

MOŽNO ÚČINNE POUŽIŤ PÓROVITÉ KAMENIVO NA VNÚTORNÉ OŠETROVANIE BETÓNU? ■ CAN BE THE POROUS AGGREGATE EFFECTIVELY USED FOR INTERNAL CURING OF CONCRETE?

Peter Briatka, Peter Makýš

Približne pred 20 rokmi bol v USA predstavený úplne nový koncept ošetrovania betónu založený na dodávaní „ošetrovacej“ vody z vnútra betónu. Ošetrovacia voda sa pridáva do betónu počas miešania, ale je viazaná v určitom nosiči, čím nemení vodný súčiniteľ. Táto metóda, nazýva sa vnútorné ošetrovanie (IC), udržiava cementový tmel vlhký od počiatočného veku, kedy by, za normálnych podmienok, začal vysychať a nebol by dostatočne zrelý na použitie konvenčných metód ošetrovania. Doba trvania a účinnosť IC závisia od okrajových podmienok na stavenisku rovnako ako od vlastností nosiča – v tomto prípade pórovitého – ľahkého kameniva (LWA), ktoré po nasiaknutí vodou nahrádza určitú časť hutného kameniva (NWA). Táto práca sa zaoberá s LWA (dostupným na Európskom trhu) v zmysle jeho vlastností ovplyvňujúcich účinnosť IC. ■ Roughly 20 years ago there was a brand new concept of concrete curing based on providing „extra curing“ water from inside of concrete presented in the U.S. The extra water is to be added to concrete within mixing, but is bound in some kind of carrier so do not alter water-cement ratio. This technique called Internal Curing (IC) keeps the cement paste moist from the first moment when normally would start to desiccate and would not be mature enough to apply conventional means of curing. Lasting and effectiveness of IC depends on boundary conditions at site as well as properties of the carrier – in this case porous – Lightweight-Aggregate (LWA) which after water soaking replaces some part of Normalweight Aggregate (NWA). This work deals with LWA (available on European market) in sense of its properties affecting efficiency of IC.

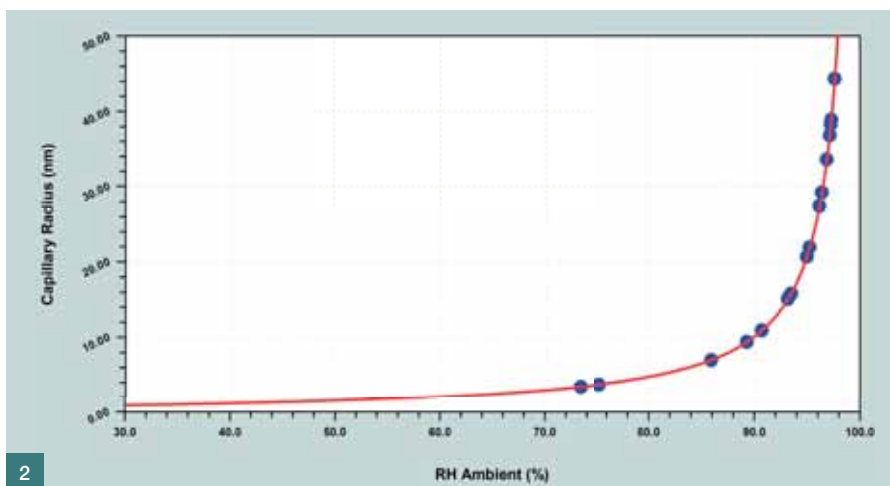
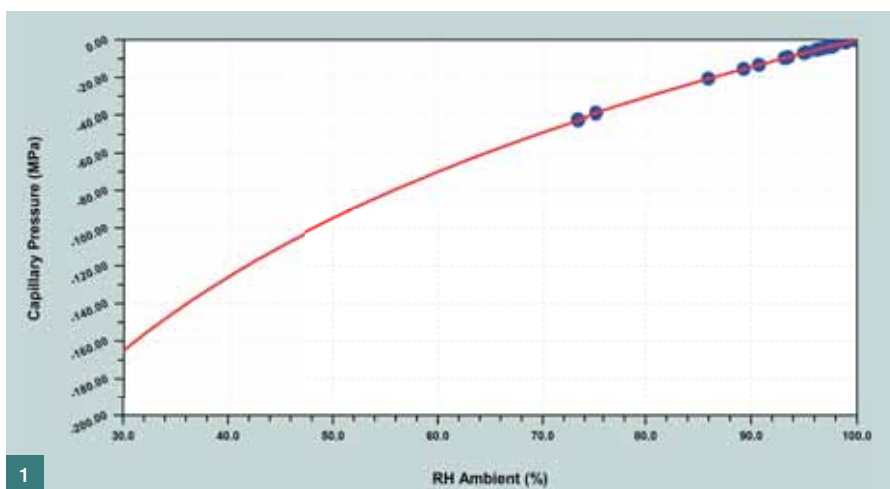
Obr. 1 Kapilárne napätie ako funkcia RH ■
Fig. 1 Capillary stresses as a function of RH
Obr. 2 Polomer kapilár ako funkcia RH ■
Fig. 2 Capillary radius as a function of RH
Obr. 3 Desorpčná krivka SLWA [10] ■
Fig. 3 Desorption curve of SLWA [10]
Obr. 4 Kumulatívne krivky rozdelenia veľkosti pórov cementového tmelu ($w/c = 0,3$) v troch rôznych vekoch zistené pomocou MIP (upravené z [7]) ■ Fig. 4 Cumulative pore size distribution (MIP) for cement paste ($w/c = 0,3$) at three different ages (modified from [7])

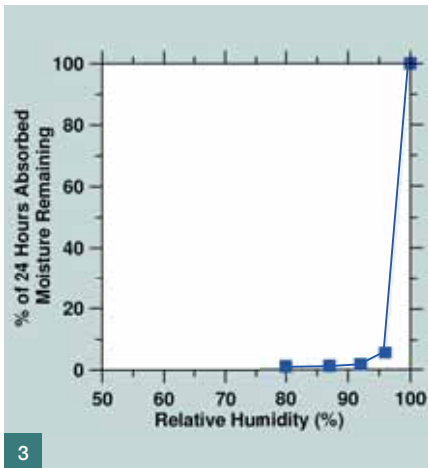
TEÓRIA VNÚTORNÉHO OŠETROVANIA

Vnútorné ošetrovanie (IC) je taký spôsob ošetrovania, ktorý poskytuje ošetrovaciú vodu z drobných „rezervoárov“ vo vnútri betónu, a tým udržiava cementový tmel vlhký a zaisťuje tak dosiahnutie najvyššieho možného stupňa hydratácie α [3, 8]. To znamená, že ošetrovacia voda sa pridáva počas miešania betónu. Aby sa predišlo zvýšeniu vodného súčiniteľa (w/c), ošetrovacia voda nesmie byť voľná – musí byť viazaná v nejakom nosiči [5]. Existuje viacero druhov takýchto nosičov (médií). Základným predpokladom je, aby mal nosič vhodnú pórovitosť, nasiakavosť a čiaru zrnitosti dôležitú pre vhodnú distribúciu zrníčok v čerstvej zmesi. V zásade, nosič musí byť schopný vodu nasiaknuť a neskôr (v betóne) keď cementový tmel začína vysychať vďaka vnútornej spotrebe vody alebo strate

vody do okolia, musí vodu postupne uvoľňovať. S klesajúcou relatívnou vlhkosťou (RH) pôvodne úplne saturovaného cementového tmelu spôsobenou autogénnou spotrebou na hydratáciu ako aj expozíciu podmienkam prostredia (RH ; T , rýchlosť vetra v_w) [6] sa póry nosiča začínajú vyprázdňovať, aby zabránili tvorbe dutín v cementovom tmele. Takýmto spôsobom sa generujú a narastajú kapilárne napätia P_{CAP} [Pa], vo všeobecnosti podľa vzťahu (1) (obr. 1) odvodeného z rovnice baróna Kelvina a rovnice podľa Young-Laplace [7, 12]. Vo vzťahu (1) vystupuje R – univerzálna plynová konštanta (8,314 J/mol.K), T [K] – teplota, RH [%] – relatívna vlhkosť a V_m ($\approx 18 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{mol}$) je mólový objem pórového roztoku.

$$P_{CAP} = \frac{R T \ln\left(\frac{RH}{100}\right)}{V_m} \quad [\text{MPa}] \quad (1)$$





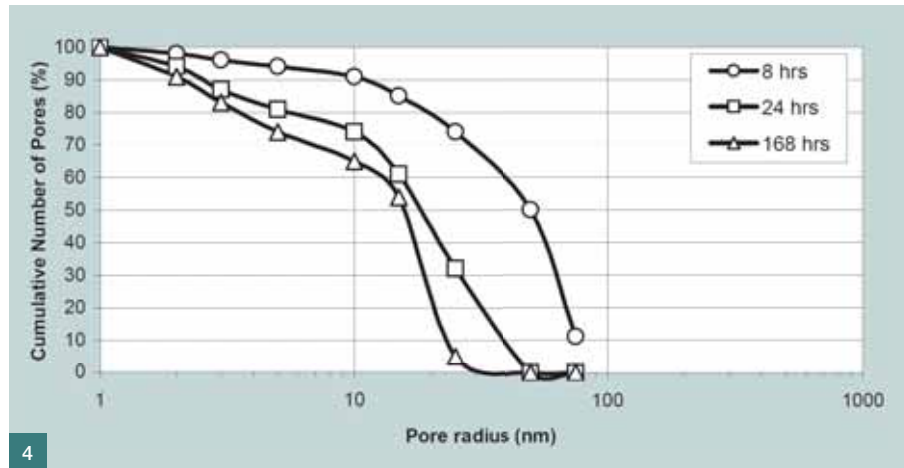
3

Potom hnacia sila IC môže byť vysvetlená na základe kapilárneho ťahového napätia popísaného rovnicou podľa Young-Laplace (vzťah (2)), kde γ (pri 296,5 K = 0,07243 N/m) je povrchové napätie pórového roztoku a θ (uvažuje sa 0 rad) je stykový uhol medzi kvapalinou a pevnou látkou. Vzťah (2) hovorí, že s rastúcim kapilárnym napätím P_{CAP} (klesajúca RH) sa znižuje polomer vyprázdňovaných pórov r_{CAP} [m]. Inými slovami, väčšie póry sa vyprázdňujú skôr. Nasledované sú menšími – v závislosti od veľkosti pórov (obr. 2) [10]. Ak si uvedomíme, že póry v nosiči sú väčšie ako póry cementového tmelu, potom dospejeme k záveru, že cementový tmel zostáva saturovaný a ošetrovanie funguje.

$$r_{CAP} = -\frac{2\gamma \cos(\theta)}{P_{CAP}} \quad (2)$$

Jeden z možných nosičov sa vyrába z expandovanej bridlice. Vyznačuje sa nízkou objemovou hmotnosťou, vysokou pórovitosťou a pevnou kostrou. Vo všeobecnosti sa označuje ako ľahké kamenivo (LWA). Viacero autorov (napr. [2]) zaoberajúcich sa vnútorným ošetrovaním použitím saturovaného LWA (SLWA) vychádza z jedného grafu (obr. 3) zobrazujúceho desorpčnú krivku SLWA používaného v USA. Avšak materiály nemajú rovnaký pôvod, a preto je na mieste očakávať rozdiely vo výsledkoch. Tento článok sa teda podrobnejšie venuje výskumu efektívnosti použitia LWA dostupného na Európskom trhu na IC.

Význam vnútorného ošetrovania je priamo úmerný významu betónovej konštrukcie ako aj požadovanej pevnosti (súvisí s w/c) a povrchovému modulu (pomer povrchu vystaveného okolitému prostrediu a objemu



4

konštrukcie). Celý koncept vnútorného ošetrovania (ako už mnoho autorov demonštrovalo) je oveľa vhodnejší pre vysoko-pevnostné betóny ako pre bežné každodenné betonáže [3, 5].

Základným problémom je, že pri týchto konštrukciách sa zvyčajne všetky najnepriaznivejšie podmienky stretávajú súčasne na jednom mieste. Plošné konštrukcie s vysokým povrchovým modulom väčšinou znemožňujú ošetrovanie konštrukcie vo veľmi skorom veku, a to proti strate vlhkosti závislej od RH, T, v_w a v neposlednom rade od slnečného žiarenia a koeficientu pohltivosti žiarenia betónu [6]. Na druhej strane, ak sa na ošetrovanie konštrukcie vo veľmi skorom veku navrhne vnútorné ošetrovanie, potom neskôr po skončení tohto kritického obdobia začína betón vysychať spotrebovaním vody na hydratáciu cementu, čo môže viesť k zastaveniu hydratácie keďže povrchová vrstva betónu je príliš hutná (nedostatočne permeabilná) na to, aby umožnila penetráciu ošetrovacej vody (z kropenia) do jadrovej oblasti betónu [7, 9, 11].

IC, na rozdiel od konvenčných metód ošetrovania, sa musí zdefinovať a navrhnuť ešte pred začiatkom miešania čerstvého betónu, k čomu rozhodne potrebujeme poznať správanie LWA v IC. Ako také potrebujeme definovať tri hlavné parametre:

- objem vody k dispozícii pre IC (nasiakavosť),
- schopnosť vody uvoľniť sa z SLWA, keď bude potrebná pre IC (desorpcia)
- distribúcia SLWA v betóne [7].

Táto práca sa zaoberá prevažne len prvými dvomi parametrami, keďže distribúcia v betóne je do významnej miery závislá od zloženia betónu (receptúry).

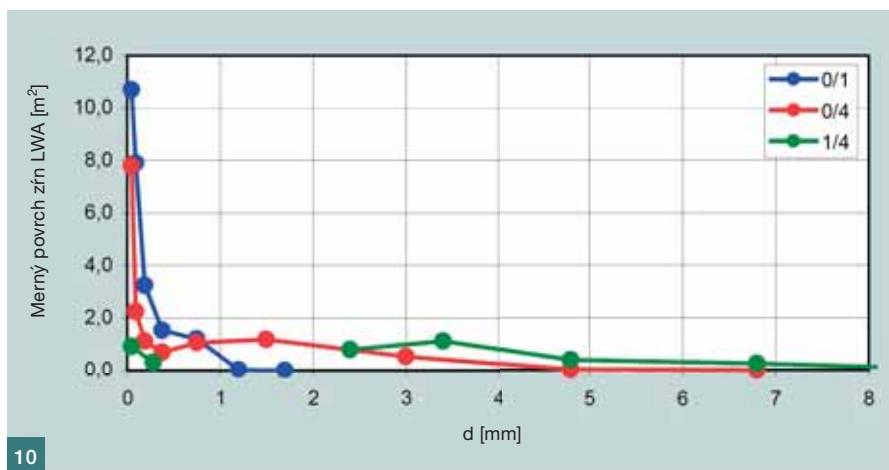
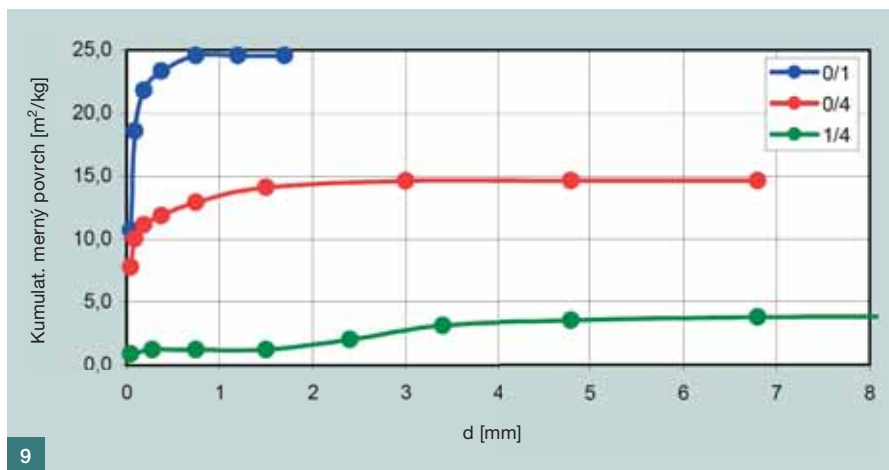
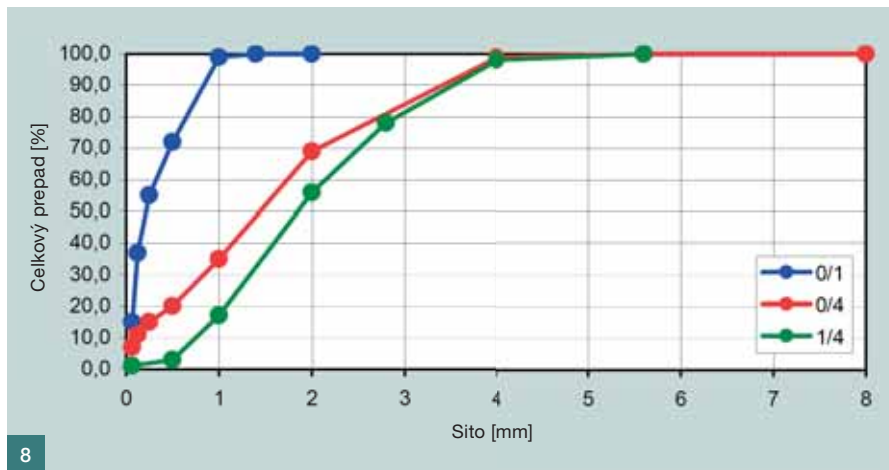
EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Skúšky boli navrhnuté tak, aby sa zistila jedna z dominantných charakteristík SLWA opačná k nasiakavosti – desorpcia. Desorpcia SLWA je kľúčovým parametrom v zmysle schopnosti SLWA poskytovať ošetrovaciu vodu vysychajúcemu cementovému tmelu prostredníctvom sania zo saturovaných kapilár spôsobeného napätiami vyššími ako P_{CAP} [1, 9]. Podľa RH prostredia, ktorému boli vzorky vystavené, a s ohľadom na čiaru zrnitosti ovplyvňujúcu špecifický povrch (SSA) každej frakcie sme sa zamerali na vypracovanie modelu desorpcie SLWA nápomocného pri implementácii IC prostredníctvom SLWA do praxe. Týmto spôsobom sme získali aj distribučnú krivku veľkosti pórov (podľa ich polomeru). Porovnaním tejto distribučnej krivky s distribučnými krivkami pórov v zatvrdnutom cementovom tmele sme predpokladali, že bude možné vyhodnotiť vhodnosť každej skúšobnej vzorky (frakcie) LWA pre zamýšľané použitie v IC s ohľadom na konkrétny betón a podmienky na stavenisku alebo prinajmenšom posúdiť potrebu doplnkového ošetrovania iným spôsobom.

Experimentálna časť pozostávala z niekoľkých skúšok základných materiálových charakteristík, ako sú sypaná hmotnosť, zrnitosť a 24-hodinová nasiakavosť. Výsledky týchto skúšok sú prezentované nižšie ako doplnkové dáta pre spresnenie popisu materiálu a jeho vhodnosti v zmysle nasiakavosti (voda potenciálne dostupná pre ošetrovanie) a desorpcie (voda skutočne dostupná pre ošetrovanie).

Použité materiály

Pre skúšky sa vybrali tri rôzne frakcie LWA „Liapor“. Všetky tieto frakcie mali rovnaké chemické zloženie (uvádza sa v % hmotnosti s tolerančným in-



tervalom $\pm 5\%$) SiO_2 55, Al_2O_3 24, Fe_2O_3 14, CaO 5, stopové prvky 2 ± 2 . Liapor sa vyrába expandovaním bridlice v rotačných peciach (pri teplote 1090 až 1200 °C), pričom produkt má sľutý povrch. Pri výbere frakcií sa zvláštna pozornosť venovala výberu otvoreného vs. uzavretého pórového systému, pretože rôzne frakcie sa vyrábajú aj s rôznym (ak vôbec) mletím v závere výrobného procesu. Do úvahy sa vzali parametre, ako sú jemnosť každej frakcie, sypná hmotnosť, merná hmotnosť a nasiakavosť (po 2 h). Samozrejme sa pri výbere skúšobných frakcií uvažovalo

aj so životnosťou betónových konštrukcií, a preto sa sledoval napríklad maximálny obsah chloridov, maximálny celkový obsah síry alebo odolnosť proti alkalicko-kremičitej reakcii (ASR).

Vybrali sa tri frakcie LWA označené (v súlade s EN 12620 a EN 13055-1) ako frakcie s najmenším zrnom (otvorom sita) a najväčším zrnom tak, ako sa uvádza na obr. 5, 6 a 7.

Vedľajšie skúšky

Skúšky sypanej hmotnosti a mernej hmotnosti sa vykonali v súlade s EN 1097-3 a EN 1097-6. Čiary zrnitosti vybraných

frakcií sa zisťovali podľa postupu EN 933-1. Vedľajšími skúškami sa zisťovala aj 24-hodinová nasiakavosť podľa EN 1097-6. Výsledky a materiálové charakteristiky sú zhrnuté v tab. 1 a obr. 8.

Výroba a príprava vzoriek

Vzorky použité pre meranie desorpcie sa pred skúškou individuálne ponorili do vody konštantnej teploty 20 ± 2 °C. Po 24 ± 2 h nasiakania sa prebytočná voda scedila a vlhkosť na povrchu SLWA sa vysušila pomocou papierových utierok. Vlhkosť povrchu sa kontrolovala jednoduchým postupom po-

Tab. 1 Prehľad výsledkov vedľajších skúšok | Tab. 1 Review of the supplementary tests' results

Vlastnosť [jednotka]	0/1	0/4	1/4
Sypná hmotnosť [kg/m ³]	610	410	760
Merná hmotnosť [kg/m ³]	1 690	1 090	1 210
Nasiakavosť [%]	4,73	7,16	14,39

Obr. 5 Frakcia 0/1 mm | Fig. 5 Fraction 0/1 mm

Obr. 6 Frakcia 0/4 mm | Fig. 6 Fraction 0/4 mm

Obr. 7 Frakcia 1/4 mm | Fig. 7 Fraction 1/4 mm

Obr. 8 Čiary zrnitosti skúšobných frakcií | Fig. 8 Grading curves of testing samples

Obr. 9 Kumulatívne čiary SSA | Fig. 9 Cumulative curve of specific surface area

Obr. 10 Distribučné čiary SSA | Fig. 10 Distribution curve of specific surface area

Obr. 11 Desorpčná krivka – frakcia 0/1 | Fig. 11 Desorption curve – fraction 0/1

Obr. 12 Desorpčná krivka – frakcia 0/4 | Fig. 12 Desorption curve – fraction 0/4

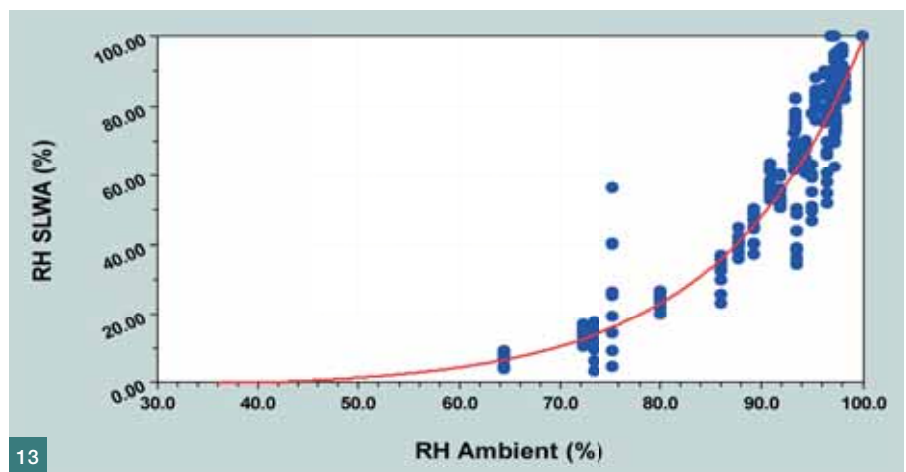
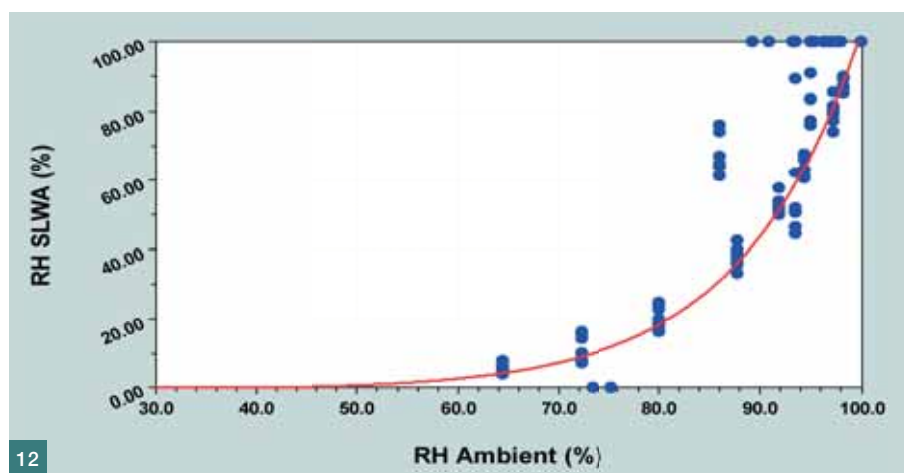
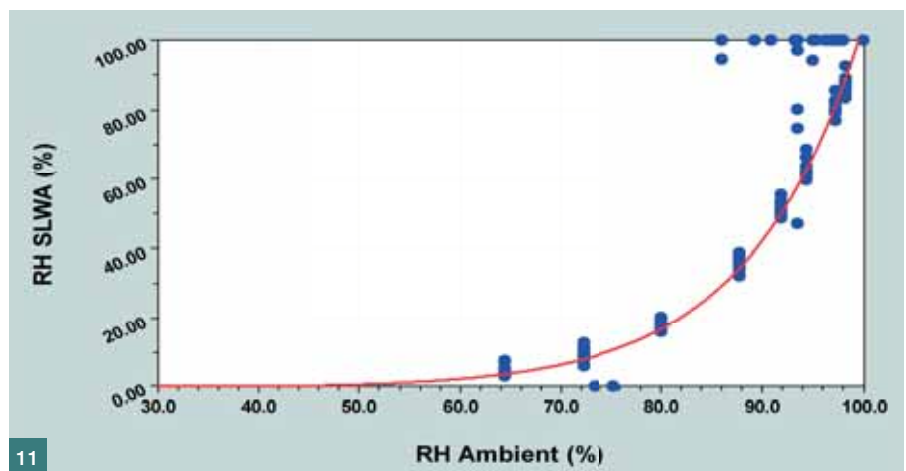
Obr. 13 Desorpčná krivka – frakcia 1/4 | Fig. 13 Desorption curve – fraction 1/4

mocou kontrolnej papierovej utierky. Následne sa pripravili vzorky hmotnosti cca 20 až 25 g. Vzorky sa navážili do malých plastových kruhových misiek (Ø 50 mm; výška 25 mm) s hornou stranou otvorenou.

Vykonali sa tri skúšky na troch samostatných sadách vzoriek. Jedna sada reprezentuje osem skúšobných „telies“ (kruhových misiek) pre každú z troch frakcií, t.j. dvadsať štyri skúšobných telies.

Skúšobný postup

Prípravené vzorky sa umiestnili do jednoduchej „klimatizačnej“ komory, kde sa udržiavala konštantná *RH*, *T* (okolo 23,5 °C) a zanedbateľné prúdenie vzduchu. Prostredie vo vnútri komory sa regulovalo triviálnym princípom rovnovážneho stavu izolovaného systému. V tomto prípade izolovaný systém reprezentuje otvorená vodná hladina a vzduch nad ňou. Po určitom čase tieto látky zaujmú rovnovážny stav *RH* 100%. V prípade potreby regulácie *RH*, umožní sa to miernym prúdením vzduchu cez nastaviteľnú štrbinu v hornej časti komory. Štrbina sa pred skúškami nakalibrovala. Počas skúšok sa priebežne zaznamenávali dáta o *RH* a tep-



lote *T* vody aj vzduchu. Vzorky sa pravidelne vážili na váhach s presnosťou ±0,0005 g. Táto presnosť bola potrebná, pretože počiatočná hmotnosť nasiaknutej vody vo vzorkách sa pohybovala okolo 0,9 g na jedno skúšobné teleso. Keď sa zaznamenala nulová strata hmotnosti skúšobných telies medzi dvomi po sebe idúcimi meraniami (ustálená hmotnosť), *RH* v komore sa znížila a skúška pokračovala rovnakým spôsobom. Skúšky boli prispôbené na meranie ôsmich rovnovážnych stavov a jedného prvého a posledného merania, kedy boli vzorky vystavené

veľmi nízkemu *RH* (pod 30%) za použitia silikagélu.

Interpretácia výsledkov

Vykonali sa tri skúšky desorpcie na sedemdesiatich dvoch skúšobných telesách (dvadsať štyroch z každej frakcie). Celkovo sa na analýzu získalo 696 dátových bodov (232 z každej frakcie).

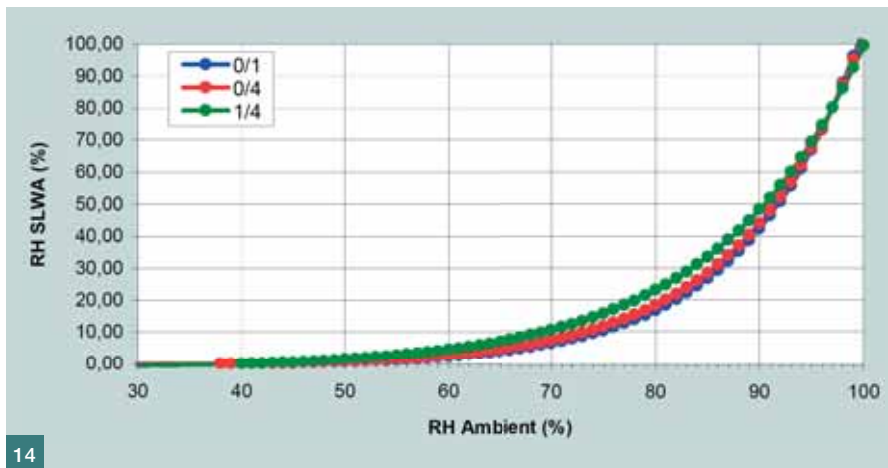
Z vedľajších skúšok vyplynul jeden parameter úzko spätý so zrnitosťou resp. s čiarou zrnitosti. Zmieným parametrom je špecifický povrch (SSA), ktorý musí byť jedným z rozhodujúcich faktorov ovplyvňujúcich stratu vo-

dy na rozhraní SLWA a okolitého prostredia. Na základe zjednodušenia, že zrníčka LWA majú idealizovaný tvar gule, sa z čiar zrnitosti stanovil výpočtový SSA pre každú frakciu zvlášť (obr. 9) a individuálny SSA každej výpočtovej veľkosti zrna LWA (obr. 10).

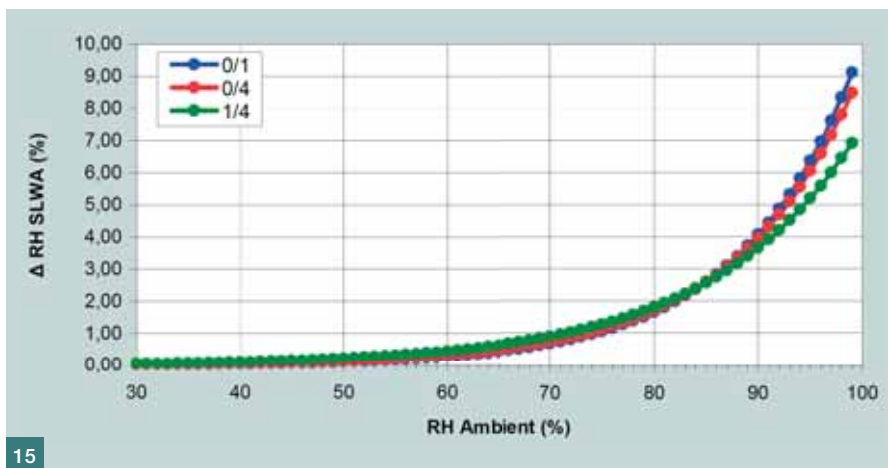
Grafy na obr. 11 až 13 zobrazujú desorpciu (stratu vody) SLWA. Zistené priebehy desorpcie súhlasia s očakávaným správaním, keďže hnacou silou desorpcie je hlavne *RH* prostredia, s ktorým sa *RH* SLWA snaží dostať do rovnovážneho stavu. Funkcia popisujúca všetky desorpčné krivky získané pri konštantnej teplote *T* (296,5 K) a v_w musí byť určitým variantom mocninnového modelu. I keď to znie triviálne, existujú isté špecifiká, ktoré sa nesmú opomenúť. Ak sa pozrieme bližšie na všetky grafy, bez ohľadu na frakciu, všetky desorpčné krivky sa približujú nule pri *RH* cca 40%, čo sa označuje ako kritický bod (zodpovedajúce P_{CAP} cca 125 MPa), kedy sa v kapilárach rozpadajú menisky, pretože polomer vyprázdňovaných kapilár poklesol na cca 1,1556 nm (rovná sa trom molekulám vody) [1, 10]. To znamená, že funkcia bude definovaná pre interval *RH* (40%; 100 %). Medzi výsledkami sú malé odchýlky, ktoré s najväčšou pravdepodobnosťou môžu byť pripísané zrnitosti (jemnosti) a pórovej štruktúre (slinutý povrch) LWA, ktoré ovplyvňujú celú škálu vlastností.

Tu by mala byť zdôraznená jedna dôležitá skutočnosť. Snaha o dokonalé odstránenie povrchovej vlhkosti z SLWA (najmä jemných frakcií) s otvorenou pórovou štruktúrou je prakticky nemožné aj napriek kontrole povrchovej vlhkosti metódou papierovej utierky. Toto vedie k zvýšeniu počiatočnej *RH* SLWA, v niektorých prípadoch o viac než 5%. S touto poznámkou súvisí ďalšie pozorovanie väčšej strmosti desorpčných kriviek jemnejších frakcií a spoločného priesečníka všetkých kriviek v okolí 97% *RH*, čo indikuje stratu všetkej povrchovej vlhkosti.

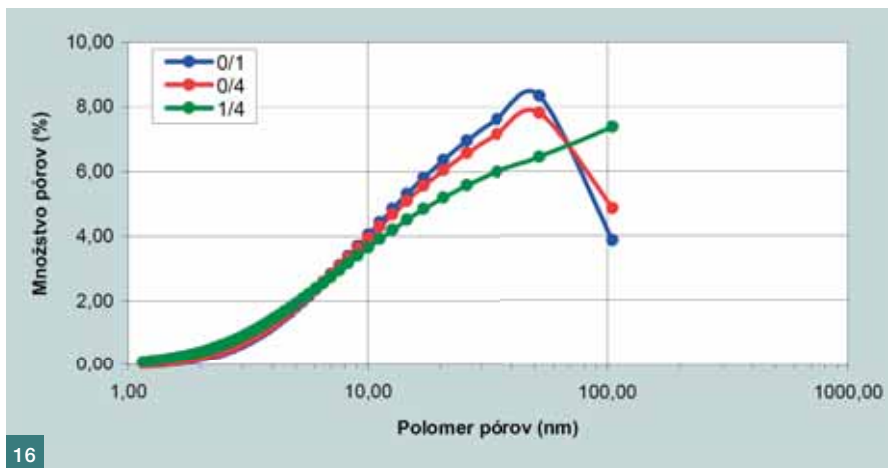
Analýzou získaných dát sme dospeli k desorpčnému modelu SLWA (príjajmenšom Liaporu) RH_{SLWA} [%]. Desorpčný model, ako je uvedený vo vzťahu (3), je mocninnovou funkciou relatívnej vlhkosti prostredia RH_{AMB} [%], s ktorým sa SLWA snaží zaujať rovnovážny stav. V desorpčnom modeli ďalej vystupuje opravná konštanta 4,38 zaisťujúca, že funkcia je rovná nule pri RH_{AMB} 40,03%, kedy už nie je v kapilárach žiadna voda dostupná na de-



14



15



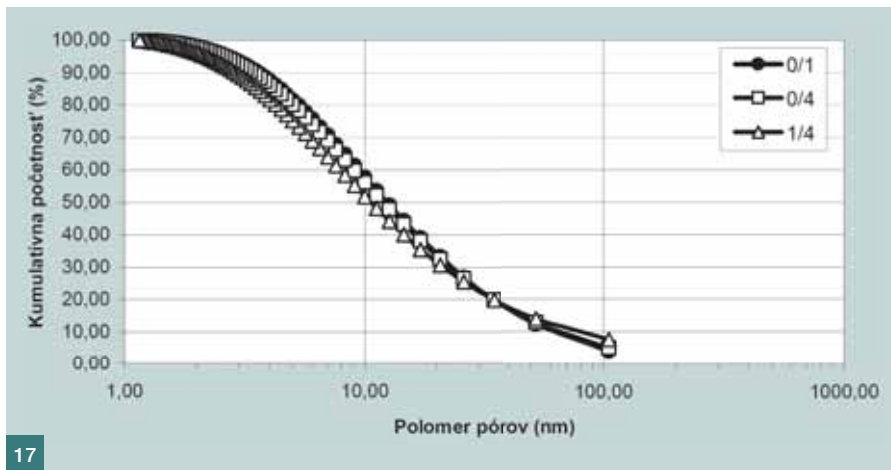
16

sorpciu. Intenzita desorpcie je ďalej ovplyvnená mocninou SSA, opäť závislou od RH_{AMB} . Mocnina SSA sa zhoduje s rozdielmi jednotlivých frakcií z hľadiska nezamedziteľnej počiatočnej povrchovej vlhkosti.

$$RH_{SLWA} = \left(RH_{AMB}^{\frac{RH_{AMB}-97}{100}} - 4,38 \right) \cdot SSA^{\frac{RH_{AMB}-97}{100}} \quad [\%] \quad (3)$$

Porovnanie desorpčných kriviek všetkých frakcií v jednom grafe zachytáva obr. 14, ktorý demonštruje dva spoloč-

né body všetkých kriviek. Prvým z nich je bod zodpovedajúci RH_{AMB} 97%, pri ktorom aj jemnejšie frakcie stratia všetku vodu viazanú na povrchu zrn a začínajú vysychať z vnútra pórovej štruktúry. Druhý spoločný bod zodpovedá RH_{AMB} 40,03%, kedy už nie je v póroch SLWA žiadna voda dostupná na uvolnenie a desorpcia sa zastavuje. Z jednotlivých kriviek je možné ďalej vidieť len veľmi malé rozdiely medzi jednotlivými frakciami na rozdiel od toho, čo by sa mohlo očakávať od tak významných rozdielov v SSA. Tu si však musíme uvedomiť, že s rastúcim SSA



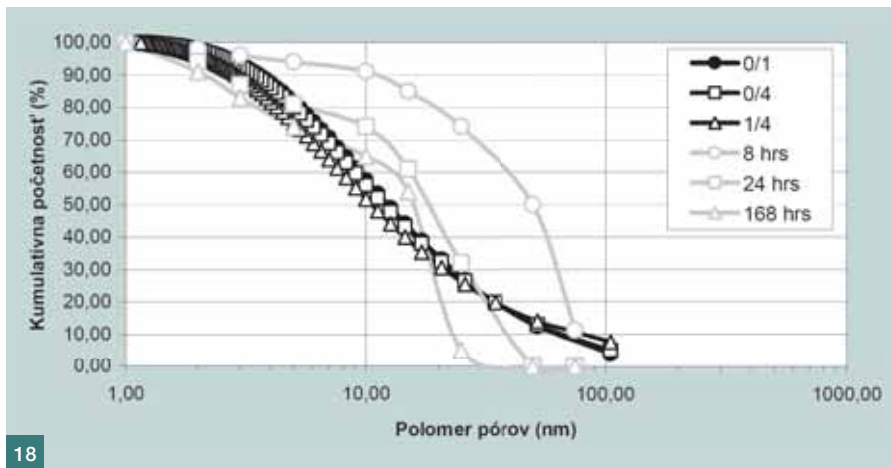
Obr. 14 Zloženie všetkých troch desorpčných kriviek | Fig. 14 Composition of all three desorption curves

Obr. 15 Intenzita desorpcie medzi dvomi po sebe nasledujúcimi % stupňami RH_{AMB} | Fig. 15 Rate of desorption between two consequent per cent degrees of RH_{AMB}

Obr. 16 Distribučné krivky rozdelenia veľkosti pórov | Fig. 16 Pore size distribution curves

Obr. 17 Kumulatívna početnosť pórov podľa polomeru | Fig. 17 Cumulative pore size distribution curves

Obr. 18 Kumulatívna početnosť pórov v SLWA vs. v cementovom tmele v rôznom veku | Fig. 18 Cumulative pore size distribution curves of SLWA vs. cement paste at different ages



17

18

rastie aj sybná hmotnosť a styčná plocha medzi jednotlivými zrnami.

Obr. 15 zobrazuje intenzitu desorpcie. Je zrejmé, že jemnejšie frakcie strácajú vodu rýchlejšie, obzvlášť pri vyšších RH , čo je dané ich jemnosťou a otvorenou pórovou štruktúrou alebo prekvapivým zistením, že môžu mať

k dispozícii väčšie množstvo veľkých pórov ako frakcia 1/4 (obr. 16).

POUŽITIE LWA NA IC

Z pohľadu možnosti použitia LWA (Liapor) na IC nie je možné jednoznačne stanoviť, či skúšané frakcie sú, alebo nie sú vhodné a čo viac, bolo by to

i nezodpovedné, pretože poznáme niekoľko mechanizmov zmršťovania, proti ktorým Liapor môžeme efektívne používať. Ak porovnáme desorpčné krivky (skúšaných frakcií) Liaporu s tou, ktorá je prezentovaná v obr. 3, môžeme vidieť uvoľňovanie vody z pórov Liaporu v neskoršom čase (pri nižších RH),

Literatura:

- [1] Adamson A. W., Gast, A. P.: Physical Chemistry of Surfaces, 6th Ed. Wiley-Interscience, New York, 1997
- [2] Bentz D. P., Lura P.: Mixtures Proportioning for Internal Curing, Concrete International, Vol. 27, ACI, Farmingtonhills, 2005, pp: 35–40
- [3] Briatka P.: Internal Curing of Concrete using Lightweight Aggregate, In: proc. of conf. Design, Preparation and Execution of Constructions, held in Bratislava, March, 2010
- [4] Briatka P.: Reduction of elastic Shrinkage Cracking in Concrete Pavements and Elimination of Maintenance Expenses, In: proc. of The Young European Arena of Research, Forum of European National highway Research Laboratories, 2010
- [5] Briatka P., Makýš P.: Elimination of Plastic Shrinkage Cracking in Concrete, In: proc. of Junior Scientist Conference held in Vienna, April, 2010
- [6] Briatka P., Makýš P.: Fresh Concrete Curing – Part 1: Water Loss from Concrete, In: Beton TKS, Vol. 10, No. 1, Beton TKS, Prague, 2010
- [7] Henkensiefken R.: Internal Curing in Cementitious Systems Made Using Saturated Lightweight Aggregate, Master Thesis, Purdue University, West Lafayette, 2008
- [8] Henkensiefken R., Briatka P., Bentz D., Nantung T., Weiss J.: Plastic Shrinkage Cracking in Internally Cured Mixtures – Prewetted Lightweight Aggregate can Reduce Cracking, In: Concrete International, Vol. 32, No. 2, ACI, Farmingtonhills, 2010
- [9] Lura P.: Autogenous Deformation and Internal Curing of Concrete, PhD. Thesis, TU Delf, 2003
- [10] Radlinska A. et al.: Shrinkage Mitigation Strategies in Cementitious Systems: A Closer Look at Differences in Sealed and unsealed Behavior, In: Journal of the Transportation Research Board, Washington, 2008
- [11] Sant G., Eberhardt A. et al.: The Influence of Shrinkage Reducing Admixtures (SRAs) on Moisture Absorption in Cementitious Materials at Early-Ages, Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 22, No. 3, 2010, pp: 277–286
- [12] Wittmann F. H.: On the Action of capillary Pressure in Fresh Concrete, In: Cement and Concrete Research, Vol. 6, No. 1, 1976
- [13] EN 12620+A1:2008 – Aggregates for concrete
- [14] EN 13055-1:2002 – Lightweight aggregates. Lightweight aggregates for concrete, mortar and grout
- [15] EN 1097-3:1998 – Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Determination of loose bulk density and voids
- [16] EN 1097-6:2000 – Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Determination of particle density and water absorption
- [17] EN 933-1:1997 – Tests on geometrical properties of aggregates. Determination of particle size distribution. Sieving method

čo by mohlo umožniť vytvorenie dutín v cementovom tmele a následne rastúce kapilárne napätia by mohli vyvolať poruchy cementovej matrice. Na druhej strane, oddialenie začiatku uvoľňovania vody z LWA znamená, že väčšie množstvo vody bude dostupné v cementovom tmele v neskoršej dobe.

Každopádne Liapor má príliš málo veľkých pórov (účinných vo veľmi skorom veku betónu), ako je to možné vidieť z obr. 17. Vidíme, že iba približne 50 % pórov má polomer väčší ako 10 nm (zodpovedá RH_{AMB} cca 90 %). Ako naznačuje obr. 18, Liapor s vysokou pravdepodobnosťou nie je vhodný na IC vo veľmi skorom veku betónu, ale mohol by byť veľmi účinný, ak by začal pôsobiť povedzme po 24 h a do tej doby by sa betón ošetroval iným spôsobom. Tu sa musí poznamenať, že iné spôsoby (konvenčného) ošetrovania, ako napríklad kropenie, generovanie hmly atď., sú vhodnejšie práve v tomto štádiu, pretože hutnosť betónu s časom rapídne rastie.

ZÁVER

Z výsledkov desorpcie a vedľajších skúšok sa podarilo odvodiť desorpčný model pre LWA Liapor. Model môže najst' uplatnenie v rozhodovacom procese či použiť alebo nepoužiť IC a ak áno, ako navrhnúť receptúru čerstvého betónu.

LWA dostupné na Európskom trhu (Liapor) preukázalo kvantitatívne iné správanie ako LWA bežne používané (a skúšané) v USA a prekvapivo obsahuje menej veľkých pórov, čo posúva jeho účinnosť do neskoršieho veku betónu keď RH poklesne. Tieto zistenia hovoria, že v prípade použitia Liapor-u by sa nemalo príliš spoliehať na IC vo veľmi skorom veku betónu. Úžitok z IC pomocou Liaporu možno očakávať až v období, keď P_{CAP} dosiahne hodnoty (cca 10 MPa) adekvátne RH okolo 95 % (keď krivky v obr. 17 dosiahnu inflexný bod).

Liapor sa môže používať na IC, ale výhodnejšie je nastavenie ošetrovania na neskoršie obdobie (po 1 dni) a pokiaľ možno, nie v ultra a veľmi vysoko pevnostných betónoch.

Podakovanie

Táto práca vznikla riešením výskumnej úlohy „Evaluácia a model desorpcie vody z pórovitého kameniva pre účely vnútorného ošetrovania betónu“, ktorej riešenie podporila STU v rámci Programu na podporu mladých výskumníkov. Materiálnou podporou sa na riešení úlohy podieľala spoločnosť LIAS Vintířov, k. s. Technicky sa na riešení úlohy podieľal aj Technický a skúšobný ústav stavebný, n. o. (TSÚS), v ktorého laboratóriách sa skúšky vykonali. Všetkým menovaným chceme touto cestou poďakovať.

Ing. Peter Briatka

Technický a skúšobný ústav
stavebný
Studená 3, 821 04 Bratislava
Slovenská republika
e-mail: briatka.p@gmail.com



Doc. Ing. Peter Makýš, PhD.
Stavebná fakulta STU
Radlinského 11, 813 68 Bratislava
Slovenská republika



RECENZE ZAHRANIČNÍCH KNIH

FAILED BRIDGES

Joachim Scheer



Deset let po vydání prvního svazku „Failure of Structures“ připravil profesor Joachim Scheer druhou publikaci, která se tentokrát věnuje selhání mostních konstrukcí. Kniha představuje systematický přehled čtyř set selhání a zřícení konstrukcí různých typů mostů. Selhání jsou roztržena dle doby z hlediska jejich životního cyklu mostu (během výstavby, po dokončení, v průběhu užívání), dle příčiny (chyba návrhu konstrukce, projektu, chyba technologie výstavby, různé typy zatížení a přetížení konstrukce, zanedbaná nebo žádná údržba, chybně navržená nebo realizovaná rekonstrukce ad.). Cílem knihy je pomocí přehledného třídění upozornit na zdánlivě nevýznamná pochybení, která v řetězení dalších nedostatků mohou vést k tragickým důsledkům včetně ztrát na lidských životech. Mosty byly vždy stavbami velkého strategického významu, na jejichž funkčnosti často závisel sociální i hospodářský rozvoj rozsáhlých oblastí. Proto je z hlediska prevence velmi užitečné seznámit se i s těmi, u kterých došlo z různých příčin k selhání a případně zhroutil jejich konstrukce.

Kniha vydaná v anglickém jazyce (z němčiny přeložila Linda Wilharm) obsahuje na 307 stranách textu 120 obrázků a 15 rozsáhlých tabulek. V závěru je uvedena zdrojová literatura a dobře připravený rejstřík.

Ernst & Sohn, www.ernst-und-sohn.de
A Wiley Company, květen 2010
ISBN-10: 3-433-02951-2
ISBN-13: 978-3-433-02951-0

Zájemci o zakoupení knih do nich mohou nahlédnout v redakci časopisu.

THE WORLD OF FOOTBRIDGES: FROM THE UTILITARIAN TO THE SPECTACULAR

Klaus Idelberger



Stavební inženýři se obvykle více zajímají o atraktivní konstrukce silničních a železničních mostů s dlouhými rozpětími než o relativně úzké lávky pro pěší navrhované na „skromná“ zatížení. Avšak místní samosprávy se dívají na lávky pro pěší a cyklisty ve vnitřních městech nebo ve venkovské zemědělské krajině jako na důležitý spojující prvek umožňující živý provoz města či krajiny rozdělené vodním tokem nebo rušnou komunikací. Návrh lávek je často vybrán v architektonické soutěži. Protože zatím neexistují oficiální směrnice pro plánování a navrhování tohoto typu mostů, jsou jejich stávající konstrukce s popsanou technologií výstavby a zkušenostmi z provozu vítaným zdrojem inspirace a informací o jejich chování pro inženýry, architekty ale i pro představitele místních samospráv, kteří o podobné stavbě uvažují.

Kniha obsahuje 85 příkladů lávek pro pěší z celého světa, které byly postaveny během posledních tří dekád v mnoha různých prostředích. Celý soubor je uspořádán dle nosného konstrukčního systému a délky rozpětí. U každé lávky je uveden krátký popis mosta, v kterém je postavena, a její konstrukční systém doprovázený fotografiemi, plány, pohledy a v některých případech i zajímavými konstrukčními detaily. Publikace se tak může stát pro mostní inženýry skutečným pokladem.

Kniha vydaná v anglickém jazyce (z němčiny přeložila Linda Wilharm) ve formátu A4 obsahuje na 183 stranách textu množství obrázků, plánů a přehledných tabulek. V závěru je uvedena bohatá zdrojová literatura.

Ernst & Sohn, www.ernst-und-sohn.de
A Wiley Company, duben 2011
ISBN: 978-3-433-02943-5