

OPTIMALIZACE VLASTNOSTÍ SAMOZHUTNITELNÉHO BETONU KOMBINACÍ MIKROPLNIV

Aleš Kratochvíl, Jaroslav Urban, Rudolf Hela

1 Úvod

Partnerská organizace Virginia Transport Research Council (VTRC) poskytla Centru dopravního výzkumu (CDV) informace o pravidlech, která jsou uplatňována pro technologii samozhutňujících betonů (SCC) ve Spojených státech amerických [1, 2]. Podle těchto podkladů se jako mikroplnivo do betonových směsí pro SCC používá v USA převážně velmi jemně mletá struska a elektrárenský popílek. (Ten však až po velmi pečlivých testech jeho složení.) Stále větší uplatnění mají SCC, k jejichž výrobě byly použity betonové směsi obsahující více různých druhů mikroplniv. S výhodou je tak využívána skutečnost, že určitý druh mikroplniva modifikuje určité vlastnosti betonové směsi nebo zatvrdlého betonu. Pro ověření možností ovlivňovat vlastnosti betonových směsí a SCC kombinací různých druhů mikroplniv běžně dostupných v České republice byl proveden následující soubor experimentů.

2 Provedené zkoušky

Pro ověření reologických vlastností experimentálních betonových směsí jsme prováděli modifikovanou zkoušku rozlitím kužele (Abrams), dále testy na L-boxu, J-ringu, Orimetu a V-funnelu. Všechny uvedené zkušební postupy byly již dříve publikovány [3]. Každá betonová směs byla sledována po dobu 120 minut od namíchání (interval mezi jednotlivým sadami měření byl 30 min.). Při zkouškách bylo zvláště sledováno, zda nedochází k blokaci směsi v L-boxu a J-ringu. V případě, že jsme v průběhu zkoušky zaznamenali segregaci zrn kameniva, bylo při konstantním dávkování superplastifikátoru upraveno dávkování vody a mikroplniva tak, aby k tomuto jevu nedocházelo. Obdobně jsme postupovali i tehdy, kdy jsme zaznamenali odlučování vody ze směsi, a to i přes to, že někteří autoři ve svých pracích uvádějí nezávadnost mírného odlučování vody v případě, kdy je přebytečná voda směsí absorbována zpět v průběhu počátku hydratačních procesů. Úpravou vodního součinitele a podílu jemných součástí ve směsi jsme však vyloučili i toto nežádoucí chování betonové směsi. Dávkování mikroplniva se potom u jednotlivých betonových směsí pohybovalo mezi 160 až 280 kg na 1m³. Na základě výsledků popsaných reologických zkoušek byly upřesněny základní i kombinované receptury betonových směsí pro další experimenty (Tab. I).

Takto odladěné receptury byly použity při výrobě vzorků pro zkoušky pevností a mrazuvzdornosti (trámce: 400x100x100 mm). Pro ověření odolnosti proti působení vody a chemických rozmrazovacích prostředků (CHRL) byly vyrobeny zkušební krychle o hraně 150 mm. Na trámcích byly postupně provedeny zkoušky pevnosti v tahu ohybem a zkoušky pevnosti v tlaku na zlomcích. Mrazuvzdornosti zatvrdlého betonu jsme sledovali prostřednictvím úbytku pevností vzorků po 75 a 150 zmrazovacích cyklech a ze zkoušek

odolnosti betonů proti působení vody a CHRL byly v době zpracování tohoto příspěvku k dispozici výsledky měření po 100 zmrazovacích cyklech.

Složení experimentálních betonových směsí v kg/m³

Tabulka I

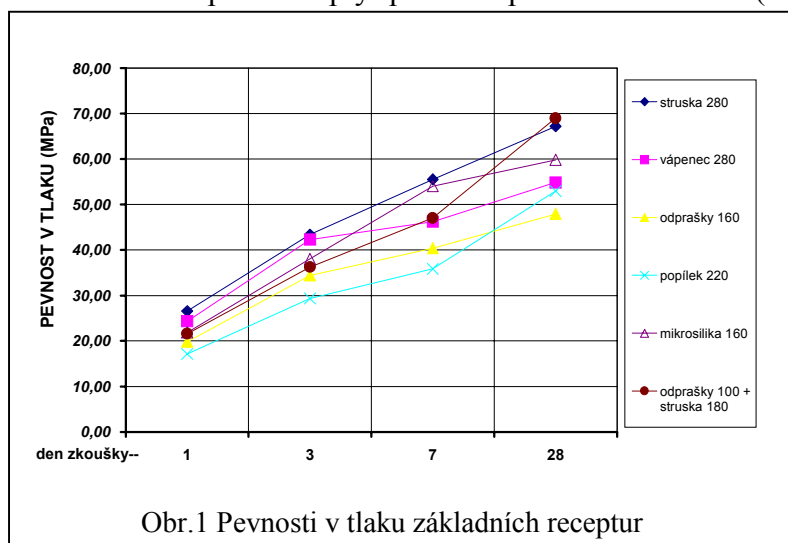
Směs č.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
Cement Mokrý 42,5 R	404	406	391	399	406	402	402	401	402	396	398	402	396
Písek 0-4, Tovačov	829	710	743	817	710	703	703	762	703	693	696	703	693
Kamenivo 4-8, Tovačov	232	233	225	229	233	231	231	230	231	228	229	231	228
Kamenivo 8-16, Tovačov	556	558	537	548	558	552	552	551	552	544	547	553	544
Kamenné odprašky	162	-	-	-	-	100	-	120	100	-	-	-	-
Velmi jemně mletá struska	-	284	-	-	-	181	-	-	-	139	179	261	238
Elektrárenský popílek	-	-	215	-	-	-	100	100	-	99	99	-	-
Křemičité úlety	-	-	-	159	-	-	-	-	-	40	-	20	40
Jemně mletý vápenec	-	-	-	-	284	-	181	-	181	-	-	-	-
Přísada (ViscoCrete 5 – 600)	4,0	4,0	3,9	-	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Přísada (ViscoCrete 3 neu)	-	-	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Záměsová voda	182	183	210	189	183	191	191	190	191	203	199	191	203
Vodní součinitel w [v/(c+m)]	0,32	0,27	0,35	0,34	0,27	0,28	0,28	0,31	0,28	0,30	0,29	0,28	0,30

2.1 Použitá mikroplniva

- křemičité úlety (mikrosilica - SF), Oravské ferozliatinárske závody, a.s., Istebné (Slovensko), měrný povrch 230 568 cm².g⁻¹
- velmi jemně mletá struska (VJMS), Kotouč Štramberský, měrný povrch 3 629 cm².g⁻¹
- jemně mletý vápenec (JMV), měrný povrch 4 857 cm².g⁻¹
- elektrárenský popílek (EP), elektrárna Chvaletice, měrný povrch 2 426 cm².g⁻¹
- kamenné odprašky (KO), z lomu Želešice, měrný povrch 4 345 cm².g⁻¹

3 Výsledky zkoušek

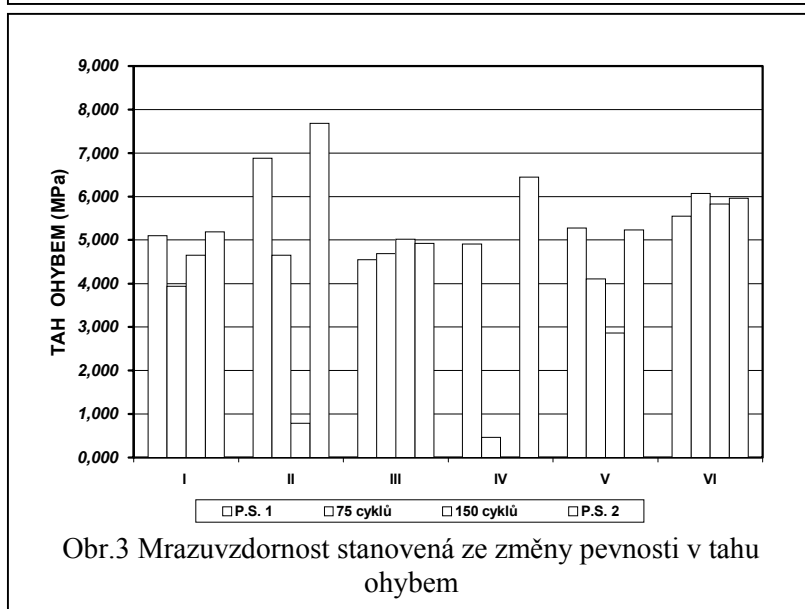
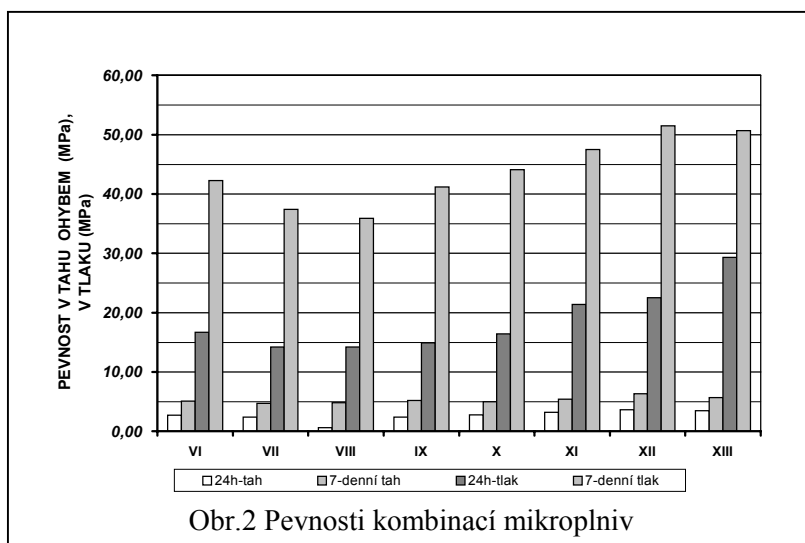
Na obrázku 1 je uveden graf znázorňující výsledky zkoušek pevností betonu v tlaku základních receptur. Rozptýl pevností po 28 dnech zrání (vodní uložení) činil v závislosti



Obr.1 Pevnosti v tlaku základních receptur

na druhu použitého mikroplniva cca 30 % maximální naměřené hodnoty. Nejvyšší pevnost byla dosažena u vzorků vyrobených z betonové směsi využívající jako mikroplnivo kombinaci kamenných odprašků a velmi jemně mleté strusky (69 MPa po 28 dnech). U pevností v tahu ohybem byl rozptýl výsledků zkoušek základních receptur cca 20 %

maximální naměřené hodnoty a nejvyšších pevností bylo dosaženo u receptur č. II a VI.



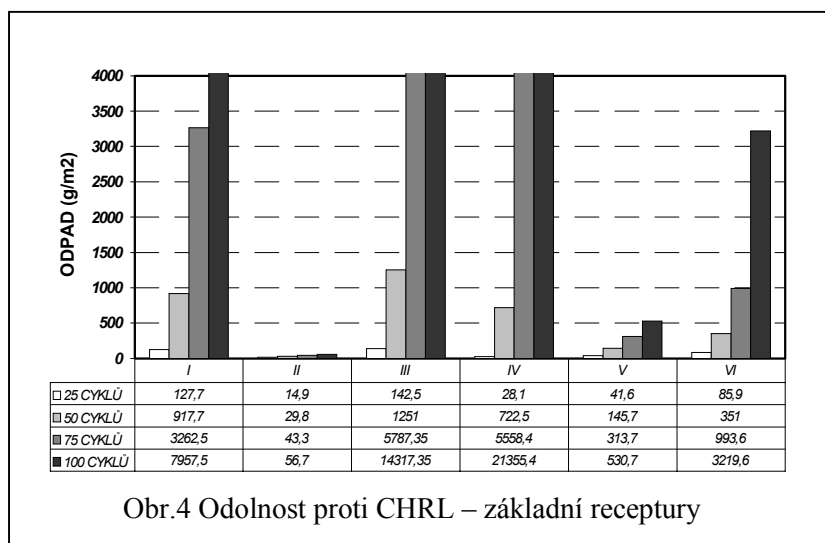
(7,50 a 6,92 MPa – graf výsledků těchto zkoušek stejně jako výsledky některých dalších měření nebylo možno z důvodu omezeného rozsahu do tohoto příspěvku zařadit). V grafech na obrázcích 1, 3 a 4 jsou pro srovnání uvedeny i výsledky receptury betonu, u které celou dávku mikroplniva nutnou pro dosažení požadovaných

reologických vlastností směsi zajišťovaly křemičité úlety. Výsledky měření v tomto případě potvrzují předcházející zkušenosti, že takto vysoké dávky křemičitých úletů vedou k výraznému snížení trvanlivosti betonu. V grafu na obrázku 2 jsou uvedeny zjištěné hodnoty pevností v tahu ohybem a v tlaku vybraných kombinací mikroplniv. Z výsledků je zřejmý příznivý vliv zvyšující se dávky VJMS

na hodnoty pevností. V tomto případě je ovšem s kladným hodnocením nutno počkat na výsledky zkoušek trvanlivosti (viz graf na obr. 1). Z hlediska hodnocení mrazuvzdornosti (graf na obr. 3) dosáhly z již ukončených zkoušek nejpříznivějších výsledků receptury č. I, III a VI. Při hodnocení odolnosti na CHRL (graf na obrázku 4) však po 100 ukončených zmrazovacích cyklech vyhovuje požadavkům příslušných norem z těchto receptur pouze betonová směs č. VI (kombinace KO a VJMS). Důkazem efektivity využití více druhů mikroplniv v jedné betonové směsi je porovnání výsledků receptur č II a VI. Zatímco SCC využívající jako mikroplnivo pouze VJMS má z hlediska mrazuvzdornosti špatné výsledky, v případě SCC, u kterého bylo použito jako mikroplniva kombinace kamenných odprašků a velmi jemně mleté strusky, jsou výsledky mrazuvzdornosti velmi dobré.

4 Závěr

Zahraniční zkušenosti i výsledky provedených zkoušek ukazují, že optimalizace složení SCC s ohledem na požadované vlastnosti čerstvé betonové směsi a výsledné vlastnosti



zatvrdlého betonu vyžaduje komplexní znalosti o chování jednotlivých složek betonové směsi v průběhu celého technologického cyklu výroby betonu. Např. trvanlivost SCC betonů využívajících jako mikropřímko elektrárenský popílek je možno dle amerických zkušeností podstatně zvýšit provzdušněním

betonové směsi. V tomto případě je však třeba věnovat zvýšenou pozornost jejím reologickým vlastnostem, neboť vyšší obsah vzduchu ovlivňuje i pohyblivost směsi. Velmi perspektivní se při současných cenách jeví využití kombinace VJMS s kamennými odprašky, resp. s elektrárenským popínkem. Kombinace s elektrárenským popínkem ovšem za podmínky provzdušnění betonové směsi.

Výsledky, které nemohli být z důvodu omezeného rozsahu příspěvku zařazeny, stejně jako výsledky zkoušek dalších betonových směsí pro SCC betony, které jsou v současné době realizovány, budeme publikovat při jiných příležitostech.

Literatura

- [1] Publication NO. FHWA-RD-00-025: Portland-Cement Concrete Rheology and Workability: Final Report, Federal Highway Administration, listopad 2001
- [2] Publication NO. 1574: Materials and Construction. Advances in Concrete and Concrete Pavement Construction. Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., 1997
- [3] Hela R.: Metodika zkoušení vlastností čerstvých samozhutňujících betonů, sborník konference Betonářské dny 2000, Pardubice, listopad 2000

V příspěvku jsou prezentovány výsledky řešení výzkumného záměru CEZ:EO1/98:Z30000000 a projektu GAČR č.103-01-0814.

Ing. Aleš Kratochvíl

Ing. Jaroslav Urban

✉ Centrum dopravního výzkumu
Líšeňská 33a

336 00 Brno

☎ 549429333, 549429312

📄 549429343

😊 kratochvil@cdv.cz

😊 urban@cdv.cz

URL www.cdv.cz

Ing. Rudolf Hela, CSc.

✉ Stavební fakulta, VUT Brno
Veverí 95

662 37 Brno

☎ 541147508

📄 541147502

😊 hela.r@fce.vutbr.cz

URL www.fce.vutbr.cz