

## SLOŽENÍ A VLASTNOSTI NĚKTERÝCH TYPŮ VYSOKOHODNOTNÝCH A SAMOZHUTŇUJÍCÍCH BETONŮ COMPOSITION AND PROPERTIES OF SOME TYPES OF HIGH-PERFORMANCE AND SELF-COMPACTING CONCRETES

**JOSEF LUKÁŠ, JIŘÍ BRANDŠTETR,  
JINDŘICH MELCHER,  
JOSEF KRÁTKÝ,  
MARCELA KARMAZÍNOVÁ,  
TOMÁŠ VYMAZAL,  
VLASTIMIL BÍLEK**

Práce prezentuje složení a některé vlastnosti betonů a ocelobetonových konstrukčních dílců vybraných užžitých vlastností optimalizovaných pro daný účel. Ve vysokohodnotných betonech (high-performance concretes, HPC) i samozhutňujících betonech (self-compacting concretes, SCC) bylo použito jemně mleté granulované vysokopecní strusky jako samostatné příměsi s cílem snížit obsah portlandského cementu a tím současně hydratační teplo a tvorbu mikrotrhlinek. Superplastifikátor polykarboxylátového typu umožnil snížit vodní součinitel pod 0,35. Jako kamenivo byly použity tavený bauxit a zejména drcený čedič, vykazující relativně vysoké pevnosti. Užžitné vlastnosti čerstvého i ztvrdlého betonu výrazně ovlivňuje druh a obsah mikrokameniva. Hutná mikrostruktura o nízké pórovitosti činí kompozit odolným vůči chemické korozi a zajišťuje jeho dlouhodobou stálost, která je dnes jedním z hlavních požadavků.

*The paper presents the composition and properties of some speciality types of concrete and steel-concrete structural parts possessing desired performance optimized for a given purpose. For the preparation of high-performance and self-compacting concretes, finely ground granulated blast furnace slag as a separate component was used to decrease the content of portland cement and thus the hydration heat, which consequently decreases the formation of microcracks. Polycarboxylate type of superplasticizer makes it possible to lower the water/cement ratio under 0.35. As aggregate, the fused bauxite and especially ground basalt exhibiting high strengths was used. The properties of fresh and hardened concrete are significantly influenced by the kind and*

*amount of microaggregate. Dense microstructure and low porosity enhances the corrosion resistance and long-term durability, which is one of the main requirements of the produced composites.*

Rychle se urbanizující svět a stoupající požadavky na rozvoj infrastruktury klade před stavební průmysl, jako jeden z hlavních úkolů, přípravu betonů o dostatečně dlouhodobé stálosti v podmínkách jejich využívání. Dříve byly téměř jediným kritériem 28-denní pevnosti, což není zdaleka dostačující. Jednu z hlavních rolí hrají nejen minerální složky – jejich druh a vzájemný poměr, ale i chemické modifikující přísady, bez kterých dnes nelze připravit kvalitní betony podle požadavků uživatele (tailored concretes). Vysokohodnotné betony HPC [1] obsahují jako významnou reaktivní složku jemné křemičité úlety (mikrosiliky). Použitý superplastifikátor musí být kompatibilní s použitým cementem i ostatními složkami a umožní snížit vodní součinitel pod 0,3. Významný podíl na pevnostech má obsah a druh použitého mikrokameniva [2], kde se vedle již osvědčených úletů uplatňují mikromletý vápenec nebo křemen, jemný elektrárenský popílek, metakaolin, zeolity, žulový či čedičový prach, rutil, korund event. další materiály. Některé z nich (méně reaktivní) působí převážně jako filér, jiné uplatňují svoje hydraulické či pucolanické vlastnosti a produkty jejich hydratace spoluvytvářejí hutnou mikrostrukturu kompozitu. Není dnes problémem připravit na staveništi HPC betony o dvacetiosmidenních pevnostech v tlaku přes 100 MPa [3].

Dnešní požadavky berou stále výrazněji do úvahy socioekonomické ukazatele zahrnující mj. omezení plýtvání minerálními surovinami. Místo běžných betonů o dvacetiosmidenních pevnostech okolo 30 MPa se ukazuje výhodnější připravovat podstatně dlouhodobě stálejší betony HPC nebo SCC o pevnostech 50 až 80 MPa, které nevyžadují časté opravy a jsou pouze o něco málo nákladnější [3]. Použití kvalitního kameniva a rozptýlené mikrovláknité výztuže umožňuje provozně

připravit HPC betony o pevnostech nad 240 MPa [4]. Speciálními postupy připravené kompozity na bázi jemných reaktivních složek (reactive powder concretes, RPC) vykazují pevnosti dokonce nad 400 MPa [3] případně nad 600 MPa [5].

### KOMPONENTY PRO VÝROBU HPC A SCC

**Portlandské cementy** 52,5R nebo 42,5R jsou výhodnější s nižším obsahem trikalciumpulminátu,  $C_3A$ , tedy např. síranovzdorný cement. Lze použít i struskového portlandského cementu. Množství použitého cementu na  $1 \text{ m}^3$  HPC se pohybuje v rozmezí 300 až 700 kg. Měrný povrch bývá nejčastěji 350 až 400  $\text{m}^2/\text{kg}$  (Blaine), jemněji mletý cement zvyšuje riziko tvorby mikrotrhlinek.

Některé speciální cementy nutno pokládat spíše za pojivové směsi, poněvadž obsahují různé další složky nad limit daný normami EN 197-1 (větší množství jemných minerálních příměsí, superplastifikátor v tuhé formě aj.). Cílem je usnadnit práci v betonárnkách a vyloučit možnou chybu lidského faktoru. Dánský produkt Secutec je optimalizován pro výrobu vysokopevnostních betonů podle přesně stanovených receptur a naznačuje nové možnosti přípravy HPC betonů pro speciální účely.

**Jemně mletá granulovaná vysokopecní struska** (MGVS) se vyznačuje latentní hydraulicitou a dobrými pucolanovými vlastnostmi. Na  $1 \text{ m}^3$  betonu se přidává 100 až 300 kg MGVS jako samostatné složky, měrný povrch je výhodnější přes 400  $\text{m}^2/\text{kg}$ . Pro přípravu betonů prezentovaných v této práci byla použita MGVS z Nové Huti Ostrava o složení: 40,42 %  $\text{SiO}_2$ , 6,13 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 12,06 %  $\text{MgO}$ , 39,3 %  $\text{CaO}$ , 0,37 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 0,53 %  $\text{MnO}$  a 0,22 %  $\text{SO}_3$ , o měrném povrchu 370  $\text{m}^2/\text{kg}$ . Přidává-li se do betonů portlandský struskový cement, má v něm obsažená struska měrný povrch zpravidla menší než 300  $\text{m}^2/\text{kg}$ , jelikož se při mletí spolu s měkčím slínkem drtí obtížněji.

**Křemičité úlety (mikrosilika)**, vedlejší

produkt výroby ferosilicia nebo elementárního křemíku, obsahuje 85 až 97 % amorfního  $\text{SiO}_2$ . Částice převážně o průměru pod 1 mm mají měrný povrch až přes 20 000  $\text{m}^2/\text{kg}$ . Pro snížení sypné hmotnosti a usnadnění transportu někteří výrobci úlety kompaktují, což poněkud zhoršuje jejich vlastnosti. Mikrosilika má kyselý charakter a reaguje s hydroxidem vápenatým vznikajícím v průběhu hydratace cementu za tvorby CSH gelu a tím omezuje na minimum tvorbu krystalů portlanditu,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Vyšší obsah CSH gelu snižuje výrazně obsah pórů a vzniklá hutnější mikrostruktura zlepšuje adhezi pojivové pasty ke kamenivu event. k výztuži. Pro zvláště náročné HPC se doporučuje přidávat sráženou mikrosiliku, která má měrný povrch až 400  $\text{m}^2/\text{g}$  a vyznačuje se vysokou reaktivitou. Přísada kyselých složek (mikrosiliky, popílků, metakaočinu) zabráňuje obávané reakci alkálií s kamenivem a tvorbě výkvětů. U betonů s nízkým vodním součinitelem tvorba hydratačních produktů při vodním uložení po zatuhnutí přispívá samozhutňujícím efektem k tvorbě hutné mikrostruktury.

**Křemenná moučka** (velmi jemně mletý křemenný písek) o průměrné velikosti zna okolo  $d_{50} = 2,5 \mu\text{m}$  se přidává v množství přibližně 10 % z hmotnosti křemenného písku (drobného kameniva).

**Mikromletý vápenec**,  $\text{CaCO}_3$ , tvoří s  $\text{C}_3\text{A}$  sloučeninu  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaCO}_3\cdot 12\text{H}_2\text{O}$  (tzv. karbonátový komplex), která je stabilnější než hydráty tricalciumaluminátu. Byl použit mikromletý vápenec lokality Pomezí o  $d_{50} = 3,6 \mu\text{m}$  běžně užívaný jako filér do plastů. Křivky distribuce podle velikosti několika jemných komponent částic ukazuje obrázek 1.

**Superplastifikátor**, s výhodou polykarboxylátového typu (polykarboxyléter), musí být kompatibilní s použitým cementem i s dalšími složkami či přísadami. Přidává se obvykle v množství 0,5 až 3 % na hmotnost pojiva spolu se záměsovou vodou, někdy s výhodou nadvakrát. Tato nová generace superplastifikátorů umožňuje snížit vodní součinitel až pod 0,2 při obsahu suchých jemných komponent do 600 až 800  $\text{kg}/\text{m}^3$ . V našem případě bylo použito Glenium firmy SKW-MBT, Curych. Velmi nízký vodní součinitel je někdy nevhodný, pokud později není k dispozici dostatečné množství vody potřebné k hydrataci pojiva (cementu), což může být příčinou objemové nestálosti kompozitu.

Obr. 1 Distribuce částic mikromletého vápence a křemene, měřeno Fritsch Particle Sizer 'analysette 22'

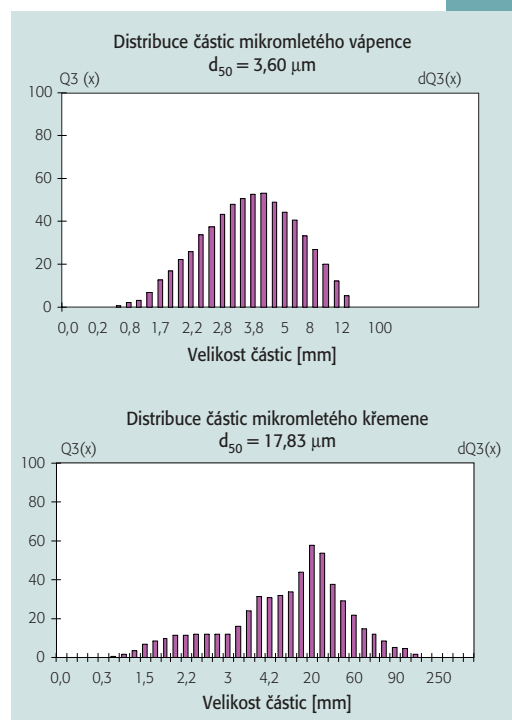
Fig. 1 Distribution particles of micronized limestone and quartz measured Fritsch Particle Sizer 'analysette 22'

S cílem dosáhnout některých dalších požadovaných vlastností čerstvé směsi či ztvrdlého betonu se přidávají různé další **chemické modifikující přísady** (provozdušňovací, odpěňovací, mrazuvzdorné, retardéry či urychlovače tuhnutí aj., [7]), které jsou na trhu pod nejrůznějšími názvy. Do HPC a SCC betonů a zvláště do malt se doporučuje přidávek malého množství některých derivátů polysacharidů (např. hydroxypropylmethyl celulóza, hpmc), regulujících reologické vlastnosti směsi (zpracovatelnost) a kinetiku hydratace.

**Kamenivo** pro HPC je nutno použít o vysoké pevnosti, což je např. čedič, žula nebo podstatně dražší tavený bauxit. Kamenivo by mělo mít vhodný tvarový index, nejlépe blízký 1. Novější práce doporučují přidávat kamenivo jemnějších frakcí než bylo doposud obvyklé, např. u SCC frakce max. do 8 mm. V této práci byl použit drčený čedič frakcí 0–2 a 5–8 mm (Libochovany), tavený bauxit stejných frakcí (Čína), těžný písek z lokalit Ostrožská Nová Ves a Hulín 0–2 mm.

**Mikrokamenivo** může být více či méně reaktivní, někdy působí převážně jako filér vyplňující prostor mezi až o dva řády hrubšími zmy pojiva, tak aby zůstalo co nejméně volného prostoru. Optimální poměr jednotlivých frakcí kameniva a zejména mikrokameniva se zjistí snadno vážením zvláště smíšené směsi všech suchých komponent, tak aby měla co největší hmotnost. Z různých druhů mikrokameniva byly vedle již běžných úletů laboratorně zkoušeny mikromletý vápenec a křemen, čedičový a granodioritový prach, karbid křemíku nebo korund (brusiva) a jemný elektrárenský popílek z filtrů. S ohledem na cenové relace byly dále používány mikromletý vápenec a křemen. Je nutno poznamenat, že současné směry vývoje směřují k přípravě nanokompozitů na různé bázi, což je přibližuje k přírodním materiálům vynikajících fyzikálně-mechanických vlastností. Velmi nadějně budou nanokompozity s mikrovláknami.

**Vláknitá výztuž** je zcela běžná u biogenních materiálů a je příčinou jejich vyni-



Složení směsi	[%] (hmot.)	Hmotnost [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
Portlandský cement 52,5R	13 až 15	330 až 400
Granulovaná vysokopepní mletá struska 370 $\text{m}^2/\text{kg}^{-1}$ (Blaine), $d_{50} = 11,8 \mu\text{m}$	8 až 10	200 až 250
Mikrosilika < 1 $\mu\text{m}$	1 až 2	25 až 50
Mikromletý vápenec $d_{50} = 3,6 \mu\text{m}$	1,2 až 4	30 až 100
Superplastifikátor Glenium	0,16 až 0,56	4 až 14
Drčený čedič Libochovany Frakce 0–2, 5–8 mm	60 až 72	1500 až 1800
Voda	6 až 7,2	150 až 180

Tab. 1 Složení směsi HPC – C 90/105

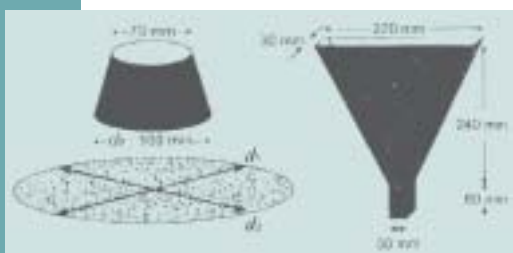
Tab. 1 Mixture proportion of HPC – C 90/105

kajících vlastností, zejména pevností v tahu za ohybu i v tlaku. Byla zkoušena minerální i organická vlákna různých rozměrů, nejčastěji jako rozptýlená mikrovláknová výztuž. Z materiálů organických

Tab. 2 Průměr rozliti betonu podle ČSN EN 206-1

Tab. 2 Slump flow of concrete

Stupeň	Slump flow [mm]
F1	≤ 340
F2	350 až 410
F3	420 až 480
F4	490 až 550
F5	560 až 620
F6	≥ 630



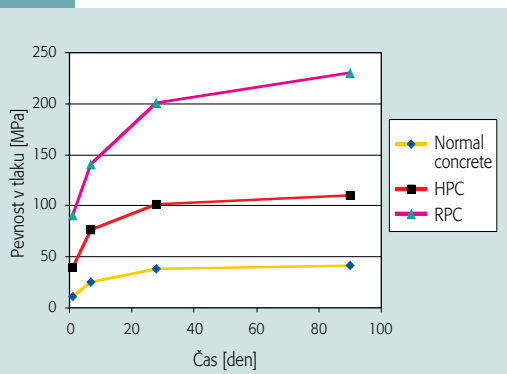
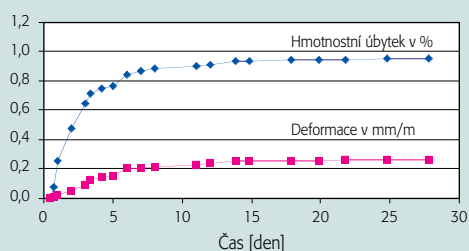
Obr. 2 Stanovení konzistence metodou rozlité kužele Slump flow a metoda Funnel test

Fig. 2 Slump flow and metoda Funnel test

vláken zasluhuje zvláštní pozornost Kuralon (polyvinylalkohol), reagující s minerálním pojivem kovalentní vazbou za tvorby anorganicko-organických kopolymerů. Z minerálních vláken se při přípravě vysokopevnostních betonů osvědčila zejména ocelová mikroválkna 0,14 x 6 mm. Stále rozšířenější uhlíková mikroválkna jsou používána v kompozitech na nejrůznější bázi, pro běžné PC betony jsou však prozatím ekonomicky nevýhodná. Zásadní roli hraje adheze vláken k cementové matici.

**Míchání a hutnění** – vedle dnes nejpoužívanějších horizontálních míchaček s nuceným oběhem se začínají uplatňovat různé aktivační míchačky, často je výhodné použít dvojího míchání: Nejprve se

Obr. 3 Smrštění a hmotnostní úbytek HPC  
Fig. 3 Shrinkage and loss of weight of HPC, specimens 100 x 100 x 400 mm, moist curing



Počet dní	Pevnost v tlaku [MPa] – krychle 150 x 150 x 150 mm			
1	38,4	38,2	38,1	Ø 38,6
7	76,1	77,3	77,2	Ø 76,7
28	103,5	101,8	102,2	Ø 102,5
90	115,8	115,0	116,8	Ø 115,9
Modul pružnosti	51,4 GPa			
Lomová houževnatost	1,5 MPa /m <sup>1/2</sup>			
Pevnost v tahu 100*100*400 mm	9,3 MPa			
Objemová hmotnost	2496 kg/m <sup>3</sup>			
Hranolová pevnost po 28 dnech	112,8 MPa			

v menší míchačce připraví maltovinová směs (pasta) event. spolu s částí mikrokameniva, která se následně vlije do větší míchačky obsahující zbývající mírně ovlhčené kamenivo. Tento postup umožní snížit vodní součinitel a zlepšit homogenitu betonu. Velmi perspektivní je tzv. vysokosmykové míchání (high-shear mixing), které výrazně sníží obsah pórů a umožňuje tak přípravu kompozitů o mimořádných pevnostech. Stále širšího uplatnění nacházejí samozhutnitelné betony, SCC, které nevyžadují hutnění, které by způsobilo odmísení složek. Bezhluchý způsob přípravy SCC mimo jiné výhody umožňuje noční betonáže v obytných městských čtvrtích.

#### EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Na základě vlastností, dostupnosti a ceny surovin bylo po řadě předběžných sérií experimentů optimalizováno složení HPC a následně i SCC betonů, tak aby byly dosaženy event. překročeny parametry těchto typů betonů prezentované v zahraničních či domácích publikacích pro čerstvé směsi i ztvrdlé kompozity, a to i bez použití tradiční armatury či výztuže rozptýlenými vláknami.

#### VLASTNOSTI ČERSTVÉ SMĚSI

Konzistence čerstvého betonu byla měřena nenormovou metodou rozlivu obráceného kužele 100 x 200 x 300 mm na hladké ploše, která je ve výsledcích podobná metodě rozlivu kužele na střásacím stolku podle ČSN EN 12350-5 a je snadno proveditelná i v provozu před vlastní betonáží. U hustších čerstvých betonů se používá metody sednutí kužele podle ČSN EN 12350-2, u velmi řídkých SCC je výhodná metoda měření doby

Obr. 4 Časový vývoj pevnosti v tlaku běžného betonu, HPC a RPC směsí

Fig. 4 Time dependant compression strength of ordinary concrete C25/30, HPC and RPC

Tab. 3 Vlastnosti HPC směsi připravené v laboratořích Chemické a Stavební fakulty VUT v Brně

Tab. 3 Properties of HPC produced at Chemical and Civil Engineering faculty laboratories, TU Brno

průtoku betonu nálevkou předepsaných rozměrů (obr. 2) event. některé další dosud nenormované metody [8]. Běžné použití superplastifikátorů, retardérů či urychlovačů v různých množstvích činí měření konzistence nezbytným, pokud možno bezprostředně před ukládáním betonu. Většina superplastifikátorů vykazuje jistý retardační efekt.

#### VLASTNOSTI ZTVRDLÉHO HPC

**Pevnosti v tlaku a v tahu za ohybu** byly stanovovány u předběžných pokusů na trámečcích 40 x 40 x 160 mm, dále na hranolech 100 x 100 x 400 mm a na krychlich o hraně 100 resp. 150 mm. Pro stanovení **lomové houževnatosti a modulu pružnosti** bylo použito trámečků 65 x 65 x 360 mm, které byly před zkouškami naříznuty diamantovou pilou do jedné třetiny výšky. Betony zrály v podmínkách vlhkého uložení (t = 20 °C při relativní vlhkosti 98 až 100 %).

#### Smršťování a dotvarování

Hodnoty smrštění se u HPC někdy očekávají vyšší než u běžných betonů, nicméně vzhledem ke složení daného HPC měly měřené objemové změny přibližně stejný průběh jako běžný beton s vyšším obsahem cementu. Současně měřené změny hmotnosti (při vlhkém uložení trámů 100 x 100 x 400 mm) jsou na obr. 3.

**Trvanlivost HPC.** Vzhledem k hutné mikrostuktuře a velmi malému obsahu pórů vykazují HPC velmi dobrou vodonepropustnost, odolnost vůči chemické korozi či působení mikroorganismů, které v porovitých betonech mají velmi dobré podmínky k rozmnožování. Oprávněné požá-

davky dlouhodobé stálosti betonů jsou základem omezování plýtvání materiálem ve stavebnictví.

### KONSTRUKCE Z HPC, SCC A RPC

Rozmanité četné aplikace uvedených druhů betonů svědčí o jejich mimořádných vlastnostech a užitečnosti, publikovaných prací o jejich dalším vývoji a využití rychle přibývá. Přehled složení a aplikace vysokohodnotných HPC betonů je podán v knize P.-C. Aitcina [1]. Jednou z prvních větších konstrukcí z RPC o pevnostech přes 200 MPa je lávka pro pěší v Sherbrooke [6]. Laboratorně jsou připravovány kompozity s vlákny o pevnostech 400 MPa [3] až 800 MPa [5]. Nejsou již tedy utopií betony o pevnostech 1000 MPa, které budou v některých ohledech konkurovat ocelím.

Samozhutňující betony jsou nejvýhodnějším materiálem při výrobě prvků a konstrukcí obsahujících hustou výztuž a byly u nás velkoobjemově použity např. při výstavbě mostu na Zlíchově [9].

### HYBRIDNÍ OCELOBETONOVÉ KONSTRUKCE

V USA byly provedeny různé konstrukce (Florida Parking Garage, Chareton Bridge, Lazarus Department Store v Pittsburgu). Ocelové trubky s betonovou výplní jsou

Obr. 7 Vzorek TR Ø 152 x 4,5, l = 3 m, při zkoušce na vzpěr

Fig. 7 Specimen TR Ø 152 x 4,5, l = 3 m test in compress



Obr. 5 Srovnání kompozitních vzorků TR Ø 152 x 4,5 na vzpěr [10]

Fig. 5 Comparison of composite specimens TR Ø 152 x 4,5 with different types of concrete under compression [10]

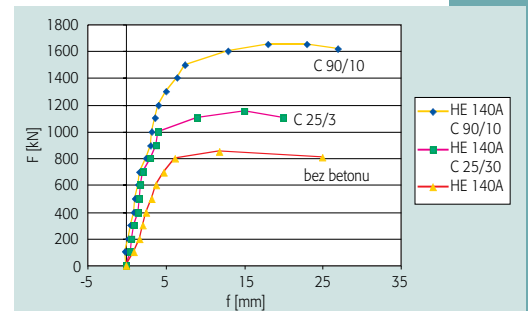
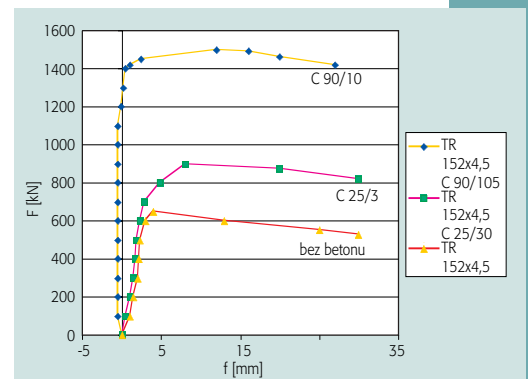
velmi progresivním materiálem, jehož vlastnosti z různých hledisek jsou stále předmětem výzkumu [10]. Zde je třeba vzít v úvahu specifikum, že tvrdnoucí beton v trubkách nemůže uvolňovat nekonstituční vodu ani naopak přijímat vzdušnou vlhkost či oxid uhličitý. Nutno však uvažovat možnost posunu materiálu v trubce [11].

### DISKUZE A VÝSLEDKY

Hlavním cílem zkoušek bylo pokusit se o výrobu HPC a SCC směsí v ČR s využitím domácích surovin. Dosažené výsledky v laboratorních fakulty chemické a stavební VUT jsou srovnatelné s parametry zkoušek v zahraničí, zvláště pak v pevnostních charakteristikách. Zpracovatelnost čerstvých HPC byla výborná, konzistence měřená podle rozlivu obráceného kužele (slump flow) byla v parametru F5. Z ekonomického hlediska je použití HPC v četných případech levnější při součtu veškerých nákladů oproti doposud používaným betonům, životnost HPC betonů se očekává až dvojnásobná. Z ekologického hle-

Obr. 8 Použité vzorky TR Ø 152 x 4,5 and HE 140A, l = 3 m

Fig. 8 Applied specimens TR Ø 152 x 4,5 and HE 140A, l = 3 m



Obr. 6 Srovnání kompozitních vzorků HE 140A na vzpěr [10]

Fig. 6 Comparison of composite specimens HE 140A under compression [10]

diska je samozřejmě výhodnější HPC, jelikož spotřeba cementu klesne na polovinu a šetří se kvalitní kamenivo.

Na VUT v Brně byl realizován experimentální výzkumný program [10] s použitím HPC o pevnostech přes 110 MPa pro výplň ocelových trubek a profilů HEA. Pro srovnání byla zkoušena tělesa bez betonu, s normálním betonem a HPC betonem, a to kompozitní tělesa HE 140A a kompozitní dílce TR Ø 152 x 4,5 vždy o délce 3000 mm z oceli 11373 doplněné o spřahovací trny a výztuž 10505 (obr. 6 a 7).

### ZÁVĚR

Úsilí o zavádění dlouhodobě stálejších betonů vede k optimalizaci vysokohodnotných a samozhutňujících betonů (HPC, SCC), omezuje plýtvání a je výhodné z ekologického i ekonomického hlediska. Mezi hlavní složky patří vedle portlandského cementu též jemně mletá vysokopecní struska, křemičité úlety, mikro-kamenivo a superplastifikátor, zajišťující nízkou porozitu ztvrdlého cementového

Dokončení článku na straně 16

Beton s vlákny BeneSteel má vlastnosti umožňující použít jej na rozdíl od prostého betonu v ohýbaných konstrukcích typu průmyslových podlah. Návrh podlahové desky na zemním podloží z vláknobetonu BeneSteel umožňuje využít tahovou pevnost vláknobetonu. Jedná se o tzv. prostý vláknobeton [2], který je kvalitativně jiným materiálem než prostý beton. Výsledky

ověřovacího projektu navíc prokázaly, že při základní dávce vláken BeneSteel, tj. 2,3 kg/m<sup>3</sup> a běžném neupraveném složení betonové směsi dochází k nárůstu jak tlakové, tak tahové pevnosti oproti prostému betonu.

Napětí podlahové desky na jejím povrchu lze určit pomocí výpočetních programů na bázi metody konečných prvků při

pružném výpočtu. Při bezpečném a hospodárném návrhu desky jsou ve výpočtu uvažovány hodnoty pro prostý beton podle ČSN 73 1201 a součinitele působení vláknobetonu v souladu s [2]. Pro stavební praxi je významné rovněž to, že návrh je proveden podle platných norem a Směrnice pro navrhování drátkobetonových konstrukcí.

Literatura:

- [1] Beneš T, Vařeka B.: Vlákniťa výtzuž pro průmyslové podlahy, Sb. konfer. Betonářské dny 2003, ČBS, Pardubice, prosinec 2003  
 [2] Směrnice pro navrhování drátkobeto-

nových konstrukcí, Krátký J., Trtík K., Vodička J.: Drátkobetonové konstrukce, ČKAIT, ČBZ Praha 1999

- [3] Bradáč J., Procházka J., Krátký J.: Průmyslové betonové podlahy, Stavební ročenka 1999, ČSSI ČKAT 1998

Ing. Teodor Beneš, CSc.

Sklocement Beneš, s. r. o.

Korunní 22, Ostrava

tel.: 596 620 750, fax: 596 620 757

e-mail: teodor.benes@sklocement.cz

www.sklocement.cz

**Dokončení článku ze strany 13**

tmele a tím jeho velmi dobrou adhezi ke kamenivu a výtzuži. Dosažené dvacetiosmi- resp. devadesátidenní pevnosti v tlaku u HPC přesahovaly 140 MPa. Pro výstavbu ocelobetonových konstrukcí byly jako výplň ocelových trubek a profilů HEA úspěšně použity HPC bez vláken o pevnostech 110 až 130 MPa. Je třeba zdůraznit socioekonomický a ekologický

dopad těchto vysokohodnotných dlouhodobě stálějších betonů.

**MOŽNOSTI DALŠÍHO VÝVOJE**

Některé vybrané druhy HPC bude vhodné upravit další příměsí nebo chemickou přísadou modifikující některé požadované vlastnosti (konzistenci, ohnivzdornost, kyselínovzdornost aj.) pro konkrétní podmínky uložení. Je třeba sledovat kompatibilitnost jednotlivých složek směsi a jejich vliv na smrštění a tvorbu mikrotrhlinek

v kompozitu. Je studována možnost nahradit relativně nákladných křemičitých úletů mikromletým popílkem resp. meta-kaolinem. Pro některé účely bude výhodné připravovat pytlované pojivové směsi s cílem vyloučit možnou chybu personálu při přípravě vícesložkových betonů. Složení HPC pro konkrétní účely bude možno optimalizovat detailnějším studiem kinetiky reakcí jednotlivých složek příslušného betonu.

Literatura:

- [1] Aitcin, P.-C. : High-Performance Concrete. E & FN SPON, London, 1998  
 [2] Brandštetr J., Lukáš J., Krátký J., Hanáková Z.: Mikrokamenivo jako složka betonů vysokých užitných vlastností, *Sílika*, 13 (2003), č. 1–2, s. 40–45  
 [3] Aitcin P.-C.: Betony zítřka – zboží běžné spotřeby nebo speciální produkt ? *Sílikáty* 12, č. 5–6, s. 174–176  
 [4] Krátký J., Brandštetr J., Lukáš J.: Kompozity ultravysokých pevností s vláknovou výtzuží, Sb. konfer. *Nové stavební hmoty a výrobky*, s. 37–40, VÚSTAH Brno, 2002  
 [5] Richard P., Cheyresy M.H.: Reactive powder concretes with high ductility and 200 – 800 MPa compressive strengths, *ACI Spec. Publ.* 144, s. 507–518, Detroit 1994  
 [6] Brandštetr J.: Betony extrémně vysokých pevností na bázi jemnozrných reaktivních složek, *Minerální suroviny*, 1999, č. 1, s. 24–31

- [7] Spiratos N., Jolicoeur C.: Trends in Concrete Chemical Admixtures for the 21<sup>st</sup> Century, *Proc. of the Sixth CANMET-ACI Intern. Conf. on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete* (Malhotra V.M., Ed.), s. 1–16, ACI spec. Publ. 195. Washington 2000  
 [8] Hošek J., Kolář K.: Samozhutnitelný beton, *Beton a zdívo*, 2000, č. 2, s. 18–23  
 [9] Mazurová M., Marková A., Vítek J.L.: První velkoobjemová aplikace samozhutnitelného betonu v České republice, *Beton a zdívo* 2000, č. 3, s. 2–4  
 [10] Melcher J., Karmazínová M.: Zatěžovací zkoušky tlačných ocelobetonových sloupů vyplněných betonem vysoké pevnosti, *Závěrečná zpráva*, VUT Brno, 2002  
 [11] Parsley M. A., Yura J. A., Jirsa J. O.: Push-Out Behavior of Rectangular Concrete-Filled Steel Tubes, *Composite and Hybrid Systems*, s. 87–108, ACI Spec. Publ. SP-196, Farmington Hills, 2000

Ing. Josef Lukáš

e-mail: okm@ostrava.cz, tel.: 596 127 003

Prof. Ing. Jiří Brandštetr, DrSc.

e-mail: brandstetr@fch.vutbr.cz,

tel.: 541 149 365

Ing. Josef Krátký

e-mail: kratky@fch.vutbr.cz, tel.: 541 141 111

všichni:

Chemická fakulta VUT v Brně

Katedra chemie materiálů

Purkyňova 118, Brno-Královo pole

Prof. Ing. Jindřich Melcher, DrSc.

e-mail: melcher.j@fce.vutbr.cz, tel.: 549 245 212

Ing. Marcela Karmazínová, CSc.

e-mail: karmazinova.m@fce.vutbr.cz,

tel.: 541 147 310

Ing. Tomáš Vymazal, Ph.D.

e-mail : vymazal.t@sce.vutbr.cz, tel.: 541 147 818

všichni:

Stavební fakulta VUT v Brně

Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

Veveří 95, 662 37 Brno

Ing. Vlastimil Bílek, Ph.D.

e-mail: bilek@zpsv.cz, tel.: 545 214 581

ŽPSV Uherský Ostroh