

STRATY PREDPĀTIA PRVKOV Z VYSOKOHODNOTNÉHO BETÓNU

PRESTRESS LOSSES IN MEMBERS CAST FROM HIGH PERFORMANCE CONCRETE

Jaroslav Halvonik, Juraj Dolnák,
Viktor Borzovič

V príspevku sú prezentované výsledky experimentálneho programu zameraného na sledovanie pôsobenia vopred predpätých nosníkov vyrobených z vysokohodnotného betónu (VHB). Merania sú zároveň porovnávané s výsledkami získanými na nosníkoch z obyčajného betónu (OB), ktoré boli zaťažené rovnakou predpínacou silou ako nosníky z VHB. Experimentálne merania, ako sú napr. straty predpätia a deformácie, boli potom porovnané s výsledkami získanými z troch normových modelov používaných na predikciu strát predpätia. ■ Results of experimental program focused on behaviour of pre-tensioned beams cast from high performance concrete (HPC) are presented in the paper. Measurements are also compared with the results obtained on the beams cast from normal concrete (NC) which were subjected to the same prestressing force as beams cast from HPC. Experimental measurements e.g. prestress losses and deformations were then compared with results obtained from three different models used for prediction of prestress losses.

Jednou z hlavných motivácií uskuotočnenia experimentálneho programu bolo overenie možnosti širšej aplikácie vysokohodnotných betónov pri výrobe mostných prefabrikovaných nosníkov, kde sa vytvára najširší priestor na hromadnú aplikáciu tohto konštrukčného materiálu v praxi. V súčasnosti je použitie VHB betónov na Slovensku obmedzené na betonáž silne namáhaných tlačných prvkov, alebo na produkciu výrobkov, ktoré sú vystavené vysoko agresívnemu prostrediu, ako sú napr. kontajnery na uskladnenie rádioaktívneho odpadu z jadrových elek-

trárni, príp. zdravotníckych zariadení.

Vopred predpäté mostné prefabrikáty sa ukazujú ako veľmi vhodné nosné prvky, kde je možné využívať kvality VHB, ako sú vysoká pevnosť, tuhosť, menšie dotvarovanie a excelentná trvanlivosť aj v triedach prostredia XD3 a XF4. Pri vhodnom využití týchto vlastností by bolo možné kompenzovať nevýhody vyššej ceny VHB v porovnaní s obyčajným betónom, ktorá zatiaľ bráni jeho širšiemu využívaniu v praxi.

POPIS EXPERIMENTÁLNEHO PROGRAMU

Experimentálny program zahŕňal výrobu vopred predpätých nosníkov a širokej škály betónových vzoriek, ktoré boli využité na získanie vlastností použitých betónov potrebných na vytvorenie modelov na predikciu napr. dotvarovania, zmršťovania alebo strát predpätia.

Prefabrikované nosníky

Skúšobné prvky tvorilo spolu osem vopred predpätých prefabrikovaných nosníkov. Štyri nosníky boli vyrobené z obyčajného betónu C40/50 a štyri nosníky z vysokohodnotného betónu C70/85 (obr. 1a).

Nosníky boli predpäté centricky, štyrmi stabilizovanými lanami \varnothing Ls12.5 mm/1 770 MPa, každé lano malo prierezovú plochu 91,3 mm². Okrem toho boli vystužené štyrmi prútmi betonárskej výstuže profilu \varnothing 10 mm. Dĺžka nosníkov 2,5 m bola navrhnutá tak, aby bolo zaistené plné vnesenie predpínacej sily súdržnosťou v centrálnej časti prvku. Priečný rez nosníkov bol obdĺžnikový s rozmermi 180 × 140 mm. Veľkosť vnesenej pred-

pínacej sily bola 500 kN, pričom tlakové normálové napätia v priereze dosiahli hodnotu 18 MPa. Predpätie bolo vnesené päť dní po betonáži nosníkov.

Betónové vzorky

Spolu s nosníkmi boli vybetónované ďalšie betónové vzorky, ktoré sa použili na overenie materiálových vlastností použitých betónov. Pre účely zistenia pevnosti betónu boli vyrobené kocky o hrane 150 mm a valce \varnothing 150 × 300 mm,

Obr. 1 a) Predpäté nosníky, b) betónové vzorky na skládke ■ Fig. 1 a) Prestressed beams, b) concrete specimens at storage yard

Obr. 2 Pružinová zostava na meranie dotvarovania betónu ■ Fig. 2 Spring set-up for measuring creep

Obr. 3 EM snímač a strunový tenzometer vložený do nosníka ■ Fig. 3 EM sensor and wire strain gauge embedded in beam

Obr. 4 Vývoj zmršťovania na betónových vzorkách bez očistenia od teploty ■ Fig. 4 Development of shrinkage on concrete specimens without temperature adjustment

Obr. 5 Vývoj zmršťovania na betónových vzorkách s očistením od teploty ■ Fig. 5 Development of shrinkage on concrete specimens with temperature adjustment



1a



1b



2

Tab. 1 Zloženie 1 m³ čerstvej betónovej zmesi
Tab. 1 Composition of fresh concrete per 1 m³

Zložky	Druh	C40/50	C70/85
kamenivo [kg]	0-4	725	710
	4-8	306	240
	8-16	740	790
kremičitý úlet [kg]	-	-	70
cement [kg]	CEM I 42,5R	370	450
voda [l]	-	168	105
superplastifikátor [kg]	Murplast 842.1	2,59	6,44

Tab. 2 Materiálové vlastnosti použitých betónov
Tab. 2 Material properties of used concrete

Vzorka	C40/50		C70/85	
	Kocková pevnosť [MPa]	Modul pružnosti [MPa]	Kocková pevnosť [MPa]	Modul pružnosti [MPa]
#1	53	31 920	94,5	40 780
#2	53,5	34 827	97,5	39 959
#3	53	33 954	89,5	40 032
priemer	53,2	33 568	93,8	40 256

moduly pružnosti boli skúšané na hranoloch 100 × 100 × 400 mm (obr. 1b).

Reologické vlastnosti betónov boli zisťované na dvanásti hranoloch, ktoré mali rovnaký pričný rez a vystuženie ako predpäté nosníky. Šesť vzoriek na meranie zmršťovania, tri pre každý typ betónu, a šesť vzoriek na meranie dotvarovania betónu.

Vzorky na dotvarovanie boli zaťažované kontrolovanou osovou silou 380 kN, ktorá bola v sústave udržiavaná štyrmi tuhými pružinami (obr. 2). Aplikovaná osová sila mala hodnotu blízku úrovni predpínacej sily po prebehnutí straty z pružného pretvorenia betónu. Všetky vzorky boli potom umiestnené v blízkosti predpätých nosníkov.

Meracie prostriedky a zariadenia

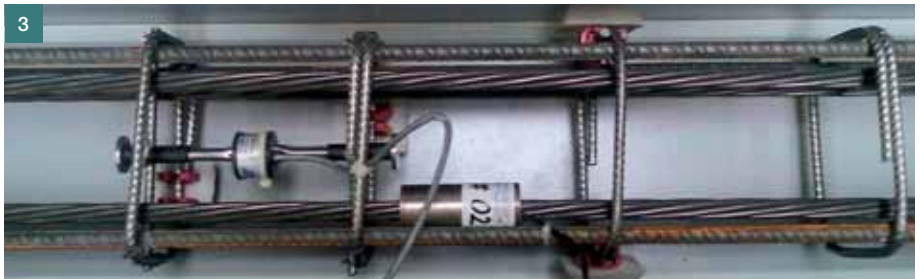
Štyri predpínacie lana boli napnuté na dlhej dráhe a všetkých osem nosníkov bolo potom betónovaných postupne za sebou. Na meranie predpínacej sily bolo použitých osem elastomagnetických snímačov PSS16, pre ktoré sme volili rozmiestnenie tak, aby v každom nosníku bol jeden snímač a súčasne na každom lane boli osadené dva snímače.

Pomerné pretvorenia betónu v strede rozpätia nosníkov boli merané štyrmi strunovými tenzometrami EDS-20V-E. Tenzometre boli umiestnené v dvoch nosníkoch z betónu C40/50 a v dvoch z betónu C70/85. Ďalšie dva tenzometre boli umiestnené vo vzorkách na meranie dotvarovania a dva na meranie zmršťovania betónu. Pomerné pretvorenia betónu boli tiež merané s použitím príložného deformetra s dĺžkou základne 400 mm.

Relatívna vlhkosť a teplota prostredia boli merané s použitím DTHL HydrologgPro zariadenia. Teplota betónu bola snímaná pomocou EM snímačov a tenzometrov.

VÝSLEDKY EXPERIMENTÁLNYCH MERANÍ

Merania zahŕňajú veľké množstvo dát od materiálových charakteristík betónov cez merania strát predpätia, merania



pomerných pretvorení betónov od betonáže 13. júla 2012 až do posledného merania vykonaného 5. apríla 2014.

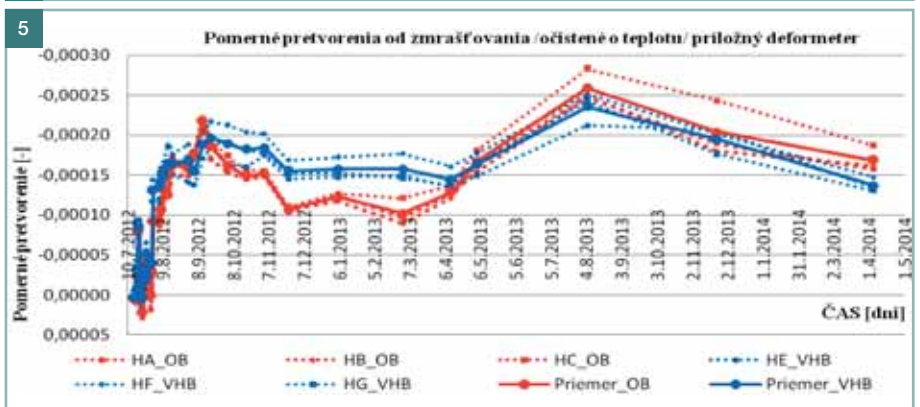
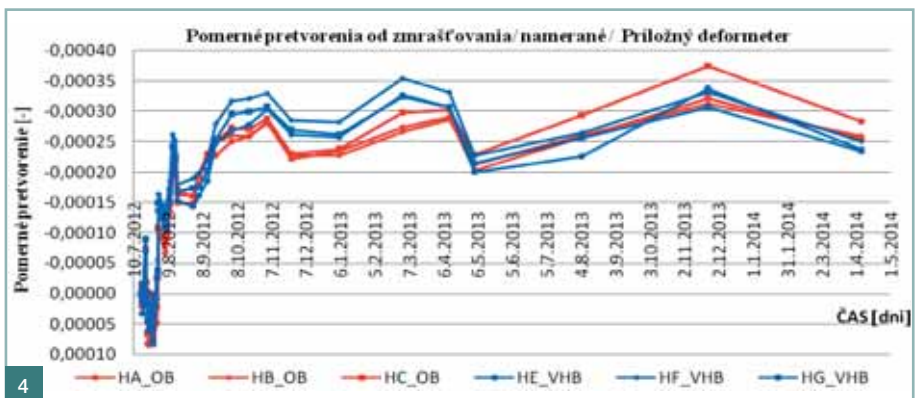
Pevnostné a deformačné charakteristiky betónov

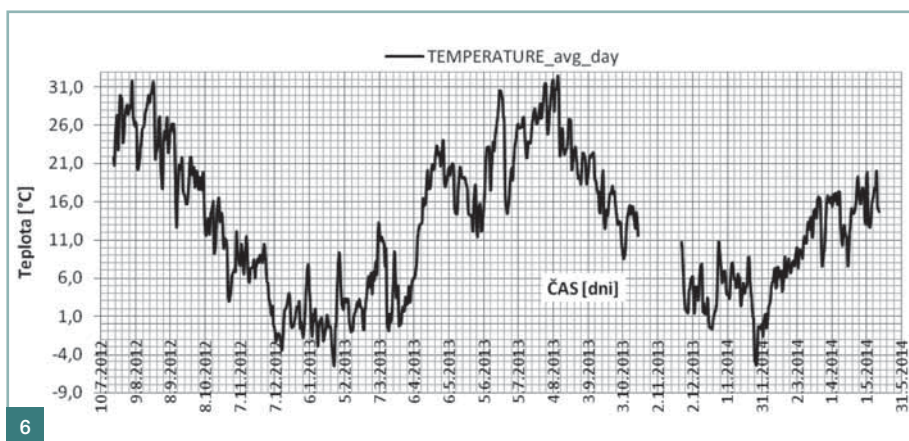
Vlastnosti betónov boli skúšané z hľadiska pevnosti betónu v tlaku, modulu pružnosti, dotvarovania a zmršťovania.

Kocková pevnosť betónu v čase transferu predpätia bola 40 MPa pre obyčajný a 68 MPa pre VHB betón. Pevnostné a deformačné vlastnosti betónov po 28 dňoch sú zhrnuté v tab. 2. Na základe hrubého štatistického vyhodnotenia bola charak-

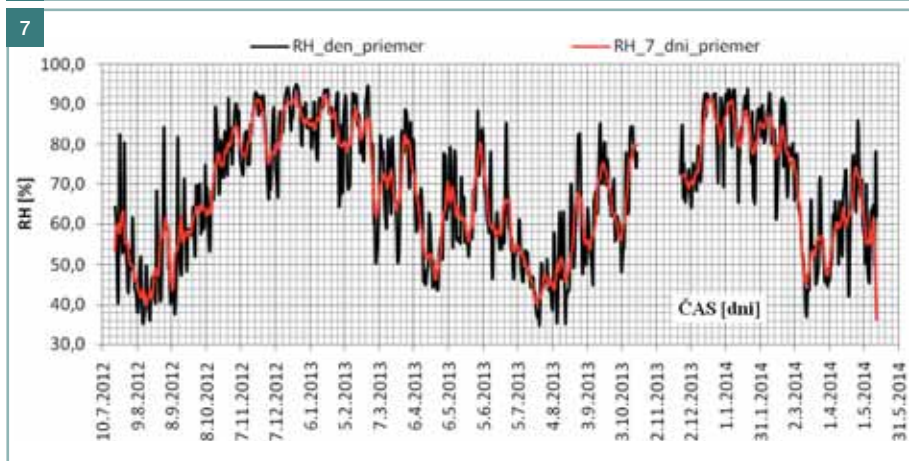
teristická hodnota kockovej pevnosti stanovená na 52,6 MPa pre obyčajný a 86,2 MPa pre VHB (164 % z OB). V prípade modulov pružnosti dosiahol VHB 120 % z hodnoty OB.

Na obr. 4 a obr. 5 je vykreslený vývoj zmršťovania v čase, zistený na nezaťažených vzorkách, ktoré boli umiestnené pri predpätých nosníkoch na skládke, pričom prvé meranie prebehlo 24 h po betonáži. Vývoj zmršťovania na obr. 4 je bez očistenia o účinky teploty a na obr. 5 po očistení od teploty. Pomerne zložitý priebeh naznačuje veľký vplyv zmeny vlhkosti a teploty prostredia na tento jav.





6



7

Zaznamenaný vývoj zmršťovania celkom dobre korešponduje s priebehom vlhkosti a teploty okolitého prostredia v jednotlivých obdobiach (obr. 6 a 7).

Meranie teploty a vlhkosti prostredia

Experimentálne vzorky sú dlhodo- bo umiestnené na vonkajšej skládke a takto vystavené denným a sezónnym zmenám teploty a vlhkosti prostredia. Nakoľko reológia betónu je významne ovplyvnená týmito vstupmi, bolo zais- tené kontinuálne meranie teploty a vlh- kosti prostredia v okolí skládky. Merania vyhodnotenú na báze denných prieme- rov sú zobrazené na obr. 6 a obr. 7. Re-

latívna vlhkosť prostredia na obr. 7 bo- la tiež vyhodnotená na intervale se- demdňových priemerov.

Ako ukazuje priebeh, po väčšinu sle- dovaného času teplota prostredia bo- la menšia ako referenčná teplota 20 °C, pre ktorú sú kalibrované modely na pre- dikciu zmršťovania a dotvarovania be- tónu. V prípade relatívnej vlhkosti (RH) prostredia sa priemerná hodnota po- hybovala pod 70 %, čo naznačuje, že v súčasnom období je vhodné pri návr- hu predpätých mostov voliť nižšie hod- noty vlhkosti v porovnaní s minulosťou.

Straty predpätia

Zmeny predpätnej sily boli monitoro-

Obr. 6 Priebeh denných teplôt prostredia [°C] v sledovanom období

Fig. 6 Development of ambient temperature [°C] within the monitored time

Obr. 7 Priebeh relatívnej vlhkosti prostredia [%] v sledovanom období

Fig. 7 Development of ambient relative humidity [%] within the monitored time

Obr. 8 Vývoj predpätiacich síl v lanách

od okamihu vnesenia predpätia

Obr. 9 Vývoj celkových pomerných pretvorení betónu nosníkov v čase

Fig. 9 Development of total strains in concrete in time

Obr. 10 Vývoj celkových pomerných pretvorení betónu pružinových zostav

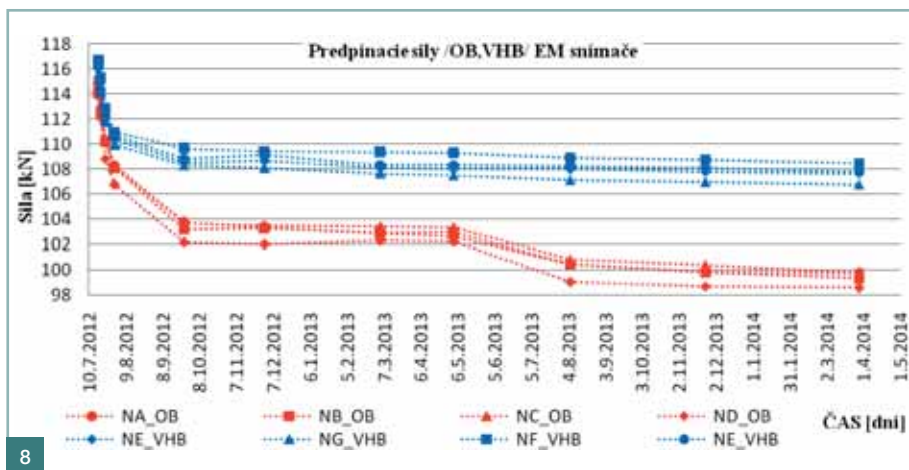
v čase

vané od napnutia každého lana v pred- pätnej dráhe až do posledného mera- nia vykonaného 28. marca 2014. Oka- mžité straty predpätia z pružného pre- tvorenia betónu sú zachytené v tab. 3 a priebeh zmeny predpätnej sily v ča- se od okamihu vnesenia predpätia do nosníkov je na obr. 8.

Pre nosníky z OB je zmena sily na obr. 8 naznačená pomocou červenej čiary a z VHB pomocou modrej čiary. Priemerná hodnota straty predpätia zistená v čase posledného merania (620 dní po vnesení predpätia) vztiah- nutá na predpätiaciu silu krátko pred uvoľnením bola 20,6 % pri nosníkoch z OB a 13,3 % pri nosníkoch z VHB. Zmena predpätnej sily zahŕňala oka- mžité straty predpätia z pružného pre- tvorenia betónu (8,5 % pre OB a 6,4 % pre VHB) a dlhodobú stratu predpätia od relaxácie, dotvarovania a zmršťo- vania (12,1 % pre OB a 6,9 % pre VHB).

Viditeľne zvýšený nárast straty pred- pätia bol zaznamenaný u nosníkov z OB v letných mesiacoch roku 2013, čo korešponduje so zníženou RH vzdu- chu a zvýšenou teplotou v tomto obdo- bí. V prípade nosníkov z VHB bol vývoj straty predpätia plynulý. Vplyv týchto faktorov na veľkosť straty je veľmi do- bre viditeľný aj na obr. 9 a obr. 10, kde je zachytený vývoj pomerných pretvorení betónu v čase.

Dlhodobé straty predpätia v nosní- koch z VHB predstavovali cca 56 %



8

Tab. 3 Okamžité straty predpätia z pružného pretvorenia betónu, sily vztiahnuté na jedno lano
 Tab. 3 Immediate prestress losses due to elastic deformation of concrete, forces per one strand

Nosník	OB				VHB			
	N_A	N_B	N_C	N_D	N_H	N_G	N_F	N_E
Pred uvoľnením [kN]	125,7	124,7	126,2	124,3	124,4	123,5	124,6	124,3
Po uvoľnení [kN]	114,8	114,1	115,6	113,8	116,6	115,6	116,8	116,1
Pružné pretvorenie [kN]	10,8	10,6	10,6	10,5	7,8	7,9	7,9	8,2
Teplota ST [°C]	20,2	20,3					20,1	19,8

z hodnoty nameranej v nosníkoch z OB.

Pomerné pretvorenia betónov

V rámci experimentálneho programu boli merané aj pomerné pretvorenia betónu. Na obr. 9 je zachytený vývoj pomerných pretvorení betónu zistený pomocou strunových tenzometrov vložených do nosníkov. Na obr. 10 sú rovnaké merania vykonané na betónoch v pružinových zostavách.

Zmena pomerného pretvorenia betónu od okamihu vnesenia predpätia korešponduje so zmenou predpínacej sily v lane -15,1 kN pri nosníkoch z OB a -7,4 kN pri nosníkoch z VHB, čo predstavuje v tomto prípade 49 % z hodnoty nameranej pre OB. Výpočet straty bol urobený s predpokladom ideálnej súdržnosti a uvažovaným modulom pružnosti predpínacej výstuže 195 GPa.

POROVNANIE MERANÍ S MODELMI NA PREDIKCIU STRÁT PREDPÄTIA

Porovnanie nameraných a vypočítaných strát predpätia pre nosníky z OB je na obr. 11 a obr. 12, pre nosníky z VHB na obr. 13 a obr. 14.

Na výpočet strát boli použité tri modely na predikciu dotvarovania a zmršťovania betónu. Prvý model, čierna čiara, predstavuje model EN 1992-1-1 Príloha „B“, druhý model, modrá farba, model EN 1992-2 a tretí model, zelená farba, Model Code 2010. Modely na predikciu relaxácie výstuže boli prevzaté z tých istých predpisov.

Vypočítané hodnoty predpínacej sily sú porovnané s meraniami, ktoré sú naznačené v obrázkoch pomocou farebných bodov. Pri vyhodnotení okrem priameho merania predpínacej sily pomocou EM snímačov boli využité aj merania pomerných pretvorení betónu

a predpoklad ideálnej súdržnosti medzi predpínacou výstužou a betónom.

Vo všetkých prípadoch takto získané straty predpätia boli väčšie ako straty namerané pomocou EM snímačov, čo môže byť spôsobené napr. nedokonalou súdržnosťou, alebo nižšou hodnotou modulu pružnosti E_p v porovnaní s uvažovanou hodnotou 195 GPa. Treba však poznamenať, že v prípade nosníkov z VHB boli tieto rozdiely podstatne menšie ako u nosníkov z OB.

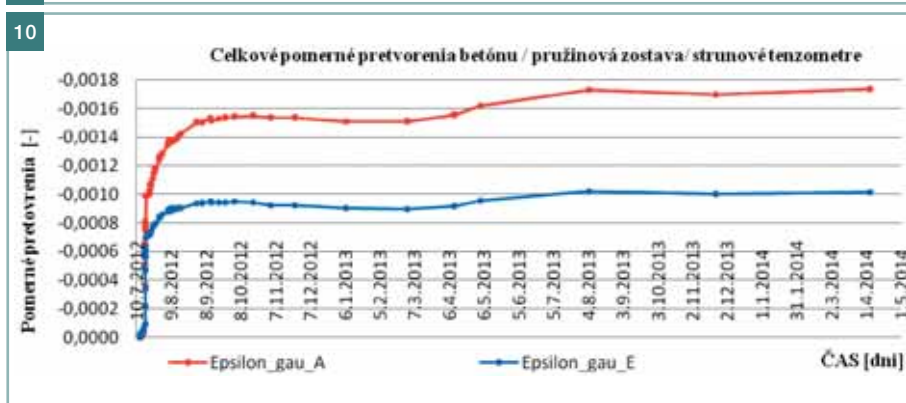
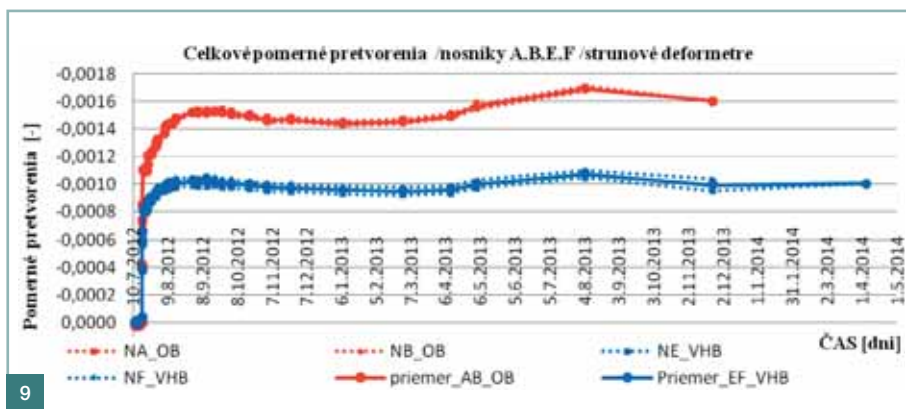
Pri výpočte strát predpätia pomocou modelov bola uvažovaná priemerná relatívna vlhkosť prostredia 70 %, teplota betónu 20 °C a vplyv použitého rýchlo tuhnuceho cementu CEM I 42,5R na dotvarovanie betónu bol zohľadnený úpravou veku betónu pri nástupe zaťaženia na $t_0 = 10$ dní. Nakoľko v prvých štádiách všetky modely pri priemernej vlhkosti 70 % podhodnocovali straty predpätia bola prevedená aj analýza so zohľadnením skutočnej vlhkosti (obr. 12 a 14). V tomto prípade už modely MC2010 a EN 1992-1-1 celkom dobre predpovedali straty predpätia na uvažovanom počiatočnom časovom intervale.

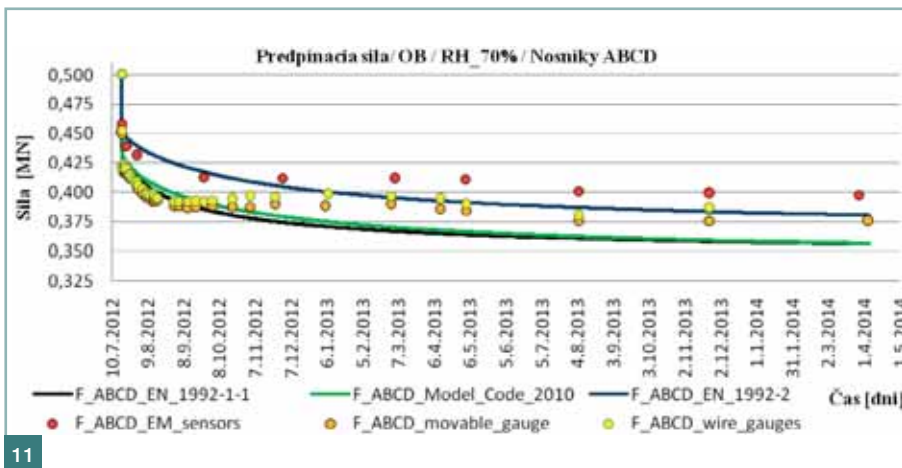
Z porovnania predpínacích síl vyplýva, že všetky modely na predikciu dotvarovania a zmršťovania použité na výpočet viedli na sledovanom časovom intervale k nadhodnoteniu strát predpätia. Pri uvážení reálnej vlhkosti prostredia bolo nadhodnotenie vždy väčšie ako pri uvážení konštantnej 70% vlhkosti. Najlepšie priblíženie k nameraným hodnotám bolo dosiahnuté s modelom EN 1992-2, ktorý sa využíva najmä pre VHB, nakoľko umožňuje zohľadniť aj prítomnosť kremičitého úletu v betóne.

Jednou z príčin rozdielov, resp. menších nameraných strát predpätia v porovnaní s predikciou môže byť skutočnosť, že pri výpočte nebola urobená transformácia veku betónu, ktorá by zohľadňovala skutočný vývoj teploty betónu v čase. To môže byť dôvodom väčších teoretických hodnôt zmršťovania a dotvarovania betónu v porovnaní so skutočnosťou. Pri podrobnejšom rozbere vývoja teploty prostredia na obr. 6 je zrejmé, že viac ako dve tretiny času bola teplota pod 20 °C a mnohokrát aj veľmi hlboko.

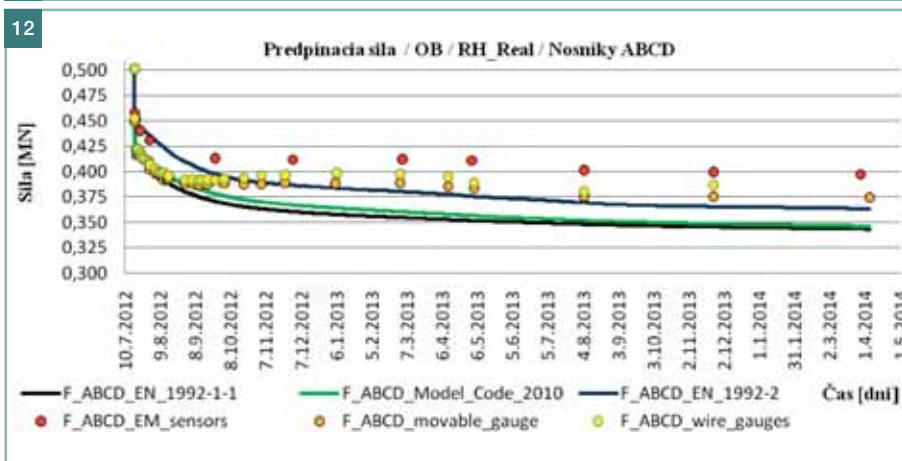
ZÁVER

Predmetom experimentálneho programu bolo monitorovanie pôsobenia predpätých prvkov vyrobených z vysokohodnotného betónu C70/85 najmä

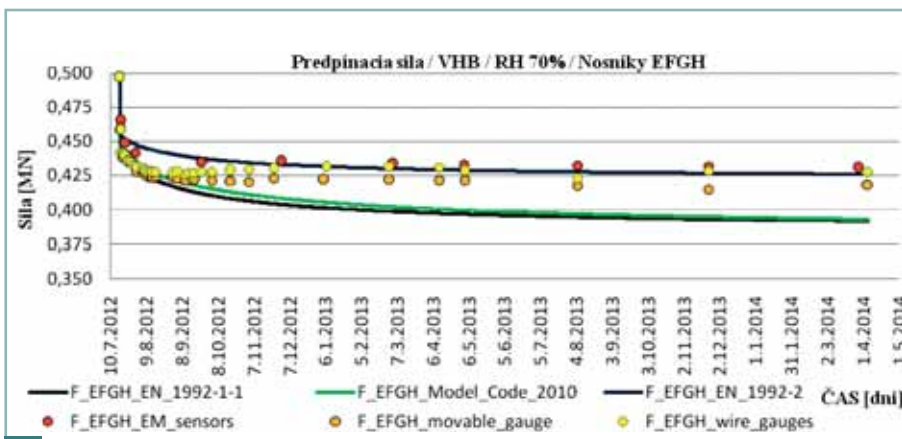




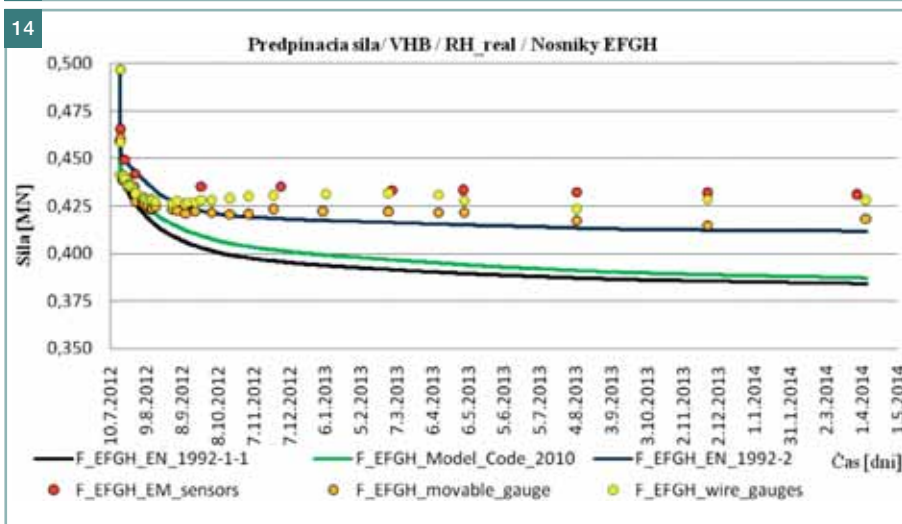
11



12



13



14

Obr. 11 Porovnanie vývoja predpinacej sily v čase – OB – priemerná vlhkosť 70 %
Fig. 11 Comparison of prestressing force development in time – NC – average RH 70 %

Obr. 12 Porovnanie vývoja predpinacej sily v čase – OB – reálna vlhkosť
Fig. 12 Comparison of prestressing force development in time – NC – real RH

Obr. 13 Porovnanie vývoja predpinacej sily v čase – VHB – priemerná vlhkosť 70 %
Fig. 13 Comparison of prestressing force development in time – HPC – average RH 70 %

Obr. 14 Porovnanie vývoja predpinacej sily v čase – VHB – reálna vlhkosť
Fig. 14 Comparison of prestressing force development in time – HPC – real RH

z pohľadu zmeny veľkosti predpinacej sily v čase a overenie modelov na predikciu strát predpätia, ktoré má v súčasnosti projektant k dispozícii v relevantných návrhových normách EN alebo normových odporúčaniach, ako je napr. Model Code 2010. Pre lepšie zvýraznenie prednosti VHB boli v rámci programu monitorované aj prvky vyrobené z obyčajného betónu C40/50 predpäté rovnakou predpinacou silou.

Vyššia pevnosť VHB o 75 % v porovnaní s OB sa prejavila významne menšími dlhodobými stratami predpätia, ktoré za sledované obdobie boli o 44 až 50 % menšie ako pri prvkoch s OB. Pri poslednom meraní (620 dní po vnesení predpätia) bola predpinacia sila zistená s použitím EM snímačov 431 kN pri nosníkoch z VHB oproti 398 kN pri nosníkoch z OB, celkové straty predpätia takto predstavovali 13,3 %, resp. 20,6 %.

Porovnanie veľkosti nameraných a vypočítaných strát predpätia, kde na výpočet boli použité tri rôzne modely na predikciu reologických pretvorení betónu (model EN 1992-1-1, EN 1992-2 a Model Code 2010), ukázalo, že ako nosníky z OB, tak VHB nadhodnocujú veľkosť strát predpätia pri použití štandardných inžinierskych prístupov, ako je uvažovanie konštantnej relatívnej vlhkosti prostredia v našom prípade 70 % a teploty betónu 20 °C. V oboch prípadoch sa najlepšie priblíženie podarilo dosiahnuť pre model EN 1992-2: 426 kN ku 431 kN pre nosníky z VHB a 380 kN ku 398 kN pre nosníky z OB.

Nakoľko merania naďalej pokračujú, chceme aj po dlhšom časovom odstupe v budúcnosti informovať odbornú verejnosť, ako sa vyvíja napätosť v predpätých nosníkoch.

Literatúra:

- [1] *Moravčík M., Čavojsková A.* (2013): Some design aspects of the new precast girder highway bridge, Proc. of *fib* Symposium, Engineering a Concrete Future, Tel-Aviv, 22–24 April 2013
- [2] *Chandoga M., Halvonik J., Pritula A.* (2013): Short and long time deflections of pre and post-tensioned bridge beams, Proc. of *fib* Symposium, Engineering a Concrete Future, Tel-Aviv, 22–24 April 2013
- [3] *Čajka R., Fojtik R.* (2013): Development of Temperature and Stress during Foundation Slab Concreting of National Supercomputer Centre IT4, *Procedia Engineering*, Volume 65, 2013, pp. 230–235, ISSN 1877-7058, doi: 10.1016/j.proeng.2013.09.035

Príspevok vznikol s finančnou pomocou Agentúry na podporu výskumu a vývoja MŠ SR VEGA č.1/0690/13 a s pomocou firmy ZIPP Bratislava, spol. s r. o., člena skupiny Strabag SE, ktorá finančne podporila a zaisťovala výrobu nosníkov.

prof. Ing. Jaroslav Halvonik, PhD.
Stavebná fakulta STU v Bratislave
Radlinského 11, Bratislava
tel.: +421 903 030 396
e-mail: jaroslav.halvonik@stuba.sk



Ing. Juraj Dolnák
Prodex, s. r. o.
Rusovská cesta 16
851 01 Bratislava 5
tel.: +421 907 134 125
e-mail: juraj.dolnak@gmail.com



Ing. Viktor Borzovič, Ph.D.
Stavebná fakulta STU v Bratislave
Radlinského 11, Bratislava
tel.: +421 905 849 264
e-mail: viktor.borzovic@stuba.sk



Text článku byl posouzen odborným lektorem.

FRANCOUZSKÁ CAQUOTOVA CENA 2014 PRO PROFESORA STRÁSKÉHO

koncem března tohoto roku předal předseda Francouzské asociace stavebních inženýrů (French Association for Civil engineering – AFGC) pan Jean-Marc Tanis cenu Alberta Caquota za rok 2014 profesoru Jiřímu Stráskému jako ocenění jeho celoživotního významného přínosu k rozvoji stavitelství, ocenění všech jeho projektů a publikací zvláště v oblasti mostního stavitelství.



Cenu Alberta Caquota uděluje AFGC každoročně jednomu z významných stavebních inženýrů, střídavě z Francie a zahraničí.

fib-news/Structural Concrete 15 (2014), No. 2

SPANNBETONBAU IN DER DDR, ANWENDUNG UND EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNG DES ITB-SPANNVERFAHRENS

Guido Bolle, Gregor Schacht, Steffen Max

Článek přináší přehled předem předpjatých systémů používaných v bývalé NDR při stavbě mostů a detailně popisuje systém ITB. Při demolici mostu „10. výročí“ v Neubrandenburgu, na kterém byl systém ITB poprvé použit, byly odebrány vzorky materiálu a konstrukční prvky pro detailní analýzu. Pro zajištění objektivity výsledků byly použity různé diagnostické metody, např. fotogrametrie, akustická emise ad., k zjištění stavu materiálu a předpjatých betonových prvků. Výsledky experimentálního vyšetřování jsou detailně rozebírány a porovnávány v souvislosti s chováním konstrukce a možností jejího náhlého kolapsu.

Bolle G., Schacht, G., Max S.: Spannbetonbau in der DDR, Anwendung und experimentelle Untersuchung des ITB-Spannverfahrens, *Beton- und Stahlbetonbau 109 (2014), Heft 6, str. 384–393*

Ověřte Vaši konstrukci programem ATENA!

Připojte se ke špičkovým inženýrům, kteří používají počítačovou simulaci pro kontrolu a navrhování bezpečných a spolehlivých staveb.



Nabízíme:

- jedinečný software pro nelineární analýzu a hodnocení bezpečnosti – programy ATENA Engineering, ATENA Science, SARA
- uživatelskou podporu a údržbu
- poradenství v oblasti nelineárních výpočtů a spolehlivosti konstrukcí

Použití pro:

- budovy, mosty, energetické, vodohospodářské a podzemní stavby
- prostý a vyztužený beton, drátkobeton, vláknobeton
- stanovení šířky trhlin, průhybů, optimalizaci výztuže
- ověření únosnosti, odolnosti, spolehlivosti, zesilování konstrukcí



Objednejte nyní novou verzi 5.1
s podporou paralelního výpočtu

Na Hřebenkách 55 • 150 00 Praha 5 • tel: +420 220 610 018
e-mail: cervenka@cervenka.cz • web: www.cervenka.cz