



SLOŽENÍ BETONŮ PRO VODONEPROPUSTNÉ MONOLITICKÉ OSTĚNÍ

Zpracovali: prof. Ing. Jan L. Vitek, CSc., FEng. (Metrostav a.s. a Stavební fakulta ČVUT); Ing. Robert Coufal, Ph.D. (TBG Metrostav, s.r.o.)

Souhrn

Vodonepropustné betonové konstrukce jsou ty konstrukce, kde beton kromě statické funkce plní i funkci zábrany pronikání vody do objektu. Pronikání vody se rozumí buď průsak, který se u některých konstrukcí může v omezeném rozsahu připustit nebo pronikání vody, které by nastat nemělo. Pronikání vody do objektu může nastat různým způsobem: a) Průnikem vody skrz nepoškozený beton, b) průnikem vody skrz trhlinu v betonu a c) průnikem vody pracovní nebo dilatační spárou. Průnik vody betonem (a) lze zamezit vhodným návrhem betonové směsi a kvalitním zhutněním. Omezení tohoto průniku závisí tedy převážně na kvalitě betonu. Průnik trhlinou závisí na citlivosti betonu na vznik trhlin, a též na mnoha dalších faktorech (vyztužení, délka pracovních záběrů, rychlost betonáže, klimatické podmínky, atd.). S ohledem na vznik trhlin (b), hraje složení betonu významnou roli v době, kdy beton ještě nenabyl pevnost (rané stáří). Dále je významné smršťování betonu, které je hlavní příčinou vzniku trhlin vlivem omezené deformace prvku nebo konstrukce. Na průnik betonu spárami (c) má složení betonu jen malý nepříjemný vliv.

Oblast použití

Složení betonu pro vodonepropustné konstrukce je třeba vyvíjet nejen pro tunelové stavby, ale i pro ostatní stavby z masivního betonu, na které je kladen požadavek, aby nepropouštěly vodu do objektu, např. podzemní části pozemních staveb. Přesto mají tunely poněkud specifické podmínky dané charakterem stavby. Tunely se betonují proudovým postupem a proces – instalace bednění, vyztužování, betonáž, ošetřování musí být nastaven tak, aby se dosahovalo co nejrychlejšího postupu výstavby (samozřejmě za přiměřených nákladů). Tunely bývají dlouhé a proudová metoda výstavby musí být proto optimalizována. Dále je výška tunelů (dle jeho typu – železniční, silniční, metro, atd.) obvykle větší než u betonáže podlaží u pozemních staveb. Objem betonu je tedy větší a tlaky na bednění, i pokud se používá klasický vibrovaný beton, jsou výrazně větší. V případě použití samozhutnitelného betonu jsou tlaky na bednění poměrně málo známé. Hutnění betonu je obtížnější, protože k ostění je omezený

přístup. Příložná vibrace je častější než u pozemních staveb. Ošetřování je náročnější vzhledem k tvaru tunelu a mnohdy se vyžaduje, aby byl zkonstruován ošetřovací vůz, který se posouvá v závěsu za betonážním vozem a udržuje po omezenou dobu vhodné podmínky pro tvrdnutí betonu. V tunelu je prostředí, které bývá vlhčí než u nadzemních staveb, což je drobná výhoda. Navrhovaná složení betonu jsou směřována na aplikaci na tunelech, přesto je lze s případnou modifikací použít i pro jiné stavby.

Metodika a postup řešení

Nejprve je nutné stanovit cíle, které má složení betonu pro vodonepropustné ostění splňovat. 1. Požadovaná pevnost a odolnost proti prostředí definovaná specifikací betonu. 2. Náběh pevnosti dle specifikace (závisí na technologii výstavby a zejména na požadovaném čase pro odbednění ostění). 3. Požadavky na malý vývin hydratačního tepla, protože teplotní gradienty vznikající při hydrataci betonu jsou zdrojem vlastních pnutí, která mohou být příčinou vzniku trhlin v ostění. Pak by byla vodonepropustnost ohrožena. 4. Požadavky na omezené smršťování betonu, popř. opatření ke zvýšení odolnosti proti vzniku trhlin v raných stářích betonu.

Požadovaná odolnost je dána prostředím dle ČSN EN 206-1. Z toho vzniká požadavek na minimální pevnost betonu. Takto určená pevnost se porovná z pevností požadované ze statického posouzení objektu. Obvykle pevnost stanovená na základě odolnosti betonu je dostatečná i pro statické působení. Někdy se stává, že pevnost odvozená z odolnosti je i vyšší než požadavek statický. Probíhá diskuse o praktických možnostech návrhu betonu nižší pevnosti a zároveň splnění požadované odolnosti. To je praktický problém s dopady do ceny betonu a je třeba se jím zabývat i dále.

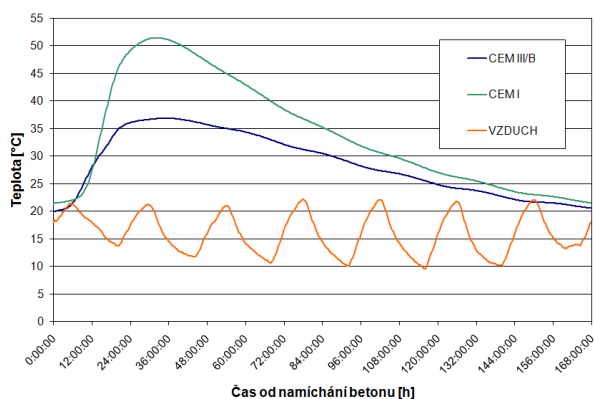
Náběh pevnosti je parametr stanovený statickými požadavky v době odbedňování. Z hlediska mechanického zatížení obvykle postačuje relativně malá pevnost betonu. Při započtení dalších možných zatížení (např. teplotní změny) požadavek může nereálně vzrůst. Zde je třeba nalézt vhodný kompromis.

Požadavek na nízký vývin hydratačního tepla ovlivňuje zejména výběr vhodného cementu. Problém je popsán v následujícím odstavci.

Jak omezit smršťování betonu je problém, který se řeší již řadu let pouze s částečnými výsledky. Existují přísady redukcující smršťování, avšak jejich účinek je v řadě případů diskutabilní a cena je poměrně vysoká. V poslední době se nejvíce využívá skleněných, polypropylénových, polyetylénových nebo jiných nekovových vláken k vyztužení betonu v době raného stáří. Tato vlákna mají malý modul pružnosti a dokážou příznivě ovlivnit beton, dokud je v raném stádiu a omezit iniciaci prvních trhlin. Jakmile beton nabude pevnost a vzroste jeho modul, pak přestávají působit. Zkušenosti s působením v počáteční fázi jsou dobré. Otázkou zůstává, jaké je optimální množství, které je uvažuje např. u polypropylénových vláken v rozmezí 0,6 až 1,5 kg/m³ betonu. Polypropylénová vlákna mohou přispět i k zvýšení požární odolnosti betonu.

Výsledky

V oblasti výzkumu složení betonových směsí se sledoval vliv druhu cementu na vývin hydratačního tepla při hydrataci. Jako příklad lze uvést složení dvou druhů betonu pevnostní třídy C40/50. První beton využívá portlandský cement CEM I 42,5 R. To je běžný cement užívaný pro betony uvedených pevností. Druhý beton je vyroben s cementem CEM III/B 32,5 N. To je beton s nižší rychlostí tvrdnutí avšak po 90 dnech mají oba betony velmi podobné pevnosti. Vývoj teplot je uveden na grafu na obr. 1.

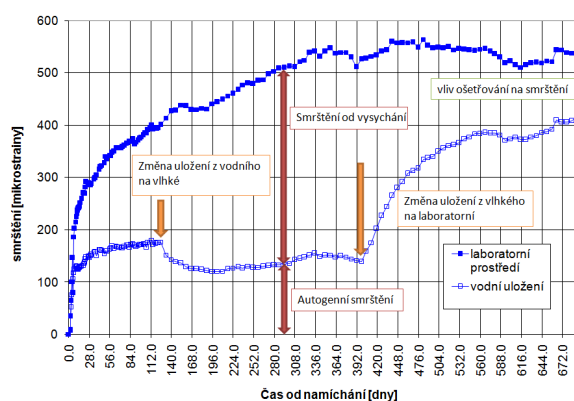


Obr. 1 Průběh teplot v betonu v počáteční době tvrdnutí

Experimentálně zjištěné teploty odpovídají přibližně teplotám uvnitř stěny tlusté 1 m. Zatímco maximální teplota v betonu s cementem CEM I byla asi 52°C, teplota v betonu s cementem CEM III dosáhla pouze cca 37°C. Počáteční teplota byla u obou betonů podobná, cca 20°C. Rozdíl maximálních teplot činí tedy 15°C, což je velmi významná hodnota. Napětí

v betonu jsou závislá na rozdílu teplot uvnitř a na povrchu a při podobné povrchové teplotě může být právě teplotní rozdíl hlavní příčinou vzniku trhlin v betonu raného stáří a tím může dojít ke ztrátě vodonepropustnosti. Je proto zásadní nadefinovat přípustný teplotní spád v konstrukci již v době projektování. Na druhé straně je třeba respektovat možnosti v České republice a uvádět reálné požadavky. Jako příklad lze uvést současnou situaci. Např. v Rakousku se vyrábí cement bez obsahu C₃A, který se vyznačuje velmi nízkým vývojem hydratačního tepla. Proto tamější požadavky na nárůst teploty mohou být poměrně přísné. U nás se takový cement nevyrábí a nedodává. Není proto možné převzít rakouské požadavky, protože by byly při použití dostupných cementů nereálné. Je třeba problém řešit jiným způsobem.

Smršťování betonu je dalším faktorem, který je mimořádně významný pro vznik případných trhlin a též pro stupeň nutného vyztužení konstrukce. Na grafu na obr. 2 je uveden vliv ošetřování betonu na redukcii smršťování.



Obr. 2 Průběh smršťování při různém ošetřování

Vzorek uložený nejprve ve vodě má výrazně menší počáteční smršťování než prvek uložený v laboratorním prostředí. I vlhké prostředí výrazně deformaci redukuje. V konečné fázi je třeba prvek ponechat v reálném prostředí, ale to už má beton značnou pevnost a postupně rostoucí deformace od smršťování již mají menší efekt na vznik trhlin. Nejnebezpečnější je právě doba, kdy beton ještě nenabyl svoji pevnost a je tedy náchylný ke vzniku trhlin.

Literatura

- [1] Coufal, R.: Betony pro vodonepropustné a masivní konstrukce. Materiály pro stavbu 8/2013, 38-43
- [2] Wasserundurchlässige Betonbauwerke – Weiße Wannen, Richtlinie ÖVBB, Ausgabe 3.2009