

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 Dauerhaftigkeitseigenschaften 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 Gelände-Verformungen 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 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 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.

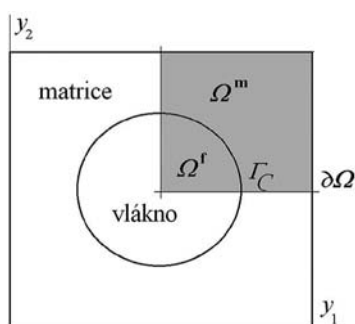
Numerický postup

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 $\overline{\Gamma}_c = \overline{\Omega}^f \cap \overline{\Omega}^m$.

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

$$\begin{aligned} \boldsymbol{\varepsilon}(\mathbf{u}) &= \mathbf{E} + \boldsymbol{\varepsilon}(\mathbf{u}) = \mathbf{E} + \bar{\boldsymbol{\varepsilon}}, \quad \langle \boldsymbol{\varepsilon}(\mathbf{u}) \rangle = 0, \\ \boldsymbol{\sigma} &= \mathbf{S} + \boldsymbol{\sigma}, \quad \langle \boldsymbol{\sigma} \rangle = 0. \end{aligned} \quad (3)$$

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

$$\begin{aligned} S_{ij} = \langle \sigma_{ij}(\mathbf{y}) \rangle &= \langle L_{ijkl}(\mathbf{y}) \varepsilon_{kl}(\mathbf{u}(\mathbf{y})) \rangle = \langle L_{ijkl}^f(\mathbf{y}) A_{kl\alpha\beta}^f \rangle_f + \\ &+ \langle L_{ijkl}^m(\mathbf{y}) A_{kl\alpha\beta}^m \rangle_m E_{\alpha\beta}, \end{aligned} \quad (5)$$

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. Předpokládejme 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

$$\sigma_{ij}^0 = L_{ijkl}^0 E_{kl} \quad \text{v } \Omega, \quad u_i^0 = E_{ij} y_j \quad \text{na } \partial\Omega. \quad (8)$$

Horní index 0 u veličin ve vzorcích označuje vztah ke srovnávacímu mediu. Řešení (8) je jednoduché. Vzhledem k homogenitě a izotropii média platí

$$u_i^0 = E_{ij} y_j, \quad \varepsilon_{ij}^0 = E_{ij} \quad \text{v } \Omega, \quad p_i^0 = \sigma_{ij}^0 n_j \quad \text{na } \partial\Omega. \quad (9)$$

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

$$\sigma_{ij} = L_{ijkl} E_{kl} \quad \text{v } \Omega, \quad u_i = E_{ij} y_j \quad \text{na } \partial\Omega. \quad (11)$$

Definujeme symetrický polarizační tenzor napětí τ

$$\sigma_{ij} = L_{ijkl} E_{kl} \quad \text{v } \Omega, \quad u_i = E_{ij} y_j \quad \text{na } \partial\Omega, \quad (12)$$

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 . Předpokládejme, 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 $\Omega^f \subset \Omega$. 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

$$\begin{aligned} \Pi(\mathbf{u}, \Omega^f) = \Pi(\mathbf{u}, \mathbf{p}) = & \frac{1}{2} [L_{ijkl}^m + \\ & + (L_{ijkl}^f - L_{ijkl}^m) \langle A_{kl\alpha\beta}^f(\mathbf{p}, \mathbf{y}) \rangle_f] E_{ij} E_{\alpha\beta} - \lambda \left(\int_{\Omega^f} d\Omega - C^f \right). \end{aligned} \quad (25)$$

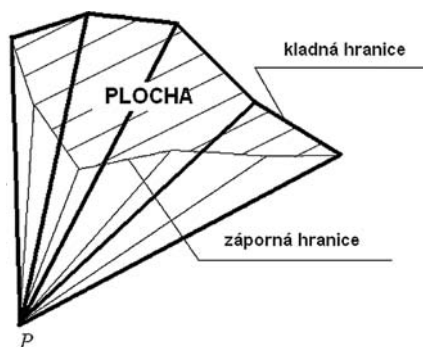
Nyní stačí identifikovat oblast vlákn Ω^f pomocí vnitřních parametrů \mathbf{p} . To lze provést mnoha způsoby. V tomto případě využijeme návrhu z publikace [5]. Uvažme např. polygonální tvar zkoumaného vlákn a předpokládejme, že vlákn je „star-shaped“, tj. existuje bod, ke kterému všechny spojnice s 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:

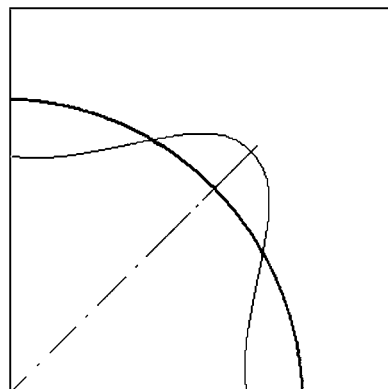
- Youngův modul pružnosti vlákn $E^f = 210$ MPa,
- Poissonovo číslo $\nu^f = 0,16$,
- na matici $E^m = 17$ MPa,
- $\nu_m = 0,3$.

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

$$\mathbf{L}^* = \begin{vmatrix} 182 & 62 & -0,05 \\ 62 & 182 & 0,034 \\ -0,75 & -1,1 & 98 \end{vmatrix}.$$

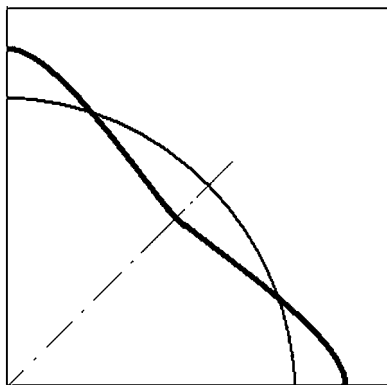
Z této matice lze usoudit, že v normálovém směru jsou výsledky přesnější než ve směru smykových deformací.

Rozdělení relativní energie E_k podél stykové hranice je zaznamenáno na obr. 3, optimální tvar vlákn pro vlákn

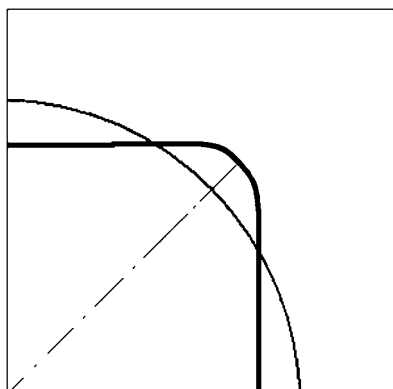


Obr. 3. Rozložení energie po první iteraci – tužší vlákn

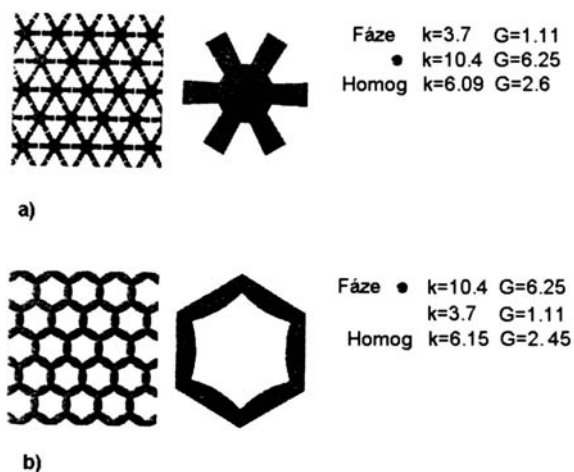
tužší proti matici na obr. 4, optimální tvar vlákn pro tužší matici než vlákn na obr. 5. Výsledky podobné studie pro šesterečnou periodickou soustavu jsou na obr. 6, přičemž K je objemový modul a G smykový modul (objemový poměr vlákn je vždy 50 %).



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 ovínuty 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}]	$5,0 \cdot 10^{-6}$	$7,5 \cdot 10^{-6}$

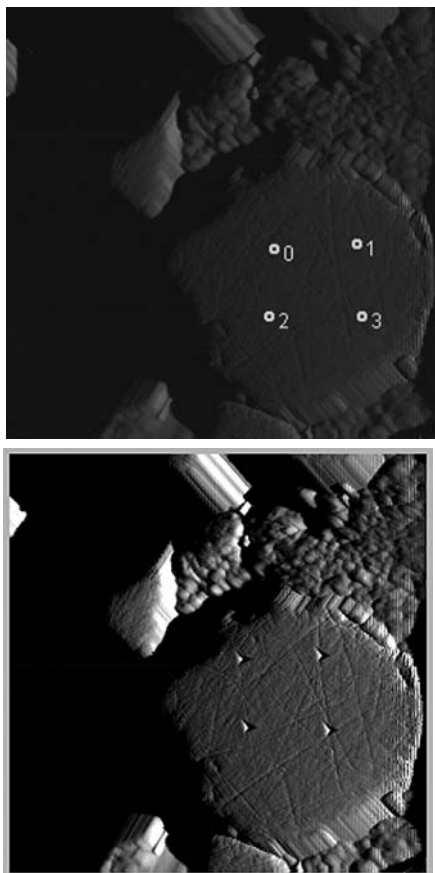


Obr. 1. Povrchová úprava použitých prutů GFRP

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 místě velkých nerovností řezu nebo na rozhraní mezi vláknem a matricí. Dominantní hodnoty modulů pružnosti se pohybují okolo 5-6 GPa, ty lze nejspíše přisoudit matrici, 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

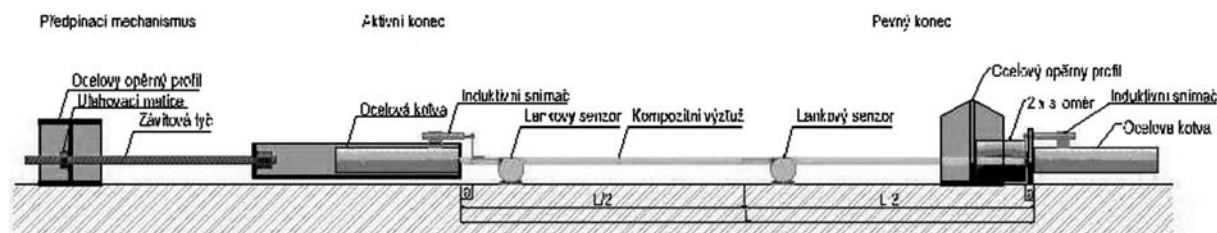
Linka pro měření

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 korýtko pro uchycení kompozitní výztuže) se usadí kotvy kompozitní výztuže. Dále se na kompozitní výztuž uchytí lankové senzory (WDS 300) a jádra inductivních snímačů. Samotné inductivní 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 inductivních 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.



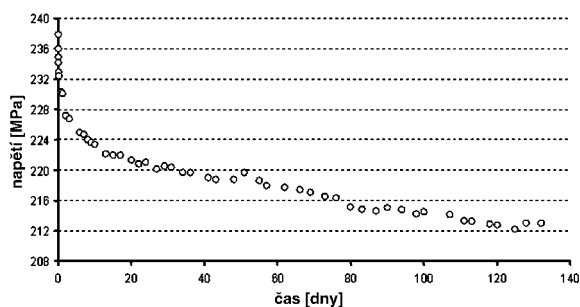
Obr. 3. Linka pro měření relaxace kompozitní výztuže

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 inuktivních 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 přerušeno. 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.



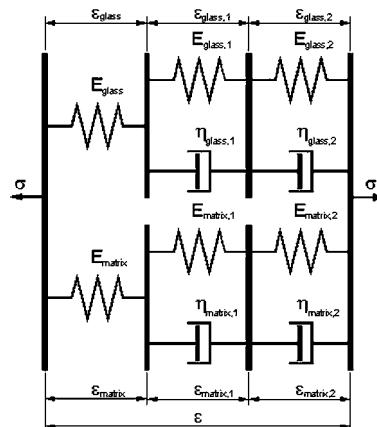
Obr. 4. Průběh poklesu napětí v závislosti na čase se zohledněním vlivu teploty a povytažení z kotev

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

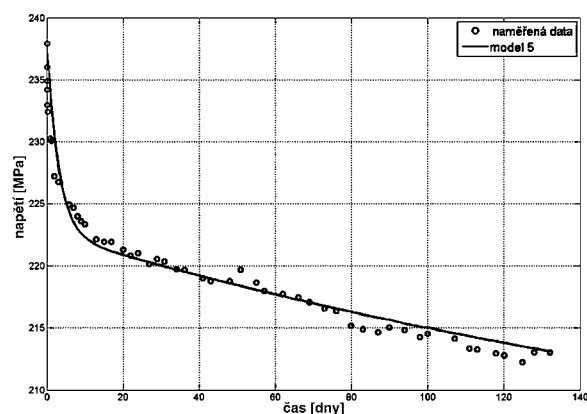
Na základě výsledků měření byl ze dvou paralelně zapojených Kelvinových řetězců (obr. 5) sestaven viskoelastický model dlouhodobého chování výtuzte, který dobře vystihoval chování během zkoušky. Každý z nich reprezentuje jeden materiál. Parametry E_{glass} a E_{matrix} jsou známé z nanoindentačního měření. 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.

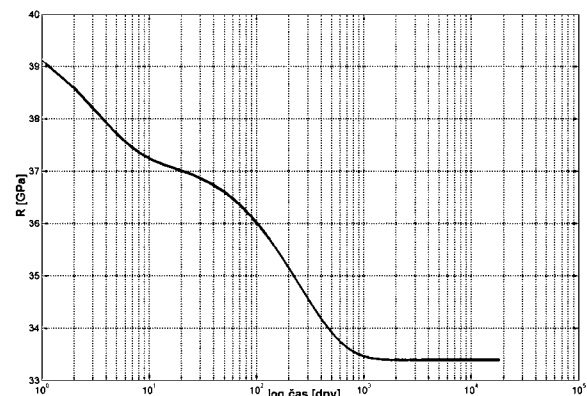


Obr. 5. Viskoelastický model – dva paralelně zapojené Kelvinovy řetězce

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 nepřilíží 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.: Nanoindentace 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. Ausfühlich 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 VEJMEJKOVÁ, 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 pucolánová, 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 záměsí 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.

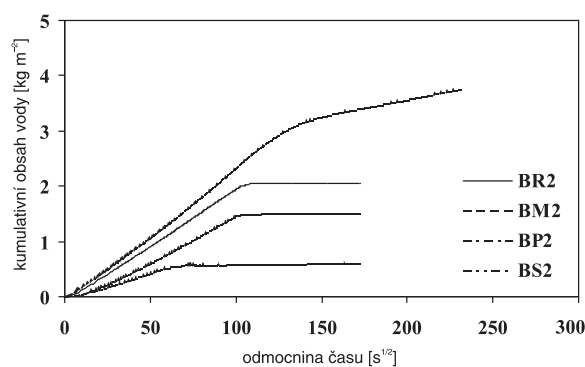
Tab. 3. Transportní parametry vodní páry materiálů

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

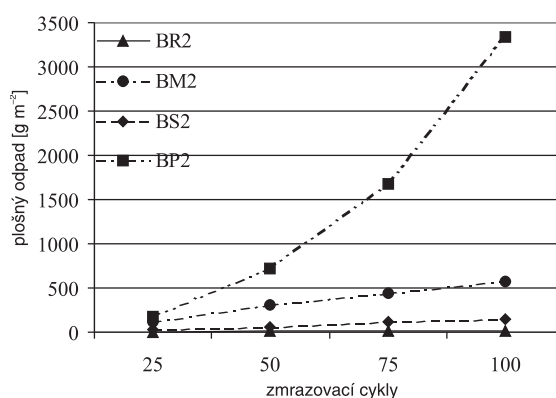
Na základě dosažených výsledků lze konstatovat, že obsah metakaolinu a strusky výrazně pozitivně ovlivnil pórovou strukturu materiálů BM2 a BS2 a dosáhl lepší schopnosti odolávat průchodu vodní páry materiálem než referenční beton BR2. Obsah popílku schopnost transportu vodní páry zvýšil.

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.

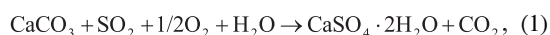
ČVUT – Fakulta stavební

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 organismy 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.

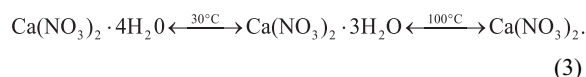
Významný je také vliv nárůstu vlhkosti na pevnost v tlaku a ohybu materiálů nosných konstrukcí. V místech s teplotou prostředí okolo 0 °C dochází k opětovnému mrznutí a tání vody obsažené v pórech materiálu. Led má v porovnání s vodou přibližně o 9 % větší objem. V důsledku tohoto cyklického jevu dochází 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 solí 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:

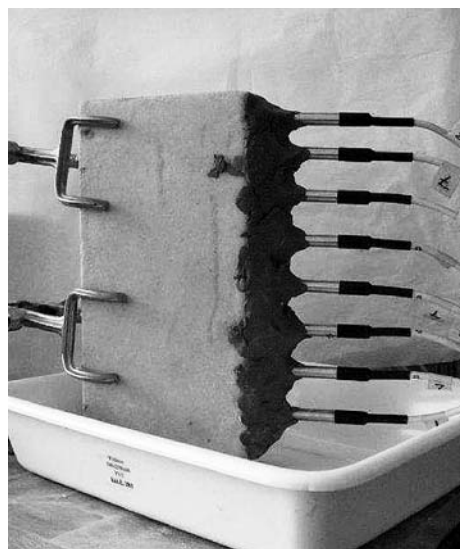
- první možností je použití empirických konverzních funkcí. Na základě analýzy publikované v práci [4] lze prohlásit, že existuje mnoho empirických převodních funkcí, ovšem použitelných s určitou přesností pouze pro určitou skupinu materiálů. Mají vždy podobnou porézní strukturu, uspořádání částic v 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

$$D(C_0) = \frac{1}{2t_0 \left(\frac{dC}{dz}\right)_{z=z_0}} \int_{z_0}^{\infty} z \frac{dC}{dz} dz \quad (6)$$

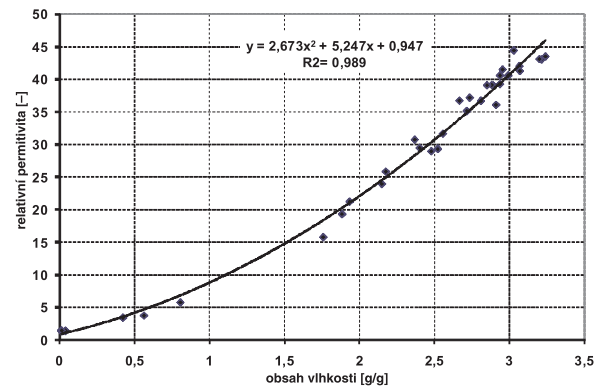
a vlhkostní vodivosti

$$\kappa(w_0) = \frac{1}{2t_0 \left(\frac{dw}{dz}\right)_{z=z_0}} \int_{z_0}^{\infty} z \frac{dw}{dz} dz, \quad (7)$$

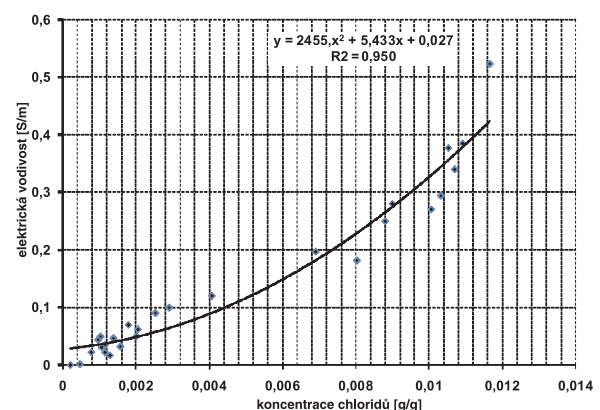
kde $C_0 = C(z_0, t_0)$ je koncentrace soli v pozici z_0 a čase t_0 , $w_0 = w(z_0, t_0)$ je odpovídající obsah vlhkosti v čase t a poloze z . Integrace rovnic (6) a (7) byla řešena běžnou numerickou integrační metodou, jakou je Simpsonovo pravidlo. Podrobnosti o inverzní analýze experimentálních dat 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-

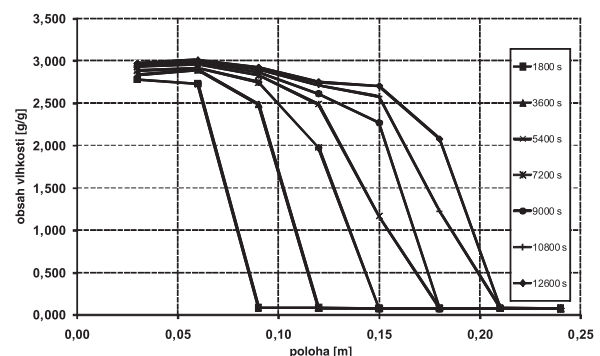


Obr. 2. Relativní permitivita kalcium silikátu jako funkce obsahu vlhkosti



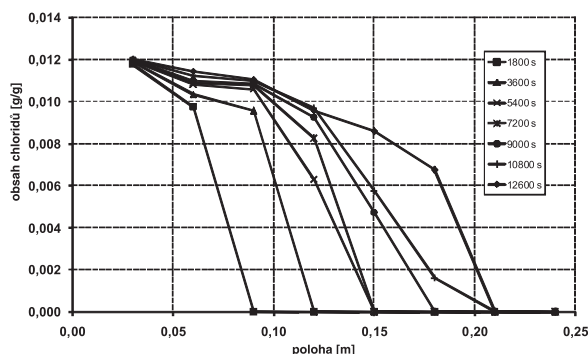
Obr. 3. Závislost měřené elektrické vodivosti kalcium silikátu na koncentraci chloridů

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.



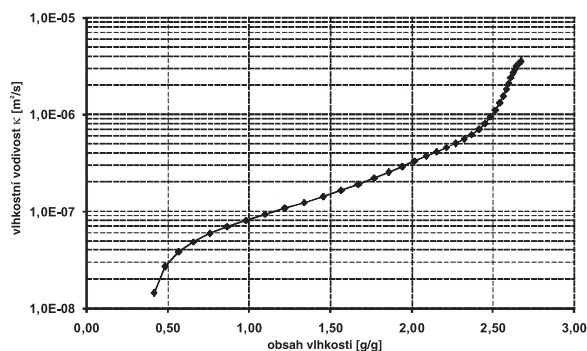
Obr. 4. Vlhkostní profily naměřené metodou TDR pro kalcium silikát

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

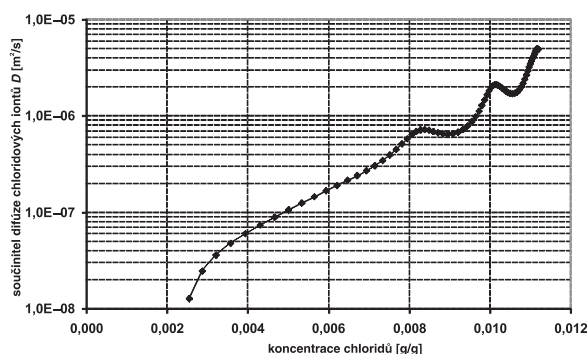


Obr. 5. Profily koncentrace chloridů určené pomocí metody TDR

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 generelů 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.

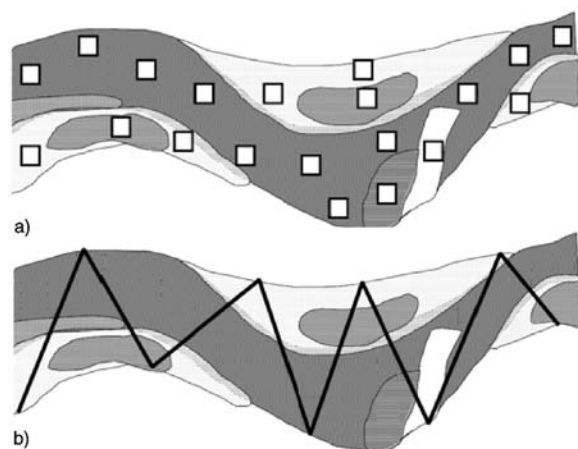
Metody

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].

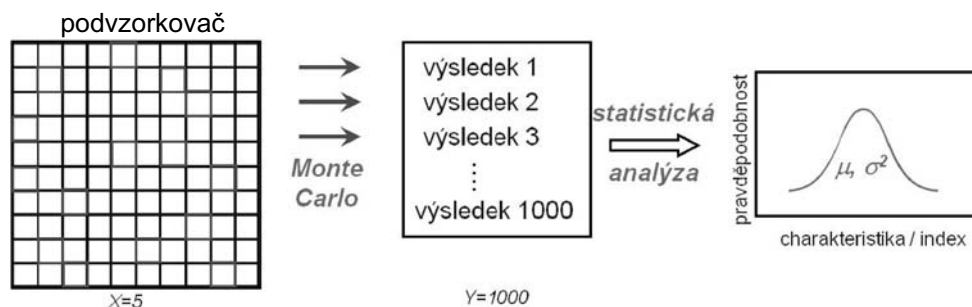
Tab. 1. Biologické charakteristiky a indexy

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]	$BMWP = \sum \text{score}$	–	–	organické znečištění
index ASPT [1]	$ASPT = \frac{BMWP}{SU}$	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]	$BC = 0,5 \left(\sum_{i=1}^s p_{ij} - p_{ik} \right)$	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.

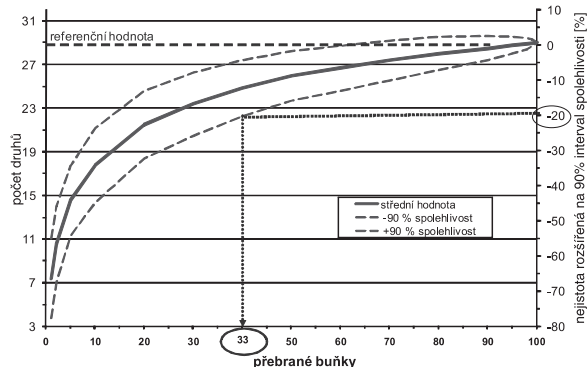
Proti počtu druhů a indexu BMWP, jejichž hodnoty jsou díky podvzorkování vždy nižší, může u indexu ASPT v porovnání s referenční hodnotou podvzorkování vést jak

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
	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

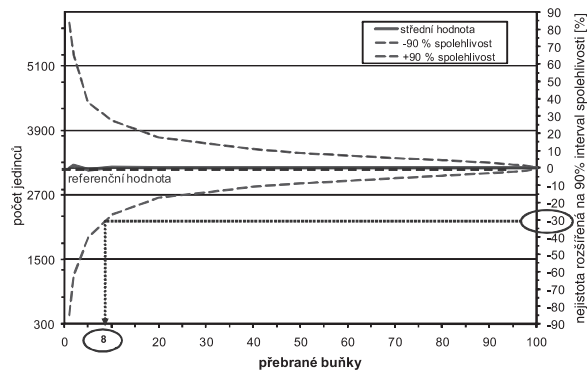
ke snížení (u malého počtu zpracovaných buněk), tak k mírnému zvýšení jeho hodnoty (při středním počtu zpracovaných buněk).



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)

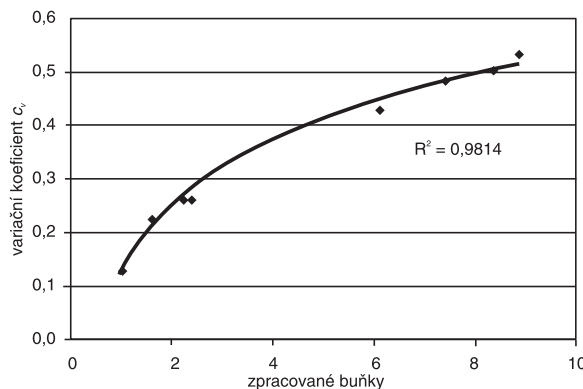
Stejně tak závislost hodnoty indexu diverzity na počtu zpracovaných buněk je poměrně symetrická, nicméně jeho hodnoty v případě zpracování méně než 5 buněk mohou být mírně podhodnoceny.

■ Přijatelné laboratorní zjednodušení

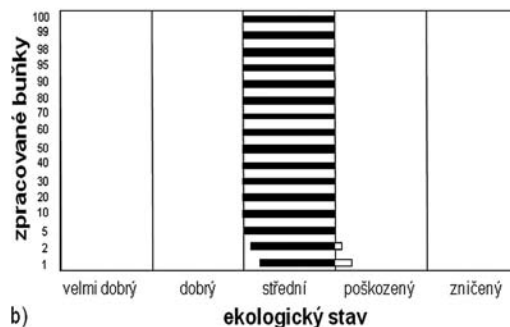
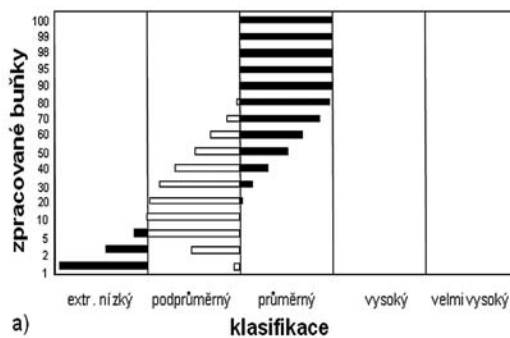
Minimální počty buněk podvorku, které je nutno zpracovat, aby nebyla překročena povolená nejistota pro jednotlivé charakteristiky a indexy, jsou uvedeny v tab. 3. Tyto hodnoty byly odvozeny na základě hodnocení všech 8 vzorků. Kromě počtu druhů a indexu BMWP, pro které je nutno zpracovat alespoň 48, 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

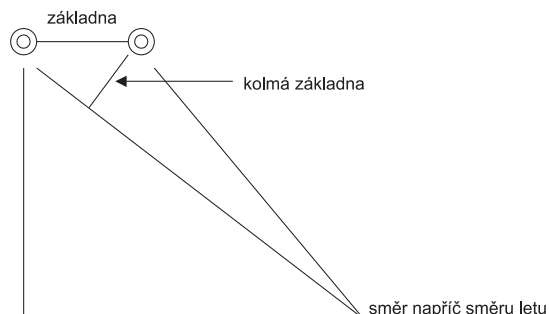
Mgr. Milan BOŘÍK, Ph.D.

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.

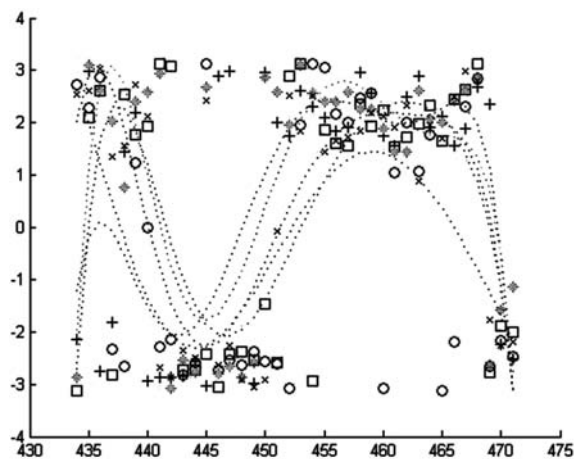
Abychom mohli věrně rozhodnout o terénní deformaci, musí být oblast podezřelá z poklesu dostatečně koherentní. Pro nekoherentní oblasti totiž dochází k dekorelaci dat, a tak vlastně i k jejich ztrátě. Také bychom se měli vyvarovat lehce rozpoznatelným terénním deformacím na územích využívaných pro zemědělství. 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.

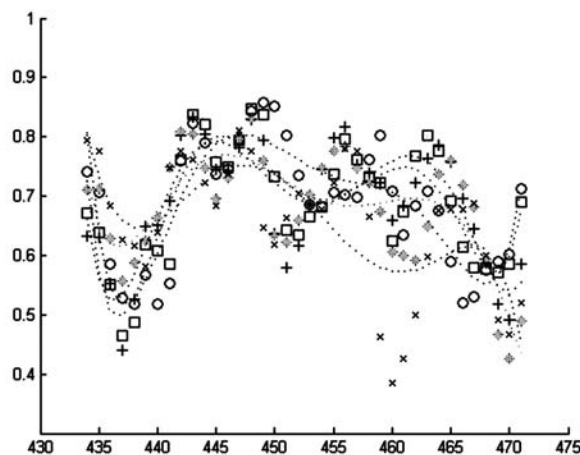
Výsledky analýzy

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)

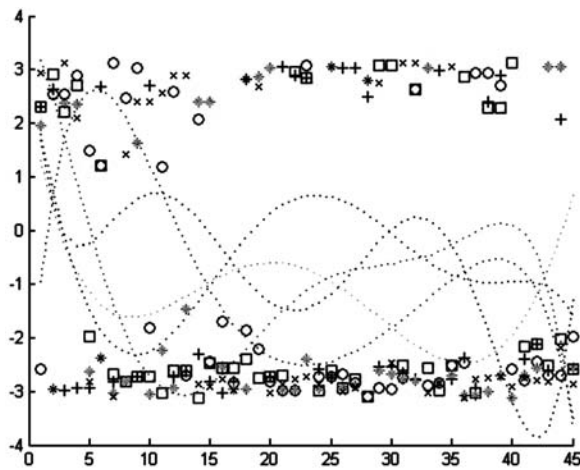
me kvantitativně popsat pokles a odhadnout chybu. Tento pokles je ověřen na základě dobré koherence dosahující hodnot pouze mezi 0,5 a 0,9. Ve směru opačném (tj. ve směru azimutu) nevidíme žádný pokles. Část grafu na levé straně obr. 2 musí být zkopírována („rozbalena“) nad hodnotu $+\pi$ fáze diferenčního 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.

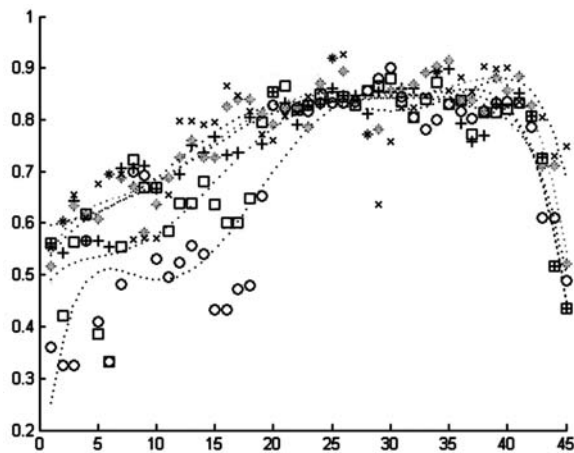
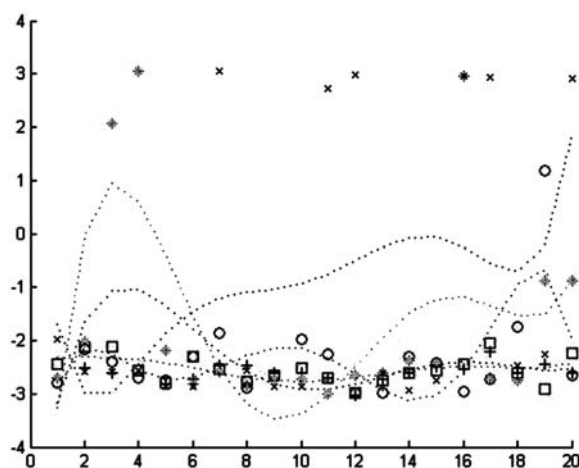
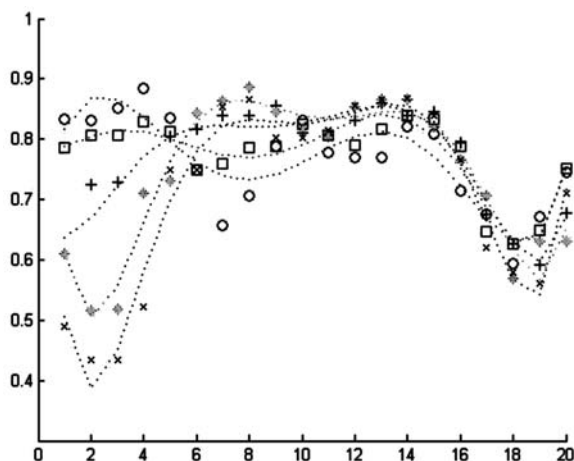
Na obr. 2 až obr. 7 jsou na ose x jednotlivé pixely ve směru letu nebo napříč směru letu. Konkrétně na obr. 2, 4, 6 jsou



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 ČSS
www.csbeton.eu
a
CBS Servis, s. r. o.
www.cbservis.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 Universidad de 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.

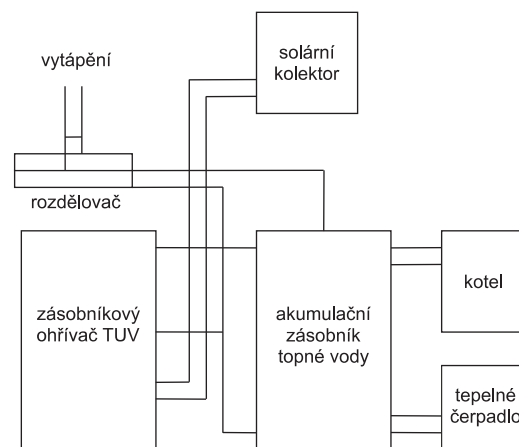
Tepelné čerpadlo je zařízení umožňující využití tepla z nízkopotenciálních zdrojů, jakými jsou například voda v řece, půda nebo okolní vzduch. Všechny mají obvykle nižší teplotu než potřebujeme. Tepelné čerpadlo je však díky střídání cyklů komprese a expanze plynového média schopné z takovýchto zdrojů 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].

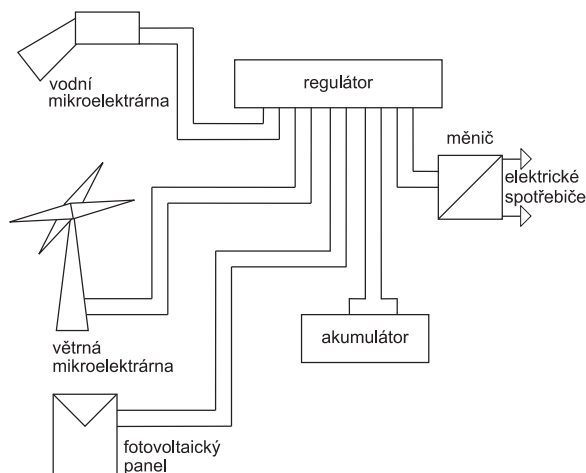
Vodní mikroelektrárny stejně jako větrné vyrábějí stejnosměrný proud s napětím 12 V a 24 V. Výkon je dán typem



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.

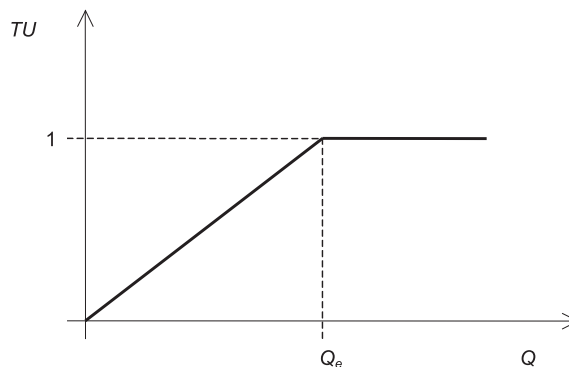
„Užitečnost je ordinální neboli bezrozměrná veličina. Ohodnocujeme ji fiktivními ilustračními čísly, u kterých nám stačí vědomí, že „situace A je preferována před situací B.“ [5]. Vzhledem k tomu, že známe celkovou potřebu jedince, danou množstvím spotřebované energie za rok (kWh/rok), a zároveň velikost 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

$$TU_{Var.i} = \frac{Q_{Var.i}}{Q_e} [-] \quad \text{pro } Q_{Var.i} \in \langle 0, Q_e \rangle, \quad (1)$$

$$TU_{Var.i} = 1 [-] \quad \text{pro } Q_{Var.i} \in (Q_e, \infty), \quad (2)$$

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.

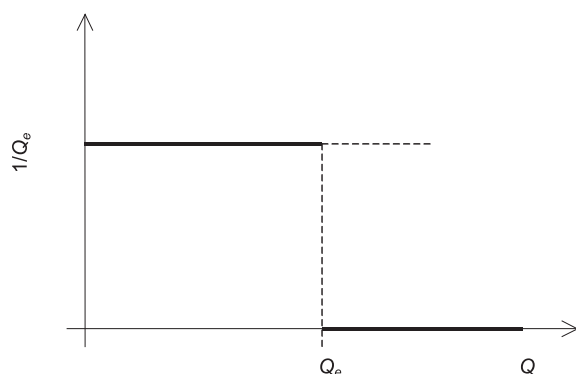


Obr. 3. Celková užitečnost ze spotřeby energie

Mezní užitečnost MU (Marginal Utility), vyjadřující změnu celkového užítku vyvolanou změnou spotřebovávaného množství energie o jednotku (obr. 4) lze pak zapsat rovnicemi

$$MU = \frac{\partial TU}{\partial Q_{Var.i}} = \frac{1}{Q_e} [-] \quad \text{pro } Q_{Var.i} \in \langle 0, Q_e \rangle, \quad (3)$$

$$MU = \frac{\partial TU}{\partial Q_{Var.i}} = 0 [-] \quad \text{pro } Q_{Var.i} \in (Q_e, \infty). \quad (4)$$



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.

$$Užitek_{vari} = \text{provozní náklady na energii}_{Ref.var.} - \text{provozní náklady na energii}_{vari} \quad (5)$$

jestliže

- $Užitek_{vari} > 0$ varianta s OZE proti referenční variantě přináší pozitivní užitek,
 $Užitek_{vari} = 0$ varianta s OZE je vůči referenční variantě indiferentní,
 $Užitek_{vari} < 0$ 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.

$$NPV_{var.i} = (IN_{Ref.var.} - IN_{var.i}) + \sum_{t=1}^T \frac{Užitek_{var.i}}{(1+r)^t}, \quad (6)$$

$$(IN_{Ref.var.} - IN_{var.i}) = \sum_{t=1}^T \frac{Užitek_{var.i}}{(1+IRR_t)^t}, \quad (7)$$

$$DN_{var.i} = \frac{IN_{Ref.var.} - IN_{var.i}}{\sum_{t=1}^{DN} Užitek_{var.i}}, \quad (8)$$

$$DDN_{var.i} = \frac{IN_{Ref.var.} - IN_{var.i}}{\sum_{t=1}^{DDN} \frac{Užitek_{var.i}}{(1+r)^t}}, \quad (9)$$

- kde $Užitek_{vari}$ je užitek varianty s obnovitelným zdrojem;
 NPV_{vari} – čistá současná hodnota investice do zdroje a generovaného užítku;
 IRR_{vari} – vnitřní výnosové procento investice do zdroje a generovaného užítku;
 DN_{vari} – doba návratnosti investice do zdroje a generovaného užítku;
 DDN_{vari} – 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

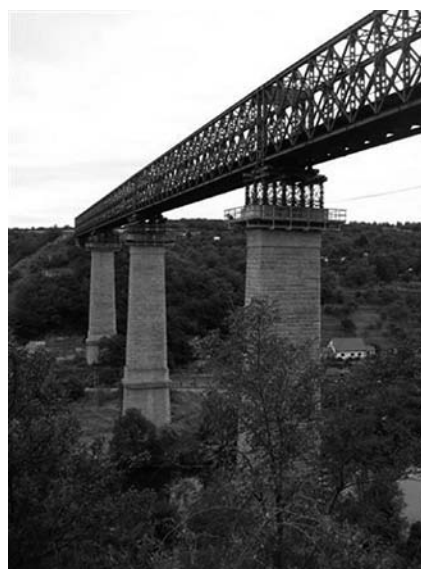
Ing. David Jansa

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/