

BETÓN ZÁKLADOVEJ DOSKY CYKLOTRÓNOVÉHO CENTRA SLOVENSKEJ REPUBLIKY, PAVILÓN J

CONCRETE OF THE FOUNDATION PLATE OF THE CYCLOTRON CENTRE OF THE SLOVAK REPUBLIC, J PAVILON

IGOR HALAŠA, JÁN PULLMAN,
STANISLAV UNČÍK

Článok popisuje betón, ktorý bol použitý pri betonáži základovej dosky Cyklotrónového centra Slovenskej republiky, pavilón J, a jeho vlastnosti v čerstvom a zatvrdnutom stave. Celkový objem uloženého betónu je 5 600 m³.
This article describes concrete used in the concreting of the foundation plate of the Cyclotron Centre of the Slovak Republic, J Pavilion, and its properties in its fresh, as well as hardened state. The total volume of the deposited concrete is 5,600 m³.

Cyklotrónové centrum Slovenskej republiky v súčasnosti budované v Bratislave podľa projektu spracovaného v Ruskej federácii bude mať po uvedení do prevádzky nadnárodný význam. Článok popisuje betón, ktorý bol použitý pri betonáži základovej dosky a jeho vlastnosti v čerstvom a zatvrdnutom stave. Celkový objem uloženého betónu je 5 600 m³. Realizátor sa rozhodol pre rozdelenie betonáže na osem samostatne betonovaných dilatačných celkov. Priemerný objem uloženého betónu v jednom celku predstavoval 650 m³ a najväčšia

betonáž 900 m³. Zabetónovanie jedného dilatačného celku trvalo približne 12 h. Vzhľadom na objem ukladaného betónu a hrúbku základovej dosky, ktorá je v prevažnej časti pôdorysu 2 m, bolo rozhodnuté pre reguláciu vývoja hydratačného tepla pomocou zloženia betónu. Poveťnostné podmienky počas realizácie od 10. januára do 19. februára roku 2007 boli vzhľadom na ročné obdobie priaznivé, napriek tomu denné teploty pod 10 °C a nočné okolo 0 °C mohli predstavovať nebezpečenstvo z pohľadu vzniku veľkého teplotného rozdielu medzi povrchom a jadrom základovej dosky. Termíny betonovania boli určované na základe predpovede počasia a očakávaných minimálnych denných a nočných teplôt.

PRÍPRAVA

Príprava prebiehala v laboratóriu, vo výrobní betónu a samozrejme na stavbe. Betón triedy C20/25 XC1 (SK) – CI 0,1 – Dmax 22 – S4 bol vyrábaný podľa normy STN EN 206-1/Z1. Spojivom bola kombinácia cementu CEM I 42,5 R a elektrárenského popolčeka, pričom bolo použité aj polypropylénové vlákno, superplastifikátor pre minimalizáciu množstva zámesovej vody a spomaľovacia prísada pre možnosť oddialiť tuhnutie a umožniť pri ukladaní vzájomne previbrovať jednotlivé vrstvy betónu. Uvedené vstupné suroviny boli zvolené aj na základe skúseností s ich použitím v minulosti. Údaje o priebehu uvoľňovania hydratačného tepla cementu a spojiva v laboratórnych podmienkach uvádza tabuľka 1. Vlastnosti čerstvého a zatvrdnutého betónu zistené

v laboratórnych podmienkach a neskôr na stavbe sú v tabuľke 2.

Z dôvodu zabezpečenia kontinuálneho zásobovania kvalitným kamenivom boli vo výrobníach kameniva vopred pripravené dostatočné množstvá jednotlivých frakcií vybrané z jadier skládok kameniva tak, aby sa zamedzilo výskytu zmrázok, ktoré by spôsobovali brzdenie výroby a nehomogenitu vyrobeného betónu. Pre zvýšenie výkonu v zimnom období a poistenie schopnosti kontinuálne dodávať požadované množstvo betónu na jednotlivé dilatačné celky boli dodávky betónu realizované z dvoch betonární s rovnakými vstupnými surovinami. Ako samozrejmé opatrenie na zabezpečenie potrebnej teploty čerstvého betónu v zimnej prevádzke bola používaná teplá zámesová voda.

Stavba zabezpečila zateplenie debnenia po obvode celej základovej dosky. Projekt nepredpokladal použitie tepelnej izolácie debnenia ani povrchu uloženého betónu, zateplenie medzi jednotlivými dilatačnými celkami sa nedalo realizovať vzhľadom na ich vzájomné prevážovanie systémom špeciálnej výstuže. Limitujúcim faktorom počtu a objemu dilatačných celkov bola cena a osadzovanie dilatačnej výstuže. Keďže prakticky každá strana dilatačného celku bola inak zabezpečená proti vplyvom okolitého prostredia, bolo zaujímavé sledovať priebeh teplôt

Tab. 1 Priebeh hydratácie cementu, spojiva a kombinácie spojiva a prísad v laboratórnych podmienkach [3]

Tab. 1 Process of hydration of cement, binder and a combination of the binder and additives in laboratory conditions [3]

Doba hydratácie [h/d]	Meraná zmes a uvoľnené teplo [J/g]		
	CEM I 42,5 R		
	samotný cement	+ popolček	+ popolček, plastifikačná a spomaľovacia prísada
12/0,5	110	92	51
24/1	190	160	85
48/2	273	228	189
72/3	316	260	237
96/4	343	283	268
120/5	360	300	292
144/6	371	312	309
168/7	380	322	323

Vlastnosť betónu	Zistená hodnota	
	v lab. podmienkach	na stavbe
Konzistencia skúškou sadnutím [mm] po 5 min.	200	210
Konzistencia skúškou sadnutím [mm] po 20 min.	160*	190
Konzistencia skúškou sadnutím [mm] po 12 h	60	-
Teplota čerstvého betónu [°C] po 30 min.	-	16
Objemová hmotnosť zatvrdnutého betónu [kg/m ³] po 28 d	2300	2290
Pevnosť v tlaku [MPa] po 7 d	28,0	33,5
Pevnosť v tlaku [MPa] po 28 d	41,5	47,0

* údaj získaný v skúšobnom laboratóriu po 30 min.

Tab. 2 Vlastnosti čerstvého a zatvrdnutého betónu [2]; [4]

Tab. 2 Properties of fresh and hardened concrete [2]; [4]

v betóne. Pred zabetónovaním bolo v konštrukcii jedného z dilatčných celkov umiestnených šesť snímačov teploty. Tri z nich tesne pod povrchom betónu (v rámci krycej vrstvy výstuže), dva v strede hrúbky dosky, kde boli „obalené“ vrstvou betónu minimálne 1 m a posledný snímač, ktorý bol umiestnený tiež v strede hrúbky dosky, ale z jednej strany bol tesne pri dočasnom okraji konštrukcie (pri dilatácii). Zároveň bolo nainštalovaných šesť snímačov teploty, každý z nich 1 m nad povrchom betónu. Cieľom bolo zistiť teplotu vzduchu v okolí a teplotu v konštrukcii na rôznych, vopred určených miestach. Údaje boli kontinuálne zaznamenávané počas prvých sedem dní od zabetónovania. Betonáž sledovaného dilatčného celku prebiehala od rána 22. januára 2007.

REALIZÁCIA

Doprava čerstvého betónu bola realizovaná domiešavačmi s užitočným objemom 5, 6 a 9 m³. Špecifikom dopravy bolo strmé stúpanie k stavbe v úseku posledných 200 m trasy. Vzhľadom na fakt, že konzistencia betónu na stavbe bola S4 (160 až 210 mm skúškou sadnutím), domiešavače nedopravovali plný objem, ale vždy o 1 m³ betónu menej. Z výkonnejšej betonárne jazdilo priemerne šesť domiešavačov s nákladom 8 m³ a z menšej betonárne sa dopĺňal výkon tromi domiešavačmi s nákladom 4 a 5 m³. Betón bol ukladaný pomocou dvoch mobilných čerpadiel s ramenom, podľa potreby 32 alebo 42 m. Pretože išlo o mimoriadne husto vystuženú konštrukciu, nedalo sa reálne zabezpečiť, aby nedochádzalo k opieraniu používaných ponorných vibrátorov o pruhy výstuže. V prípade použitia normálne tuhnúceho betónu vznikla obava, že pri neustálej vibrácii novo ukladaných vrstiev vzniknú v už zavädnutom betóne miesta s nedostatočne obalenou výstužou. Tuhnutie a tvrdnutie začalo následkom spomalenia po 12 až 18 h, a teda betón uložený na začiatku betonáže bol schopný zhutnenia ponornými vibrátormi ešte aj v tomto čase. Spomalenie umožnilo na stavbe dôkladne zhutniť všetky vrstvy uloženého betónu po celej hrúbke základovej dosky. Celý proces možno považovať za betonáž

Obr. 1 Výstuž základovej dosky

Fig. 1 Reinforcement of foundation plate

Obr. 2 Priebeh teploty vzduchu počas prvých 7 dní od zabetónovania sledovaného bloku základovej dosky, znázornené sú spoločné údaje zo šiestich snímačov teploty

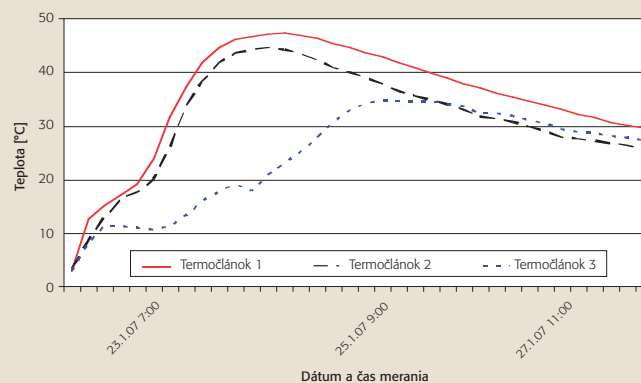
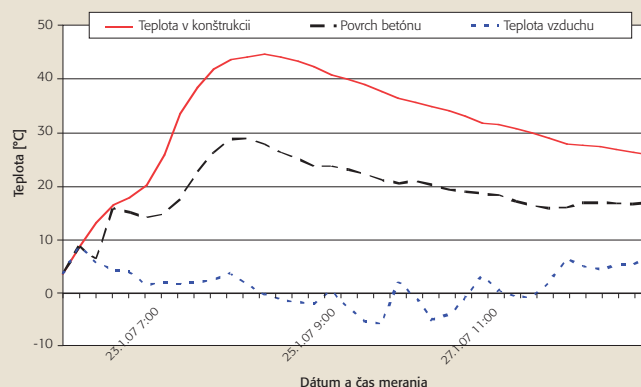
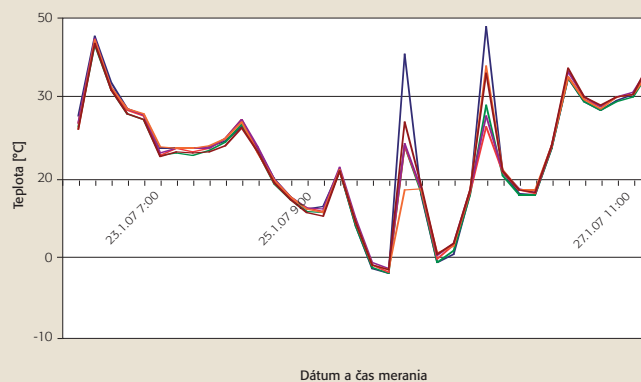
Fig. 2 Air temperature diagram during the first seven days from concreting the observed block of the foundation plate; common data from six temperature sensors are presented

Obr. 3 Priebeh teploty vzduchu, povrchu a „jadra“ dosky počas prvých 7 dní od zabetónovania

Fig. 3 Temperature diagram of the air, surface and core of the plate for the first seven days from concreting

Obr. 4 Priebeh teploty v rôznych miestach pôdorysu, vždy v strede hrúbky dosky počas prvých 7 dní od zabetónovania, termočlánky 1 a 2 boli umiestnené v strede dilatčného poľa, termočlánok č. 3 na rozhraní dvoch polí

Fig. 4 Air temperature diagram in various places of the plan, always in the centre of the thickness of the plate during the first seven days from concreting, thermocouples 1 and 2 were placed in the centre of the dilatation field, thermocouple 3 on the boundary of two fields



s revibráciou, čo v kombinácii s ošetrovaním betónu, použitými prísadami a prísadami umožnilo vytvoriť masívnu betónovú dosku bez prítomnosti viditeľných trhlin z plastického zmršťovania alebo plastického sadania betónu.

ZHODNOTENIE VÝSLEDKOV

Meranie hydratačného tepla uvoľneného po kontakte spojiva so zámesovou vodou preukázalo obmedzenie uvoľneného množstva a vplyv spomalovacej prísady na oddialenie času, kedy je hydratacia najintenzívnejšia. Týmto bolo umožnené všetkému uloženému betónu tuhnúť a tvrdnúť prakticky naraz, napriek tomu, že celý objem bol vyrábaný v priebehu 12 h. Potvrdenie tohto predpokladu prinieslo meranie priebehu teploty v konštrukcii v rôznych miestach, v jej jadre aj tesne pod povrchom, ako ilustrujú obrázky 3 a 4. Dva snímače teploty (obr. 3) boli umiestnené vo vzájomne najbližších bodoch, kde by podľa predpokladov mali nastať extrémny z hľadiska dosiahnutia maximálnej a minimálnej teploty v rovnakom čase. Cieľom tohto porovnania bolo zistiť kedy a aký maximálny rozdiel teplôt nastane v rovnakom čase v konštrukcii. Podľa [1] je kritický rozdiel teplôt 20 °C, kedy sú vytvorené predpoklady na vznik trhlin z rozdielu teplôt v konštrukcii. Maximálny zaznamenaný rozdiel bol 18,5 °C.

V laboratórnych podmienkach prebiehal silný nárast uvoľneného hydratačného tepla na druhý a tretí deň. Na prelome druhého a tretieho dňa po betonáži bola aj v konštrukcii zaznamenaná maximálna teplota, 47,2 °C. Z výsledkov meraní je evidentný rozdiel v maximálnych dosiahnutých teplotách rôznych bodov v rovnakom čase. Namerané údaje ukazujú, že teplota a jej priebeh v konkrétnom bode

výrazne závisia od jeho polohy a teploty okolia. Miesta na okrajoch konštrukcie vystavené ochladzovaniu od vonkajšieho prostredia dosahujú výrazne nižšie maximálne teploty v porovnaní s miestami, ktoré sú zo všetkých strán obklopené metrovou vrstvou tuhnúceho a tvrdnúceho betónu.

Na obrázku 4 sú uvedené teploty z troch rôznych miest vždy v strede výšky konštrukcie. „Termočlánok 1“ a „Termočlánok 2“ predstavujú merania v bodoch, ktoré sú zo všetkých strán obklopené vrstvou betónu s hrúbkou 1 m. „Termočlánok 3“ zaznamenával priebeh teploty v bode, ktorý bol z jednej strany ochladzovaný teplotou vzduchu. Umiestnený bol na okraji budúcej dilatácie. Po zabetónovaní vedľajšieho dilatácie celku sa v tomto bode prejavil nový nárast teploty v čase, keď sa okolitý (skôr uložený) betón už ochladzoval.

ZÁVER

Detailná príprava zloženia betónu, príprava betonárne a stavby podľa aktuálnych poveternostných podmienok má význam z hľadiska účinnej regulácie výšky a tiež priebehu teplôt v konštrukcii. Ukladanie a zhutňovanie betónu prebiehalo podľa predpokladov, merania teploty na povrchu konštrukcie a v strede jej hrúbky preukázali, že priebeh teploty bol v rámci teoretických predpokladov. Zvolené zloženie betónu v kombinácii s jeho vystužením zabezpečilo dostatočnú ochranu pred tvorbou trhlin, ktoré by mohli byť spôsobené napätiami z rozdielu teplôt medzi rôznymi miestami v konštrukcii. Na základe prípravy v skúšobnom laboratóriu je možné pomerne presne predpokladať, ako bude prebiehať hydratacia spojiva a teda aj vývoj uvoľneného tepla,

Literatúra:

- [1] Neville A. M.: Properties of concrete, Fourth edition, Longman, London 1997
- [2] BetónRacio, s. r. o., Protokoly č. B 2007/0555 a B 2007/0386, Trnava 16. 2. 2007 a 13. 1. 2007
- [3] Považská cementáreň, a. s., Protokol o uvoľnenom hydratačnom teple skúšaných zmesí
- [4] BetónRacio, s. r. o., Protokol o miešaní v skúšobnom laboratóriu, zakázka č. 11/06/173, prímacie číslo betónu 2006/927 a 2006/928

čo predstavuje prínosnú informáciu z pohľadu ošetrovania betónovej konštrukcie a nadväzujúcich činností v rámci pokračujúcej výstavby objektu. Nezanedbateľným prínosom je tiež overenie vplyvu použitej spomalovacej prísady na priebeh hydratacie spojivovej zmesi, porovnanie nameraných údajov s teoretickými predpokladmi a priebehom tuhnutia či uvoľňovania tepla z hydratacie betónu, ktorý je uložený v konštrukcii.

Ing. Igor Halaša
 BetónRacio, s. r. o.
 Skladová 2, 917 00 Trnava
 Slovenská republika
 tel.: +421 335 531 531
 e-mail: halasa@betonracio.sk, www.betonracio.sk

Ing. Ján Pullman
 ALAS Slovakia, s. r. o.
 Polianky 23, 841 01 Bratislava
 Slovenská republika
 e-mail: j.pullman@alas.sk

Doc. Ing. Stanislav Unčík, PhD.
 Stavebná fakulta STU Bratislava

VI. PUTEOLSKÝ PRÁŠKOVITÝ PÍSEK

Existuje také jeden druh práškovitého písku, ktorý vytváří prirodzeným spôsobom podivuhodné veci. Vyskytuje sa v krajích u Bají na území mestečiek ležiacich okolo hory Vesuvu. Tento práškovitý piesok, smiešan s vápnom s kusovým kamenom, dodáva pevnosti nejen stavbám vôbec, ale dokonca s jeho pomocou tvrdnú pod vodou i hráze stavěné v mori. Děje se to zřejmě z důvodů, že pod těmi horami jsou rozřhavené kusy půdy i mnohé prameny, což by se nedělo, kdyby v hlubinách pod nimi nebyly velké ohnivé zdroje hořící síry, kamence nebo zemní smoly. Jestliže tedy tři uvedené látky, které oheň svým působením učinil zcela stejným způsobem pórovitými, utvoří jednotnou směs, stmelují se dohromady, když do sebe nabraly náhle tekutinu, přičemž účinkem vlhkosti rychle tvrdnou a zpevňují se v celek, takže ani vlnobití, ani síla vody je nemůže od sebe oddělit...

... Aby tyto věci nebyly neznámým, kdo provádějí nějakou stavbu, podal jsem, pokud mé vědomosti stačily, výklad o materiálu nezbytném při provádění staveb, o uspořádání základních žilů, v němž je tento materiál od přírody stejně složen, jakož i o tom, jaké přednosti a nedostatky mají jeho jednotlivé druhy. Kdo se tedy dovede řídit údaji tohoto pojednání, bude mít ve věci větší rozhled a bude si moci při stavebních pracích vybrat správné použití jednotlivých druhů materiálu...

Marcus Vitruvius Pollio, Deset knih o architektuře, Kniha druhá