

Dvacet let samozhutnitelného betonu v České republice

První zmínky o samozhutnitelném betonu (SCC – self-compacting concrete) pronikly mezi české betonáře právě před dvaceti lety, kdy vznikl projekt EU pro jeho zavedení do evropské praxe. Českou betonářskou veřejnost se samozhutnitelným betonem seznámil na VI. konferenci *Betonářské dny* v prosinci roku 1998 prof. Dr. Peter J. M. Bartos z University of Paisley ze Skotska. Představil jeho historický vývoj, hlavní výhody a poukázal na některé materiály, ze kterých je možné tento typ betonu vyrobit. Nastínil také možnosti zkoušení. V současnosti je už v ČR samozhutnitelný beton běžným produktem.

Na dokonalém zhutnění betonu je závislá pevnost a trvanlivost betonové konstrukce jak v pozemním, tak v inženýrském stavitelství. Tradiční zhutnění betonu probíhá pomocí vibrace čerstvé betonové směsi. Při hustém vyztužení je použití vibrátorů často velmi obtížné nebo i nemožné. Samozhutnitelný beton nedostatečné zhutnění betonu v konstrukcích eliminuje. SCC má vysokou tekutost, ale zároveň je dostatečně soudržný, aby byl odolný vůči segregaci. SCC musí protéct mezi jednotlivými pruty vyztuže, aniž by se změnilo jeho složení. Při plnění formy nebo bednění dosáhne požadovaného tvaru bez vibrace. Výrobu SCC umožnily na konci 90. let nové typy superplastifikačních přísad na bázi polykarboxylátů.

Na Betonářských dnech v roce 1999 pedagogové a výzkumníci z VUT v Brně popsali první zkušenosti s navrhováním složení a zejména se zkoušením samozhutnitelného betonu.

Zlíchovský most – první významná realizace v ČR

Ve spolupráci s dodavatelem plastifikačních přísad začali tento beton vyvíjet i jednotliví výrobci betonu. TBG Metrostav, s. r. o., dodal samozhutnitelný beton v roce 2000 pro železniční most v Praze na Zlíchově. Byla to první konstrukce v ČR, kde byl použit samozhutnitelný beton ve velkém měřítku. Dodavatel stavby sledoval projektové práce na objektu a byl si od počátku vědom toho, že mimořádně hustá vyztuž přinese problémy s betonáží. Nový beton byl testován v laboratorních podmínkách i na modelovém základu s podobným vyztužením, jaké bylo projektováno pro desku mostovky přímo v podmínkách staveniště. Na modelu, který byl později rozříznut, aby bylo možné zkontrolovat probetonování husté vyztuže, byl též měřen vývoj teplot vlivem hydratačního tepla.

Původní plán předpokládal využití samozhutnitelného betonu pro desku mostovky. Zkušenosti s betonováním střední stěny vedly k urychlení

vývoje nového betonu a k jeho využití též pro krajní stěny mostu o tloušťce 1,2 m. Samozhutnitelný beton působí na bednění větším hydrostatickým tlakem než obyčejný beton, proto bylo rozhodnuto betonovat jižní stěnu ve třech záběrech s přestávkami několik hodin. První velkoobjemová aplikace samozhutnitelného betonu v ČR (jižní stěna cca 350 m³) přinesla cenné zkušenosti ohledně vlastností samozhutnitelného betonu v podmínkách stavby, dopravy v hustém městském provozu a chování za mimořádně vy-

sokých teplot prostředí, které přesahovaly 30 °C. Po odbednění bylo konstatováno, že kvalita povrchu je lepší než u střední, klasicky betonované stěny. Severní stěna mostu byla po zkušenostech s betonáží jižní stěny betonována již pouze ve dvou záběrech.

Deska mostovky byla neobvykle silná a rozměrná konstrukce. Maximální tloušťka v místě náběhů nad střední stěnou dosáhla 2,4 m a nejmenší tloušťka na konci náběhů u krajních stěn byla 1,4 m. Betonáží desky byla věnována mimořádná pozornost. Celkový objem desky činil 1800 m³. Sledovaly se různé varianty postupu betonáže. Od kontinuální betonáže celé desky najednou až po různé alternativy betonáže po vrstvách. Nejdílnou součástí bylo i teoretické sledování vývoje hydratačního tepla v masivní konstrukci. Výpočty byly prováděny specialisty na VUT v Brně v rámci spolupráce na výzkumném projektu. Na základě studií bylo rozhodnuto postupovat ve třech záběrech s odstupem několika hodin. Zkušenosti z této betonáže prokázaly, že samozhutnitelný beton vysoce přesáhl pevnostní požadavky projektu, umožnil dokonalé probetonování i v husté vyztuži a bylo dosaženo vysoké kvality povrchu. Samozhutnitelnému betonu se tak otevřela cesta k dalším konstrukcím.



Obr. 1: Betonáž mostu přes Seifertovu ulici



Obr. 2, 3: Detail vyztužení mostu přes Seifertovu ulici



Obr. 4: Zkouška rozlivu SCC pro most přes Seifertovu ulici



Obr. 5: Nové spojení, detail výztuže



Obr. 6-8: Betonáž konstrukce Nového spojení



Čerpání do bednění pomocí plnicího kusu

V roce 2002 byly na konferenci *Technologie, provádění a kontrola betonových konstrukcí* prezentovány další poznatky z betonáže samozhutnitelného betonu. Na stavbách podchodu pro pěší pod drážním tělesem v Roztokách u Prahy a v Praze v paláci Flora byl beton ukládán přímým čerpáním do bednění pomocí plnicího kusu, kdy beton do bednění nepadá, ale je přetlačován tlakem čerpadla.

Na stavbě roztockého podchodu – tunelu – byl beton čerpán pomocí čerpadla do bednění, v němž byl plnicí otvor umístěn u dna ve středu stěn a beton se roztékal do krajů. Betonová hladina stoupla k hornímu okraji bednění, aniž bylo nutno přemísťovat hadice nebo manipulovat s čerpadlem.

Na stavbě paláce Flora byl beton ukládán na extrémní vzdálenost do velmi hustě vyztužených stěn. Pro velký rozsah betonáže byla využívána dvě čerpadla, která čerpala zároveň. Z důvodu velmi složité konstrukce bylo nutné přistoupit k čerpání betonu dvojným způsobem. V prvním případě bylo mobilní čerpadlo napojeno na potrubí a následně na hadice. Koncová hadice mobilního čerpadla byla napojena přes plnicí kus, který byl umístěn

u dna, přímo do bednění. Ve druhém případě se jednalo o přečerpání betonové směsi do věžového stacionárního čerpadla a z něj potom následovalo ukládání betonu do konstrukce opět přes plnicí kus. Maximální vzdálenost mezi jednotlivými plnicími místy, kde byl beton do bednění napouštěn, byla větší než 20 m. Přesto beton dokázal zaplnit složité tvary bednění a vyplnit všechna místa s velmi hustou armaturou. Beton protékal mezi jednotlivými pruty výztuže, aniž by se znatelně změnilo jeho složení. Povrch stěn byl velmi dobrý.

Milánské stěny

Od roku 2003 se samozhutnitelný beton používá pro základové konstrukce podzemních, tzv. milánských stěn. První takto vybetonovaná velkoobjemová základová konstrukce byla v Praze na Těšnově na administrativním centru Diamond Point. Stěny byly upraveny frézováním a staly se součástí podzemních garáží.

Tunel Valík

V následujících letech byl samozhutnitelný beton použit na stavbě metra IV.C v Praze. TBG Metrostav, s. r. o., se podílel na vývoji a ukládání samozhutnitelného betonu do konstrukce středního

pilíře Tunelu Valík u Plzně v roce 2004. Středový železobetonový pilíř měl výšku 7,4 m, šířku v horní části 3,58 m a v dolní jsou části 3,00 m. Ve střední části je pilíř symetricky zúžen kruhovým obloukem o poloměru $R = 6,0$ m na šířku 1,236 m. Tvar pilíře sledoval budoucí tvar primární obezdívky obou tunelových trub. Protože existovaly obavy z vývinu nadměrného množství hydratačního tepla, předcházely vlastní betonáži pokusy s měřením, jejichž účelem bylo prověřit a zajistit průběh exotermní teplotní vlny hydratujícího cementu v betonové směsi nejprve ve fragmentu betonového monolitu, později i ve vlastním pilíři. Nejvyšší teplota tehdy dosáhla 69 °C.

SCC v mostních konstrukcích

Dále nelze nepřipomenout stavbu železničního mostu přes Seifertovu ulici, kde se kromě obvyklých pevnostních charakteristik sledoval i modul pružnosti a příčný tah. Unikátní byla stavba čtyřkojné železniční estakády přes Masarykovo nádraží v Praze, známé jako Nové spojení, uvedené do provozu v roce 2008. Pilíře estakády mají válcový dřík eliptického půdorysu, na tento dřík navazuje hlavice výšky 5,3 m, ve stěně se pilíř rozšíří z 9,6 na 13,0 m a opticky rozštěpí. Rozštěpené polovi-



Obr. 9: Betonáž pilířů Novovysočanské estakády



Obr. 10: Betonáž při rekonstrukci tunelů Národního divadla



Obr. 11: Detail vyztužení tunelů Národního divadla



Obr. 12, 13: Betonáž Trojského mostu



ny hlavice jsou spojeny střední zídou (diafragmatem). Pro pilíře byl navržen samozhutnitelný beton z cementu CEM II/B-S 32,5 – důvodem byla masivnost pilíře a husté vyztužení hlavice pilíře.

Mezi nejvýznamnější dopravní stavby v Praze v letech 2005 až 2007 patřila i stavba Vysočanské radiály. Silně dopravně a pohledově exponované mosty vyžadovaly maximální kvalitu provedení betonových konstrukcí. Celkové architektonické řešení stavby vycházelo ze snahy maximálního využití pohledového betonu mostních konstrukcí bez dodatečných povrchových úprav. Monolitické pilíře výšky 5,9–13,9 mají nepravidelný příčný řez tvaru „motýlek“. Požadavkem bylo provedení pilíře bez pracovní spáry na celou výšku.

Tunely Národního divadla

Na Masarykově nábřeží v Praze 1 byla v letech 2011 až 2012 prováděna rekonstrukce historických tunelů vedoucích do suterénu Národního divadla. Tunely byly rekonstruovány bez omezení provozu divadla a při zachování dopravy na nábřeží. Proto byl samozhutnitelný beton ukládán do tubusu tunelu svislými vrty ve vozovce. Původní tunely sloužily již od počátku výstavby Národního divadla. Přáním investorů i všech zú-

částných stavbařů bylo, aby toto technické dílo sloužilo dobře po stejnou dobu.

Trojský most

Na Trojském mostě v Praze byl do nepřístupných prostor zárodků oblouků ukládán samozhutnitelný beton C 80/95 tak, aby vyplnil celý objem ocelové konstrukce s mnoha výztuhami. Spřažení betonu a ocelové konstrukce je zajištěno pomocí trnů a betonářské výztuže. Aby se podařilo vyplnit betonem skutečně celý prostor zárodku, bylo na negativních površích umístěno velké množství odzdušňovacích otvorů.

Normy týkající se SCC

Vývoj technických norem nestačil v případě SCC dlouho držet krok s technologickým vývojem. Do roku 2005 nemělo zkoušení čerstvého samozhutnitelného betonu žádný normový podklad, od tohoto roku se výrobci samozhutnitelného betonu mohli držet doporučení ERMCO – *Evropské směrnice pro samozhutnitelný beton*. V roce 2008 bylo zkoušení tohoto betonu zavedeno do *Změny 3 normy ČSN EN 206-1 – Beton – základní ustanovení*. Dnes je zkoušení samozhutnitelného betonu součástí ČSN EN 206 (2014).

Samozhutnitelný beton je ve světě označován různě – jako *supertvárný* nebo *superkonsolidovatelný*. Po světě i v České republice se prodává pod různými obchodními názvy. Firma Českomoravský beton, a. s., a její dceřině společnosti zavedly na český trh značkový produkt Easycrete. Rozvoj samozhutnitelného betonu si vynutil různé varianty tohoto betonu. TBG Metrostav, s. r. o., pod tímto názvem vyrábí lehkozhutnitelný až samozhutnitelný beton. Vyrábí se dle ČSN EN 206 v konzistencích F6 a F7, s kamenivem o maximálním průměru zrna do 16 mm. Obsahuje aktivní příměsi, které zlepšují reologii betonu včetně finálního vzhledu povrchu konstrukce.

Tento stručný popis vývoje samozhutnitelného betonu určitě není úplný. Lze ale říct, že rozvoj samozhutnitelného betonu byl spouštěčem nových trendů v technologii betonu, např. při vývoji vysokopevnostního a vysokohodnotného betonu (UHPC, UHPFRC).

MILADA MAZUROVÁ

foto archiv autorky

*Ing. Milada Mazurová (*1958) absolvovala ČVUT v Praze, Fakultu stavební. Pracuje jako technolog ve firmě TBG Metrostav, s. r. o.*