



SLOŽENÍ BETONU PRO VODONEPROPUSTNÉ MONOLITICKÉ OSTĚNÍ

Zpracovali: prof. Ing. Jan L. Víték, CSc. FEng. (Metrostav a.s. a Fakulta stavení ČVUT v Praze), Ing. Robert Coufal, Ph.D. (TBG Metrostav, s.r.o.), Ing. Adam Hubáček, Ph.D. (Fakulta stavební VUT v Brně)

Souhrn

Technický list se zaměřuje na část problematiky vodonepropustných tunelových ostění, zejména na oblast požadavků na složky betonu. Stručně se zmiňuje o roli nekovových a ocelových vláken. Část je věnována významu samozhutnitelného betonu, který je zvláště pro vodonepropustné konstrukce vhodný. Technický list navazuje na TL z minulého roku (2013), kde jsou definovány požadavky na beton pro vodonepropustná ostění a některé výsledky experimentů.

Oblast použití

Požadavky na složení betonu pro vodonepropustné konstrukce jsou a budou využívány pro návrh a specifikaci betonových směsí pro tunelové stavby. Jde o dva typy konstrukcí. 1. Definitivní tunelové ostění ražených tunelů stavěných dnes převážně novou rakouskou tunelovací metodou (NRTM), popř. monolitické betonové ostění při výstavbě tunelovacím strojem (zatím nebyla u nás použita). Druhou oblastí jsou konstrukce hloubených tunelů, tedy železobetonových, popř. předpjatých konstrukcí bez bariérové izolace stavěných klasickým způsobem.

Metodika a postup řešení

Pro výrobu betonu platila až do července 2014 základní evropská norma ČSN EN 206-1. K ní byly připraveny některé změny, zejména změna Z3 a změna Z4, které upřesňovaly podmínky pro betony, včetně betonů pro vodonepropustná ostění. V červenci 2014 byla vydána nová evropská norma ČSN EN 206, která nyní upravuje a doplňuje postupy specifikace návrhu, výroby a kontroly betonu.

Práce v roce 2014 byly zaměřeny na specifikaci a definování požadavků na betony pro vodonepropustné betonové konstrukce i ve smyslu

úpravy nové základní normy ČSN EN 206. Sousední státy, zejména Rakousko a Německo, mají rozsáhlé zkušenosti s výstavbou betonových konstrukcí bez bariérové izolace a mají k tomu vytvořena doplňující doporučení, která vyhovují pro jejich poměry, např. [1], [2], [3]. Tyto předpisy by bylo možné využít i u nás, což však není možné provedením pouhého překladu. Tyto dokumenty obsahují řadu odkazů na lokální normy a další dokumenty, které nejsou naší technické veřejnosti přístupné a dále se v řadě případů liší od našich zvyklostí. Jako příklad lze uvést např. speciální cementy bez obsahu C_3A , které jsou v zahraničí na trhu, zatímco u nás nikoliv. Činnost v roce 2014 pokračovala ověřením betonů vyrobených z našich surovin tak, aby bylo dosaženo parametrů požadovaných pro nepropustnost betonové konstrukce. Dále byly vyhodnocovány postupy na zkoušení betonu a ověřování jeho kvality ve smyslu splnění předem stanovených požadavků. Cílem bylo připravit další podklady pro Technické podmínky pro výstavbu vodonepropustných tunelových ostění. Požadavky na složky betonu:

Cement

Pro výstavbu vodonepropustných konstrukcí se požaduje cement s malým vývinem hydratačního tepla. Je tedy třeba využít cementy s malým obsahem portlandského slínku, tj. cementy směsné. V zahraničí vyráběný cement bez obsahu C_3A není u nás k dispozici, lze jej nahradit cementy řady CEM III. Druh cementu je dále nutné volit s ohledem na prostředí, kde se ostění vyskytuje. Dle stupňů vlivu prostředí uvedených v ČSN EN 206 je třeba volit minimální množství a druh cementu. V případě agresivity prostředí (stupně XA1-XA3) je třeba zvláště pečlivě vyhodnotit účinky prostředí a dle nich stanovit druh použitého cementu, aby byla zajištěna předpokládaná životnost konstrukce ostění. Parametry pro vyhodnocení včetně souvisejících norem jsou uvedeny v tab. 2 ČSN EN 206. Pro

snížení objemu cementu v betonu lze použít příměsi typu I a II. Minimální množství cementu v betonu je závislé na stupni vlivu prostředí a je dáno ČSN EN 206. Pro snížení vývinu hydratačního tepla je doporučeno volit spíše nízký obsah cementu, ale je nutné splnit požadavky s ohledem na trvanlivost. Zcela minimální množství cementu pro železobetonové ostění je 260 kg/m^3 (beton C20/25 XC0).

Kamenivo

Doporučuje se používat přírodní kamenivo těžené nebo drcené splňující požadavky ČSN EN 12620. Největší zrno kameniva se doporučuje volit dle vyztužení konstrukce, 16, 22 nebo až 32 mm. Beton s hutným přírodním kamenivem s většími zrny vykazuje menší objemové změny, zejména smršťování, což je vhodné pro omezení vzniku a šířky trhlin. Vhodné křivky zrnitosti pro dosažení hutné struktury a tím i malé propustnosti pro vodu lze nalézt např. v [2].

Voda

Záměsová vody musí splňovat požadavky ČSN EN 1008.

Příměsi

Příměsi typu I (inertní) i typu II (aktivní) lze použít pro vodonepropustné betonové konstrukce. Většinou připadá v úvahu použití mletého vápence, elektrárenského popílku, granulované vysokopeční strusky, apod. U všech příměsí je nutné sledovat, zda splňují příslušné normy pro aplikaci do betonu a dále je velmi důležité sledovat rovnoměrnost jejich vlastností při výrobě betonu. Zejména u popílků, jejichž kvalita kolísá, což může ohrozit i kvalitu vyráběného betonu. Průkaznými zkouškami se doloží příslušné odolnosti betonu proti účinkům prostředí, neboť ty mohou být kvalitou příměsí jak pozitivně, tak i negativně ovlivněny.

Vlákna

Do vodonepropustných konstrukcí se prakticky ve všech případech přidávají vlákna. Používají se za různým účelem. Jemná nekovová vlákna se přidávají do betonu za účelem snížení citlivosti na vznik trhlin v počátečních stádiích tvrdnutí betonu. V době, kdy beton má ještě malou pevnost a malý modul pružnosti, omezují iniciaci trhlin od smršťování.

Ocelová vlákna (drátky), popř. jiná nekovová vlákna s vyšším modulem pružnosti se přidávají za účelem snížení křehkosti betonu a zvýšení jeho houževnatosti. Tato vlákna pak jsou využita i staticky pro přenos zatížení. Nekovová, obvykle polypropylénová vlákna se do betonu přidávají za účelem zvýšení jeho požární odolnosti. Jeden z experimentů byl též podpořen v roce 2014 v rámci spolupráce s pracovním balíčkem WP7 projektu CESTI. Tato vlákna neochrání přímo povrchovou vrstvu betonu proti degradaci vlivem vysoké teploty, ale zajistí, že nedojde k odprýskávání betonu. Tím se vytvoří izolační vrstva znehodnoceného betonu na povrchu ostění a beton ve větší hloubce není již vystaven tak vysoké teplotě a je tedy schopen lépe přenášet zatížení. Použití vláken je třeba odzkoušet, neboť vlákna mají velký vliv na zpracovatelnost a tím i na hutnost betonu. Nevhodné dávkování může být příčinou nekvalitně ztuhlého betonu v rizikových oblastech (např. u vložených těsnění spár) a vést ke ztrátě těsnosti konstrukce.

Samozhutnitelný beton

Použití samozhutnitelného betonu pro vodonepropustné konstrukce je v principu velmi vhodné. Samozhutnitelný beton vede na omezení vlivu lidského faktoru na kvalitu konstrukce a tím i k vyšší kvalitě výsledného díla. Na druhé straně samozhutnitelný beton vyžaduje návrh únosnějšího bednění pro výrobu ostění. Pokud jde o tunely hloubené, je třeba uvážit konkrétní podmínky a zhodnotit rizika i ekonomické parametry. U tunelů ražených se používá ocelová forma a tu je třeba navrhovat na vysoké tlaky betonu, zejména s ohledem na rychlost betonáže. Zkušenosti ze zahraničí (např. Lainzer tunel v Rakousku), ukazují, že samozhutnitelný beton v souvislosti s vodonepropustným ostěním přinesl ekonomické a spolehlivé řešení.

Výsledky

V roce 2014 byla ověřena různá složení betonových směsí pro vodonepropustné konstrukce. Byl sledován vliv vláken na konzistenci a zpracovatelnost betonu. Dále byl zkoumán vliv požáru na beton s obsahem polypropylénových vláken v kombinaci s ocelovými vlákny. Byly tak připraveny další podklady pro sestavení technických

podmínek pro použití betonu pro vodonepropustná tunelová ostění.

V rámci činnosti na Stavební fakultě VUT v Brně byl realizován experimentální program.

Experimentální program VUT Brno

Cílem byl návrh a posouzení složení a vlastností betonů určených pro vodonepropustná tunelová ostění. Bylo navrženo několik receptur betonů, u kterých byl dán velký důraz na vzájemnou porovnatelnost. Složení betonu bylo systematicky upravováno tak, aby mohla být stanovena optimální dávka plastifikační přísady a aby byla zajištěna porovnatelnost jednotlivých receptur. Byla vytvořena referenční receptura betonu, která obsahovala pouze portlandský cement CEM I 42,5 R. Pro dosažení pomalejších nárůstů počátečních pevností byla část cementu nahrazena různými druhy příměsí v dávce alespoň 25 % z množství cementu.

Na připravených betonech byly sledovány vybrané fyzikálně-mechanické vlastnosti čerstvých a ztvrdlých betonů. U čerstvého betonu byla sledována konzistence měřená metodou sednutí kužele a následně rozlíváním dle ČSN EN 12350-2, respektive ČSN EN 12350-5. Na ztvrdlém betonu ve formě zkušebních těles o tvaru krychle s hranou 150 mm byla sledována pevnost v tlaku, vodotěsnost a smrštění. Pevnost v tlaku byla sledována v čase 1, 2, 3, 7 a 28 dní. Pro měření smrštění vybraných typů betonů byla vyrobena zkušební tělesa ve tvaru hranolu o rozměrech 100 × 100 × 400 mm. Betonové kvádry byly ihned po odformování (v čase cca 12 hodin od výroby) opatřeny měřicími terči a bylo zahájeno sledování smrštění. K měření hodnot smrštění byl použit analogový úchytkoměr a hodnoty z něj byly odečítány v prvním týdnu měření každý den a následně po 14, 21, 28 a 60 dnech. Pro prokázání schopnosti ztvrdlého betonu odolávat tlakové vodě bez použití hydroizolace, byly provedeny zkoušky ČSN EN 12 390-8 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 8: Hloubka průsaku tlakovou vodou a ÖNORM B3303 Betonprüfung (tlaky 0,7 a 1,2 MPa). Doba trvání zkoušky je celkově 14 dní, první 3 dny je zkušební těleso zatěžováno tlakem vody odpovídajícím 25 % maximálního tlaku. Po třech dnech je zkušební těleso zatěžováno po dobu 11 dnů maximálním

tlakem vody, ne však nižším než 0,7 MPa. Zkouška byla prováděna na zkušebních tělesech rozměrů 200 × 200 × 120 mm.

Na základě zkoušek byla dosažena následující zjištění.

Cílem experimentu bylo porovnat sledované vlastnosti u několika receptur betonu, z nichž jedna záměs byla referenční a u zbylých třech byla část cementu nahrazena vápencem, popílkem a zeolitem.

Co se týče vývinu pevností, nejlepší výsledky byly dosahovány u betonů s náhradou cementu popílkem a vápencem. U těchto betonů se jednodenní pevnosti blížily hranici 10 MPa. U vzorků s náhradou cementu zeolitem byla pevnost v tlaku nižší než u ostatních betonů po celou dobu sledování. Rovněž se u tohoto typu betonu projevila vyšší vodonáročnost, což vzhledem k přísným požadavkům na tvorbu trhlin není vhodné. Hodnota smrštění byla nejnižší u vzorků s částečnou náhradou cementu popílkem, vápencem a zeolitem. V porovnání vodotěsnosti měřením hloubky průsaku tlakovou vodou 1,2 MPa splnily požadavky všechny vzorky, i když u vzorku Z1 je již hodnota 26 mm hraniční. Celkově se s ohledem na vývin pevností, smrštění a hodnoty hloubky průsaku tlakovou vodou ukazují jako nejvhodnější vzorky, u nichž byla část cementu nahrazena popílkem a vápencem.

V další etapě činnosti centra budou aktivity zaměřeny na další studium vlastností čerstvých a ztvrdlých betonů určených pro vodonepropustná tunelová ostění jak na bázi transportbetonů, tak také samozhutnitelných betonů.

Závěr

V roce 2014 byla prakticky ukončena činnost v oblasti složení betonů pro vodonepropustná ostění. Výsledky budou zapracovány do technických podmínek, které obsahují širší souvislosti výstavby tunelových ostění. V příštím roce by měla převažovat spíše kompilační činnost a postupné sestavování technických podmínek. Další činnost se zaměří na problematiku těsnění spár a případných trhlin v tunelovém ostění.

Literatura

- [1] Richtlinie Wasserundurchlässige Betonbauwerke – Weiße Wannen. ÖVBB, Wien, 3. 2009.
- [2] Richtlinie Innenschalenbeton, ÖVBB, Wien, 12. 2012.
- [3] DAfStb Richtlinie Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie), DAfStb, 2003.
- [4] Technologická pravidla ČBS 02, Bílé vany – vodonepropustné betonové konstrukce, ČBS, Praha 2007.
- [5] Dohnálek, J.,(2004). Bílá vana – větší jistota a menší náklady (in Czech), Beton TKS. 2004, 2. ročník, s. 26. ISSN 1213-3116.