

OŠETROVANIE ČERSTVÉHO BETÓNU – 9. METÓDY OŠETROVANIA A VPLYV NA MECHANICKÉ VLASTNOSTI

■ CONCRETE CURING – 9. CURING METHODS AND IMPACT ON MECHANICAL CHARACTERISTICS

Peter Briatka, Peter Makýš

V článkoch z tohto cyklu sme popísali význam ošetrovania čerstvého betónu najmä z hľadiska trvanlivosti/životnosti betónových konštrukcií. Predstavili sme rôzne metódy ošetrovania, princípy ich fungovania a rôzne dôkazy o ich účinnosti. Tá sa zameriavala najmä na objemové zmeny a súvisiaci vývoj napätí, ktoré môžu vyvolať vznik trhlin. Tiež sa odhalili rozpory medzi zaužívanými postupmi a skutočnosťou a predstavili sme nové prístupy k výpočtu/návrhu vnútorného ošetrovania (IC). V rámci overovania pôsobenia IC v kvázi reálnych podmienkach sa zisťoval aj vplyv na mechanické vlastnosti betónu. Do experimentu sa zaradila aj ďalšia (často používaná) metóda ošetrovania. Výsledky pôsobenia jednotlivých metód ošetrovania plošných betónových konštrukcií pri letných betonážach prinášame v tomto pokračovaní cyklu. ■ In the papers of this series, we described the importance of fresh concrete curing, in particular pointing out durability/lifetime of the concrete structures. We presented various curing methods, their principles and evidences of their efficiency. It was oriented especially on volume changes and related stresses development which may induce cracking. We also identified gaps between conventional procedures and reality when calculating water losses and we introduced brand new approaches to calculation/design of the internal curing (IC). Within verification of IC in quasi real ambient environment, it was also investigated into the influence on mechanical characteristics of concrete. Another (frequently used) curing method was included to the experiment. Results of the action of these particular methods of curing of flat concrete works during summer concreting are brought up in this episode of the series.

Overenie vplyvu metód ošetrovania betónu na pevnosť betónu v tlaku (a súvisiace mechanické vlastnosti) sa vykonalo ako doplnkový experiment ku skúškam straty vlhkosti z betónu pri expozícii určitému okolitému prostrediu. Pozornosť sa venovala pevnosti v tlaku ako najvýznamnejšiemu parametru, vzhľadom na ktorý existujú empirické vzťahy na dopočet iných vlastností. Predpokladalo sa, že diferencovaná strata vlhkosti z betónu s relatívne nízkym vodným súčiniteľom

pri pomerne nepriaznivých podmienkach prostredia sa prejaví na nábehu a výslednej (28dňovej) pevnosti betónu v tlaku ako dôsledok nedostatku vlhkosti. Podstatou bolo komparatívne zhodnotiť účinnosť a účelnosť vnútorného ošetrovania (IC) v porovnaní s inou, účinnou a technologicky ľahko zvládnuteľnou metódou – ochranných nástrekov.

POUŽITÉ MATERIÁLY

Pre skúšky sa použil portlandský cement CEM I 42,5 N s mernou hmotnosťou 3 077 kg/m³. Chemické zmrašťovanie použitého cementu bolo 7 % a jemnosť stanovená podľa Blaina 344,77 m²/kg. Začiatok tuhnutia sa podľa STN EN 1015-9 stanovil na 185,3 min, pričom koniec tuhnutia sa zistil v 254,6 min.

Ako hutné kamenivo sa použilo prírodné ťažené kamenivo frakcií 0/4; 4/8 a 8/16 s mernou hmotnosťou a ostatnými vlastnosťami podľa tab. 1. Ako ľahké kamenivo sa s ohľadom na predchádzajúce skúšky a publikované závery použilo LWA s obchodným názvom Liapor, a to vo frakciách 0/4 (M) a 0/1 (D). Všetky podstatné vlastnosti LWA sú uvedené v tab. 1. Ako plastifikačná prísada (WRA) sa pou-

žil superplastifikátor Berament HT2 s účinnou látkou na báze polykarboxylátu.

POUŽITÉ MATERIÁLY

Pre overenie vplyvu metód ošetrovania na pevnosť v tlaku doskových skúšobných telies sa zvolila jedna receptúra s konštantným vodným súčiniteľom $w/c = 0,42$. Vodný súčiniteľ, pri utesnenom systéme, zabezpečuje dosiahnutie stupňa hydratácie $\alpha_{\max} = (0,83; 1$ a 1, v tomto poradí). Receptúra sa modifikovala iba v dôsledku náhrady 7 % hutného kameniva pomocou LWA. Spoločne sa vyrobili tri zámesi. Jedna referenčná, druhá rovnako referenčná avšak ošetrovaná nástrekom parafrínovej emulzie a tretia s vnútorným ošetrovaním (podrobnejšie v tab. 2).

VÝROBA A KONDICIOVANIE VZORIEK

Pred samotnou výrobou vzoriek sa vykonali pomocné a prípravné procesy. Jedným z nich bola príprava hutného kameniva sušením po dobu 24 ± 2 h pri teplote 110 ± 5 °C (podľa STN EN 1097-6). Vysušené hutné kamenivo sa uložilo v plastových uzatvárateľných nádobách tak, aby nedošlo k absorpcii vzdušnej vlhkosti. V prípade výroby

Tab. 1 Vlastnosti použitého hutného a ľahkého kameniva ■ Tab. 1 Characteristics of used aggregate and lightweight aggregate

Vlastnosť	Kamenivo	Hutné kamenivo			Ľahké kamenivo LWA	
		0/4	4/8	8/16	0/4 (M)	0/1 (D)
Merná hmotnosť [kg/m ³]		2 510	2 620	2 620	1 070	1 700
Sypná hmotnosť [kg/m ³]		1 630	1 510	1 510	410	610
Nasiakavosť [%]		1,8	0,7	0,6	7,73	4,8
Medzerovitosť [%]		35,06	42,37	42,37	61,68	64,12
Tvarový index [%]			4	3		

Tab. 2 Použité receptúry ■ Tab. 2 Used proportionings

Zložka	Použitá receptúra [kg/m ³]		
	Reference	Membrane	IC LWA 7 %
Cement	456,335	456,335	427,252
Voda	220,101	220,101	196,588
Kamenivo 0/4	809,603	809,603	718,859
Kamenivo 4/8	507,05	507,05	525,245
Kamenivo 8/16	338,033	338,033	350,284
WRA	1,751	1,751	1,642
LWA 0/4 (M)	0	0	38,393
LWA 0/1 (D)	0	0	20,333

vzoriek s IC sa 24 ± 2 h pred miešaním do uzatvárateľnej plastovej nádoby pripravila dávka LWA (v danom pomere miešania frakcií) spolu s celkovou dávkou zámesovej a ošetrovacej vody.

Miešanie sa vykonávalo v bežnej laboratórnej miešačke s užitočným objemom 80 l. Pred miešaním sa vždy dodržiaval rovnaký postup dávkovania. Ako prvé sa nadávkovalo hutné kamenivo frakcie 0/4, 4/8 a 8/16 mm. Následne sa pridala cement a suchá zmes sa nechala miešať približne 15 s. Po tejto dobe sa ako posledná zložka pomalým liatím pridala voda (s obsiahnutým WRA). Receptúra s IC sa zhotovila obdobne pomalým liatím rozmiešanej vody a SLWA spolu s pridaným WRA. Zmes sa miešala približne 30 s. Nasledovala približne 30s prestávka, počas ktorej sa ručne zo stien miešačky zoškriabal nerozmiešaný cement a pokračovalo sa v miešaní ďalších 15 s.

Po ukončení miešania sa zmesou naplnili doskové formy rozmerov 225 x 335 x 70 mm, ktoré sa zhutnili 25 nárazmi formy na podložku z výšky cca 10 mm. Následne sa povrch zahladil a telesá sa okamžite umiestnili do klimatizačnej komory s nastavenými okrajovými podmienkami prostredia. Vosková emulzia sa aplikovala mechanickým rozprašovačom na povrch skúšobných telies. Pri aplikácii nesmela byť na povrchu telies odlúčená voda. Nástreky sa na vzorky nanášal mechanickým rozprašovačom s diskretným dávkovaním ($1,077 \pm 0,012$ g).

Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p.

jedna z největších zkušebních a certifikačních organizací v České republice slaví 60 let od svého založení.



Pro vaši důvěryhodnost.

TZÚS Praha, s.p.
Prosecká 811/76a, 190 00 Praha-Prosek
info@tzus.cz, www.tzus.eu

Firemní prezentace

Vzorky pozostávali z troch doskových skúšobných telies. V klimatizačnej komore sa uchovávali po dobu 28 dní v prostredí s teplotou 30 ± 2 °C; relatívnou vlhkosťou 40 ± 5 % a rýchlosťou prúdenia vzduchu 3 km/h.

NEDEŠTRUKTÍVNE MERANIE INFORMATÍVNEJ PEVNOSTI BETÓNU V TLAKU

Pre meranie pevnosti betónu v tlaku sa zvolila tvrdomerná nedeštruktívna metóda podľa STN EN 12 504-2. Meranie sa vykonávalo Schmidtovým tvrdomerom typu N na troch skúšobných telesách, vždy v stredovej oblasti na ploche 1 dm². Informatívna pevnosť sa stanovila vo veku (t) 1; 3; 4; 5; 6; 7; 9; 11; 14; 21 a 28 dní. Každé meranie pozostávalo z deviatich platných čítaní (spadajúcich do intervalu stredná hodnota ± 20 %). Merané hodnoty od-

razov sa prostredníctvom kalibračného vzťahu pretransformovali na tabuľkovú a následne (zohľadnením veku a vlhkosti betónu) na informatívnu pevnosť betónu v tlaku v príslušnom veku t [d] $R_{b,inf}$ [MPa].

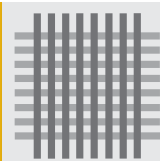
INTERPRETÁCIA VÝSLEDKOV

Výsledky meraných pevností betónu v tlaku (obr. 2) demonštrujú vplyv ošetrovania betónu pri letných betonážach na výsledné mechanické vlastnosti, ktoré možno odvodiť z pevnosti v tlaku na základe empiricky stanovených závislostí. Pevnosti v tlaku sú plne v zhode s výsledkami straty vlhkosti z betónu pri rôznych metódach ošetrovania. Zo straty vlhkosti pri expozícii prostrediu simulujúceho letné betonáže vyplynulo, že ošetrovanie pomocou membrány výrazne redukuje množstvo odparenej vody

Firemní prezentace

BETOSAN®

DRŽITEL CERTIFIKÁTU ČSN EN ISO 9001 A 14001



**alternativa,
kterou oceníte**

Zesilování konstrukcí – systém TYFO

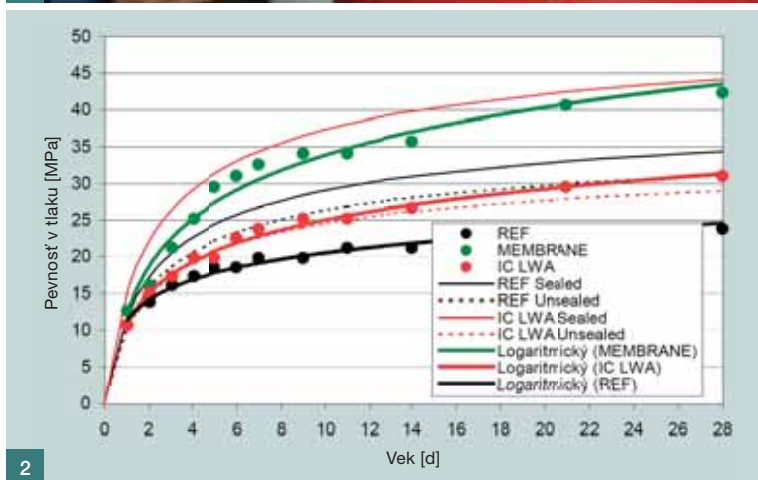
**UHLÍKOVÉ LAMELY
UHLÍKOVÉ TKANINY
SKELNÉ TKANINY
BAZALTOVÉ TKANINY
POJISTNÉ VLÁKNITÉ KOTVY**

www.betosan.cz

OBCHODNĚ-TECHNICKÁ KANCELÁŘ
Na Dolinách 23 | tel./fax: 241 431 212
147 00 Praha 4 | e-mail: paha@betosan.cz



1



2

Obr. 1 Ilustračný obrázok – kalibrácia Schmidtovo tvrdomeru ■ Fig. 1 Illustrative figure – calibration of a Schmidt impact hammer

Obr. 2 Pevnosť v tlaku (meraná tvrdomernou metódou vs. zistená na trámčekoch) ■ Fig. 2 Compressive strength (non-destructive tested vs. measured on mortar prisms)

z betónu. Vnútročné ošetrovanie mierne zvyšuje intenzitu odparovania v počiatocnom veku, no (ako sa ukázalo z DTA, TG a DSC analýzy) vodu pre hydratáciu poskytuje plynulo a z dlhodobého hľadiska tak napomáha vytvárať hutnú a dobre kryštalizovanú štruktúru. Pri oboch metódach ošetrovania sa dosiahol nárast 28dňovej pevnosti v tlaku v porovnaní s referenčnou vzorkou bez ošetrovania. Získané informatívne 28dňové pevnosti sumarizuje tab. 3. Vzorka s ošetrovaním membránou dosiahla v porovnaní s referenčnou vzorkou o 77 % vyššiu pevnosť. Vzorka s IC zaznamenala nižší relatívny nárast pevnosti v porovnaní s referenčnou vzorkou (+ 30 %), no pri súčasnom znížení dávky cementu o takmer 7 % zníženie objemovej hmotnosti betónu z 2 346 kg/m³

Tab. 3 Prehľad výsledkov 28dňových pevností betónu v tlaku a súvisiacich parametrov ■ Tab. 3 Overview of 28 days compressive strengths of concrete and related parameters

Vzorka	28dňová pevnosť v tlaku [MPa]	Objemová hmotnosť [kg/m ³]	Porovnanie s Referencie [%]	Cement v porovnaní s Referencie [%]
Reference	23,8	2 346		
Membrane	42,3	2 346	177,73	100
IC LWA	31	2 281	130,25	93,63

na 2 281 kg/m³ a výrazne nižšej pevnosti LWA v porovnaní s hutným kamenivom.

ZÁVER

Preukázal sa výrazný vplyv ošetrovania proti nepriaznivým účinkom vplyvu prostredia typického pre letné betonáže na pevnosť betónu v tlaku. Znížená strata vlhkosti z betónu ošetrovaním pomocou aplikovanej membrány (o 20 až 50 %) sa prejavila zvýšením pevnosti v tlaku až o približne 70 % (z 24 na 42 MPa) pri nezmenenej receptúre. Vnútročné ošetrovanie s dávkou 7 % LWA umožnilo nárast pevnosti v tlaku o približne 30 % (z 24 na 31 MPa) pri mierne zníženej celkovej strate vlhkosti, navyše aj napriek zabudovaniu pórovitého kameniva s nízkou pevnosťou a zníženiu dávky cemen-

tu o cca 6 % (v dôsledku zmeny pomeru cementového tmelu a kameniva pri IC).

Publikované informácie sú čiastkovými závermi dizertačnej práce „Ošetrovanie plošných betónových konštrukcií proti strate vlhkosti“, ktorú materiálne podporili STU v Bratislave, TSÚS Bratislava, LIAS Vintřov, PCLA Ladce a BASF.

Ing. Peter Briatka, PhD.
TSÚS
Studená 3, 821 04 Bratislava
e-mail: briatka@tsus.sk
briatka.p@gmail.com



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

