

# NOVÉ TRENDY V TECHNOLOGII BETONU

## NEW TRENDS IN TECHNOLOGY OF CONCRETE

MILADA MAZUROVÁ, VLADIMÍR VESELÝ,  
MICHAL ŠTEVULA

Beton, dnes jeden z nejpoužívanějších materiálů, je zároveň jedním z nejstarších. Podle Plinia existovaly v Egyptě v době asi 3 600 let př. Kr. sloupy z umělého kamene. V době Římské říše se již používal zcela běžně pod označením „concreto“. Caesarův vojenský stavitel Marcus Vitruvius Pollio ve svém spise „De architectura“ píše: „Existuje také jeden druh práškovitého písku (pozn. puzzolán), který přirozeným způsobem vytváří podivuhodné věci. Vyskytuje se v kraji u Bají, na území městeček ležících v okolí Vesuvu. Smíchán s pískem a vápnem a s drobným kamením dodává prášek pevnosti nejen stavbám vůbec, ale dokonce s jeho pomocí tvrdnou pod vodou hráze stavěné v moři. Zdá se, že tyto vlastnosti způsobuje horká půda a mnoho pramenů pod touto hornatou oblastí.....“.

Rychlého rozvoje kvality a použití se beton dočkal v 19. století s rozvojem hydraulických pojiv. Významnou kapitolou se stal železobeton (Monier, Hennebique) a v polovině století 20. pak předpjatý beton a transportbeton (viz článek „Čtyřicet let transportbetonu v Československu“ v čísle 4/2003).

Beton jako stavební materiál stále prochází vlastním technickým vývojem, který sleduje zejména požadavky na něj kladené ze strany projektantů, realizátorů i uživatelů staveb. První impuls pro široké uplatnění betonu, které začalo na počátku 20. století, byl dán poznáním, že beton je stavební materiál s dobrými mechanickými vlastnostmi a širokými možnostmi tvarování přímo na stavbě, jehož použití přináší nesporné úspory pracnosti v procesu výstavby. Zároveň s plošným rozšířením tohoto staviva došlo k prudkému rozvoji teoretického a praktického výzkumu

jak používaných materiálů, tak i betonu jako takového. S narůstáním poznatků a dlouhodobých zkušeností s užitím betonu se rozšiřovaly i další možnosti pro jeho modifikované použití. Téměř po celé předcházející století vycházel vývoj tohoto materiálu z rozšiřování spektra mechanických vlastností.

Po získání dlouhodobých zkušeností s funkcí betonu v konstrukcích v časovém horizontu 50 až 100 let, zejména po získání poznatků o trvanlivosti betonu v různých podmínkách klimatických a s narůstajícími zkušenostmi s negativními vlivy znečištěného prostředí, se na konci 20. století začíná stále více uplatňovat požadavek na trvanlivost betonu v čase. Zásadním přelomem v přístupu k betonu v Evropě bylo ukončení procesu standardizace technických požadavků vydáním jednotného evropského normativního předpisu EN 206-1. Základní filosofí tohoto předpisu je zaručit životnost betonu v konstrukci po dobu alespoň 50 let, tedy po dobu předpokládané morální životnosti stavby, s ohledem na mechanické namáhání stavby ale i nepříznivé vlivy prostředí, kterým beton ve stavbě vzdoruje. To jistě povede ke zvýšení bezpečnosti staveb a z hlediska dlouhodobého i k úspoře nákladů souvisejících s následnou údržbou i případnými vynucenými opravami.

Tento přístup vyžaduje nové přístupy i v technologii betonu při navrhování receptur. Na samém počátku návrhu je třeba pečlivě definovat prostředí a podmínky, za jakých bude beton do konstrukce zpracováván a za jakých bude následně fungovat. Dále je třeba odpovědně volit materiály a jejich množství, které zásadně ovlivňují vlastnosti betonu. Do popředí se v současnosti dostává celkový obsah alkálií (s ohledem na možnost pozdější alkalicko-křemičité reakce), obsah chloridů (s ohledem na ochranu výztuže), celkový obsah jemných částic nebo cementového tmelu



Obr. 1 Řez vysokopevnostním betonem, TBG Metrostav, s. r. o.

Fig. 1 Section of high-strength concrete, TBG Metrostav, Ltd.



Obr. 2 Struktura „jádra“ krychle z vysokopevnostního betonu po zkoušce pevnosti v tlaku, TBG Metrostav, s. r. o.

Fig. 2 Structure of the "core" of a cube from high-strength concrete after the compression test of strength, TBG Metrostav, Ltd.



Obr. 3 Beton  
a – bez mikrosiliky,  
b – s mikrosilikou,  
TBG BETONMIX,  
s. r. o.

Fig. 3 Concrete:  
a) without microsilica,  
b) with microsilica,  
TBG BETONMIX, Ltd.





Obr. 4 Barevný beton, TBG Metrostav, s. r. o.  
Fig. 4 Coloured concrete, TBG Metrostav, Ltd.

(smršťování), délka zpracování a řada dalších. Při řešení těchto úloh narůstá význam chemických přísad, umožňujících daleko pestřejší modifikaci vlastností betonu.

Dosud nejpoužívanějším druhem plastifikátorů jsou plastifikátory na bázi lignosulfonátů (přírodní chemické struktury obsahující sulfonátovou a hydroxylovou skupinu). Tyto přísady jsou užívány již dlouhodobě a zajišťují poměrně dobrou zpracovatelnost čerstvého betonu v čase. Jejich nevýhodou z pohledu požadavku dnešní doby je ne příliš velká možnost redukce záměsové vody a určité zpomalení procesu tuhnutí. Dalším typem přísad, které již mají tradici desetiletí jsou superplastifikátory, látky vyráběné na syntetické bázi. Základními druhy jsou formaldehyd-nafalén-sulfonáty (SNF) a formaldehyd-melaminsulfonáty (SMF). Tyto přísady vnesly do betonu vyšší stupeň ztekucení, tedy možnost podstatnější redukce záměsové vody bez, nebo jen s nepatrným vlivem na proces tuhnutí betonu. V současnosti se v oblas-

Obr. 6 Rekonstrukce kanalizace v Brně – plnění bednění, realizace SUBTERRA, a. s.; SCC betony v objemu 1100 m<sup>3</sup>, TBG Betonmix, a. s., betonáž po krocích 13,5 až 27 m<sup>3</sup> v únoru až červnu 2003; technologie betonu BETOTECH, s. r. o.: pevnost betonu 46,3 +/- 2,5 MPa, objemová hmotnost 2250 +/- 30 kg/m<sup>3</sup>, konzistence 705 +/- 35 mm rozlití obráceného Abramsova kužele, čas odbednění 16 až 20 hod.; stavební chemie Sika CZ, s. r. o.

Fig. 6 Reconstruction of sewerage in Brno – filling of the formwork



Obr. 5 Detail betonové směsi čerpané 30 m pod zem pro betonáž klenby ve stanici metra Kobylisy, TBG Metrostav, s. r. o.

Fig. 5 Detail of concrete mix pumped to the depth of 30 m below the ground for concreting of the vault in metro station Kobylisy, TBG Metrostav, Ltd.

ti stavební chemie do betonu stále více uplatňují superplastifikátory nové generace na bázi polykarboxylát-polyoxyetylenu (PCP), které vyvolaly zhruba před 15 lety revoluci v průmyslu výroby přísad. Stavba molekul těchto přísad je zcela odlišná od předchozích a někdy bývají označovány jako „hřebenové polymery“. Míra ztekucení čerstvého betonu, případně redukce záměsové vody, je značně vyšší než u předchozích superplastifikátorů (SNF, SMF) a jejich užití umožňuje výrobu samozhutnitelných a samonivelačních směsí. Vedlejším účinkem těchto přísad může být poněkud vyšší provzdušňování čerstvého betonu a zpomalení tuhnutí. Dosud posledním krokem ve vývoji superplastifikátorů jsou chemické struktury na bázi amino-fosfát-polyoxyetylenu (APP). Tyto superplastifikátory se vyznačují zejména vysokým stupněm stability konzistence. Použitím superplastifikátorů nové generace je možné dosáhnout velkého zlepšení užitných vlastností betonu pokud jde o snížení obsahu záměsové vody a ztráty zpracovatelnosti. Trendem v dalším vývoji bude jistě minimalizace vlivu plastifikátorů na dobu tuhnutí, míru nebo stabilitu provzdušňování

Obr. 7 Kolektor v Brně, stanovení konzistence metodou slum-flow test  
Fig. 7 Collector in Brno, consistency determination by the slum-flow test





Obr. 8 Kolektor v Brně – stabilní SCC v bednění  
Fig. 8 Collector in Brno – stable SCC in formwork



Obr. 9 Kolektor v Brně – odbedněná konstrukce  
Fig. 9 Collector in Brno – the structure after formwork removal

a možnosti jejich použití při eliminaci sedimentace čerstvého betonu. Rovněž bude třeba řešit kompatibilitu přísad se všemi typy cementů a dalšími typy přísad.

#### VYSOKOPEVNOSTNÍ A VYSOKOHODNOTNÉ BETONY

Vysokopevnostní a vysokohodnotné betony začaly ve světě vznikat již v devadesátých letech a jejich rozvoj dále pokračuje i přes jejich vyšší cenu. Princip dosažení vysokých pevností betonu spočívá v rovnoměrnější a hutnější struktuře betonu s minimem pórů a zvětšení podílu zhydratovaného cementu. Jako spodní hranice pro vysokopevnostní betony se považuje pevnost v tlaku po 28 dnech 60 MPa. Horní hranice není určena. V Japonsku byla postavena lávka z betonu o pevnosti 210 MPa. V Evropě jsou známé příklady staveb z vysohodnotného betonu z Norska, Holandska, Dánska, Francie. Přestože v České republice jsou dnes tyto betony již normovány a některé betonárny mají zpracovány technologie výroby a dopravy vysokohodnotného transportbetonu a beton např. C 60/75 certifikován, není doposud projektantů tento beton navrhován a využíván.

Pro vysokohodnotné betony se používají portlandské cementy v dávkách 450 až 800 kg/m<sup>3</sup>, drobné těžené kamenivo, hrubé

drcené kamenivo o vysoké pevnosti (obr. 1 a 2), příměsi a přísady. Nejčastěji užívanou příměsí je mikrosilica (křemičité úlety) v dávkách 20 až 200 kg (obr. 3), jemně mletý vápenec, mikromletá struska, elektrárenský popílek, kamenné fillery. Pro zvýšení houževnatosti byl do některých betonů aplikován přídatek výztuže ze speciálních ocelových vláken a to v dávkách až 150 kg/m<sup>3</sup>. Jako přísady se obvykle užívají vysoce účinné superplastifikátory na bázi polykarboxilátů. Do určitých konstrukcí byla rovněž přidávána expanzní přísada omezující smrštění. Některé betony byly vyrobeny jako ultrajemné s maximálním zrnem kameniva 0,6 mm a s přídatkem ocelového prachu. Materiálové charakteristiky, technologie výroby, ukládání a ošetřování vysokopevnostních a vysokohodnotných betonů jsou dnes již poměrně dobře prozkoumané a publikované.

Vysoké pevnosti těchto betonů dovolují mnohem subtilnější konstrukce a tím nižší objem betonu a snížení množství výztuže. Neefektivnější oblast využití vysokopevnostních betonů jsou svíslé nosné prvky namáhané velkou osovou silou a malým ohybovým momentem. Dále se používají s výhodou ve spřažených konstrukcích. Rozvoj použití vysokohodnotných betonů je zaznamenán ve světě i v mostním stavitelství, kde tento beton zaru-

Obr. 10 Silniční obchvat Čáslav-Golčův Jeníkov, dodávka cementů Holcim (Česko), a. s., člen koncernu

Fig. 10 By-pass between Čáslav and Golčův Jeníkov, delivery of cements Holcim (Czech Republic), JSC, member of concern



Obr. 11 Estakáda Hlubočepy-Barrandov, dodávka cementů Holcim (Česko), a. s., člen koncernu

Fig. 11 Elevated road between Hlubočepy and Barrandov, delivery of cements Holcim (Czech Republic), JSC, member of concern





Obr. 12 Výrobní transportbetonu z počátku 70. let (Praha – Ďáblice)  
Fig. 12 Mixing plant at first 70. years (Prague – Ďáblice)



Obr. 13 Skládka kameniva u výroby transportbetonu z počátku 70. let  
Fig. 13 Dump aggregate at the mixing plant at first 70. years



Obr. 14 Současná výrobní transportbetonu s uskladněním kameniva v zásobnících (Praha–Holešovice, Skanska Transbeton, s. r. o.)  
Fig. 14 Recent mixing plant with aggregate stored in silos



Obr. 15 Zařízení pro recyklaci čerstvého betonu  
Fig. 15 Facility for recycling of fresh concrete

čuje nejen lepší trvanlivost, ale otevírá též možnost hospodárnějších návrhů. Ve spojení se samozhutnitelným betonem, který odbourává vliv lidského faktoru na výslednou kvalitu a zvyšuje rychlost betonáže, dochází přes vyšší finanční náročnost vysokohodnotného betonu k úsporám nejen při výstavbě, ale i při budoucí údržbě, neboť degradační procesy se u vysokohodnotného betonu výrazně zpomalují a redukují se tak finanční prostředky potřebné na opravy.

#### VÝROBA TRANSPORTBETONU A ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

Každý z nás má v živé paměti obrázky z dob „budování lepších ztříků“, kdy u betonáren pojížděly automixy po nápravě se brodící bahnem a chůze byla nebezpečná i ve vysokých holínkách (obr. 12 a 13). V kontrastu s touto vzpomínkou je aktuální skutečnost.

Dnes je většina betonáren moderní výrobnou se špičkovým

strojním vybavením, poskytující velmi kultivované pracovní prostředí. Výroba betonu se musí řídit současnými legislativními předpisy, jejichž značná část se věnuje ochraně životního prostředí (obr. 14). Při výstavbě nových a rekonstrukcích stávajících výroben betonu jsou pak požadavky na minimální hlučnost, prašnost, nakládání s odpady apod., zahrnuty již ve fázi projektu. Zcela standardním vybavením výroby transportbetonu je zařízení na recyklaci zbytkového betonu (obr. 15). Beton je zde rozdelen na kamenivo a kalovou vodu, které jsou znovu použity při výrobě betonu. Samozřejmě součástí vzhledu betonáren je i úprava okolí ozeleněním a z hlediska estetického, obchodního a reklamního perfektní vzhled celého strojního zařízení.

Důraz na ekologickou stránku výroby betonu se odráží v pravidelném vyhodnocování „Ekologické betonárny“ evropským (ERMCO) i českým (SVB ČR) svazem výrobců transportbetonu.

Fotografie z archívu členů SVB ČR

Ing. Milada Mazurová  
TGB Metrostav, s. r. o.  
Rohanské nábř. 68, 186 00 Praha 8  
www.tbg-metrostav.cz

Ing. Vladimír Veselý  
Betotech, s. r. o., 266 01 Beroun 660  
tel.: 311 644 763, fax: 311 644 710  
e-mail: vladimir.vesely@cmeem.cz

Ing. Michal Števíla, PhD.  
Svaz výrobců betonu ČR  
Na zámecké 9, 140 00 Praha 4  
e-mail: svb@svb.cz, www.svb.cz