

PRVNÍ PROVOZNÍ VYUŽITÍ VYSOKOPEVNOSTNÍHO BETONU C 80/95 z TBG METROSTAV

INITIAL OPERATION USE OF C 80/95 HIGH-STRENGTH
CONCRETE FROM TBG METROSTAV

ROBERT COUFAL

Vysokohodnotné (vysokopevnostní) betony jsou jedním z hlavních témat betonové současnosti. Článek přináší shrnutí zkušeností s tímto typem betonu v TBG Metrostav od počátků v laboratoři, přes poloprovozní zkoušku až po první provozní využití. Velké množství betonáží poskytlo rozsáhlou statistiku výsledků, které jsou v článku zpracovány.

High-quality (high-strength) concrete is a major topic of the current concrete practice. This paper summarizes experience with this type of concrete gained at the TBG Metrostav Company since the beginnings in the lab, and the pilot test to the initial exploitation in operation. A large number of concreting projects has provided a vast statistics of the results which are also presented in the article.

Dle normy ČSN EN 206-1 je vysokopevnostním betonem beton třídy C 55/67 a vyšší. O zařazení vysokopevnostního betonu do sortimentu TBG Metrostav se začalo uvažovat před třemi lety. Tehdy byla nejvyšší dosahovaná krychelná pevnost běžně vyráběných betonů okolo 60 MPa. Dnes, po třech letech intenzivního vývoje, dosahují pevnosti betonu vyráběného na našich betonárnách hodnot přes 110 MPa.

Na reálných stavbách jsou pro nosné konstrukce nejvíce využívány betony pevnostní třídy C 30/37, občas jsou, zejména do sloupových prvků, vyžadovány betony třídy C 40/50 až C 50/60, ale požadavky na vyšší pevnost jsou pouze ojedinělé. Doposud byla limitujícím faktorem zejména počáteční zpracovatelnost a rychlá ztráta zpracovatelnosti po namíchání, ale i tyto problémy jsou již minulostí. S pevností roste také odolnost betonu, což je další, v současnosti možná ještě důležitější, vlastnost. Odolnost betonu se ve většině případů zvyšuje provzdušňováním. Provzdušněný beton pevnostní třídy C 30/37 by dnes měla umět vyrobit každá betonárna, ale pevnostní třída C 35/45 je již pro provzdušněné betony třídou hraniční. Při této pevnosti je již problematic-

ké skloubit požadavky na míru provzdušnění, konzistenci, dobu zpracovatelnosti a v neposlední řadě na pevnost. I přesto je tento beton vyrobitelný, ale jen za předpokladu dozoru technologa po celou dobu betonáže, což může být u některých menších betonáren problémem. Z těchto důvodů byly zkoušeny i odolnosti proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek u sady betonů, které nebyly provzdušněny, pro posouzení nahraditelnosti provzdušněných betonů. Z naměřených výsledků vyplývá, že od pevností C 35/45 je již ekonomičtější i technologicky méně náročné používat pro agresivní prostředí modifikované receptury neprovzdušněných betonů.

Prvnímu komerčnímu využití vysokopevnostního betonu C 80/95 v extrémně namáhané konstrukci předcházela poloprovozní zkušební betonáž a vývoj v laboratoři. O tomto betonu mluvím jako o vysokopevnostním, protože byly kladeny pouze požadavky na jeho pevnost a další měřené parametry jsme zjišťovali jen pro získání zkušeností s uvedeným typem betonu.

POČÁTKY V LABORATOŘI

Laboratorní zkoušky a ověřování vlivů jednotlivých složek na vlastnosti betonu byly prováděny v rámci diplomové práce autora článku v Experimentálním centru Fakulty stavební ČVUT v Praze. Laboratorní zkoušení a vyhodnocování výsledků trvalo zhruba rok a půl a za tuto dobu bylo namícháno 17 záměsí v laboratorní míchačce a několik ověřovacích záměsí na betonárnách TBG Metrostav a Českomoravského betonu. Jako základ posloužila receptura betonu běžně vyráběného, který měl krychelné pevnosti okolo 60 MPa. Tato receptura byla systematicky modifikována v laboratorních podmínkách Experimentálního centra za účelem zjištění vlivu typu a množství jednotlivých složek na vlastnosti čerstvého i ztvrdlého betonu. Jednalo se zejména o vliv množství popílku, mikrosiliky a cementu, vliv typu a kvality hrubého i jemného kameniva, typu a množství superplastifikátoru, ale i typu forem a zkušebního zařízení. Byla sledována ztráta

konzistence po namíchání, krychelné pevnosti v tlaku v různém stáří betonu, pevnosti v tahu za ohybu a v příčném tahu, hloubka průsaku tlakovou vodou, odolnost betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek, modul pružnosti a tvar pracovního diagramu.

Druhá část diplomové práce byla zaměřena na využití poznatků z první části pro optimalizaci receptury vysokopevnostního betonu, kterou bylo dosaženo pevností přes 120 MPa a samozhutitelné konzistence v čase delším než jedna hodina od namíchání.

POLOPROVOZNÍ ZKUŠEBNÍ BETONÁŽ

Pro výrobu vysokopevnostního betonu byla zvolena betonárna TBG Metrostav v Radlicích. I přes snahu postavit recepturu přesně na míru pro materiály a technologie na našich betonárnách, bylo třeba provést určité změny oproti výrobě běžných betonů. Bylo nutno zaměnit zejména hrubé těžené kamenivo za únosnější drčené a připravit dávkování mikrosiliky ve formě suspenze. Beton byl namíchán ve třech záměsích a po homogenizaci v autodomíchači byla odebrána první sada vzorků. Po 40 min. dorazil autodomíchač do akreditované laboratoře na Rohanském ostrově, kde byla odebrána většina zkušebních těles. Zde činilo sednutí betonu dle Abramse 190 mm a obsah vzduchu v betonu činil 3,5 %. Za dalších 30 minut, tj. téměř dvě hodiny od počátku míchání, dorazil autodomíchač na stavbu na Žižkově. Beton byl do konstrukce dopravován bádii. Na stavbě byly odebrány tři krychle, které nebyly hutněny vibrátorem. Beton byl ukládán do sloupů monoliticky spojených ztužující stěnou, ve které byly otvory na dveře a okna. Zde se projevila největší odlišnost betonů modifikovaných mikrosilikou, a tou je jejich vysoká lepivost. Ve sloupech, které byly plněny přímo se shora, nebyl s ukládáním problém a téměř se nemuselo vibrovat. Probetonování tenkých stěn, kam beton musel zatékat ze stran, bylo však silně problematické a i přes silnou vibraci se do míst pod okny nepodařilo beton dostat. Tato místa musela být dobetonována

dodatečně druhý den. Betonáž probíhala přibližně hodinu a půl a byla tedy ukončena po třech a půl hodinách od počátku míchání. Dle grafu tuhnutí je vidět, že po tomto čase beton již začal tuhnout a už by mohl být problém se ztrátou konzistence a hlavně s pevností ovlivněnou přemícháváním již tuhnutího betonu. Na většině staveb by ale tato doba byla plně dostačující a nebránila by tedy užití uvedeného typu betonu. Beton neobsahoval žádnou přísadu zpomalující tuhnutí. Pevnosti zkušebních kychlí odebraných na betonárně ve stáří 28 dní se pohybovaly v rozmezí 104 až 114 MPa, v laboratoři okolo 105 MPa a na stavbě byl průměr přes 103 MPa. Pevnost v tlaku na válcích odebraných v laboratoři činila 91 MPa a téměř přesně tak vyšel normový poměr pevností pro třídu C 90/105. Oproti běžným betonům se projevil výraznější nárůst pevností ve stáří betonu od 7 do 28 dní. Po dobu tří měsíců bylo v laboratoři měřeno smršnění na trámci. Po devadesáti dnech se smršnění pohybovalo okolo 450 mikrostrainů. Dále byla provedena zkouška hloubky průsaku tlakovou vodou při maximálním tlaku 1,2 MPa. Maximální naměřený průsak byl 8 mm a průměr činil špatně měřitelných 5 mm. Vzhledem k očekávaným dobrým výsledkům ve zkoušce odolnosti betonu proti vodě a chemickým rozmrazovacím látkám byl zvětšen počet cyklů této zkoušky ze sedmdesáti pěti na jedno sto padesát. Po sedmdesáti pěti cyklech odpady činily zanedbatelných 16,5 g/m² a po sto padesáti cyklech pořád ještě velice slušných 60,6 g/m². Slušné výsledky

této zkoušky vycházely během diplomové práce i při nižších pevnostech a s nižším množstvím mikrosiliky (odpady do 100 g/m²).

Dále byly na betonu zkoušeny pevnosti v tahu za ohybu na trámcích 400 x 100 x 100 mm. Průměrná pevnost v tahu za ohybu činila 12,29 MPa. Průměrná pevnost v tlaku měřená na zlomcích trámů mírně převyšovala 103 MPa.

Na základě výše uvedených experimentů byla provedena certifikace betonu třídy C 80/95.

PRVNÍ PROVOZNÍ VYUŽITÍ BETONU C 80/95 Z TBG METROSTAV

K prvnímu komerčnímu využití betonu C 80/95 z TBG Metrostav došlo v březnu roku 2005 na stavbě Park Hostivař, adaptace kin. Jednalo se o výrobu spřažených ocelobetonových prefabrikátů pro vestavbu do prostor bývalého kina. Vždy bylo betonováno pouze několik připravených prefabrikátů; celkově tedy proběhlo větší množství (cca 20) maloobjemových betonáží v období dvou měsíců, což bylo dobré zejména pro rozsáhlou statistiku výsledků.

Zásobování stavby betonem probíhalo z Radlické betonárny, vybavené speciálním dávkovacím zařízením suspenze mikrosiliky. Doba dopravy činila půl až jednu hodinu a ukládání trvalo dle typu konstrukce od půl hodiny do dvou hodin. Prefabrikáty průvlaků byly betonovány nadvrát. Nejdříve byly zabetonovány z jedné strany a po zatvrdnutí betonu v ocelové konstrukci průvlaků byly obráceny a zabetonovány z druhé strany (obr. 1). Spřažené ocelobetonové sloupy musely být betonovány pomocí čerpadla na beton (obr. 2). Betonované ocelobetonové sloupy měly průměr 215 mm a některé dosahovaly délky přes 8 m. Vzhledem k ne-



Obr. 1 Betonáž prefabrikovaného průvlaků
Fig. 1 Concreting of a prefabricated girder

možné vibraci betonu ve sloupech, musel být beton proveden v samozhutnitelné konzistenci. Veškeré betonáže prefabrikátů probíhaly v hale na Rohanském ostrově. Po zatvrdnutí betonu byly prefabrikáty převáženy na stavbu do Hostivařského Intersparu, kde byly montovány do konečné podoby nosné konstrukce (obr. 3).

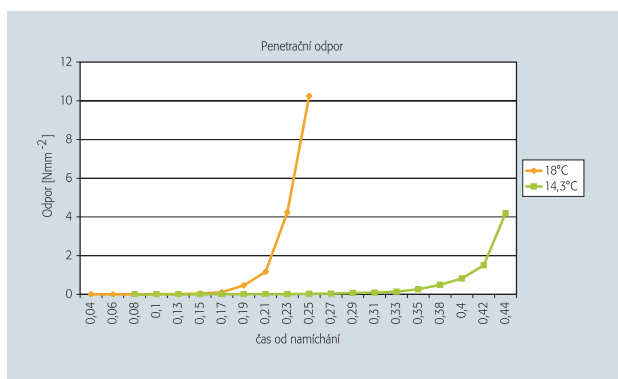
V průběhu betonáží bylo odebráno velké množství vzorků a kontrole kvality byla věnována maximální možná pozornost. Zkouška rychlosti tuhnutí penetračním odporem prokázala vysokou citlivost tohoto betonu na teplotu. Snížení teploty betonu o necelé 4 °C na 14,3 °C oddálilo počátek tuhnutí o 3 hodiny (obr. 4).

Obr. 2 Betonáž ocelobetonových sloupů z vysokopevnostního SCC betonu
Fig. 2 Concreting of steel concrete columns from high-strength SCC concrete

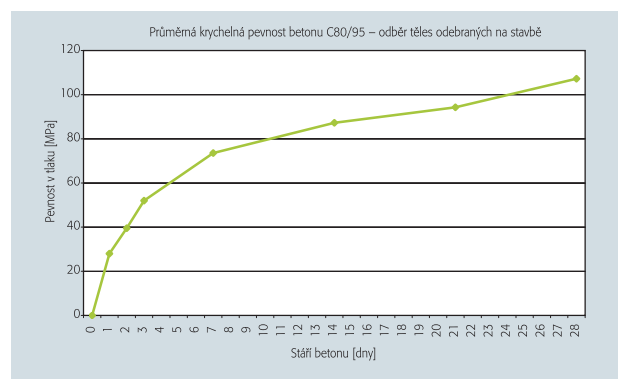


Obr. 3 Montáž prefabrikované nosné konstrukce
Fig. 3 Assembly of a prefabricated carrying structure

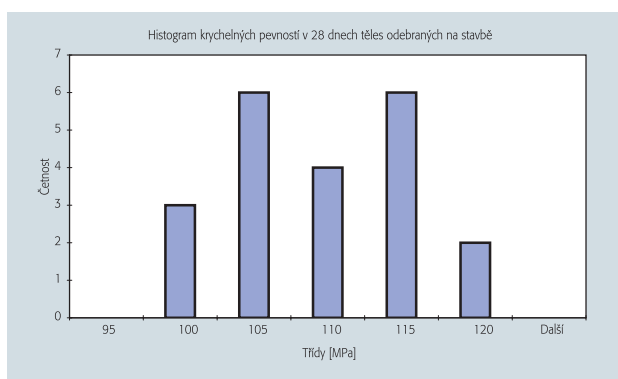




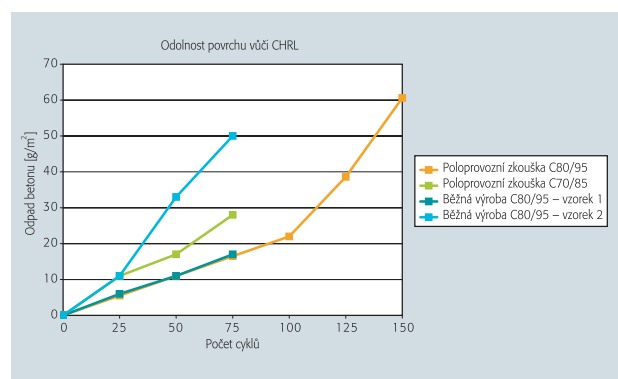
Obr. 4 Zkouška rychlosti tuhnutí penetračním odporem
Fig. 4 Rate-of-hardening penetration resistance test



Obr. 5 Krychelná pevnost vzorků odebraných na stavbě
Fig. 5 Compressive cube strength of samples taken on site



Obr. 6 Histogram dvacetiosmidenních pevností vzorků odebraných na stavbě
Fig. 6 Histogram of 28-day strengths of samples taken on site



Obr. 7 Odolnost povrchu betonu proti působení vody a CHRL
Fig. 7 Concrete surface resistance to water and CHRL effects

Zkušební tělesa pro zkoušení krychelné pevnosti byla odebírána jak na betonárně, tak na stavbě a byly používány plastové i kovové formy. Plastové formy byly používány pro orientační krátkodobé pevnosti a pro dvacetiosmidenní pevnosti byly používány kovové formy. Na zkušebních tělesech vyrobených v kovových formách byly naměřeny průměrně o 11 % vyšší pevnosti než na tělesech vyrobených v plastových formách. Toto je důvod zlomu v nárůstech pevností mezi 21 a 28 dny (obr. 5). Na obrázku 6 je zpracovaný histogram naměřených pevností ve stáří 28 dní na tělesech zhotovených v kovových formách a odebraných na stavbě.

Odpady při zkoušce odolnosti proti chemickým a rozmrazovacím látkám se po 75 cyklech pohybovaly v rozmezí 17 až 50 g/m². Pro takto odolné betony je již tato metoda málo účinná a výsledky těžko měřitelné, uvážíme-li, že odpad 50 g/m² znamená na zkušebním tělese odpad 0,9 g, dokáže chyba měření

výrazně ovlivnit výsledek. Naměřené odolnosti jsou shrnuty v grafu na obr. 7. Podle mého názoru je zvyšování odolnosti betonu proti solím cestou provzdušňování betonu vhodná pouze pro betony do pevnostní třídy C 30/37 a při vyšších pevnostech je lepší zvýšit odolnost betonu modifikací směsi mikrosilikou a snížením vodního součinitele. Dle normy ČSN EN 206-1 toto není problém, pokud není beton provzdušněn, stačí ho zkoušet podle příslušné metodiky ve srovnání s betonem, u kterého byla prokázána odolnost proti mrazu a rozmrazování.

Smrštění tohoto betonu za 90 dní činilo 368 mikrostrainů (obr. 8).

CENA VYSOKOPEVNOSTNÍCH BETONŮ

Dalším důležitým parametrem všech betonů je jejich cena. Základní ceníková cena betonu C 80/95 se pohybuje okolo 5500 Kč/m³ bez DPH. Cena výrazně roste zejména používáním velkého množství drahých přísad a příměsí. Ještě beton C 55/67 lze vyrobit na základě pečlivé optimalizace receptury využívající běžné materiály za základní ceníkovou cenu pohybující se okolo 2800 Kč/m³ bez DPH. Ceny vysokohodnotných betonů jsou samozřejmě vyšší než ceny běžných betonů, ale

při kalkulaci nákladů je třeba vzít v úvahu výrazné prodloužení životnosti konstrukce, zeštíhlení nosných prvků nebo možnost zvýšení zatížení konstrukce, což celkové náklady na stavbu nosné konstrukce sníží.

ZÁVĚR

Vysokopevnostní betony asi nikdy nebudou využívány pro běžné konstrukce. Betonárny TBC Metrostav jsou však již nyní připraveny na jejich dodávání pro specifické konstrukce, extrémně namáhané mechanicky nebo v agresivním prostředí. Kromě toho, že si beton C 80/95 našel své místo v nabídce TBC Metrostav, poskytl jeho vývoj řadu nových poznatků, které byly využity pro zkvalitnění běžné produkce všem zákazníkům.

Pravděpodobně ještě důležitějším přínosem vysokohodnotných betonů než je vysoká pevnost, je jejich výrazně zvýšená odolnost a umožňuje stavět konstrukce s delší životností, což je nezanedbatelný přínos zejména u inženýrských staveb.

Neméně důležitým je také ekologické



Obr. 8 Měření volného smrštění vzorku

Fig. 8 Measurement of free shrinkage of a sample

ký přínos těchto betonů. Dají se stavět subtilnější konstrukce, na které se spotřebuje méně betonu, a tím i cementu a kameniva, což by při zvýšeném využití vysokohodnotných betonů znamenalo snížení vypouštěného CO₂ do atmosféry a snížení potřeby otevírat nové lomy na kamenivo.

Ing. Robert Coufal

TBG Metrostav, s. r. o.

Rohanské nábř. 68, 186 00 Praha 8

tel.: 724 283 989, fax: 222 324 492

e-mail: robert.coufal@tbg-beton.cz

Dokončení článku ze str. 33

ZÁVĚR

Stavba byla zahájena koncem listopadu 2004, tedy ne zrovna v ideálních klimatických podmínkách. Naštěstí převážně většinou činností, které byly prováděny, zimní počasí nevadilo. Dvakrát stavbu významněji zdržela vyšší hladina vody, kdy před zákazem plavby bylo nutno uklidit veškeré zařízení, které měl dodavatel na řece, vyklidit staveniště a po přestávce zase všechno přivést zpátky. I přes všechny nesnáze, je stavba prováděna ve vysoké kvalitě a s vysokým nasazením pracovníků zúčastněných stran.

Fotodokumentace pochází z archivu Zakládání staveb (foto ing. Štěrba) – Obr. 3, 4, 11; archivu Mott MacDonald (foto ing. Frouz) – Obr. 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10; a z archivu TSK (foto ing. Zemánek) – Obr. 1.

Ing. Michael Remeš

Zakládání Staveb, a. s.

K Jezu 1, P. O. Box 21, 143 01 Praha 4

e-mail: remes@zakladani.cz, www.zakladani.cz

Ing. Lucie Švermová, Ph.D.

Mott MacDonald Praha, spol. s r. o.

Národní 15, 110 00 Praha 1

e-mail: lucie.svermova@mottmac.cz,

www.mottmac.cz

Ing. Jan Zemánek

Technická správa komunikací hl. m. Prahy

Za ženskými domovy 3122, 150 00 Praha 5

e-mail: zemanek@tsk.mepnet.cz

síla zkušenosti

Mott MacDonald Ltd. je jedna z největších světových multi-disciplinárních projektově inženýrských konzultačních společností

Mott MacDonald Praha, s.r.o. je česká pobočka mezinárodní společnosti Mott MacDonald Ltd. Naše organizace poskytuje služby v mnoha oblastech inženýrského poradenství a projektového managementu. Jedná se o poradenské služby, zpracování studií ekonomického hodnocení, zpracování a posuzování všech stupňů projektové dokumentace, řízení a supervize projektů.

Tyto činnosti zajišťujeme v těchto oblastech:

Silnice a dálnice

Železnice

Mosty a inženýrské konstrukce

Tunely a podzemní stavby

Vodní hospodářství

Životní prostředí

Geodetické práce

Grafické aplikace

Inženýring a konzultační činnost

Kontakt:

Mott MacDonald Praha, spol. s r. o.

Ing. Jiří Petrák

Národní 15, 110 00 Praha 1

tel.: +420 221 412 800, fax: +420 221 412 810

www.mottmac.cz, e-mail: mottmac@mottmac.cz

m Mott
MacDonald