



TECHNOLOGIE BETONU PRO VODONEPROPUSTNÉ KONSTRUKCE – BÍLÉ VANY ■ CONCRETE TECHNOLOGY FOR WATERPROOF STRUCTURES – WHITE TANKS

1

Robert Coufal, Jan L. Víték,
Kristýna Chmelíková

Ochrana podzemních částí staveb proti vodě a vlhkosti se řeší různými způsoby. Podle způsobu zajištění konstrukce proti pronikání vody a vlhkosti se konstrukce nazývají jako černá (asfaltové pásy), hnědá (bentonitové rohože) nebo bílá (vodonepropustná betonová konstrukce) vana. V některých případech se opatření kombinují. Vzhledem k tomu, že vodonepropustnost bílé vany je zajištěna pouze betonovou konstrukcí, je nutno věnovat zvýšenou pozornost návrhu konstrukce, technologii betonu i vlastnímu provádění. Technologii betonu pro konstrukce bílých van je věnován tento článek. ■ Protection of the underground constructions against water and humidity is solved in several ways. In dependence on the way of protecting constructions against water and humidity the constructions are called as black (asphalt sheets), brown (bentonitic mat) or white (waterproof concrete construction) tank (box). In some cases the protecting methods are combined. Since the waterproof function of the white tank is ensured just by a concrete structure, it is necessary to pay closer attention to the construction design, concrete technology and execution of construction. This article focuses on concrete technology for white tanks.



2

VODONEPROPUSTNÉ KONSTRUKCE

Vodonepropustnou konstrukci lze chápat jako jednotlivé monolitické železobetonové konstrukce (desky, stěny), spojené těsníci prvky (těsnící plechy, profily) v pracovních sparách. Případné poruchy bílých van (průsaky) jsou nejčastěji způsobeny vznikem vodopropustných trhlin (návrh, technologie), vodopropustnou pracovní spárou (provádění, technologie) nebo plošným prů-

sakem hmotou betonu (návrh, technologie). Je tedy vidět, že technologie betonu může ovlivnit vznik všech typů poruch vodonepropustné konstrukce.

Navrhování bílých van není v České republice normalizované, využívají se proto zahraniční směrnice, případně jejich překlady.

Aby bílá vana (obr. 2) správně plnila svou funkci, je třeba, aby byly správně navrženy tvar a tloušťka konstrukcí. Při návrhu tvaru konstrukce je nutno

omezit případná koncentrovaná napětí v místech změny tloušťky nebo výškové úrovně spodní stavby. Omezit napětí lze např. náběhy v konstrukci nebo kompresními prvky. Tloušťka konstrukce závisí na výšce vodního sloupce a na třídě požadavku v případě TP ČBS 02 (překlad Rakousko), nebo na třídě namáhání, typu konstrukce a způsobu provedení v případě WU směrnice (Německo). Obecně lze říci, že tloušťky monolitických železobetonových konstrukcí se pohybují od 300 mm při použití TP ČBS 02 a od 240 mm pro stěny za přítomnosti podzemní vody při použití WU směrnice.

Pro správnou funkci bílé vany je rozhodující správný koncepční návrh, tj. uspořádání konstrukce, vyztužení, těsnění spár a postup výstavby. Účelem vhodně navrženého vyztužení je zabránit vzniku trhlin, pokud je to možno, případně rozdělit trhliny na vodonepropustné trhliny s menší šířkou. Pro vyztužení konstrukce se nejčastěji používá klasická prutová výztuž, nicméně v některých případech svislých konstrukcí lze prutovou výztuž plně nahradit výztuží rozptýlenou. Návrh vyztužení se provádí na vnější zatížení a na vynucená namáhání (smrštění a hydratační teplo), přičemž názorů na způsob

propustné trhliny v konstrukci s jistotou vyloučit. Oproti průsakům přes poruchy povlakové izolace lze ale poruchy v bílé vaně poměrně snadno lokalizovat a sanovat.

Pracovní spáry se nejčastěji těsní pomocí těsnících plechů (obr. 3) nebo spárovými těsnícími pásy z PVC. V obou případech se musí použít buď v souladu se zkušenostmi stavební firmy, nebo dle detailu dodavatele těsnícího systému a je vhodné detail odsouhlasit předem mezi účastníky výstavby. Správná funkce těsnících prvků závisí na technologicky správném provedení. Prvky musí být dobře obehodovány, musí být dostatečně hluboko ukotveny a musí být správně provedeno jejich napojení.

SPECIFIKACE BETONU PRO BÍLÉ VANY

Beton je v současné době v České republice specifikován a vyráběn podle normy ČSN EN 206 (platná od 6/2014) [3] nebo dle ČSN EN 206-1/Z4 (do konce přechodného období, tj. do 9/2015) [4]. Zároveň je v přípravě doplňková norma s označením ČSN P 73 2404 [5], která bude v platnosti současně s ČSN EN 206. Platnost této doplňkové normy se předpokládá od 5/2015.

Dokumentem, který se této tematice věnuje, jsou např. Technická pravidla ČBS 02 – Bílé vany – vodotěsné betonové konstrukce [1]. Tento dokument je překladem rakouské směrnice Vodotěsné betonové stavby – bílé vany a je zajímavým podkladem pro návrh konstrukce a složení betonu. Tato pravidla specifikují třídu požadavků na vodotěsnost vnějších stěn, základových desek a stropů (A_s, A_{1-4}), kde je stanoven výsledný vzhled povrchu betonu a posuzování případných vad. Dále je zde stanovena třída tlaku vody W_{0-4} . Z těchto dvou okrajových podmínek stanovíme konstrukční třídu pro bedněné železobetonové stavební díly Kon_s, Kon_1 a Kon_2 . Tyto konstrukční třídy nám předepisují kromě konstrukčních požadavků i normalizovaný beton BS 1–3, který je ještě dělen do podskupin BS1 A–E a BS2 A, C. Pro tyto normalizované betony jsou stanoveny požadavky na složení a vlastnosti.

Pro příklad je v tab. 1 uveden normalizovaný beton BS1 A ve srovnání s požadavky normy ČSN EN 206 a ČSN EN 206-1/Z4 pro normalizovaný betonem daný stupeň vlivu prostředí. Takto označené normalizované betony se poslední dobou již v projektech vy-



Obr. 1 Plavené tunely metra v Praze Holešovicích ■ Fig. 1 Floated tunnels of Prague metro in Holešovice

Obr. 2 Bílá vana rezidence Na Farkáně ■ Fig. 2 White tank of residence Na Farkáně

Obr. 3 Těsnící plech zabetonovaný v pracovní spáře ■ Fig. 3 Waterproofing metal sheet in construction joint

návrhu výztuže je více (dle použitého předpisu nebo směrnice).

Je patrné, že technologie betonu nám ovlivňuje vynucená namáhání a dobře navržený beton dokáže snížit riziko vzniku trhliny nebo zmenšit jejich šířku. Minimalizovat napětí lze i provedením řízených trhlin v konstrukci (ve stěnách), které jsou ošetřeny těsnícím prvkem (např. křížový plech). I při správném návrhu konstrukce a správně navrženém betonu ale nelze vodo-

Ze specifikace betonu podle uvedených norem ovšem nelze poznat, že beton je určen pro vodonepropustnou konstrukci. Jsou zde sice požadavky na maximální průsak tlakovou vodou, ale spíše jako parametr trvanlivosti betonu v daném prostředí. Další parametry, jako je smrštění nebo vývin hydratačního tepla, jsou řešeny pouze nepřímou, např. formou předepsání typových (normalizovaných) betonů (TP ČBS 02).

skytují. Toto způsobuje určité problémy, protože se jedná o překlad rakouské normy, kde se počítá s jinými vstupními materiály (např. s cementem bez C3A). Dalším problémem je, že směrnice koliduje s normami, podle kterých je beton v ČR vyráběn (např. v předepsaném množství cementu). V letním počasí je zase bez chlazení těžko dodržitelná maximální teplota čerstvého betonu 22 °C. Na druhou stranu je směrnice z hlediska maximálního průsa-

ku a maximálního vodního součinitele poměrně benevolentní. Složení betonu dle směrnice je totiž navrženo spíše s ohledem na minimalizaci vynucených namáhání (smrštění a hydratační teplo).

Dle již neplatné normy ČSN 73 1209 – Vodostavebný betón se betony podle masivnosti konstrukce dělily na masivní a středně masivní beton (M) a na hrubostěnný a tenkostěnný beton (H). Z tohoto označení vycházel požadavek na nízký vývoj hydratačního tepla. Dále se nestanovoval maximální průsak, jak je tomu dnes, ale vodotěsnost betonu. Ta se lišila dle maximálního tlaku vody při zkoušce (V2, V4, V8 a V12). Maximální průsak směl být 80 mm, resp. do poloviny tělesa, pokud byla tloušťka menší než 150 mm. Dále se specifikovala odolnost vůči korozi (A1–3), mrazuvzdornost (T50–150) a houževnatost (HB) betonu. Toto byla tehdejší alternativa k dnešním stupňům vlivu prostředí. Přesný převod mezi tehdejšími a dnešními značeními vzhledem k odlišnosti použitých zkoušek není možný. Výhodou značení dle ČSN 73 1209 byla jasná specifikace masivnosti konstrukce, a tím požadavek na snížený vývoj hydratačního tepla. Ostatní požadavky jsou dnes pokryty stupněm vlivu prostředí.

Tab. 1 Porovnání požadavků na normalizovaný beton BS1 A dle TP ČBS 02, ČSN EN 206 a ČSN EN 206-1/Z4 ■ Tab. 1 Comparison of demands on standardised concrete BS1 A from TP ČBS 02, ČSN EN 206 and ČSN EN 206-1/Z4

	Požadavky kladené na beton BS1 A		
	dle TP ČBS 02	vzhledem k svp dle ČSN EN 206	vzhledem k svp dle ČSN EN 206-1/Z4
Typové označení	BS1 A	-	-
Stupeň vlivu prostředí	XC3, XD2, XF3, XA1	XC3, XD2, XF3, XA1	XC3, XD2, XF3, XA1
Pevnostní třída	C25/30 – 56 dní	min. C30/37	min. C25/30
Cement podle ÖNORM B 3327-1	max. WT33 bez C3A	-	-
Nárůst teploty v betonu [K]	max. 13	-	-
Obsah vzduchu [%]	2,5 až 5	min. 4	min. 4
Celkový obsah vody [l/m ³]	max 170	-	-
Voda/pojivo	max. 0,6	-	-
Vodní součinitel	-	max 0,5	max 0,5
Teplota čerstvého betonu [°C]	max. 22	-	-
Maximální přípustná teplota betonového dílu [°C]	45	-	-
Obsah cementu [kg/m ³]	240 až 260	min. 320	min. 320
Maximální průsak při kontrolních zkouškách [mm]	50	-	35
Odolnost betonu vůči zmrazování a rozmrazování, při zkoušce dle ČSN 73 1326 – metoda/počet cyklů/odpad [g/m ²]	-	-	A/100/ 1 250, C/75/ 1 250

tění autogenní i z vysychání a hydratační teplo).

Teplota betonu během hydratace

V uvedeném příkladu normalizovaného betonu BS1 A dle TP ČBS 02 [1] je požadavek nepřesáhnout maximální přípustnou hodnotu teploty konstrukčního dílu 45 °C. Cílová maximální teplota

la při hydrataci. Nejvíce vývin hydratačního tepla betonu ovlivňuje množství a typ cementu. Cementy s velmi pomalým vývinem hydratačního tepla mají v označení písmena LH (low heat). Všeobecně je vhodné použít cement s pomalejším nárůstem pevností a nižším množstvím slínku. Další možností je použití minimálního množství port-



Parametry a složení betonu pro bílé vany

Z tab. 1 je patrné, že jediným parametrem dle ČSN EN 206-1 je maximální průsak tlakovou vodou. Tento parametr se dá považovat jako základní v případě betonu pro bílou vanu, neplatí ovšem vždy pravidlo, že čím nižší průsak, tím lepší beton pro účely bílé vany. Z předepsaného složení pro normalizovaný beton BS1 A je vidět hlavně záměr omezit vynucená namáhání (smrš-

ta je nižší o dalších 5 °C. Nárůst teploty betonu během hydratace by měl být maximálně 13 °C (K).

Na dosaženou maximální teplotu v konstrukci mají hlavní vliv následující parametry:

- teplota čerstvého betonu,
- teplota prostředí,
- geometrie konstrukce,
- vývoj hydratačního tepla betonu.

Jediné, co můžeme ovlivnit složením betonu, je vývoj hydratačního tep-

Obr. 4 Ukládka betonu základové desky bílé vany ■ Fig. 4 Concrete placing to base slab of white tank

Obr. 5 Zpracování betonu základové desky bílé vany ■ Fig. 5 Concrete processing in base slab of white tank

Obr. 6 Průběh teploty v modelu ■ Fig. 6 Temperature development in a model of concrete structure

Obr. 7 Chlazení betonu kapalným dusíkem ■ Fig. 7 Concrete cooling by liquid nitrogen

landského cementu a přidání vyššího množství latentně hydraulické příměsi (popílek, struska) přímo do betonu. Vždy záleží na konkrétních podmínkách, zejména na možnostech konkrétní betonárny.

Vliv typu cementu je vidět v grafu na obr. 6, kde je průběh teploty v čase v jádru modelu, který zhruba simuluje 1 m silnou desku. V grafu jsou průběhy teplot betonů C40/50 se stejným množstvím cementu, ale jiného typu. Betony neobsahují další příměsi. I přes to, že 90denní pevnosti jsou obdobné, maximální teplota v modelu je u betonu s cementem CEM III/B zhruba o 14 °C nižší. Maximálních teplot je dosaženo zhruba v čase 30 až 36 h od namíchání.

Problémem při specifikaci betonu je upřesnění požadavku na vývin hydratačního tepla. Výše uvedené normy pro výrobu betonů neumožňují specifikovat vývin hydratačního tepla. Zároveň není jednotná metodika zkoušení a v neposlední řadě většina výrobců betonu tyto hodnoty nemá či nezná. V poptávkách se občas vyskytuje požadavek na „nízký vývoj hydratačního tepla“, což je problematické, protože nikde není stanoveno, co je běžný a co nízký vývoj hydratačního tepla.

gradient vysoký, dochází v konstrukci k pnutí způsobenému teplotní roztažností. Jádro, které má vyšší teplotu, se rozpíná více než povrch betonu, což může způsobit trhliny v povrchových vrstvách konstrukce. Zejména pak při ochlazení betonu, který se nemůže volně deformovat, vznikají významná tahová namáhání. Tyto trhliny mohou následně snižovat trvanlivost konstrukce.

Gradient se zvyšuje, pokud beton vyvíjí při hydrataci více tepla, ale také pokud je povrch betonu ochlazován nevhodným ošetřováním (kropením studenou vodou) nebo chladným prostředím (zimní období). Proto je vhodné jednak použít beton s nízkým vývinem hydratačního tepla (viz výše), ale také beton chránit před chladným prostředím (zateplením). Z grafu na obr. 6 je vidět doba, v které hrozí největší problémy s teplotním gradientem a kdy by se měla ošetřování věnovat zvýšená pozornost.

V technologických možnostech je i snížení teploty čerstvého betonu. Je to ale velmi náročné na vybavení betonáren a betonárny takto běžně vybaveny nejsou. Chladit můžeme buď právě namíchaný čerstvý beton, nebo jeho složky ještě před mícháním.

ze o snížení maximální dosažené teploty, pak je většinou efektivnějším způsobem použití optimalizované receptury (viz výše) než chlazení čerstvého betonu.

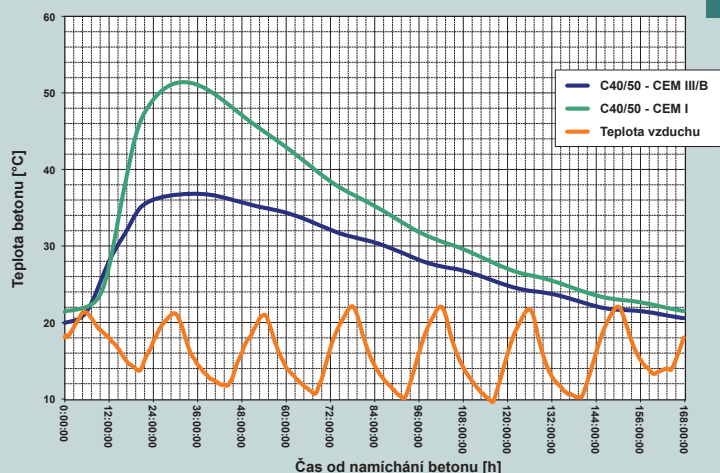
V grafu na obr. 8 je vidět průběh teplot během hydratace na stejném betonu C30/37 (Easycrète), ale zchlazeném s různou intenzitou. Je vidět, že na tomto modelu, který simuluje cca 1 m silnou desku, se intenzita zchlazení projeví stejnou měrou i na maximální teplotě. Předpoklad ale je, že při mocnější konstrukci se efekt zchlazení projeví více.

Objemové změny betonu

Objemové změny, resp. smrštění betonu úzce souvisí s množstvím a šířkou trhlin v betonové konstrukci. Se snižujícím se celkovým smrštěním se snižují vynucená namáhání, a tím i riziko trhlin. Smrštění můžeme rozdělit na následující základní typy:

- plastické – smrštění vysychajícího, ještě plastického betonu,
- autogenní – smrštění způsobené hydratujícím cementem,
- z vysychání – smrštění způsobené vysycháním ztvrdlého betonu.

Trhliny vzniklé z plastického smrštění se vytvářejí v průběhu tuhnutí beto-



6



7

Jediným možným, i když problematickým, způsobem je stanovení maximální přípustné teploty v konstrukci během hydratace [1], zároveň ovšem musí být stanoveny geometrické parametry konstrukce.

S teplotou betonové konstrukce, ale i se způsobem ošetřování a s teplotou prostředí souvisí teplotní gradient. Teplotní gradient (spád) vyjadřuje rozdíl teplot v jádře a na povrchu betonové konstrukce. Pokud je tento

Na obr. 7 jsou zachyceny automomíchávače, v kterých je beton chlazen kapalným dusíkem.

V případě chlazení složek před mícháním se nejčastěji chladí pouze voda na teploty těsně nad 0 °C. V případě nutnosti intenzivnějšího chlazení se volí buď použití záměsové vody ve formě ledových šupin, chlazení kameniva nebo chlazení cementu. Vždy je nutné si uvědomit, čeho chceme chlazením dosáhnout. Pokud nám jde pou-

nu, tzn. při přechodu z plastické do tuhé fáze. Tyto trhliny jsou způsobeny rychlým vyschnutím plastického betonu, který není správně ošetřován. Trhliny z plastického smrštění jsou typické pro plošné konstrukce, u kterých je použit beton s nízkým obsahem vody (tzn. beton pro bílé vany typický) a které se začnou ošetřovat až po zatvrdnutí. Odolnost betonu vůči plastickému smrštění lze zvýšit například použitím vláken. Správné ošetřování beto-

nu je ovšem nutné i v případě použití vláken.

Autogenní smrštění a smrštění od vysychání mají dlouhodobý charakter. Metod na měření smrštění existuje velké množství. Nejvyšší rychlost smršťování je na začátku zrání betonu. Pro získání reprezentativních výsledků je nutné s měřením smrštění začít ihned po uložení betonu. Toto umožňuje např. tzv. korýtková metoda, kdy se beton uloží do korýtka s posuvným čelem a pomocí tohoto posuvného čela se měří objemové změny betonu. Další vhodnou metodou je měření objemových změn pomocí tenzometrů, uložených ve válcích. Touto metodou byly naměřeny výsledky prezentované dále v tomto článku.

Naměřené hodnoty smrštění ovlivňují i další podmínky měření. Zejména jde o dobu odformování tělesa, dobu ošetřování, způsob ošetřování (voda, vlhko, prostředí laboratoře) a teplotu. To vše má výrazný vliv na průběh smrštění a na jeho absolutní hodnotu. Je ovšem problematické říci, kdy se již jedná o hodnotu absolutní.

Na grafu na obr. 9 jsou vidět objemové změny betonu C40/50, uloženého v různých prostředích. Vzorek uložený v laboratorním prostředí (plná značka) má standardní průběh smrštění, které se ustálí zhruba ve stáří 1 rok na hodnotě 500 až 550 mikrostrainů, tzn. 0,5 až 0,55 mm/m. Druhá křivka (prázdná značka) reprezentuje vzorek uložený nejdříve ve 100% vlhkém prostředí, poté ve vodní lázni a nakonec v laboratorním prostředí. V počáteční fázi grafu je vidět podíl autogenního smrštění a smrštění z vysychání na smrštění celkovém. Tento poměr je samozřejmě různý u různých betonů.

Vodonepropustnost betonu

Míra vodonepropustnosti betonu jako materiálu je zkoušena dle normy ČSN EN 12390-8 – Zkoušení ztvrdlého betonu – část 8: Hloubka průsaku tlakovou vodou [6]. Tato zkouška probíhá na krychlích o hraně 150 mm, kdy na plochu betonu působí voda pod tlakem 0,5 MPa po dobu 3 d. Po ukončení zkoušky se těleso rozlomí a je zjištěn maximální průsak vody do betonu. Tento průsak je porovnán s požadavky. Dle požadavků TP ČBS 02 [1] je maximální průsak 50 mm, což je hodnota bez problémů splnitelná pro většinu konstrukčních betonů a požadovaná u většiny vlivů prostředí dle ČSN

EN 206-1/Z4 [4]. Vodonepropustnost betonu je tedy ten nejmenší problém a není třeba ji vylepšovat speciálními přísadami.

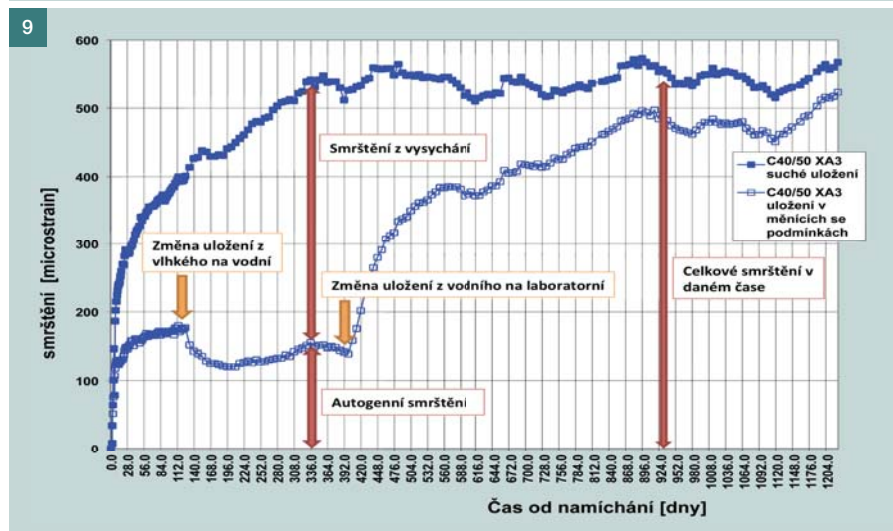
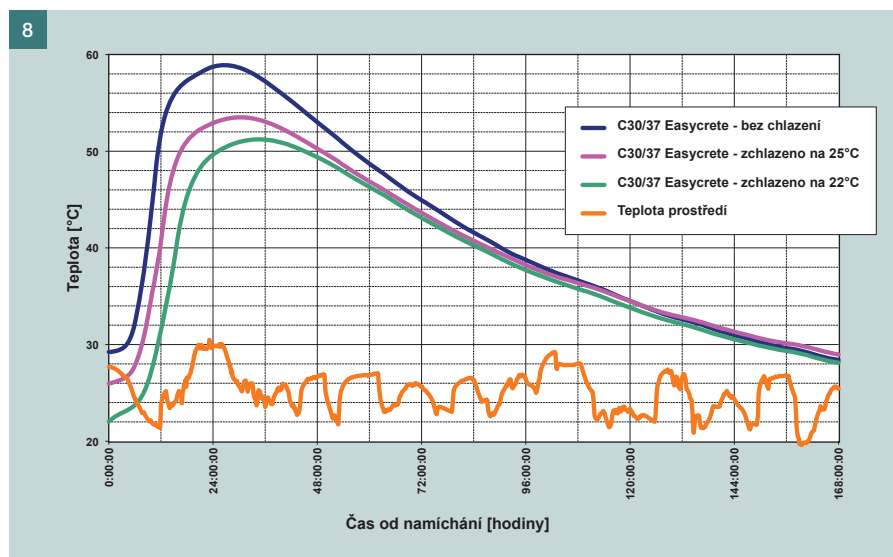
Ani v případě TP ČBS 02 [1], resp. rakouské směrnice pro bílé vany, nejsou tyto přísady v požadavcích na normalizované betony uvedeny. Příkladem může být jedna z nejnáročnějších vodonepropustných konstrukcí současného stavitelství, plavené tunely metra v pražských Holešovicích (obr. 1). Tyto plavené tunely byly provedeny z kvalitního betonu, ale bez speciálních

přísad, a přesto bez problémů fungují.

Spornou otázkou je, když se na základě těchto speciálních přísad zvyšuje návrhová šířka trhliny, a tím se snižuje množství výztuže. Snižujeme tím spolehlivost konstrukce a zvyšujeme výskyt trhlin.

ZÁVĚR

Vodonepropustné betonové konstrukce se využívají od malých rodinných domů, přes bytové a administrativní budovy až po složité inženýrské kon-



Obr. 8 Průběh teplot různě vychlazeného betonu ■ Fig. 8 Temperature development in differently cooled concretes

Obr. 9 Smrštění betonu C40/50 v různém uložení ■ Fig. 9 Shrinkage of concrete C40/50 with different curing

Literatura:

- [1] Technická pravidla ČBS 02 Bílé vany – vodotěsné betonové konstrukce, ČBS ČSSI 2007
- [2] Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton – DafStB – Richtlinie
- [3] ČSN EN 206
- [4] ČSN EN 206-1/Z4
- [5] ČSN P 73 2404, (platnost se předpokládá od 5/2015)
- [6] ČSN EN 12390-8 – Zkoušení ztvrdlého betonu – část 8: Hloubka průsaku tlakovou vodou

strukce. V naprosté většině případů se jedná o spodní stavbu, kde je izolace proti vodě nahrazena betonovou konstrukcí. Toto řešení šetří náklady na hydroizolaci, na druhou stranu vyžaduje kvalitnější beton, více výztuže, těsnící prvky a vysokou technologickou kázeň. V případě poruchy je sanace vodonepropustné konstrukce jednodušší než sanace poškozené hydroizolace, protože místo poruchy lze identifikovat a přímo opravit. Oproti tomu zejména foliová hydroizolace je nepřístupná a místo poruchy je tedy velmi těžké dohledat a sanovat.

K betonu pro vodonepropustné konstrukce je nutno při návrhu přistupovat komplexně, ne pouze z hlediska hodnoty maximálního průsaku. Maximální průsak je nutno ověřovat, nicméně při návrhu složení betonu je třeba přihlídnout i k dalším důležitým parametrům, jako jsou vývin hydratačního tepla nebo smrštění.

Použití správného betonu je pouze jednou z mnoha podmínek úspěšné realizace bílé vany. Kromě vhodného betonu je nutno konstrukci správně koncepčně navrhout, vyřešit pracovní, smršťovací a dilatační spáry a v neposlední řadě je nutno konstrukci technologicky správně provést. Vzhledem k velkému množství realizací se jedná o technologii ověřenou a pro mnoho objektů vhodnou.

V článku jsou uvedeny některé výsledky získané při řešení projektu č. FR T13/531 podporovaného MPO.

Ing. Robert Coufal, Ph.D.

TBG Metrostav, s. r. o.

Rohanské nábř. 68

186 00 Praha 8

tel.: 724 283 989

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

www.tbgmetrostav.cz



prof. Ing. Jan L. Vitek, CSc., FEng.

Stavební fakulta ČVUT v Praze

Metrostav, a. s.

Koželužská 2450/4, 180 00 Praha 8

tel.: 266 019 461

e-mail: vitek@metrostav.cz



Ing. Kristýna Chmelíková

TBG Metrostav, s. r. o.

tel.: 221 709 707

e-mail: kristyna.chmelikova

@tbg-beton.cz

