

SAMOZHUTNITELNÝ BETON

SELF-COMPACTING CONCRETE

Obr. 1 Zkouška
kuželem
a protékání
japonským
kruhem

Fig. 1 Slump flow
and Japanese
ring test

Úvod

V posledním desetiletí došlo k významnému pokroku ve výzkumu betonu vysokých pevností, který nabízel perspektivní možnosti využití. Přitom se též sledovaly jeho potenciální nedostatky. Vývoj vysokopevnostního betonu (High Strength Concrete – HSC) byl pak rozšířen na další oblast tzv. vysokohodnotných betonů (High Performance Concrete – HPC). Ty se vyznačují příznivými vlastnostmi v určitém směru. Vysokopevnostní beton je tedy jedním z druhů vysokohodnotných betonů podobně jako vysokopevnostní vláknobeton, beton s vysokou odolností proti požáru, apod. Další vývoj patrně bude směřovat k tzv. betonu definovaných vlastností (Defined Performance Concrete – DPC), který bude navržen tak, aby měl vlastnosti požadované charakterem konstrukce i podmínkami prostředí a umožnil dosažení požadované kvality výroby s vysokou produktivitou práce a minimálními náklady.

Samozhutnitelný beton (SCC Self compacting concrete) by bylo možno považovat za beton typu HPC, avšak jeho vývoj směřuje mnohem dále, k použití ve všeobecné betonářské praxi a k náhradě tradičního vibrovaného betonu. Prakticky všechny betony, jak běžné, tak HSC či HPC a jistě i budoucí DPC, lze vyrobit tak, aby v čerstvém stavu byly samozhutnitelné. Vzhledem k tomu, že zavádění SCC ovlivňuje všeobecnou stavební praxi a jeho možný pozitivní dopad, jak technologický, tak ekonomický, včetně vlivu na životní prostředí, je velmi značný, stal se SCC během posledních let předmětem velkého zájmu technické veřejnosti nejen u nás, ale i jinde v Evropě. O jeho vývoji již byla u nás podána informace např. v [1], [2], [4] další podklady lze najít např. v [3], [5], [6], [7]. Zkušenosti jak ze zahraničí, tak z České



republiky potvrzují, že jeho výhody jsou technologicky i ekonomicky velmi zajímavé. Ne všechno je už dnes zcela jednoznačné nebo vyřešené. Předmětem tohoto článku je upozornění na některé možné komplikace a problémy při navrhování směsi, jejím zkoušení v čerstvém stavu a při aplikaci na konstrukce.

SLOŽENÍ SAMOZHUTNITELNÉHO BETONU

Samozhutnitelný beton bývá obvykle vytvářen modifikací běžného betonu měkčí konzistence. Ta spočívá v omezení množství hrubého kameniva, které se nahradí jemnějšími složkami. Obsah cementu a vodní součinitel zůstávají stejné jako u tradičního vibrovaného betonu. Samozhutnitelnost v čerstvém stavu se normálně získá použitím zvláštního superplastifikátoru, který zajistí potřebnou tekutost, aby beton sám zatekl mezi výztuž a zcela vyplnil prostor v bednění. Samozhutnitelný beton v čerstvém stavu musí mít tři základní vlastnosti [2]:

- vysokou tekutost
- schopnost obtékat výztuž bez blokování
- musí být natolik kohezivní, aby nedocházelo k sedání hrubých zrn kameniva – tzv. segregaci.

Citlivost SCC směsí závisí na složení, je-li toto mimo optimální oblast, náročnost na přesné dávkování jednotlivých složek stoupá nad obvyklou míru. Zejména množství vody, cementu a jemných složek (kamenná moučka, popílek, vysokopevnostní struska nebo křemičitý úlet) musí být pečlivě sledováno, aby směs měla požadované vlastnosti. Z toho plyne i značná citlivost na vlhkost používaného kameniva.

Běžné superplastifikátory lze rovněž použít, obvykle v kombinaci se stabilizační přísadou. V současné době však již jsou na trhu přísady specificky vyrobené pro SCC, dodávané různými renomovanými výrobci (Sika, MBT, Chryso, Woermann, atd.). Složení se liší, existují různé koncentrace a různá dávkování. Většina přísad obsahuje superplastifikátory na bázi polykarboxylátů, jejichž molekulární stavba spočívá v bočních řetězcích připojených k páteřovému polymeru. Tyto přísady působí sterickým roztlačováním jemných zrn směsi a udržují směs samozhutnitelnou po delší dobu bez přílišného oddalování tuhnutí nebo provzdušnění.



Obr. 2 Zkouška
Orimet a japonský
kruh

Fig. 2 Orimet
and Japanese
ring test

ZKOUŠENÍ ČERSTVÉHO SAMOZHUTNITELNÉHO BETONU

Složení samozhutnitelného betonu nelze jednoznačně předepsat, protože složky zajišťují především požadované vlastnosti betonu v zatvrdlém stavu. Napomáhají (ale nemusí) dosažení tolerantního (ne přecitlivělého) čerstvého betonu, který lze ukládat spolehlivě bez zhutňování. Již zmíněná citlivost na vlastnosti složek a jejich konstantní poměr vyžaduje pečlivé odzkoušení jak čerstvého, tak i zatvrdlého betonu. Zkoušky čerstvého betonu spočívají převážně v metodách pro zkoušení výše uvedených tří základních vlastností tekutosti, pronikání výztuží a odolnosti proti segregaci. Zkoušky zatvrdlého betonu pak zahrnují normální vlastnosti, jako testování pevností, modulů pružnosti, smršťování, dotvarování, nasákavosti, odolnosti proti mrazu, chemickým vlivům, atd.

Současné normové metody pro zpracovatelnost nejsou použitelné pro zkoušení čerstvého SCC [2], [6]. Vhodné zkoušky zpracovatelnosti jsou stále ve vývoji. Požadavky na ně jsou často protichůdné – na jedné straně se požaduje jejich jednoduchost, nízká cena a nenáročnost na technické vybavení, na druhé straně vysoká vypovídací schopnost a přehlednost, aby k jejich vyhodnocení nebylo třeba vysoce kvalifikovaných specialistů. Též se požaduje, aby zkoušky byly použitelné jak v laboratorním prostředí, tak i pro zkoušení betonu přímo na stavbě. Čerstvá směs SCC může být přesněji charakterizovaná zkouškami reologického typu, které zjišťují dva parametry – poměrnou viskozitu a mez tečení. Tyto zkoušky využívají různé druhy speciálních přístrojů, které jsou však vhodné jen pro laboratorní návrh složení betonu nebo výzkum.

Pro vývoj samozhutnitelného betonu a jeho využívání je nutné vytvořit metodiky zkoušení jednotné alespoň v rámci evropských států [3]. Nedostatek normových zkoušek však neznamená, že nelze úspěšně SCC použít v praxi. Jednoduché metody jako roztečení kužele (slump-flow) nebo L-box aj. (obr. 1, 2) jsou k dispozici,



Obr. 4
Prefabrikovaná
nádrž z SCC

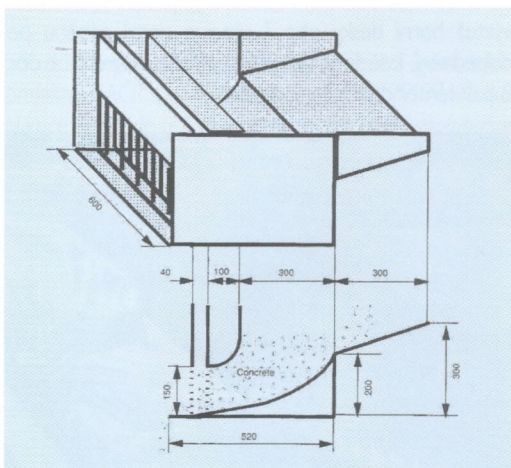
Fig. 4 Precast
concrete tank
made of SCC

avšak v současné době musí být doplněny zkušebními odlišit navržené směsi v podmínkách simulujících přijatý způsob ukládání. Během výstavby pak tyto jednoduché zkoušky slouží jako kontrolní prostředek zajišťující, že je dodávána stejnoměrná směs. Příklad zařízení pro zkoušení na stavbě je uveden na obr. 3. Normové zkoušky pak situaci usnadní, zjednoduší a sníží náklady.

SAMOZHUTNITELNÝ BETON V PREFABRIKACI A PRO MONOLITICKÉ KONSTRUKCE

Aplikace samozhutnitelného betonu je efektivní jak v prefabrikaci, tak i v monolitických konstrukcích. Požadavky na vlastnosti SCC nejsou však shodné. Využití SCC v prefabrikaci lze označit za relativně snazší zejména z důvodu stabilních podmínek výroby a ukládání směsi. Většina výroben má vlastní betonárnu v blízkosti výrobní haly, kde se beton ukládá. Z toho plyne, že doba potřebná pro dopravu směsi z betonárny k formě je velmi krátká, a stačí proto udržet zpracovatelnost po omezeně dlouhou dobu, která je stabilní a je definována místními podmínkami. Obvykle postačuje doba 15 až 30 minut. Stabilní poloha betonárny umožňuje odběr surovin od stálých dodavatelů a tím i zaručení stejnoměrnosti dodávek. Zpracování betonu je standardní, stálým kádrem zkušených pracovníků. Minimalizuje se též vliv prostředí a ročních období.

Vyloučení vibrace je zde obrovským přínosem, který v podmínkách výrobní haly výrazně zlepšuje pracovní prostředí (hluk a otřesy) a zrychluje postup výroby. S výjimkou specializovaných procesů, jako je např. kontinuální betonáž předpjatých dutinových panelů, se zcela



Obr. 3 Zařízení
pro zkoušení
zpracovatelnosti
betonu na stavbě

Fig. 3 Equipment
for testing
concrete
workability
on the site

Obr. 5
Prefabrikovaná
nádrž – detail

Fig. 5 Precast
concrete
tank-detail
of an edge



eliminuje použití vibrátorů. Kromě toho pro menší série výrobků postačují dřevěné lehčí formy (namáhané pouze staticky) místo nákladných ocelových forem dimenzovaných na účinky vibrace. Pro prefabrikaci je vhodné navrhovat SCC s rychlým nárůstem pevnosti, aby bylo možné rychlé odformování a opakované využití forem. Dosažení dostatečně rychlého nárůstu pevnosti není pro SCC zásadní problém. Použití SCC je proto velmi efektivní a vede k omezení počtu pracovníků a vyšší kvalitě povrchu.

U monolitických konstrukcí se zatím u nás aplikoval SCC vyrobený ve stabilních betonárnách. Tam je možné zajistit spolehlivý přísun surovin se zárukou jejich stabilních vlastností. Doprava SCC pomocí automixů na staveniště vyžaduje, aby byla zpracovatelnost zajištěna po delší dobu – minimálně 90 min. Těž je nutné zajistit zpracovatelnost za různých teplotních podmínek během dopravy a ukládání směsi. Směs musí být proto podstatně stabilnější a méně citlivá na různé odchylky vlastností vstupních surovin, než je tomu u výroby prefabrikátů, což lze docílit vhodnými přísadami a upraveným dávkováním. Požaduje se odzkoušení zpracovatelnosti na stavbě před uložením betonu, aby bylo možné vyloučit případy, kdy beton nevhodné konzistence bude uložen do bednění.

Není-li možné prokázat skutečný tlak na bednění zkušební odléváním předem, musí být bednění dimenzováno na plný hydrostatický tlak, který je vyšší než tlak vyvolaný tradičním vibrovaným betonem. Utěsnění však nepůsobí problémy a únik čerstvé směsi, cementového mléka, je normálně vlivem koheze podstatně menší. Větší podíl jemných součástí rovněž poskytuje vyšší kvalitu povrchu a menší viditelnost pracovních spár. U masivních monolitických konstrukcí je nutné sledovat vývoj hydratačního tepla. Rychlý postup betonáže vede k snadné betonáži tlustých vrstev a tím k možnosti, že vyvinuté teplo nebude mít možnost uniknout. Hydratační vlastnosti použitých cementů, včetně jemných přísad, musí být proto vzaty v úvahu při navrhování postupu betonáže. Praxe však ukazuje, že vzhledem k tomu, že obsah cementu je stejný nebo menší než pro tradiční vibrovaný beton stejné pevnosti, jsou normální opatření dostačující.

PŘÍKLADY APLIKACE SCC V ČR

Během roku 2000 došlo v ČR k vývoji SCC na několika pracovištích a též k následnému využití při betonáži reálných konstrukcí. Jako příklad lze uvést výrobky podniku Dywidag Prefa Lysá n. L., kde se osvědčily výhody použití SCC v prefabrikaci. Válcové nádrže se betonují v obrácené poloze a dosahují vysoké kvality povrchu a hran (obr. 4, 5). Dále se z SCC vyrábějí schodišťová ramena, stěnové nosníky, žlabové prefabrikáty, desky pro filigránové stropy, apod. Používá se cement tř. 52,5, který zajišťuje rychlý náběh pevnosti.

V oblasti monolitických konstrukcí je dobrým příkladem realizace železničního mostu na Zlíčově. Stavba realizovaná divizí 5 a.s. Metrostav použila SCC vyrobený v TBG Metrostav. Přípravě objemné betonáže (přes 2500 m³) byla věnována mimořádná pozornost při plánování betonáže i návrhu optimální betonové směsi. Dvě stěny tlusté 1,2 m z SCC o objemu téměř 600 m³ byly betonovány počátkem června. V srpnu následovala velká betonáž desky mostu o tloušťce 1,4 až 2,4 m a objemu přes 1800 m³.

Masivní charakter konstrukce a velké objemy betonu vedly k nutnosti ověřit vývoj hydratačního tepla a jeho vliv na teplotní režim při betonáži a během tuhnutí a tvrdnutí betonu. K tomu byla využita zkušební konstrukce základu dočasné lávky [9]. Postup betonáže a vliv na vývoj teplot v konstrukci byl dále počítán programem ANSYS ve spolupráci s Doc. Štastníkem z VUT Brno. Ten též provedl měření během betonáže. Výsledky ukázaly, že gradienty teplot ve výpočtu byly odhadnuty správně. Betonáž tlusté desky se prováděla ve 3 vrstvách za velmi vysokých teplot ovzduší. Během dne se teploty pohybovaly kolem 35°C, v noci cca o 10°C méně. Tím se absolutní teploty v betonu uvnitř desky dostávaly do oblasti 70 – 80°C. Přestože konstrukce obsahovala velmi hustou výztuž a betonáž proběhla při vysoké teplotě okolního vzduchu, nebyl pozorován na konstrukci vznik významných trhlin. Beton vykazoval rychlý náběh pevnosti, která dosáhla po 28 dnech cca 50 MPa. Na obr. 6 je patrná velmi hustá výztuž horní desky, obr. 7 ukazuje detail náběhu po odbednění, kde je vidět dobrá kvalita povrchu, a obr. 8 pak téměř dokončený objekt.

Obr. 6 Výztuž
desky železničního
mostu

Fig. 6
Reinforcement
of concrete deck
of a railway
bridge



ZÁVĚR

První aplikace SCC v Česku byly zdařilé a jsou dokladem o tom, že jde o materiál technicky i ekonomicky zajímavý; jehož vývoj není zdaleka ukončen, ale který již lze úspěšně použít v praxi. Výhody, které zavedení SCC přináší, jsou tak podstatné, že je pravděpodobně jen otázkou času, kdy SCC zcela nahradí tradiční vibrovaný beton všeho druhu. Výsledky dosavadního výzkumu a praktických aplikací všeobecně ukazují, že zatvrdlý SCC má vlastnosti stejné, nebo někdy lepší než tradiční vibrovaný beton. Je tedy velmi aktuální doplnit a rozšířit tuto znalost na veškeré prvořadě i druhotné vlastnosti a umožnit co nejširší využití SCC ve stavebnictví. Např. probíhají některé zkoušky s cílem zkoumat vliv složení SCC na dlouhodobé deformace zatvrdlého betonu – smršťování a do tvarování. Dále musí být ověřena odolnost SCC proti chemickým vlivům, povětrnosti apod. Ve všech případech je nutno si uvědomit, že SCC není pouze jeden druh speciálního betonu. V závislosti na výběru složek, podle někdy už zcela běžných pravidel, lze obdržet jak vysoko, tak i nízko pevnostní betony, které jsou samozhutnitelné v čerstvém stavu. Rovněž rozvoj a zlepšování plastifikačních přísad jistě přispěje k dalším úspěšným aplikacím.

Je nutné připomenout, že vyřešení technických otázek musí být doplněno vytvořením legislativních podmínek pro běžné využívání SCC. Příští výzkum se musí zaměřit na návrh a normalizaci praktických zkušebních metod pro zpracovatelnost, které by jednoznačně prokazovaly, zda bylo dosaženo předepsaných vlastností. To je proces dlouhodobý, avšak podstatný. Bez možnosti jednoznačné specifikace SCC by pokrok v aplikacích a technologii nebyl reálný. SCC lze však úspěšně použít už v současnosti. Investoři se mohou už dnes při realizaci i v ČR opřít o individuálně stanovené zkoušky, případně o posudky a poradu expertů, aby byla zajištěna kvalita a finanční výnos z realizovaných staveb dříve, než bude celý systém norem a předpisů vybudován.

V článku jsou využity poznatky z řešení grantových projektů GAČR č. 103/00/0615 a 103/99/0767. Publikace článku je též výsledkem mezinárodní spolupráce mezi ČBS – ČSSI a Britským svazem stavebních inženýrů (ICE).

Prof. Peter J. M. Bartoš

Director, Advanced Concrete and Masonry Centre,
University of Paisley, Paisley, PA1 2BE, Scotland, U.K.

Doc. Ing. Jan L. Vítek, CSc.

Metrostav, a. s.,

Koželužská 5, 180 00 Praha 8,

tel.: 02 6670 9317, fax: 02 6670 9193,

e-mail: vitek@metrostav.cz

a Stavební fakulta ČVUT, Praha



Obr. 7 Náběh desky mostovky po odbednění

Fig. 7 Haunched concrete bridge deck after the removal of formwork

Literatura:

- [1] Bartoš, P. J. M.: Výroba a vlastnosti speciálních betonových směsí, Sborník konference Betonářské dny 1995, Díl II/3, ČBS Pardubice 1995
- [2] Bartoš, P. J. M.: Samozhutňující beton (Selfcompacting concrete), Sborník konference Betonářské dny 1998, ČBS Pardubice 1998, 219-230
- [3] Bartoš, P. J. M., Marrs, D. L. and Cleland, D. J.: „Production Methods and Workability of Concrete“, E&FN SPON, London & RILEM Paris, 1996, 541 p. ISBN 0 419 22070
- [4] Vítek, J. L.: Samozhutnitelný beton, Materiály pro stavbu, 4/2000, 32-34
- [5] Skarendahl & Petersson: Proc. of the First International RILEM Symposium on Self-compacting concrete, Stockholm 1999, PRO 7, RILEM Publications, s.a.r.l., 1999
- [6] Okamura, H., Ozawa, K., Ouchi, M.: Self-compacting concrete. Structural Concrete, Journal of fib, Vol. 1, No. 1 3/2000, 3-18
- [7] Ferraris, C. F., Brower, L., Ozyildirim, C., Daczko, J.: Workability of self-compacting concrete. Proc. of the PCI/FHWA/fib International Symposium on High performance concrete, PCI, Sept. 2000, 398-407
- [8] Hela, R.: Metodika zkoušení vlastností čerstvých samozhutnitelných betonů. Betonářské dny 2000, ČBS 12/2000, 175-180
- [9] Mazurová, M., Marková, A., Vítek, J. L.: První velkoobjemová aplikace samozhutnitelného betonu v České republice. Beton a Zdivo 2000/3, 2-4



Obr. 8 Hotový železniční most

Fig. 8 Completed railway bridge