

MODELOVÉ POSOUZENÍ UŽITNÝCH VLASTNOSTÍ OBJEMNÉ MONOLITICKÉ BETONOVÉ KONSTRUKCE

MODEL SCREENING OF USEFUL QUALITIES OF AN EXTENSIVE MONOLITIC CONCRETE STRUCTURE

Stanislav Šťastník¹

1 Úvod

Proces hydratace slínekových minerálů cementu představuje silně exotermní reakci. Fáze zpevňování struktury hydratací pojiva představuje pro betonové monolitické objemné konstrukce kritické období, neboť zvýšení teploty může ohrozit konečný stav funkčnosti betonu z hlediska jeho požadovaných vlastností. Zejména se jedná o změny související s vnitřní strukturou betonu, pórovitostí, resp. mnohdy požadovanou vodotěsností.

V betonové směsi se projevuje hlavně druh a množství použitého pojiva, tj. cementu. Stanovení průběhu uvolňování hydratačního tepla pojiv lze zjistit experimentálně zkouškou v adiabatickém kalorimetru podle teplotně-časového průběhu uvolňovaného tepla. Konkrétní pevnost betonu se obvykle dává do souvislosti s velikostí uvolněného hydratačního tepla.

Z výsledků experimentálních měření je známo, že pravděpodobnost vzniku trhlin a formování vnitřního napětí v betonu je úměrné nejvyšší dosažené teplotě. Tlaková napětí během hydratačního ohřevu jsou v raném stavu betonu v důsledku zanedbatelné hodnoty modulu pružnosti také nepatrná. Riziko vytváření trhlin se zvyšuje s dobou zpevňování struktury od betonáže, která je v počáteční fázi urychlována hydratační teplotou. U vodotěsného betonu se požaduje omezení nejvyšší dosažené teploty zvláštními opatřeními, kterými se omezuje množství pojiva i záměsové vody. Očekávané hodnoty smrštění betonu vzhledem k množství přidávaného cementu a záměsové vody jsou popsány v literatuře.

2 Předpoklady pro sestavení teplotního modelu

Problém teplotního vývoje je významný zejména u masivních monolitických konstrukcí, kde se koncentruje značná masa betonu s vysokou tepelně-akumulační schopností a většinou relativně nízkou mírou tepelných ztrát povrchy monolitu. Konkrétní teplotní průběh v masivu představuje časově závislý děj, v němž se uplatní následující vlivy:

- o geometrie uspořádání monolitu,
- o druh a množství použitého cementu, skladba betonové směsi,
- o použité chemické přísady, množství, koncentrace,
- o teplota ukládané betonové směsi,
- o časová posloupnost při ukládání čerstvé betonové směsi,
- o klimatické podmínky betonáže aj.

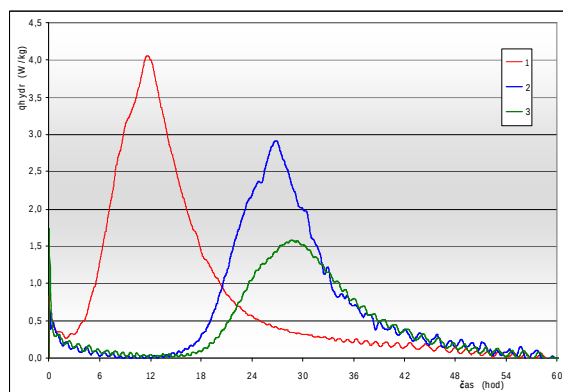
Z fyzikálního hlediska představuje hydratační proces komplikovaný chemicko-fyzikální děj řízený mnoha vnitřními termodynamickými vazbami a rovnovážnými stavy. Rozhodující je množství a druh použitého cementu, protože souvisí reakční kinetikou hydratace, resp. časovou závislostí uvolňovaného vnitřního hydratačního tepla. Potřebnou závislost lze pro

¹ Stanislav Šťastník, Fakulta stavební, VUT Brno, Veveří 95, stastnik.s@fce.vutbr.cz

Na ústavu stavebních hmot stavební fakulty VUT Brno byl sestaven výpočtový model, podle něhož se realizují strojové výpočty časově-závislých 2D-teplotních polí a umožňuje zahrnout změnu geometrie tělesa během výpočtu (stavy postupné betonáže díla), průběh vnitřní generace hydratačního tepla podle konkrétní doby uložení jednotlivých dávek

betonu do masivu i povrchové jevy zahrnující uplatnění latentního výparného tepla, event. vliv oslunění, periodický průběh denního chodu klimatické teploty.

Na obr. 1 je vyobrazen průřez monolitickým železobetonovým tělesem, který byl předmětem výpočtu. Časová závislost uvolňování hydratačního tepla pojiva byla stanovena přímou kalorimetrickou metodou měření hydratační teploty v tuhneoucích vzorcích umístěných v temperovaném prostředí a ověření průběhu uvolňovaného hydratačního tepla bylo provedeno zpětným modelováním na základě zjištěných teplot přímým měřením teplot na pokusném fragmentu betonu o rozměrech 1 x 1 x 2,5 m.

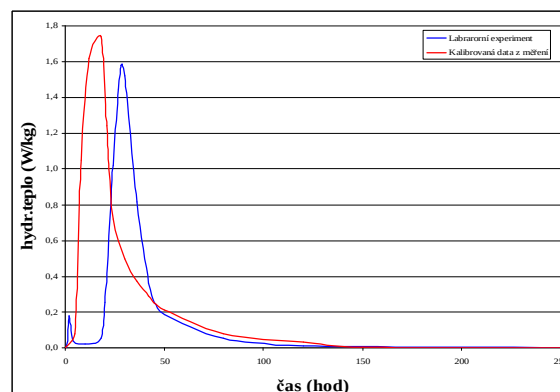


Obr. 2: Časový průběh vývinu hydratačního tepla záměsí

1-cement CEM III/A 32,5 + voda $w = 0,34$

2- cement CEM III/A 32,5 + voda +
plastifikátor $w = 0,34$

3- cement CEM III/A 32,5 + popílek 30%
+voda + plastifikátor $w = 0,34$



Obr. 3: Průběh intenzity uvolňování hydratačního tepla - výsledek z laboratorního měření (označeno linií „Laboratorní experiment“) a výsledek zjištěný zpětným modelováním (označeno linií „Kalibrovaná data z měření“)

Pro výpočty bylo užito materiálových vlastností, které jsou shrnuty v tabulce 1 (viz technická norma ČSN 73 0540-3).

Tab. 1: Přehled materiálových vlastností staviv použitých pro výpočty

Materiál	l (W/m.K)	c (J/kg.K)	r (kg/m ³)
Beton	1,60	1144	2400
Ocel	58	440	7850
Vzduch (neproudící)	0,026	1010	1,2
Okolní skalnatý masiv	1,4	920	2400

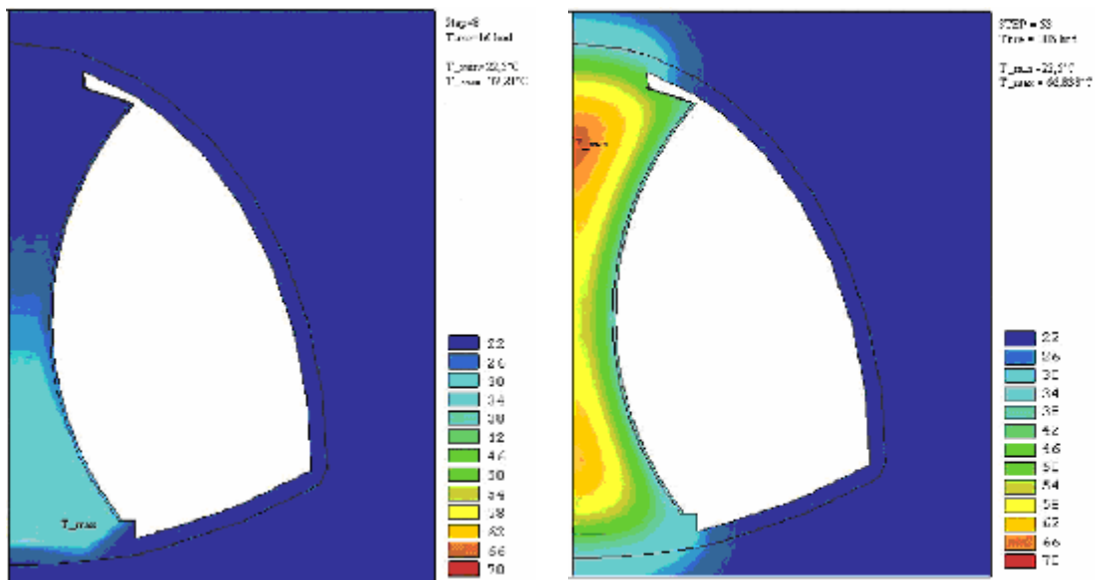
kde: l je součinitel tepelné vodivosti (W/m.K),
 c tepelná kapacita (J/kg.K),
 r objemová hmotnost (kg).

Okrajové podmínky pro jednotlivé alternativy byly voleny takto

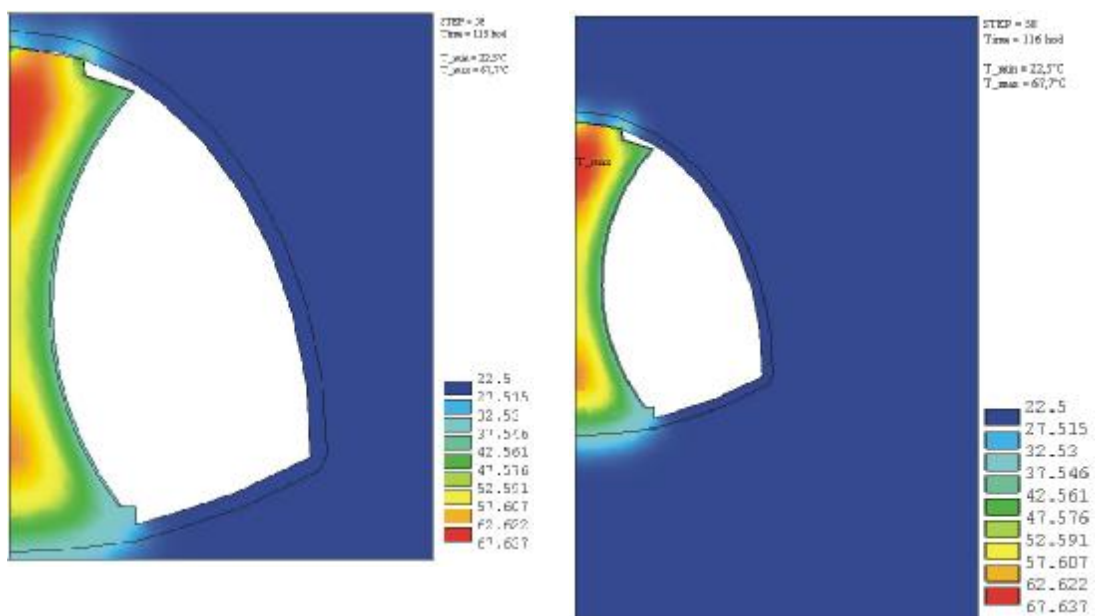
- o výpočet A – předpoklad mírného vnitřního proudění vzduchu v tunelu okolo tělesa pilíře s hodnotou přestupového součinitele $h = 5,5 \text{ W/m}^2\text{.K}$ (alternativní provětrávání tunelu),

- o výpočet B – předpoklad neproudícího vzduchu v tunelu okolo tělesa pilíře (alternativní uzavřená vzduchová dutina v tunelu),
- o výpočet C – předpoklad mírného vnitřního proudění vzduchu v tunelu okolo tělesa pilíře s hodnotou přestupového součinitele $h = 5,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, avšak s předpokladem, že se nad horním povrchem betonovaného tělesa pilíře vytváří vzduchová dutina, jež zabraňuje bezprostřednímu tepelnému kontaktu s okolním masivem. Tepelný kontakt výpočtově nastává pouze ve dvou krajních rovinách horního líce pilíře.

Ostatní výpočtové alternativy, které byly v rámci tohoto projektu provedeny, tvoří ověřovací výpočty nebo mezní teplotní stavy, které v reálném případě nenastanou.



a) čas 16 hodin od počátku betonáže b) čas 106 hodin od počátku betonáže
Obr. 4: Teplotní rozložení v tělese pilíře a okolního skalnatého masivu (výpočet A)



a) čas 116 hodin od počátku betonáže (detail pilíře) b) čas 116 hodin od počátku betonáže (celková situace)

Obr. 5: Teplotní rozložení v tělese pilíře a okolního skalnatého masivu (výpočet C)

4. Závěr

V předcházející části tohoto příspěvku byl dokumentován případ modelování objemného monolitického železobetonového díla. Modelové výpočty tepelného chování tělesa pilíře v době hydratace pojiva ukládaného SCC betonu prokázaly některé vlastnosti, které se bezprostředně vztahují k realizaci stavebního díla. Zejména byly prokázány následující vlastnosti:

- o Při laboratorním měření byla zjištěna nižší součtová hodnota uvolněného tepla než v případě měření na pokusném fragmentu betonu, resp. zjištěná metodou zpětného modelování z naměřených teplot. Z tohoto důvodu je důležité zajistit poměrně nízkou teplotou ukládané SCC betonové směsi, která by měla co nejnižší teplotu.
- o Z provedených výpočtů vyplývá, že provětrávání tunelu příznivě snižuje teplotu v tělese pilíře. Tomuto jevu napomáhá skutečnost, že užití zamýšleného ocelového bednění nesnižuje míru transportu tepla k povrchu pilíře (oproti užití dřevěného bednění).
- o Nepříznivý případ z hlediska odvádění tepla může nastat tím, že se nepodaří vyplnit při betonáži celý objem bednění čerstvým SCC betonem zcela až k horní klenbě. Z tohoto důvodu nenastane předpokládaný tepelný kontakt mezi betonem a okolním skalnatým masivem, který zajišťuje odvádění tepla do okolí pilíře.
- o Z uvedeného vyplývá poznatek, že materiál vybetonovaného pilíře poskytuje dostatečnou tepelnou kapacitu pro akumulaci tepla během procesu hydratace pojiva v SCC betonu. Uvedený předpoklad však nebude dostatečně platit v případě, že proces hydratace pojiva v betonu, resp. jeho kinetika bude urychlována účinkem teploty z vlastního tepla.
- o Pro vyloučení rizika zvýšení teploty v SCC betonu během hydratace pojiva nad 70°C se jeví potřebné omezit počáteční teplotu ukládaného SCC betonu do bednění na co nejnižší dostupnou teplotu. I když do značné míry je hydratační proces pojiva ovlivněn vlastnostmi konkrétního cementu, popílků i plastifikační přísadou, měl by být tento požadavek na nízkou počáteční teplotu betonu beze zbytku respektován.
- o Z tohoto hlediska se pro dosažení bezpečné teploty jeví příznivě časové rozložení betonáže tělesa pilíře do co nejdelšího intervalu. V modelových výpočtech se předpokládá doba betonáže 16 hodin. Při ukládání betonové směsi však musí být současně zajištěno, že se na rozhraní jednotlivých ukládaných dávek betonu nevytvoří pracovní spára.

LITERATURA

- [1] Huber, H., Nesitka, W., Weisse Wannen – wasserundurchlässige Betonbauwerke, österreichischer Betonverein – Schriftreihe Heft 43/2000, Wien 2000, p. 15-24
- [2] Vala, J., Building as a thermal system, Slovenská štatistická spoločnosť, Bratislava 2001, p.147-153 ISBN 80-88946-13-1

Tato publikace byla vytvořena při řešení projektu VVZ CEZ MSM 261100008-DT 6 a grantu GA ČR 103/03/0952.