dams and Foundations, St-Petersburg, 2009.
- [2] Boor, B. – Kunštátský, J. – Patočka, C.: Hydraulika pro vodohospodářské stavby. Praha, SNTL 1968.
- [3] Jandora, J. – Šulc J.: Hydraulika. VUT v Brně, 2006.
- [4] Krejčí, V. – Švancara, J.: Vývoj situace na VD Mostiště. Vodní hospodářství, 55, 2005, č. 8, s. 240-244.
- [5] Rech, S. – Pavlík, J.: Závěrečná zpráva o inženýrskogeologickém průzkumu v koruně hráze VD Mostiště. GEOTest Brno, 2004.
- [6] Wan, C. F. – Fell, R.: Investigation of Internal Erosion and Piping of Soils in Embankment Dams by the Slot Erosion Test and the Hole Erosion Test – Interpretative Report, The University of New South Wales, Sydney, 2002.

Čejda, M. – Říha, J.: Model of Piping Process and its Application to Mostiště Embankment Dam

This paper sets out the results of the analysis of the progress of the core incident at the Mostiště Dam. The analysis of the internal erosion was carried out using a one-dimensional hydrodynamic and internal erosion model. The assessment included model calibration with the use of the Mostiště dam data and the simulation of the progressive internal erosion of the core during the flood in spring 2006.

Čejda, M. – Říha, J.: Ein Modell der Entwicklung des bevorzugten Durchsickerungswegs und seine Anwendung auf eine Beschädigung der Talsperre Mostiště

Der Artikel beschreibt die Ergebnisse einer Modellanalyse des Verlaufs einer Beschädigung der Tondichtung des Damms der Talsperre Mostiště. Die Prüfung der inneren Erosion wurde mit einem hydrodynamischen und Erosionsmodell in einer Richtung durchgeführt. Bestandteil der Lösung ist ihre Kalibrierung mit der Benutzung von Daten der Talsperre Mostiště und die Simulation des Verlaufs der fortschreitenden Erosion des Kerns im Verlauf der Hochwasserepisode im Frühjahr 2006.



INTERNATIONAL CONFERENCE ON MODELLING AND SIMULATION

22. – 25. June 2010

Czech Technical University in Prague

<http://concrete.fsv.cvut.cz/ms10prague/>



Statistická třídění ve stavebnictví

Ing. Martin NOVÝ, CSc.
VUT – Fakulta stavební
Brno

Článek obecně definuje statistické třídění, jeho význam a vlastnosti. Dále uvádí historický přehled a současně užívané klasifikace stavebních prací a stavebních děl v České republice. Na závěr jsou uvedeny obecné požadavky na třídící systémy.

Úvod

Lidská společnost v současnosti vytváří, a zároveň zpracovává, obrovské množství informací. Pro jejich ukládání, skladování a opětovné vyhledávání je třeba mít organizované úložiště. Ukládané informace musí být vždy nějakým způsobem tříděny. Třídění je obecný postup, který se používá ve všech oborech lidské činnosti. Jeho cílem je uspořádání objektů (a informací o nich) do skupin podle charakteristických vlastností. Třídění provádí každý člověk v běžném životě intuitivně podle svých potřeb a zkušeností. Toto třídění je individuální a na ně navázané informace nejsou běžné a jednoduše přenositelné. V profesním a veřejném životě je situace odlišná. Použité třídění musí být všeobecně známé, přesně vymezené a jednoduše dosažitelné. Přiřazení zjišťovaných informací musí být jednoznačné a přiřazované údaje musí být přesně definované. Jen tak lze informace z různých zjišťování správně zpracovat a výsledky správně používat pro další rozhodování. Definováním třídících hledisek, sběrem hromadných dat a jejich zpracováním a publikováním se zabývá statistika. Podle organizátora to může být statistika osobní (individuální), skupinová (profesní, zájmová, podniková) nebo státní (celospolečenská). [1]

Při zkoumání ekonomických jevů nemůže být objekt zájmu nijak ovlivněn na rozdíl od experimentů v přírodních nebo technických vědách. Správné zatřídění zjišťovaných skutečností proto patří k základním podmínkám ekonomického rozboru. Nevhodný způsob třídění může některé významné skutečnosti zakrýt nebo potlačit. Zkreslení způsobená nevhodným systémem třídění se v dalším zpracování dají napravit jen obtížně, nebo vůbec. Nesprávné třídění může mít za následek nepřesné nebo zcela chybné závěry výzkumu.

Významnou součástí hospodářství každého státu je stavebnictví. Výstupem stavební výroby jsou stavební díla představující z ekonomického hlediska dlouhodobý investiční majetek – nemovitosti. Platí obecné pravidlo, že současný vývoj stavebnictví naznačuje budoucí vývoj celého hospodářství. To je důvod, proč veškeré informace spojené se stavebnictvím musí být pečlivě a systematicky tříděny.

Třídění

Tříděním se obecně rozumí rozdělení jednotek zkoumaného souboru (např. staveb) do skupin (tříd) podle takových hledisek, která umožní co nejlépe poznat povahu zkoumaných skutečností. Nejdůležitější otázkou je volba třídícího znaku, podle kterého se jednotky souboru třídí na skupiny.

Tato volba se řídí účelem, který opět vychází z potřeb konkrétního zkoumání. Nejčastějším případem je třídění věcné podle charakteru sledovaného znaku. Důležité je i třídění oblastní (územní) podle místa šetřených jevů. Časové třídění vyjadřuje strukturu jevů z hlediska časového.

Postup práce při třídění se liší podle toho, zda jde o třídění typologické, nebo analytické. Při třídění typologickým zkoumaný soubor rozdělujeme na stejnorodé skupiny se stejnými nebo podobnými charakteristickými vlastnostmi (např. stavební objekty podle využití). Vhodnou kombinací znaků můžeme pak vymezené stejnorodé skupiny (např. staveb), představující určitý funkčně technologický typ.

Analytické třídění se provádí za účelem rozboru struktury (např. stavební výroby) nebo vzájemné závislosti jevů. Podle kvalitativních znaků se zkoumaný soubor rozděluje na skupiny (třídy) podle variant kvalitativního znaku nebo podle několika kvalitativních znaků (u staveb např. nosná konstrukce). Slovní označení kvalitativního znaku je nutno často doplnit přesnou definicí, aby se předešlo nedorozumění při začlenění jednotek do tříd. Třídění podle kvantitativních znaků znamená uspořádání souboru do skupin podle velikosti třídícího znaku (např. počtu zaměstnanců podniku).

Podle charakteru zkoumaného souboru a způsobu zpracování zjišťovaných údajů mohou být použity tyto způsoby třídění:

- **klasifikace** je hierarchicky uspořádané třídění určitých ekonomických, sociálních nebo demografických jevů či procesů. Klasifikační třídění sleduje návaznost jevů a procesů od obecnějšího k detailnějšímu. Jevy a procesy jsou v klasifikacích uspořádány a rozčleněny zpravidla do tříd a podtříd, skupin a podskupin, oddílů a pododdílů, přičemž vyšší stupeň struktury se rozkládá na detailnější nižší stupně a existuje hierarchické logické uspořádání podřízenosti a nadřazenosti jednotlivých stupňů klasifikace. Jednotlivým stupňům struktury bývají přiřazena číselná (numerická), písmenná (alfabetická) nebo kombinovaná (alfanumerická) jednomístná i vícemístná označení, která mohou být oddělena různými grafickými symboly (tečkami, mezerami, pomlčkami apod.). Je tak vyvářen kód jednoznačně přiřazený slovnímu popisu;
- **číselník** představuje vzestupně či sestupně uspořádanou řadu číselných znaků, písmen či jejich kombinací. Tyto znaky jsou přiřazeny k určitému slovnímu popisu jevů či procesů se základní společnou charakteristikou. Mezi jednotlivými prvky číselníku neexistuje (ve většině případů) nadřazenost či podřízenost. Číselníkem se rozumí uspořádaný seznam kódů a jim přiřazených významů;
- **registr** je uspořádaný seznam informací o vybraných subjektech. Subjektem registrů mohou být lidé nebo jejich skupiny, ekonomicky činné organizace, historické objekty apod. Je to vlastně číselník s více informacemi přiřazenými konkrétnímu kódu.

Uvedené třídění používá státní statistika. Jejím garantem je v ČR organizační složka státu Český statistický úřad (ČSÚ). Jeho práva a povinnosti vyplývají ze zákona 89/1995 Sb., o státní statistické službě, v platném znění. Pro sledování soukromá, individuální nebo skupinová lze používat jakéko-

li metody třídění jakkoli nazvané (např. třídíčky, popisovníky, nomenklatury, soupisy). Základním předpokladem jejich úspěšného používání je jejich srozumitelnost, jednoznačnost a přijatelnost všemi zúčastněnými stranami. Používání takového třídění může být za určitých podmínek i vynuceno, např. může být podmínkou účasti v určité ekonomické aktivitě.

Klasifikace a číselníky ve stavebnictví

Nutnou podmínkou úspěšného výkonu státní statistické služby (tj. získávání údajů, vytváření statistických informací o sociálním, ekonomickém a ekologickém vývoji České republiky a jejich jednotlivých částí, poskytování statistických informací a jejich zveřejňování), je systematické třídění veškerých informací. K tomu používá ČSÚ soustavu klasifikací, číselníků a registrů. Vydání klasifikací oznamuje ČSÚ ve Sbírce zákonů s uvedením místa, kde jsou klasifikace k dispozici. Všechny platné statistické klasifikace jsou závazné pro orgány vykonávající státní statistickou službu (ČSÚ, ministerstva a pověřené organizace) a pro zpravodajské jednotky, které poskytují údaje pro statistická zjišťování prováděná státní statistickou službou. Dále se používají v případech, kdy tak stanoví zvláštní právní předpis (např. zákon o dani z přidané hodnoty, vyhláška o oceňování majetku). V ostatních případech je jejich používání nezávazné, vycházející z tradice, dobrovolnosti a přijatelnosti pro zúčastněné partnery. Pokud stávající statistické třídící systémy uživatelům nevyhovují, lze pro individuální nebo skupinové použití sestavovat systémy nové.

Historický vývoj klasifikací

V době existence ČSSR a direktivního řízení hospodářství byl postupně budován závazný klasifikační systém, který představovala „Jednotná soustava sociálně ekonomických klasifikací“. Vznikla na základě usnesení vlády ČSSR č. 576/1962 Sb. Jejím zpracovatelem byl Federální statistický úřad, resp. příslušná ministerstva. Ke všem klasifikacím byla vydána řada výnosů, oznámení, popř. sdělení, jimiž byly klasifikační stupně postupně zaváděny a aktualizovány.

Soustava se dělila do těchto částí:

- A. Klasifikace výrob a výkonů
- B. Klasifikace odvětví národního hospodářství
- C. Klasifikace zaměstnání, klasifikace sociálně ekonomické struktury obyvatelstva
- D. Klasifikace základních prostředků
- E. Klasifikace spotřeby
- F. Ostatní klasifikace a číselníky

Se stavebnictvím byla úzce spjata zejména:

- **Jednotná klasifikace průmyslových oborů a výrobků (JKPOV)** obsahující oborové číselníky průmyslových výrobků (vyhláška č. 71/1965 Sb. a č. 116/1972 Sb.). Ve stavebnictví se používala pro třídění zpracovávaných materiálů, zabudovávaných výrobků a používaných strojů a zařízení.

- **Jednotná klasifikace stavebních objektů a stavebních prací výrobní povahy (JKSO)** (vyhláška č. 124/1980 Sb.). Podle ní se třídily stavební objekty jako finální produkty stavební výroby.

- **Třídíček stavebních konstrukcí a prací (TSKP)** vydaný na základě instrukce č. 13/1977 Ministerstva stavebnictví ČSR ze dne 30.12.1977 v součinnosti s Ministerstvem stavebnictví SSR a v dohodě s FSÚ ve smyslu § 16 odst. 2 písmeno b) zákona č. 21/1971 Sb. Používal se pro technické strukturování návrhu a rozpočtování staveb.

Jednotná soustava sociálně ekonomických klasifikací zanikla nabytím účinnosti zákona č. 89/1995 Sb., o státní statistické službě, dnem 15. června 1995.

Uvedené třídící systémy byly nahrazeny novou klasifikací – **Standardní klasifikací produkce (SKP)**. Tato klasifikace byla vypracována na bázi evropského standardu CPA (Classification of Product by Activities) z roku 2002. Klasifikace CPA byla vytvořena z oddílů Harmonizovaného systému, resp. Kombinované nomenklatury (HS/CN), využívané v zahraničním obchodě pro celní účely, přičemž základ klasifikace tvoří odvětvová klasifikace NACE. Na rozdíl od HS/CN klasifikace CPA obsahuje i zboží a služby, které nejsou předmětem dovozu nebo vývozu a je vhodná pro různé ekonomické rozborů a analýzy.

Klasifikace SKP se ve vztahu ke stavebnictví vyvíjela takto:

- Opatření ČSÚ ze dne 1. listopadu 1993 v částce 69/1993 Sb. k zavedení Standardní klasifikace produkce nahradilo tyto klasifikace jednotné soustavy: JKPOV, JKVZLVH (jednotnou klasifikaci výrobků v zemědělství, v lesnictví a ve vodním hospodářství), JKV (jednotnou klasifikaci výkonů), JKPPVP (jednotnou klasifikaci průmyslových prací výrobní povahy), JKSO. Tyto klasifikace mohly být používány souběžně s SKP do 31. prosince 1994. Klasifikace SKP obsahuje stavební práce v oddílu 45 a stavební díla (druhy stavebních objektů) v oddílu 46 označovaném jako klasifikace stavebních děl (KSD).

- Opatření ČSÚ ze dne 3. listopadu 1997 k zavedení rozšířené Standardní klasifikace produkce – rozšířená (2. část) SKP-PRUM bylo vyhlášeno v částce 93/1997 Sb. Součástí byl i rozšířený (zpodrobněný) oddíl 45 (stavební práce) na 8 míst a v příloze oddíl 46 (KSD) na 9 míst.

- Sdělení ČSÚ ze dne 5. prosince 2002 o zavedení druhého vydání Standardní klasifikace produkce (částka 198/2002 Sb.) byly zrušeny rozšířené části SKP. Klasifikace zůstala v platnosti od 1. ledna 2003 pouze na 6 míst. V KSD se obsah nezměnil.

- Sdělení ČSÚ ze dne 31. července 2008 (částka 92/2008 Sb.) zrušilo zpětně s účinností od 1. ledna 2008 nařízení Rady (EHS) č. 3696/93, na základě něhož byla zavedena dosavadní SKP, a stanovilo použitelnost nové produkční statistické klasifikace od 1. ledna 2008. Tato klasifikace je označována CZ-CPA. [2]

ČSÚ na základě zákona č. 545/1992 Sb., o Sbírce zákonů České republiky, oznamoval vydání statistických číselníků a klasifikací vyhlášením opatření (oznámením o jejich vydání). Dne 11. listopadu 1999 byl vyhlášen nový zákon č. 309/1999 Sb., o Sbírce zákonů a Sbírce mezinárodních smluv s účinností od 1. ledna 2000. Opatření vydaná do nabytí účinnosti tohoto nového zákona a k tomuto dni platná pozbyla podle přechodných ustanovení platnosti nejpozději dne 31. prosince 2003. Proto bylo nutné číselníky a klasifikace, které měly zůstat v platnosti i po 31. prosinci 2003, znovu zavést ve Sbírce zákonů. To bylo provedeno sděleními ČSÚ ze dne 18. prosince 2003 (částka 160/2003 Sb., sdělení 486 až 498/2003 Sb.). Celkem bylo znovu zavedeno 13 číselníků a klasifikací. Klasifikace a číselníky vydané podle nového zákona od 1. ledna 2000 zůstaly v platnosti beze změny.

Současné závazné klasifikace stavebnictví

K 1. lednu 2009 jsou platné statistické klasifikace zavedené sděleními ve Sbírce zákonů, které se bezprostředně vztahují ke stavební výrobě. Zkratka CZ v jejich názvech vyjad-

řuje národní verzi mezinárodního standardu. Národní verze mohou obsahovat některé odlišnosti od mezinárodní podoby na podrobnějších stupních.

● **Klasifikace ekonomických činností (CZ-NACE)**, sdělení ČSÚ ze dne 18. září 2007 (částka 80/2007 Sb.), byla vypracována podle mezinárodní statistické klasifikace ekonomických činností, v souladu s nařízením Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1893/2006 ze dne 20. prosince 2006, kterým se zavádí statistická klasifikace ekonomických činností NACE Revize 2 a kterým se mění nařízení Rady (EHS) č. 3037/90 a některá nařízení ES o specifických statistických oblastech. Na základě této klasifikace je zařídována činnost ekonomických subjektů. Obsahuje i činnosti při výstavbě budov, inženýrských děl a specializované stavební činnosti, které jsou charakteristické pro stavební firmy.

● **Klasifikace produkce (CZ-CPA)**, sdělení ČSÚ ze dne 31. července 2008 o zavedení Klasifikace produkce (částka 92/2008 Sb.). Navazuje na nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 451/2008 ze dne 23. dubna 2008, kterým se zavádí nová statistická klasifikace produkce podle činností (CPA) a ruší nařízení Rady (EHS) č. 3696/93. Tento přímo použitelný předpis Evropských společenství zrušil zpětně s účinností od 1. ledna 2008 nařízení Rady (EHS) č. 3696/93, na základě něhož byla zavedena dosavadní Standardní klasifikace produkce (SKP), a stanovil použitelnost nové statistické klasifikace od 1. ledna 2008. Klasifikace třídí rovněž stavby a stavební práce jako dílčí výsledky stavební činnosti.

● **Klasifikace stavebních děl (CZ-CC)**, sdělení ČSÚ ze dne 9. září 2003 (částka 106/2003 Sb.). ČSÚ s účinností od 1. ledna 2004 zavedl Klasifikaci stavebních děl CZ-CC. Obsahově vychází z mezinárodního standardu Klasifikace stavebních děl (Classification of Types of Constructions – CC), který vydal Eurostat (statistický úřad evropského společenství) v říjnu 1997. Při vypracování klasifikace se vzal za základ oddíl 52 mezinárodní klasifikace produkce CPC (Central Product Classification). Předmětem je třídění všech místně a prostorově ucelených stavebních děl. Klasifikace CZ-CC nahradila Klasifikaci stavebních děl – KSD (oddíl 46 SKP). Ve sdělení ČSÚ z 30. července 2009 (255/2009 Sb.) byla s účinností od 1. října 2009 provedena aktualizace obsahující doplnění a přejmenování vždy jedné položky klasifikace. [3]

Další třídící systémy stavebnictví

Existence a závaznost při používání dosud jmenovaných klasifikací je podložena zákonem a je oznamována ve Sbírce zákonů organizační složkou státu – ČSÚ. I některá ministerstva vyhláší své třídící systémy, jejichž používání pak při činnostech spadajících do jejich kompetence vyžadují. Nové typy třídění sestávají, popř. stávající typy modifikují, různé profesní, zájmové nebo obchodní organizace. Na svých systémech pak budují informační databáze a jejich uživatelé pak nepřímo nutí tyto systémy používat.

– *Oborový třídící stavebních konstrukcí a prací staveb pozemních komunikací – OTSKP-SPK*

Byl schválen Ministerstvem dopravy ČR, odborem infrastruktury pod č. j. 1125/07-910-IPK/1 ze dne 17.12.2007 s účinností od 1.1.2008. Tvoří podklad pro jednotný přístup ke zpracování soupisu prací, vypracování cenové nabídky a ocenění prací na pozemních komunikacích. Popisovník prací staveb pozemních komunikací dodržuje základní členění podle TSKP z r. 1988. Dále byly provedeny změny, které respektují potřeby staveb pozemních komunikací a tržní podmínky procesu přípravy a realizace staveb. [4]

– *Společný slovník pro veřejné zakázky (CPV)*

Vyhláška č. 240/2004 Sb. Ministerstva pro místní rozvoj ČR ze dne 21. dubna 2004 (o informačním systému o zadávání veřejných zakázek a metodách hodnocení nabídek podle jejich ekonomické výhodnosti pro vymezení předmětu veřejné zakázky) předepisuje zadavateli použít klasifikaci zboží, služeb a stavebních prací stanovenou právním předpisem Evropských společenství (Nařízení Evropského parlamentu a Rady ES) č. 2195/2002 ze dne 5. listopadu 2002 o společném slovníku pro veřejné zakázky, ve znění nařízení Komise (ES) č. 2151/2003 ze dne 16. prosince 2003, kterým se mění nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 2195/2002 ze dne 5. listopadu 2002 o společném slovníku pro veřejné zakázky CPV. Tato klasifikace tvoří ve všech členských státech EU jednotný referenční systém, který užívá stejného popisu zboží v úředních jazycích společenství a stejného odpovídajícího abecedně číslicového kódu, aby bylo možné překonat jazykové překážky v celoevropském měřítku.

Dne 15. září 2008 vstoupil v platnost nový seznam kódů (CPV 2008), které vycházejí z Nařízení komise č. 213/2008 ze dne 28.11.2007, jenž změnil původní společný slovník pro veřejné zakázky (CPV 2003). [5]

– *Mezinárodní třídící systém pro stavební výrobky (SfB)*

Český stavební informační systém a další firmy používají k zařazení výrobků mezinárodní třídící systém SfB. Systém CI/SfB (Construction Index/Samarbetskommitten för Byggnadsfrågor – koordinační systém ve stavebnictví) byl vytvořen ve Švédsku. Je doporučován mezinárodním výborem pro stavební výzkum (CIB – International Council for Building Research Studies and Documentation) jako registrační systém ve stavebnictví. Umožňuje národní modifikaci, avšak uživatelé musí zachovat princip fasetového třídění a v jednotlivých fasetách zásadní rozdělení skupin, které je stanoveno základními tabulkami. [6]

– *Funkční díly*

Funkční díl představuje ucelenou část stavby, která plní jednu nebo více konkrétně specifikovaných funkcí. Z této definice vyplývá, že funkční díly jsou alespoň částečně u různých druhů staveb různé, což vyplývá z jejich odlišné funkce i technologie provádění. Podrobnost členění, a tím počet funkčních dílů, je závislý na účelu sledování. Funkční díl jako celek tvoří zpravidla více prvků, které se označují jako konstrukční prvky. Členění staveb na funkční díly se používá např. při sledování provozních nákladů stavby za dobu její životnosti.

Závěr

Použití vhodného třídění objektů šetření nebo výzkumu je nutnou podmínkou jeho úspěšnosti. Statistická šetření, organizovaná ČSÚ jako nositelem státní statické služby, jsou závazná pro poskytovatele údajů (respondenty), zpracovatele úloh i uživatele jejich výsledků. Ze zákona o státní statistické službě vyplývá, že používané klasifikace a číselníky jsou vyvíjeny, zpracovávány a aktualizovány ČSÚ. Ten zároveň musí plnit požadavky Eurostatu – statistického úřadu EU – a sjednocovat národní systémy třídění se systémy evropskými. Základní etapa sjednocení (tzv. harmonizace) byla ukončena před vstupem ČR do EU, ale i po něm stále pokračuje. Ve stavebnictví tento proces způsobil v období posledních dvaceti let platnost už třetí závazné klasifikace stavebních prací i děl. To samozřejmě ztěžuje porovnatelnost časových údajů, ale hlavně znesnadňuje orientaci odborné veřejnosti.

V praxi se pak souběžně používají klasifikace aktuálně závazné, ale i historicky vžitě. Tato situace způsobuje vývoj nových nebo úpravy starších, popř. přejímaných, třídících systémů různými zájmovými skupinami (podnikatelskými svazy, odbornými sdruženími, jednotlivými firmami, výzkumnými týmy). Některé klasifikace se na první pohled zdají stejné, ale díky úpravám se v některých částech nebo detailech odlišují. Stávající situace tak způsobuje komplikace, zvýšení pracnosti a vznik nepřesností při převodech informací mezi různými klasifikacemi. Ideálním řešením by byl vznik univerzální klasifikace, která by měla být známá, dostupná, veřejností přijímaná, živá a udržovaná v rámci statistické služby. Sjednocení sil veřejných i soukromých a národních i mezinárodních pro vývoj jediného systému vyhovujícímu všem uživatelům (legislativě, investorům, projektantům, dodavatelům, vlastníkům, výzkumu) zřejmě ještě dlouho zůstane nerealizovatelným přáním odborné veřejnosti.

Článek vznikl za podpory projektu CZ.1.07/2.2.00/07.0410 „Modernizace předmětů navazujícího magisterského studijního programu Stavební inženýrství“ na Fakultě stavební VUT v Brně.

Literatura

- [1] Nový, M.: Klasifikace v cenové statistice ve stavebnictví. [Sborník], seminář „Specifikační systémy stavebních prací pro oceňování“, VUT Brno, 2004. /ISBN 80-214-2665-9/
- [2] Sbírka zákonů ČR – různé ročníky. Praha, Tiskárna Ministerstva vnitra ČR. /ISSN 1211-1244/
- [3] Informační web Český statistický úřad, ČSÚ, Praha 2009 (on line 23. 8. 2009), www.czso.cz/csu/klasifik.nsf/i/klasifikace
- [4] Informační server Ředitelství silnic a dálnic ČR, Praha 2009 (on line 23.8.2009), www.rsd.cz/Technicke-predpisy/OTSKP-SPK
- [5] Portál o veřejných soutěžích a koncesích, Ministerstvo pro místní rozvoj ČR, Praha 2009 (on line 23.9.2009), www.portal-vz.cz/Aktuality/Zmena-v-klasifikaci-CPV-kodu-pro-verejne-zakazky
- [6] Internetový systém eStav.cz, ABF, a. s., Praha 2009 (on line 23.8.2009), www.estav.cz/nomen/kat-sfb.asp. /ISSN 1214-0341/

Nový, M.: Statistics of Classification in Construction Industry

The article deals with statistical classification in the construction industry – classifications, classifiers and also classification systems. First, statistical classification, its importance and characteristics are generally defined. Next, a historical overview and presently used classifications of building works and building constructions in the Czech Republic are shown. At the end, general requirements for classification systems are featured.

Nový, M.: Statistische Klassifikation im Bauwesen

Der Artikel definiert allgemein die statistische Klassifikation, ihre Bedeutung und ihre Eigenschaften. Er führt eine historische Übersicht und die gegenwärtig angewandten Klassifikationen von Bauarbeiten und Bauwerken in der Tschechischen Republik an. Zum Schluss werden allgemeine Anforderungen an Klassifikationssysteme angeführt.

● zprávy



Česká rada pro šetrné budovy
Czech Green Building Council

czgbc.org

Developerské a stavební firmy, výrobci a distributoři stavebních materiálů, finanční instituce, odborné společnosti působící v oblasti architektury, plánování, projekce, makléřství, projektového managementu, průmyslového designu, ale i státní správa, organizace ochrany životního prostředí, vysoké školy a výzkumné ústavy či profesní sdružení – ti všichni se mohou stát členy České rady pro šetrné budovy. Zakládajícími členy se v září staly společnosti Atrea, Autodesk, Cigler Marani Architects, Edwards and Zuck, EkoWATT, Gardiner&Theobald, JRD, Sekyra Group, Skanska CS, Schneider Electric CZ, Traficon a ZumTobel.

Nezisková organizace CzGBC bude podněcovat trh, vzdělávání a změny v legislativě k vytvoření prostředí pro kvalitní stavby, které jsou současně ekonomicky ziskové a šetrné k životnímu prostředí. Její činnost v ČR bude vycházet z obdobného principu, na jakém působí v jiných zemích světa, a současně se bude ucházet o členství ve sdružení World Green Building Council. K zemím, kde již Green Building Council působí, patří Velká Británie, Francie, Německo, Polsko, Maďarsko, Spojené státy americké, Austrálie, Japonsko, Indie a další.

Sdružení bude obhájcem a propagátorem efektivnosti a správného řešení státní environmentální politiky, bude klást důraz na stavební komunitu s cílem trvale udržitelných principů efektivních a přelomových inovačních postupů. Vychází z iniciativy a podpory firem a propojuje ekologická témata s podnikáním. Dlouhodobým cílem je zavedení tržního nástroje certifikace šetrnosti staveb k životnímu prostředí.

Tisková informace

Stavební obzor na CD

**Ročníky
2002–2009**

**ve formátu pdf si lze objednat
u distributora, popř. v redakci našeho
časopisu**

Cena:

**1 ročník na CD 400 Kč
poštovné + belné (dobírka) 100 Kč**

Objednávky:

**Ing- Milan Gattringer, MG DTP,
Borovanská 3388, 143 00 Praha 4,
tel./fax: 241 770 220,
e-mail: mgdtp@volny.cz**

● Fakulta stavební



Výuková laboratoř speciálních geodetických měření

Pro výuku předmětů na katedrách speciální geodézie a vyšší geodézie Fakulty stavební ČVUT v Praze se využívalo čtyř totálních stanic Leica TC-1700 a jedné stanice Leica TC-1800. Tyto přístroje jsou více než patnáct let staré a vykazují časté závady a nestandardní chování. Některé závady jsou neodstranitelné (nejsou náhradní díly) a uvedené pří-



Obr. 1. Totální stanice Topcon GPT-7501 při výuce Inženýrské geodézie

stroje jsou již zcela morálně zastaralé proti současné technice využívané běžně v praxi. V případě závažnější poruchy některého z přístrojů byl ohrožen chod výuky stěžejních předmětů studijního programu. Jde o předměty spadající do oblastí nejpřesnějších měření inženýrské geodézie a vyšší geodézie, a proto výuka vyžaduje použití přístrojů vysoké přesnosti. Katedra speciální geodézie využívá při výuce stavebních studijních programů fakulty celkem dvanáct totálních stanic Topcon GPT-2006 [1], které jsou však pro úhlová měření šestkrát méně přesné než požadované přístroje a jsou plně využity ve stávající výuce stavebních studijních programů. U nejpřesnějších geodetických prací nelze použít ani pro výuku méně přesných přístrojů, neboť posluchače nelze připravit na chyby měření a další jevy, které se objevují až právě při dosahování nejvyšší přesnosti. Bylo tedy zřejmé, že je nutno nahradit stávající přístrojové vybavení kateder speciální geodézie a vyšší geodézie tak, aby umožnilo posluchačům akreditovaného studijního programu geodézie a kartografie získat kvalitní vzdělání na úrovni odpovídající současnému poznání s moderní přístrojovou technikou. Proto byl podán pro rok 2009 projekt FRVŠ 857 A a na zřízení výukové laboratoře speciálních geodetických měření společnou pro katedry speciální geodézie a vyšší geodézie.

Pro hospodárné a efektivní využití kapitálové dotace bylo provedeno interní výběrové řízení, při němž byli osloveni čtyři prodejci (Gefos zastupující firmu Leica, Geotronics Praha, zastupující firmu Trimble, a Nikon, Sokkia, zastupující firmu Sokkia, a Geodis Brno, zastupující firmu Topcon). Poptáváno bylo šest přístrojů s nutným základním příslušenstvím s úhlovou přesností nejméně 0,3 mgon, délkovou přesností nejméně 2 mm + 2 ppm D (měření na odrazný hranol, odrazné terčíky i bezhranolové) a s klávesnicí a displejem v obou polohách dalekohledu. Na výzvu reagovaly všechny oslovené firmy. Požadavkům ve všech bodech nejlépe vyhověla nabídka firmy Geodis Brno na soubor šesti totálních stanic Topcon GPT-7501. Na základě úspěšného projektu byla přidělena požadovaná kapitálová dotace a v květnu 2009 dodán soubor šesti totálních stanic se základním příslušenstvím. Po ověření funkční způsobilosti byly soubory totálních stanic připraveny pro zařazení do výuky počínaje zimním semestrem 2009.

Cílovou skupinou jsou posluchači akreditovaného studijního programu Geodézie a kartografie, tj. oborů Geodézie a kartografie a Geoinformatika. Přístroje budou studenti využívat v průběhu bakalářského i magisterského studia včetně výuky v terénu a zpracování bakalářských a magisterských diplomových prací a doktorských prací. V bakalářském studijním oboru Geodézie a kartografie jde o povinné předměty: Inženýrská geodézie 1; Elektronické metody v geodézii; Výuka v terénu z elektronických metod, v bakalářském studijním oboru Geoinformatika o předměty: Inženýrská geodézie 1; Elektronické metody v geodézii. V magisterském studijním oboru Geodézie a kartografie pak jde o povinné předměty: Inženýrská geodézie 2; Inženýrská geodézie 3; Geodézie v podzemních prostorách; Výuka v terénu z inženýrské geodézie; Výuka v terénu z vyšší geodézie.

Přístroje dále naleznou využití v povinně volitelných předmětech Laserové skenování, Stavební a průmyslová geodézie, Základy automatizace v inženýrské geodézii. Před zahájením zimního semestru 2009/2010 byl zpracován stručný návod na Topcon GPT-7501 pro potřeby předmětu Inženýrská geodézie 2 [2].

Literatura

- [1] Pospíšil, J. – Štroner, M.: Inovace a rozvoj laboratoří pro výuku stavební geodézie. *Stavební obzor*, 13, 2004, č. 1, s. 30. /ISSN 1210-4027/
- [2] Štroner, M.: Topcon GPT-7501 – stručný návod. Pedagogická pomůcka, Katedra speciální geodézie, FSv ČVUT v Praze, 2009.

prof. Ing. Jiří Pospíšil, CSc.
doc. Ing. Martin Štroner, Ph.D.

light+building

11. – 16. dubna 2010
Frankfurt nad Mohanem

www.messefrankfurt.com

STAVEBNÍ OBZOR

ročník 18 – 2009

OBSAH



Fakulta stavební
ČVUT Praha



Fakulta stavební
VUT Brno



Fakulta stavební
VŠB TU – Ostrava



Česká komora
autorizovaných inženýrů
a techniků

STAVEBNÍ OBZOR

ročník 18 – 2009



Fakulta stavební
ČVUT Praha



Fakulta stavební
VUT Brno



Fakulta stavební
VŠB TU – Ostrava



Česká komora
autorizovaných inženýrů
a techniků

ABECEDNÍ REJSTŘÍK

- Adamík, V. – Makovička, D. – Makovička, D. jr. – Janovský, B.: Ohrožení konstrukce budovy při výbuchu nálože ve vnitřním prostoru, 9/257
- Benešová, H. – Černý, R. – Pavlíková, M. – Pavlík, Z. – Keppert, M. – Pernicová, R. – Fiala, L. – Mihulka, J.: Transport a akumulace solí v omítkách určených pro sanace stavebních konstrukcí, 9/277
- Benešová, L.: Teorie technicko-ekonomického užítu alternativních zdrojů energie, 5/154
- Beran, P. – Fajman, P. – Máca, J.: Rozložení sil v klenbě Vladislavského sálu, 2/33
- Beran, P. – Máca, J. – Fajman, P.: Vliv teploty na deformace sloupů hlavní lodi katedrály sv. Víta, 8/225
- Bořík, M.: Stanovení terénních deformací třísnímkovou diferenční interferometrií, 5/150
- Bureš, D.: Zajištění smluvních vztahů při výstavbě pozemních komunikací, 6/173
- Buryan, P. – Maršák, J. – Skoblia, S.: Expandace cyprisových jíílů, 7/213
- Čejda, M. – Říha, J.: Model vývoje průsakové cesty na přehradě Mostišť, 10/305
- Černý, R. – Kočí, V. – Maděra, J. – Výborný, J.: Tepelné vlhkostní poměry obvodových pláštů budov na bázi pórobetonů, 7/198
- Černý, R. – Ondráček, M. – Sedlmajer, M. – Vejmelková, E.: Reologické, mechanické a tepelné vlastnosti betonu s alternativními silikátovými pojivy, 1/6
- Trvanlivostní vlastnosti vysokohodnotného betonu s vyšším obsahem alternativních silikátových pojiv, 5/138
- Černý, R. – Pavlík, Z.: Metoda TDR a její aplikace při měření obsahu vlhkosti v porézních materiálech, 4/118
- Černý, R. – Pavlík, Z. – Mihulka, J. – Pavlíková, M.: Sledování současného transportu vlhkosti a chloridových iontů v rámci jednorozměrného, vertikálně uspořádaného sorpčního experimentu, 5/141
- Černý, R. – Pavlíková, M. – Pavlík, Z. – Keppert, M. – Pernicová, R. – Fiala, L. – Mihulka, J. – Benešová, H.: Transport a akumulace solí v omítkách určených pro sanace stavebních konstrukcí, 9/277
- Černý, R. – Rovnaníková, P. – Kočí, V. – Maděra, J.: Experimentální a počítačová analýza omítek pro renovaci historických budov, 2/38
- Porovnání sanační omítky s omítkou vápennou na obvodovém plášti historických budov, 3/72
- Daněk, P. – Vymazal, T. – Misák, P. – Pospíchal, O. – Kucharczyková, B.: Průběh smrštění betonů s pórovitým kamenivem, 10/302
- Darula, S. – Mohelníková, J.: Syntetický průběh venkovní osvětlenosti, 7/204
- Fajman, P. – Beran, P. – Máca, J.: Vliv teploty na deformace sloupů hlavní lodi katedrály sv. Víta, 8/225
- Fajman, P. – Máca, J. – Beran, P.: Rozložení sil v klenbě Vladislavského sálu, 2/33
- Fiala, L. – Mihulka, J. – Benešová, H. – Černý, R. – Pavlíková, M. – Pavlík, Z. – Keppert, M. – Pernicová, R.: Transport a akumulace solí v omítkách určených pro sanace stavebních konstrukcí, 9/277
- Fornůšek, J. – Soják, R. – Konvalinka, P. – Vítek, J.: Dlouhodobé ztráty předpětí v kompozitní výztuži určené pro betonové konstrukce, 5/134
- Fuciman, O. – Novotný, M. – Škramlík, J.: Vliv kapilární vodivosti na tepelné technické vlastnosti stavební konstrukce, 7/210
- Fuciman, O. – Škramlík, J.: Vliv kondenzace vodních par na změny tepelné vodivosti stavebních hmot, 1/14
- Gajdová, K.: Oceňování nemovitostí ve vybraných evropských zemích, 6/181
- Girgler, F. – Štěpánek, P.: Navrhování konstrukcí z betonů ultravysokých pevností, 10/289
- Gratza, R. – Kytýr, J.: Vliv doby působení zatížení na stabilitu termoplastového dílce, 10/296
- Handová, Z. – Stepova, N. – Pollert, J. – Koníček, Z.: Stanovení sedimentační rychlosti pro výpočet dosazovacích nádrží, 4/124
- Hánek, P. – Janžurová, I. – Hánek, P. jr.: Vývoj geodetického monitoringu v lokalitě Rabenov, 9/283
- Holcner, P.: Bezpečná vzdálenost mezi vozidly a simulace dopravního proudu, 8/251
- Ověření Wiedemannova modelu dopravního proudu, 9/270
- Chamout, L.: Využití metody trigonometrické nivelace při určování nadmořských výšek bodů kombinované měřické sítě, 6/185
- Janda, Z. – Zeman, J. – Šejnoha, J.: Zjednodušené modely interakce volného předpínacího kabelu s konstrukcí, 2/44
- Janovský, B. – Adamík, V. – Makovička, D. – Makovička, D. jr.: Ohrožení konstrukce budovy při výbuchu nálože ve vnitřním prostoru, 9/257
- Janžurová, I. – Hánek, P. jr. – Hánek, P.: Vývoj geodetického monitoringu v lokalitě Rabenov, 9/283
- Jilemnická, L.: Revitalizace brownfields na kontaminovaných městských půdách a zdravotní rizika, 8/244

- Jokl, M.:* Mikroklima a architektura, 2/50
- Kabelková, I. – Stránský, D. – Štátná, D.:* Hodnocení biologického stavu vodních toků screeningovou metodou, 5/145
- Kadeřábková, B. – Jašová, E.:* Analýza hospodářského cyklu z pohledu trhu práce v ČR a stavebnictví, 1/24
- Keppert, M. – Pernicová, R. – Fiala, L. – Mihulka, J. – Benešová, H. – Černý, R. – Pavlíková, M. – Pavlík, Z.:* Transport a akumulace solí v omítkách určených pro sanaci stavebních konstrukcí, 9/277
- Kočí, V. – Maděra, J. – Černý, R. – Rovnaníková, P.:* Experimentální a počítačová analýza omítek pro renovaci historických budov, 2/38
- Porovnání sanační omítky s omítkou vápennou na obvodovém plášti historických budov, 3/72
- Kočí, V. – Maděra, J. – Výborný, J. – Černý, R.:* Počítačová analýza tepelně vlhkostních poměrů obvodových plášťů budov na bázi pórobetonů, 7/198
- Koniček, Z. – Handová, Z. – Stepova, N. – Pollert, J.:* Stanovení sedimentační rychlosti pro výpočet dosazovacích nádrží, 4/124
- Konvalinka, P. – Vítek, J. – Fornůsek, J. – Soják, R.:* Dlouhodobé ztráty předpětí v kompozitní výztuži určené pro betonové konstrukce, 5/134
- Korytářová, J.:* Celoživotní náklady budov, 7/219
- Křížek, J. – Studnička, J.:* Integrované silniční mosty, 7/193
- Kuča, P. – Tesárek, P. – Maděra, J. – Černý, R.:* Posouzení dlouhodobého tepelně vlhkostního chování objektu s vnitřním zateplením, 1/9
- Kucharczyková, B. – Daněk, P. – Vymazal, T. – Misák, P. – Pospíchal, O.:* Průběh smrštění betonů s pórovitým kamenivem, 10/302
- Kytýr, J. – Gratz, R.:* Vliv doby působení zatížení na stabilitu termoplastové dílce, 10/296
- Luxemburk, F. – Novotný, B.:* Poruchy odvodňovacích žlabů betonových ploch, 4/114
- Máca, J. – Beran, P. – Fajman, P.:* Rozložení sil v klenbě Vladislavského sálu, 2/33
- Máca, J. – Fajman, P. – Beran, P.:* Vliv teploty na deformace sloupů hlavní lodi katedrály sv. Víta, 8/225
- Maděra, J. – Černý, R. – Rovnaníková, P. – Kočí, V.:* Experimentální a počítačová analýza omítek pro renovaci historických budov, 2/38
- Porovnání sanační omítky s omítkou vápennou na obvodovém plášti historických budov, 3/72
- Maděra, J. – Výborný, J. – Černý, R. – Kočí, V.:* Tepelně vlhkostní poměry obvodových plášťů budov na bázi pórobetonů, 7/198
- Macháček, J. – Tůma, M.:* Únavová pevnost ocelových nosníků s vlnitou stojinou, 4/101
- Makovička, D. – Makovička, D. jr. – Janovský, B. – Adamík, V.:* Ohrožení konstrukce budovy při výbuchu nálože ve vnitřním prostoru, 9/257
- Maršák, J. – Skoblia, S. – Buryan, P.:* Expandace cypriso-vých jíílů, 7/213
- Mihulka, J. – Benešová, H. – Černý, R. – Pavlíková, M. – Pavlík, Z. – Keppert, M. – Pernicová, R. – Fiala, L.:* Transport a akumulace solí v omítkách určených pro sanaci stavebních konstrukcí, 9/277
- Mihulka, J. – Pavlíková, M. – Černý, R. – Pavlík, Z.:* Sledování současného transportu vlhkosti a chloridových iontů v rámci jednorozměrného, vertikálně uspořádaného sorpčního experimentu, 5/141
- Misák, P. – Pospíchal, O. – Kucharczyková, B. – Daněk, P. – Vymazal, T.:* Průběh smrštění betonů s pórovitým kamenivem, 10/302
- Mohelníková, J.:* Hodnocení osvětlenosti tubusovými světlovody, 1/1
- Mohelníková, J. – Darula, S.:* Syntetický průběh venkovní osvětlenosti, 7/204
- Novotný, B. – Luxemburk, F.:* Poruchy odvodňovacích žlabů betonových ploch, 4/114
- Novotný, M. – Škramlík, J. – Fuciman, O.:* Vliv kapilární vodivosti na tepelně technické vlastnosti stavební konstrukce, 7/210
- Nový, M.:* Statistická třídění ve stavebnictví, 10/310
- Ondráček, M. – Sedlmajer, M. – Vejmelková, E. – Černý, R.:* Reologické, mechanické a tepelné vlastnosti betonu s alternativními silikátovými pojivy, 1/6
- Trvanlivostní vlastnosti vysokohodnotného betonu s vyšším obsahem alternativních silikátových pojiv, 5/138
- Pavlík, Z. – Černý, R.:* Metoda TDR a její aplikace při měření obsahu vlhkosti v porézních materiálech, 4/118
- Pavlík, Z. – Mihulka, J. – Pavlíková, M. – Černý, R.:* Sledování současného transportu vlhkosti a chloridových iontů v rámci jednorozměrného, vertikálně uspořádaného sorpčního experimentu, 5/141
- Pavlík, Z. – Vejmelková, E. – Pavlíková, M. – Fiala, L. – Černý, R.:* Vliv vlhkosti na tepelnou vodivost vápenných kompozitů, 3/65
- Pavlíková, M. – Černý, R. – Pavlík, Z. – Mihulka, J.:* Sledování současného transportu vlhkosti a chloridových iontů v rámci jednorozměrného, vertikálně uspořádaného sorpčního experimentu, 5/141
- Pavlíková, M. – Pavlík, Z. – Keppert, M. – Pernicová, R. – Fiala, L. – Mihulka, J. – Benešová, H. – Černý, R.:* Transport a akumulace solí v omítkách určených pro sanaci stavebních konstrukcí, 9/277
- Pazdera, L. – Smutný, J. – Tomandl, V.:* Dynamická a akustická analýza pružného upevnění kolejnic bez podkladnic, 8/231
- Pernicová, R. – Fiala, L. – Mihulka, J. – Benešová, H. – Černý, R. – Pavlíková, M. – Pavlík, Z. – Keppert, M.:* Transport a akumulace solí v omítkách určených pro sanaci stavebních konstrukcí, 9/277
- Pernicová, R. – Pavlíková, M.:* Vliv teploty na sorpční vlastnosti materiálů historických budov, 6/168
- Pešková, Š. – Procházka, P.:* Posouzení vlivu vysokých teplot na betonovou obezdívku užitím metody SPH, 4/97
- Tvarová optimalizace vláken v kompozitech, 5/129
- Petrů, A. – Sokolář, R.:* Využití kalu při lehčení cihelného střepu, 9/266
- Pollert, J. – Koniček, Z. – Handová, Z. – Stepova, N.:* Stanovení sedimentační rychlosti pro výpočet dosazovacích nádrží, 4/124
- Pospíchal, O. – Kucharczyková, B. – Daněk, P. – Vymazal, T. – Misák, P.:* Průběh smrštění betonů s pórovitým kamenivem, 10/302
- Pospíšil, J. – Štroner, M.:* Modelování vlivu atmosféry na geodetická měření při požární zkoušce v Mokrsku, 2/60
- Procházka, P. – Pešková, Š.:* Posouzení vlivu vysokých teplot na betonovou obezdívku užitím metody SPH, 4/97
- Tvarová optimalizace vláken v kompozitech, 5/129

- Rovnaníková, P. – Kočí, V. – Maděra, J. – Černý, R.: Experimentální a počítačová analýza omítek pro renovaci historických budov, 2/38
- Porovnání sanační omítky s omítkou vápennou na obvodovém plášti historických budov, 3/72
- Říha, J. – Čejda, M.: Model vývoje prúsakové cesty na přehradě Mostišť, 10/305
- Sedlmajer, M. – Vejmelková, E. – Černý, R. – Ondráček, M.: Reologické, mechanické a tepelné vlastnosti betonu s alternativními silikátovými pojivy, 1/6
- Trvanlivostní vlastnosti vysokohodnotného betonu s vyšším obsahem alternativních silikátových pojiv, 5/138
- Skoblia, S. – Buryan, P. – Maršák, J.: Expandace cypriso-vých jíílů, 7/213
- Smutný, J. – Tomandl, V. – Pazdera, L.: Dynamická a akustická analýza pružného upevnění kolejnic bez podkladnic, 8/231
- Sokolář, R. – Smetanová, L.: Ekologické aspekty využití elektrárenských popílků v keramické technologii, 6/161
- Soják, R. – Konvalinka, P. – Vítek, J. – Fornůsek, J.: Dlouhodobé ztráty předpětí v kompozitní výztuži určené pro betonové konstrukce, 5/134
- Sokolář, R. – Petruš, A.: Využití kalu při leštění cihelného střepu, 9/266
- Stepova, N. – Pollert, J. – Koníček, Z. – Handová, Z.: Stanovení sedimentační rychlosti pro výpočet dosazovacích nádrží, 4/124
- Stránský, D. – Štátná, D. – Kabelková, I.: Hodnocení biologického stavu vodních toků screeningovou metodou, 5/145
- Studnička, J. – Křížek, J.: Integrované silniční mosty, 7/193
- Šejnoha, J. – Janda, Z. – Zeman, J.: Zjednodušené modely interakce volného předpínacího kabelu s konstrukcí, 2/44
- Škramlík, J. – Fuciman, O. – Novotný, M.: Vliv kapilární vodivosti na tepelně technické vlastnosti stavební konstrukce, 7/210
- Štěpánek, P. – Girgle, F.: Navrhování konstrukcí z betonů ultravysokých pevností, 10/289
- Štibinger, J.: Odhad drenážních odtoků a jejich vliv na odtokové poměry v krajině, 1/18
- Štroner, M. – Pospíšil, J.: Modelování vlivu atmosféry na geodetická měření při požární zkoušce v Mokrsku, 2/60
- Štroner, M. – Urban, R.: Posouzení modelů pro potlačení distorze objektivu
- teorie, 3/85
- experiment, 3/90
- Štroner, M. – Urban, R. – Vráblík, L.: Etapové měření tvaru nosné konstrukce mostu přes Labe v Mělníku, 3/79
- Štátná, D. – Kabelková, I. – Stránský, D.: Hodnocení biologického stavu vodních toků screeningovou metodou, 5/145
- Švec, V. – Vorel, V.: Měření vodorovných posunů stavebních objektů metodou záměrné přímky
- část 1, 1/29
- část 2, 2/53
- Tomandl, V. – Pazdera, L. – Smutný, J.: Dynamická a akustická analýza pružného upevnění kolejnic bez podkladnic, 8/231
- Tůma, M. – Macháček, J.: Únavová pevnost ocelových nosníků s vlnitou stojinou, 4/101
- Ubralová, E.: Průkaz energetické náročnosti budovy, 4/110
- Urban, R. – Štroner, M.: Posouzení modelů pro potlačení distorze objektivu
- teorie, 3/85
- experiment, 3/90
- Vejmelková, E. – Černý, R. – Ondráček, M. – Sedlmajer, M.: Reologické, mechanické a tepelné vlastnosti betonu s alternativními silikátovými pojivy, 1/6
- Trvanlivostní vlastnosti vysokohodnotného betonu s vyšším obsahem alternativních silikátových pojiv, 5/138
- Villim, A. – Hodas, S.: Objekty železničního stavitelství v rámci vyhodnocení absolutních posunů a nová prax, 9/273
- Vítek, J. – Fornůsek, J. – Soják, R. – Konvalinka, P.: Dlouhodobé ztráty předpětí v kompozitní výztuži určené pro betonové konstrukce, 5/134
- Vorel, V. – Švec, V.: Měření vodorovných posunů stavebních objektů metodou záměrné přímky
- část 1, 1/29
- část 2, 2/53
- Vráblík, L. – Štroner, M. – Urban, R.: Etapové měření tvaru nosné konstrukce mostu přes Labe v Mělníku, 3/79
- Výborný, J. – Černý, R. – Kočí, V. – Maděra, J.: Tepelně vlhkostní poměry obvodových plášťů budov na bázi pórobetonů, 7/198
- Vymazal, T. – Misák, P. – Pospíšal, O. – Kucharczyková, B. – Daněk, P.: Průběh smrštění betonů s pórovitým kamenivem, 10/302
- Wasserbauer, R.: Mikroflóra při průzkumu a rekonstrukci krypt a hrobek, 8/240
- Zeman, J. – Šejnoha, J. – Janda, Z.: Zjednodušené modely interakce volného předpínacího kabelu s konstrukcí, 2/44

VĚCNÝ REJSTŘÍK

■ stavební hmoty

- Reologické, mechanické a tepelné vlastnosti betonu s alternativními silikátovými pojivy (Vejmelková, E. – Černý, R. – Ondráček, M. – Sedlmajer, M.), 1/6
- Posouzení dlouhodobého tepelně vlhkostního chování objektu s vnitřním zateplením (Kuča, P. – Tesárek, P. – Maděra, J. – Černý, R.), 1/9
- Vliv kondenzace vodních par na změny tepelné vodivosti stavebních hmot (Fuciman, O. – Škramlík, J.), 1/14
- Experimentální a počítačová analýza omítek pro renovaci historických budov (Kočí, V. – Maděra, J. – Černý, R. – Rovnaníková, P.), 2/38
- Vliv vlhkosti na tepelnou vodivost vápenných kompozitů (Pavlík, Z. – Vejmelková, E. – Pavlíková, M. – Fiala, L. – Černý, R.), 3/65
- Porovnání sanační omítky s omítkou vápennou na obvodovém plášti historických budov (Kočí, V. – Maděra, J. – Černý, R. – Rovnaníková, P.), 3/72
- Metoda TDR a její aplikace při měření obsahu vlhkosti v porézních materiálech (Pavlík, Z. – Černý, R.), 4/118
- Trvanlivostní vlastnosti vysokohodnotného betonu s vyšším obsahem alternativních silikátových pojiv (Vejmelková, E. – Černý, R. – Ondráček, M. – Sedlmajer, M.), 5/138
- Sledování současného transportu vlhkosti a chloridových iontů v rámci jednorozměrného, vertikálně uspořádaného sorpčního experimentu (Pavlík, Z. – Mihulka, J. – Pavlíková, M. – Černý, R.), 5/141

Ekologické aspekty využití elektrárenských popílků v keramické technologii (Sokolář, R. – Smetanová, L.), 6/161

Vliv teploty na sorpční vlastnosti materiálů historických budov (Pernicová, R. – Pavlíková, M.), 6/168

Vliv kapilární vodivosti na tepelně technické vlastnosti stavební konstrukce (Škramlík, J. – Fuciman, O. – Novotný, M.), 7/210

Expandace cyprisových jíílů (Buryan, P. – Maršák, J. – Skoblíková, S.), 7/213

Využití kalu při lehčení cihelného střepu (Sokolář, R. – Petrů, A.), 9/266

Transport a akumulace solí v omítkách určených pro sanace stavebních konstrukcí (Pavlíková, M. – Pavlík, Z. – Kerpert, M. – Pernicová, R. – Fiala, L. – Mihulka, J. – Benešová, H. – Černý, R.), 9/277

Průběh smrštění betonů s pórovitým kamenivem (Kucharčyczková, B. – Daněk, P. – Vymazal, T. – Misák, P. – Pospíchal, O.), 10/302

■ konstrukce pozemních staveb

Hodnocení osvětlenosti tubusovými světlovody (Mohelníková, J.), 1/1

Průkaz energetické náročnosti budovy (Ubralová, E.), 4/110

Tepelně vlhkostní poměry obvodových plášťů budov na bázi pórobetonů (Kočič, V. – Maděra, J. – Výborný, J. – Černý, R.), 7/198

Syntetický průběh venkovní osvětlenosti (Darula, S. – Mohelníková, J.), 7/204

Mikroflóra při průzkumu a rekonstrukci krypt a hrodek (Wasserbauer, R.), 8/240

■ technická zařízení budov

Mikroklima a architektura (Jokl, M.), 2/50

■ ekonomika a řízení ve stavebnictví

Analýza hospodářského cyklu z pohledu trhu práce v ČR a stavebnictví (Kadeřábková, B. – Jašová, E.), 1/24

Teorie technicko-ekonomického užítu alternativních zdrojů energie (Benešová, L.), 5/154

Zajištění smluvních vztahů při výstavbě pozemních komunikací (Bureš, D.), 6/173

Oceňování nemovitostí ve vybraných evropských zemích (Gajdová, K.), 6/181

Celoživotní náklady budov (Korytářová, J.), 7/219

Statistická třídění ve stavebnictví (Nový, M.), 10/310

■ stavební mechanika

Rozložení sil v klenbě Vladislavského sálu (Beran, P. – Fajman, P. – Máca, J.), 2/33

Tvarová optimalizace vláken v kompozitech (Procházka, P. – Pešková, Š.), 5/129

Vliv teploty na deformace sloupů hlavní lodi katedrály sv. Víta (Beran, P. – Máca, J. – Fajman, P.), 8/225

Ohrožení konstrukce budovy při výbuchu nálože ve vnitřním prostoru (Makovička, D. – Makovička, D. jr. – Janovský, B. – Adamík, V.), 9/257

Vliv doby působení zatížení na stabilitu termoplastového dílce (Gratza, R. – Kytýr, J.), 10/296

■ betonové konstrukce a mosty

Zjednodušené modely interakce volného předpínacího kabelu s konstrukcí (Janda, Z. – Zeman, J. – Šejnoha, J.), 2/44

Etapové měření tvaru nosné konstrukce mostu přes Labe v Mělníku (Urban, R. – Vráblík, L. – Štroner, M.), 3/79

Dlouhodobé ztráty předpětí v kompozitní výztuži určené pro betonové konstrukce (Fornůšek, J. – Soják, R. – Konvalinka, P. – Vítek, J.), 5/134

Navrhování konstrukcí z betonů ultravysokých pevností (Štěpánek, P. – Girgle, F.), 10/289

■ ocelové konstrukce

Únavová pevnost ocelových nosníků s vlnitou stojinou (Macháček, J. – Tůma, M.), 4/101

Integrované silniční mosty (Křížek, J. – Studnička, J.), 7/193

■ geotechnika

Posouzení vlivu vysokých teplot na betonovou obezdívku užitím metody SPH (Pešková, Š. – Procházka, P.), 4/97

Revitalizace brownfields na kontaminovaných městských půdách a zdravotní rizika (Jilemnická, L.), 8/244

■ silniční stavby

Poruchy odvodňovacích žlabů betonových ploch (Luxemburk, F. – Novotný, B.), 4/114

Bezpečná vzdálenost mezi vozidly a simulace dopravního proudu (Holcner, P.), 8/251

Ověření Wiedemannova modelu dopravního proudu (Holcner, P.), 9/270

■ železniční stavby

Dynamická a akustická analýza pružného upevnění kolejnic bez podkladnic (Smutný, J. – Tomandl, V. – Pazdera, L.), 8/231

■ hydraulika a hydrologie

Odhad drenážních odtoků a jejich vliv na odtokové poměry v krajině (Štibinger, J.), 1/18

Stanovení sedimentační rychlosti pro výpočet dosazovacích nádrží (Stepova, N. – Pollert, J. – Koníček, Z. – Handová, Z.), 4/124

Model vývoje průsakové cesty na přehradě Mostišť (Čejda, M. – Říha, J.), 10/305

■ hydrotechnika

Hodnocení biologického stavu vodních toků screeningovou metodou (Štátná, D. – Kabelková, I. – Stránský, D.), 5/145

■ geodezie a pozemkové úpravy

Měření vodorovných posunů stavebních objektů metodou záměrné přímký (Švec, V. – Vorel, V.)

– část 1, 1/29

– část 2, 2/53

Modelování vlivu atmosféry na geodetická měření při požárání zkoušce v Mokrsku (Štroner, M. – Pospíšil, J.), 2/60

Posouzení modelů pro potlačení distorze objektivu – teorie (Urban, R. – Štroner, M.), 3/85

Posouzení modelů pro potlačení distorze objektivu – experiment (Urban, R. – Štroner, M.), 3/90

Stanovení terénních deformací třísničkovou diferenční interferometrií (Bořík, M.), 5/150

Využití metody trigonometrické nivelace při určování nadmořských výšek bodů kombinované měřické sítě (Chamout, L.), 6/185

Objekty železničního stavitelstva v rámci vyhodnocení absolutních posunů a nová prax (Hodas, S. – Villim, A.), 9/273

Vývoj geodetického monitoringu v lokalitě Rabenov (Hánek, P. – Janžurová, I. – Hánek, P. jr.), 9/283

Výuková laboratoř speciálních geodetických měření (*Pospíšil, J.*), 10/314

■ ČVUT

Inteligentní budovy – nový studijní program (–r–), 3/96

Ústřední knihovna ČVUT (–r–), 6/191

Nová budova ČVUT (–r–), 7/218

Dny stavitelství a architektury, 8/230

■ dizertace

1/17, 1/23, 2/49, 2/59, 3/71, 3/78, 3/89, 4/109, 4/113, 5/158, 5/160, 6/184, 6/187, 7/203, 7/222, 8/256, 9/265, 9/282, 9/287

■ Fakulta stavební ČVUT

Jak si poradila Telč se zemětřesením? (–r–), 5/153

■ konference

NICOM3, 1/13, 4/100, 5/160

Fibre Concrete, 2/64, 3/78, 6/184

Technologie betonu (–r–), 3/94

Podlahy 2009 (–r–), 6/167

CESB 2010, 10/301

■ inzerce

Podzemní stavby Praha 2010 (ITA-AITES), 5/159

■ literatura

Rozsypal, A.: Inženýrské stavby – řízení rizik (–r–), 153

■ normy

Nové evropské normy pro vzduchotechniku (*Jokl, M.*), 6/188

■ pokyny pro autory 7/223

■ projekty

Kancelářský areál PARK (–r–), 1/5

Kolen Cube (–r–), 2/49

Copa Centrum Národní (–r–), 3/84

Hagibor Office Building (–r–), 4/109

Austerlitz Centrum (–r–), 4/128

Kavčí Hory Office Park (–r–), 5/157

Moravský zemský archiv (–r–), 5/160

Factory Office Center (–r–), 8/239

Modřanský Háj (–r–), 8/250

Jurys Inn (–r–), 9/276

Amazon Court (–r–), 9/288

Kings Court (–r–), 10/301

■ recenze

Štroner, M.-Pospíšil, J.: Terestrické skenování systémy (*Kašpar, M.*), 1/32

■ rekonstrukce

Znojemský viadukt (–r–), 5/158

■ technologie

Vypínače dokáží ničit bakterie a viry (–r–), 6/190

■ veletrhy

IHM Profi, 1/5

techtex – Tensiet, 1/23

Watenvi (–r–), 2/43

Metal München (–r–), 2/59

Intermat (–r–), 3/71

bauma 2010 (–r–), 4/128, 5/140, 8/243

Doprovodný program For Arch, 6/3. s. obálky; 7/209

Bau 2011, 7/221

Batimat, 8/255

Aquatherm-Praha, 9/287

DACH+HOLZ International, 10/295

light+building, 10/314

■ výročí

Stoleté výročí prof. Kolouška (*Frýba, L.*), 4/117

■ výstava

Vize pro dopravu v Praze (–r–), 5/159

■ zprávy

NTK otevře v září (–r–), 3/95

Procurement (–r–), 5/160

ARCADIS Geotechnika (–r–), 6/172

Modernizace nástupišť Hlavního nádraží v Praze (–r–), 8/256

Inovace výukových laboratoří stavební fyziky na FAST VUT v Brně (*Ficker, T.*), 9/286

Česká rada pro šetrné budovy (–r–), 10/313

DEN OTEVŘENÝCH DVEŘÍ

na Fakultě stavební ČVUT v Praze

pro zájemce o studium a širokou veřejnost

29. ledna 2010

- prezentace studijních programů a oborů
- exkurze do vybraných laboratoří a učeben
- soutěž středoškoláků Hala roku JUNIOR 2010
- fotografická soutěž Tvýma Očima 2009

www.fsv.cvut.cz/pr