

## Doba betonová

Jsme v druhé polovině posledního roku druhého tisíciletí. Lidstvo prošlo během své historie etapami, které byly charakterizovány možnostmi a schopnostmi zpracovávat a technicky využívat suroviny pro svůj prospěch a rozvoj. Doba kamenná trvala několik tisíc let, doba bronzová více než dva tisíce let, doba železná cca 800 let.

V posledním století druhého tisíciletí ovlivnil oblast stavebnictví zcela zásadním způsobem vynález železobetonu a jeho masové využívání pro stavby pozemní i inženýrské. Prakticky žádná větší stavba se v současnosti neobejde bez betonu (ať již je to třeba pouze v základové konstrukci nebo v podlahách). Představme si jak by vypadala výstavba domů, mostů, továren, silnic, tunelů, letišť, stadionů, přehrad, chladicích věží atd. atd. bez vynálezu betonu a železobetonu.

Beton a železobeton prošel během posledního století revolučním vývojem. Na počátku století dosahovala pevnost betonu v tlaku 5 až 17 MPa, o sto let později jsou k dispozici betony s pevnostmi až téměř desetinásobnými. Zásadním způsobem se měnila a mění technologie zpracování betonu. Význam dosud posledního z vývojových krůčků – samozhutitelného betonu – jsme ještě neměli možnost zcela docenit a hlavně dostatečně efektivně využít. Změny ve vlastních materiálech umožňují i vývoj a změny v konstrukčních řešeních a zároveň vyžadují zkvalitňování teoretických předpokladů a výpočetních aparátů nutných pro efektivní a především spolehlivý návrh.

Časopis Beton a zdivo se Vás již 7 let snaží informovat o aktuálních novinkách v oblasti vývoje, výzkumu, projekce a realizace betonových a zděných staveb. Hlavní snahou je podávat nezávislé a co nejobektivnější informace a upozorňovat tak na klady uvedených konstrukčních materiálů a jejich technického využití, ale i na případná úskalí a nebezpečí vyplývající z jejich nevhodného použití.

Možná, že jsme ještě stále na počátku doby betonové, možná, že vývoj a změny v materiálech povedou k ještě radikálnějších technologickým a konstrukčním změnám, možná se objeví nové, ještě efektivnější kompozity. V každém případě chce ČBZ a časopis Beton a zdivo být v kontaktu s neaktuálnějšími vývojovými trendy i v třetím tisíciletí a získané informace Vám čtenářům poskytovat.

*Petr Hojník*

## První velkoobjemová aplikace samozhutitelného betonu v České republice

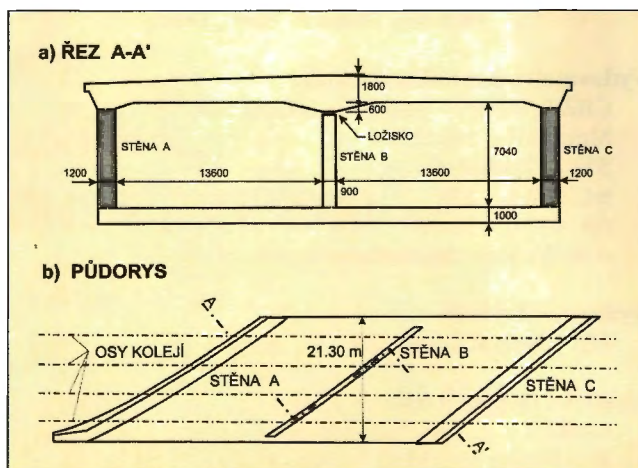
*The First Large-Scale Application of Self-Compacting Concrete in the Czech Republic*

Milada Mazurová, Alena Marková, Jan L. Vítek

Samozhutnitelný beton vyrobený v TBG Metrostav byl po sérii laboratorních zkoušek a drobnějších aplikací použit na velkoobjemovou betonáž mohutných stěn železničního mostu v Praze na Zlíchově. Stěny tlusté 1,2 m a vysoké 6,5 m (objem 315 resp. 250 m<sup>3</sup>) s mimořádně hustou výztuží byly betonovány ve třech resp. ve dvou betonážních cyklech. Dosažená kvalita přesáhla parametry běžné u klasických stěn z vibrovaného betonu. Krychlená pevnost naměřená po 28 dnech byla 50 MPa.

*Self-compacting concrete produced in TBG – Metrostav was used for casting of two large walls of the railway bridge in Prague Zlíchov following a series of laboratory tests and minor applications. The two walls 1.2 m thick and 6.5 m high (315 m<sup>3</sup> and 250 m<sup>3</sup>, respectively), with extremely dense reinforcement were cast in 3 and 2 stages, respectively. The achieved quality of hardened concrete exceeded the parameters typical of walls made of ordinary compacted concrete. The cube strength after 28 days was about 50 MPa.*

Společnost TBG Metrostav s. r. o. se již téměř rok věnuje vývoji samozhutitelného betonu. V počátečních fázích byly zkoumány složky, jejich vlastnosti a možnosti aplikace v měřítku reálné výroby pro použití v praxi. Pak se přistoupilo ke zkoušení jednotlivých druhů směrů a odlaďování složení samozhutitelného betonu s ohledem na jeho vlastnosti v čerstvém stavu a po zatvrdnutí. Kromě technologických a mechanicko fyzikálních parametrů byla sledována i ekonomická hlediska s cílem nabídnout kvalitní i cenově atraktivní alternativu běžným betonům.

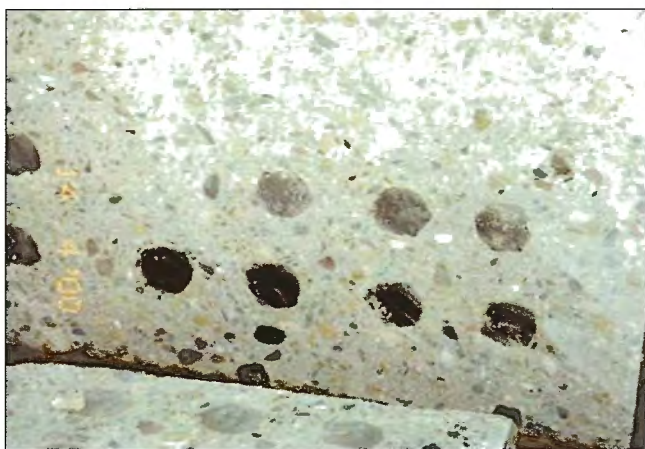


Obr. 1 – Schéma konstrukce železničního mostu / Layout of the railway bridge

Po odzkoušení řady druhů betonu na úrovni laboratorních zkoušek se přešlo k provozním zkouškám.

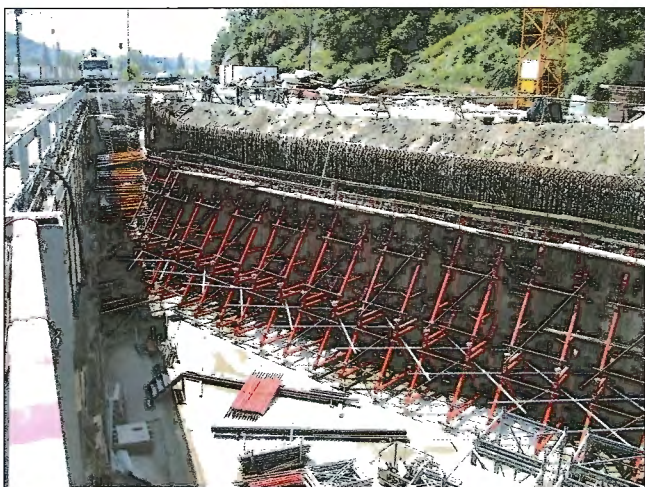
Výroba v TBG Metrostav je zaměřena na transportbeton. Proces zahrnuje výrobu betonu, dopravu na místo určené a uložení betonu do bedně. Specifické vlastnosti samozhutitelného betonu ovlivnily způsob dávkování složek, dobu míchání, časové limity k uložení betonu do bedně i vlastní ukládku. Celý proces byl odlaďován na řadě drobných aplikací za různých podmínek prostředí (zimní a letní období, dopravní problémy, přímá ukládka nebo čerpání betonu).

Samozhutnitelný beton je zejména vhodný pro konstrukce složitých tvarů, které jsou velmi hustě vyztuženy. V oblasti Zlínova je navržen železniční most, který převádí železniční trať Praha – Plzeň přes čtyřpruhovou směrově rozdělenou komunikaci městského okruhu. Jde o zcela výjimečnou stavbu. Mimořádná šikmost rámové deskostěnové konstrukce, která je plošně založena pod úroveň podzemní vody, a zatížení 4 kolejemi vedlo k návrhu masivního uzavřeného sduženého rámu s dvěma otvory, který tvoří jeden dilatační celek. Kolmá světlost tlustých desek mostovky je pouze 13,6 m, avšak kosodélníkový tvar půdorysu rámu má delší úhlopříčku téměř 100 m dlouhou (obr. 1b). Rozměrná konstrukce ve spojitosti s velkou šikmostí jsou příčinou značné citlivosti na teplotní účinky a objemové změny. Vyztužení stěn a zejména desky mostovky je proto mimořádně silné. Dodavatel konstrukce (Divize 5 a. s. Metrostav) byl postaven před problém, jak takovou konstrukci realizovat. Použití samozhutnitelného betonu se jeví jako ideální možnost, jak beton dostat mezi hustou sítí vyztužných prutů.



Obr. 2 – Zabetonovaná ocelová výztuž v testovacím elementu / Reinforcement cast in the experimental element

V počátečních úvahách se předpokládalo, že základová deska a 3 nosné stěny budou betonovány klasicky. Samozhutnitelný beton se plánoval na betonáž horní desky. Po vybetonování základové desky se betonovala střední stěna – vše klasickým způsobem. Potíže s vibrací u střední stěny v husté výztuži při výšce stěny přes 6 m se přehodnotilo původní rozhodnutí a již obě krajní stěny byly betonovány ze samozhutnitelného betonu.



Obr. 3 – Bednění jižní stěny (A) / Formwork of south wall (A)



Obr. 4 – Povrch a kolmá hrana betonové stěny / Surface and edge of the concrete wall

Společnost TBG Metrostav – dodavatel betonu – byla využívána k uplatnění dosud dosažených výsledků. Než byl uložen beton do stěn, byl vybetonován zkušební element (základ dočasné lávky) s hustou modelovou výztuží. Sloužil k měření vývoje hydratačního tepla a po zatvrdnutí byl rozříznut, aby bylo možné zkontrolovat, zda hustá výztuž byla obalena betonem. Obr. 2 ukazuje, že samozhutnitelný beton je schopen skutečně vyplnit celý prostor mezi výztuží. Experimentální prvek betonovaný v dubnu v chladném počasí prokázal, že beton je vhodný pro reálnou aplikaci.

Stěna A (obr. 1) má délku téměř 40 m, tloušťku 1,2 m a výšku 6,5 m. Bylo nutné uložit přes 300 m<sup>3</sup> betonu. Jednostranné bednění stěny typu PERI (obr. 3) bylo staticky posouzeno na zvýšený tlak betonu vlivem tekutosti. Stěna byla betonována ve třech vrstvách, neboť vyšší vrstva by vyžadovala neúměrné zesílení bednění.

Stěna C je kratší, její délka je pouze asi 32 m a její objem činí přibližně 250 m<sup>3</sup>. Tloušťka a výška je shodná se stěnou A. Stěna C byla betonována o týden později než stěna A a po zkušebnostech bylo rozhodnuto betonovat pouze ve dvou vrstvách.

Samozhutnitelný beton byl vyráběn v betonárně TBG Metrostav v Radlicích. Tam byla ověřována zpracovatelnost testem rozlité kužele. Vzhledem k mimořádně vysokým teplotám v období betonáže – kolem 30 °C – byla určena konzistence definovaná rozlitem kužele 700 – 720 mm. Test pomocí L-boxu indikoval rozdíl hladin 15 mm. Další kontrola zpracovatelnosti se prováděla přímo na staveništi před uložením betonu do bednění. Při delší dopravě nebo velmi vysoké teplotě prostředí může dojít k poklesu zpracovatelnosti (snížení průměru rozlité), což lze kompenzovat doplněním plastifikátoru do autodomíchávače. Úprava konzistence vodou není vhodná. Přidáním vody dochá-



Obr. 5 – Ostrá hrana stěny / Sharp edge of the wall

zí v betonu k následné segregaci hrubého kameniva, což je nepříznivé z hlediska kvality betonu a též může dojít k ucpání čerpadla. Doba zpracování samozhutňujícího betonu byla přibližně 2 hodiny v závislosti zejména na teplotě vnějšího prostředí. Z autodomíchávače se beton čerpal přímo do bednění. Místa pro umístění hadice čerpadla, kde bylo nutné vynechat prostor v husté výztuži, byla ve vzdálenostech přibližně 10 m. Bednění bylo zcela vyplněno betonem v celé délce stěny bez dalších úprav.

Samozhutnitelný beton obsahuje cement tř. CEM I 42,5 R, drobné a hrubé těžné kamenivo nepřesahující velikost zrna 16 mm, jemné plnivo a superplastifikační přísadu. Zkoušky samozhutnitelného betonu prokázaly, že požadavky kladené na původně navržený beton byly splněny se značnou rezervou. Vývoj pevnosti v čase ilustruje tab. 1 a vývoj modulu pružnosti uvádí tab. 2.

Tab. 1 – Vývoj pevnosti samozhutnitelného betonu v čase / Time development of the compression strength

Čas [den]	Pevnost v tlaku [MPa]
1	7,6
3	32,6
7	40,2
28	50,8

Tab. 2 – Vývoj modulu pružnosti v čase / Time development of the elastic modulus

Čas [den]	Modul pružnosti [GPa]
4	24
28	30



Obr. 6 – Spodní stavba mostu před montáží bednění pro horní desku / Bridge substructure before the assembly of the formwork of the bridge deck

Počátek tvrdnutí byl zjišťován v závislosti na vývinu hydratačního tepla a vzhledem ke změnám vnějších klimatických podmínek se pohyboval v rozmezí 10 až 15 hodin po zamíchání betonu.

Při betonáži stěn železničního mostu se prokázalo, že samozhutnitelný beton představuje plnohodnotnou alternativu ke klasickému betonu. Velmi hustá výztuž byla zcela obalena betonem, který spolehlivě protékal kolem jednotlivých výztužných prutů. Přitom nedocházelo k rozměšování směsi nebo k segregaci hrubého kameniva. Rovněž odlučování vody nebylo pozorováno. Po odbednění byla kvalita povrchu betonu porovnávána se stěnou B, která byla betonována klasickým způsobem z vibrovaného betonu. Přestože její kvalita byla dobrá, samozhutnitelný beton dosahoval lepší kvalitu provedení hran a povrchu. Množství vznikajících bublinek na povrchu lze omezit způsobem betonáže, kvalitou bednicích desek a druhem odbedňovacího nátěru.

Obr. 3 ilustruje jednostranné bednění jižní stěny (A). Mohutná konstrukce příhradových vzpěr je nutná vzhledem k výšce stěny přesahující 6 m a značnému hydrostatickému tlaku ztekuceného betonu. Obr. 4 a 5 znázorňuje kvalitní provedení hran konstrukce. Ostrá hrana na obr. 5 není konečná, na ni navazuje další konstrukce. Prokazuje však, jaké možnosti samozhutnitelný beton poskytuje. Obr. 6 ukazuje celkový pohled do stavební jámy před výstavbou skruže pro horní desku mostu.

Samozhutnitelný beton bude koncem léta 2000 aplikován na horní desku mostu. Další probíhající zkoušky, prováděné též ve spolupráci se Stavební fakultou ČVUT, budou základem pro stanovení postupu betonáže tlusté a rozměrné horní desky mostu.

V článku jsou uveřejněny některé výsledky grantového projektu GAČR č. 103/00/0615.

Ing. Milada Mazurová, Ing. Alena Marková, TBG Metrostav, s. r. o., Rohanský ostrov, 186 00 Praha 8  
 Doc. Ing. Jan L. Vátek, CSc., Metrostav, a. s., Koželužská 2246/5, 180 00 Praha 8 a Stavební fakulta ČVUT, Thákurova 7, 166 29 Praha 6