



VYSÝCHÁNÍ A SMRŠŤOVÁNÍ BETONU

Zpracovali: Ing. Marek Vinkler (Fakulta stavební ČVUT v Praze), prof. Ing. Jan L. Vitek, CSc., FEng. (Metrostav a.s. a Fakulta stavební ČVUT v Praze)

Souhrn

Vysýchání a smršťování betonu jsou vzájemně provázané jevy, které je nutno sledovat. Prvním důvodem je stanovení jejich velikosti a časového vývoje, druhým důvodem je zajištění experimentálních dat pro kalibraci výpočetních modelů. Experimentální program má těmto cílům sloužit a už v první fázi přinesl zajímavé výsledky.

Oblast použití

Vodonepropustné betonové konstrukce se navrhují na omezení šířky trhlin. Trhliny vznikají od mechanického zatížení konstrukce a současně také vlivu objemových změn, zejména smršťování betonu. V řadě případů je právě vliv smršťování betonu rozhodující pro vznik a šířku trhlin. Proto je nutné věnovat smršťování pozornost a zkoumat mechanismy jeho vzniku. Jednou z hlavních příčin smršťování je postupné vysýchání betonové konstrukce. Vlivem postupného vysýchání vzniká nerovnoměrné smršťování a to je příčinou vzniku vnitřních pnutí, která způsobují nejprve vznik mikrotrhlin a později trhlin, a v důsledku pak netěsnost betonové konstrukce. Vysýchání je velmi pomalé a i smršťování probíhá pomalu, a proto je nutné sledovat, kdy ke vzniku trhlin může docházet a přijmout vhodná opatření.

Metodika a postup řešení

Protože postupné vysýchání betonu a potom jeho smršťování je silně závislé na konkrétních parametrech betonu, byla v počáteční fázi zvolena experimentální cesta výzkumu těchto jevů. Byl navržen experimentální program, jehož cílem je sledovat souvislost mezi vysýcháním a smršťováním betonu. Jako první byl pro experimentální program zvolen beton třídy C30/37, který je nejčastěji vyráběným betonem pro vodonepropustné konstrukce.

Měření vlhkosti v betonu je obecně nesnadná úloha, která byla vyřešena již v předcházejících výzkumných projektech. Pro měření byl zvolen přístroj, který měří vlhkost v různých hloubkách pod povrchem pomocí zabetonovaných trubiček různé

délky. Trubičky jsou uzavřené, pouze v době měření se otevrou a sonda přístroje změří vlhkost v místě, kde trubička v betonu končí. Trubičky mají různou délku a podle toho se zjistí vlhkost v určité hloubce.

V roce 2015 byl zahájen experimentální program, kde se sleduje vysýchání v betonových vzorcích různé velikosti. Program začal výrobou vzorků a do výzkumného projektu CESTI byl převeden v době, kdy měření již byla rozběhnuta. Postupné vysýchání se sleduje ve 3 velkých vzorcích představujících výšky z betonových stěn tl. 200, 400 a 800 mm. Délka a výška vzorků ve tvaru hranolu je shodná 800 x 800 mm a tloušťky jsou různé dle tloušťky modelované stěny. Modely mají vždy dvě protilehlé plochy vystavené účinkům vysýchání (volný nechráněný povrch), zatímco ostatní plochy jsou izolovány proti vysýchání pomocí PE fólie. Postupný pokles vlhkosti se měří ve stěnách v hloubkách od 15 mm až do středu tloušťky stěn. Ve stěně tl. 200 mm je 9 sond, ve stěně tl. 400 je 13 sond a ve stěně 800 mm je celkem 17 sond. Největší změny vlhkosti jsou u povrchu, kde jsou sondy ve vzdálenosti 15 až 20 mm, zatímco u středu postačí jejich vzdálenost 100 mm.

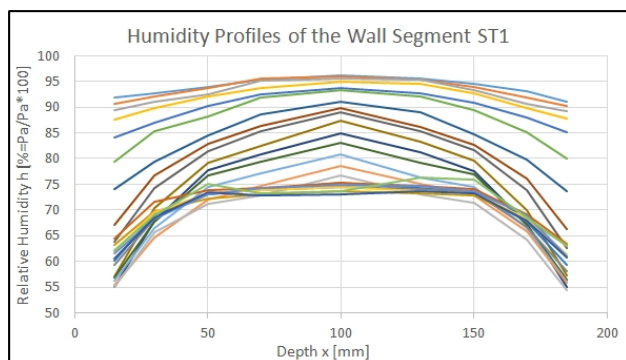
Současně jsou v každém modelu stěny zabetonovány 4 strunové tenzometry, které měří poměrnou deformaci ve střednicové rovině ve svislém a vodorovném směru.

Tyto velké vzorky jsou doplněny malými vzorky – krychlemi o délce hrany 200 mm, kde se též měří vysýchání. Na válcích se měří smršťování též pomocí zabetonovaných strunových tenzometrů. Celkem se sleduje vývoj deformací na 6 válcích, které jsou rozděleny do 3 skupin po 2 válcích. První skupina je uložena v prostředí laboratoře, společně s velkými modely stěn. Další skupina je v prostředí s konstantní teplotou a vlhkostí 65% a poslední dva válce jsou v prostředí s relativní vlhkostí 100%.

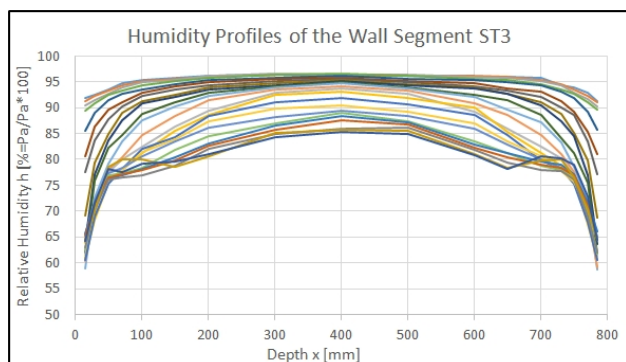
Výsledky

Výsledky měření průběhu vlhkosti ve vzorcích stěn lze ilustrovat na Obr. 1 a 2. Obr. 1 znázorňuje profily vlhkosti v různých časech od vybetonování do stáří betonu cca 200 dní na modelu stěny tlusté

200 mm. Na Obr. 2 jsou profily ve stěně tlusté 800 mm. Je patrný značný rozdíl, kdy povrchové vrstvy vysychají podobně, avšak střední část, kde vysychání je pomalé je podstatně větší u tlusté stěny.



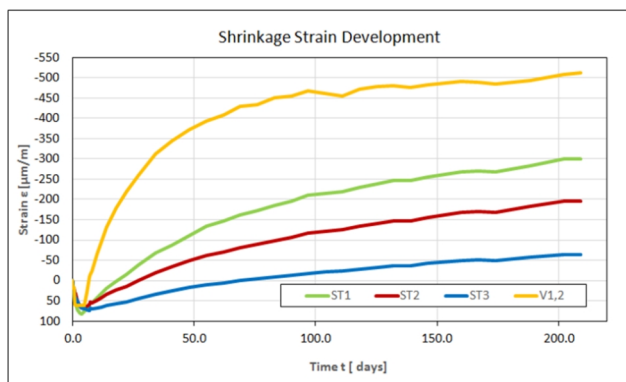
Obr. 1 Vysychání stěny tl. 200 mm.



Obr. 2 Vysychání stěny tl. 800 mm.

Pomalejší vysychání tlusté stěny se projevuje nejen velikostí střední relativně vlhké zóny, ale i větší vlhkostí v hloubce pouze 15 mm pod povrchem.

Pomalejší vysychání se projevuje samozřejmě i pomalejším smršťováním. Na Obr. 3 jsou uvedeny průměrné hodnoty smršťování v jednotlivých vzorcích doplněné o hodnoty smršťování na válcích umístěných v prostředí laboratoře – tj. v prostředí stejném jako to, ve kterém jsou modely stěn.



Obr. 3 Průměrné poměrné deformace naměřené na stěně tl. 200 mm (ST1) na stěně tl. 400 mm (ST2), na stěně tl. 800 mm (ST3) a na válcích (V1,2).

Výsledky měření nejsou nijak překvapivé, spíše potvrzují předpoklady experimentálního programu. Významným výsledkem je však kvantifikace

naměřených poměrných deformací. Poměrná deformace ve stěně 200 mm v době 200 dní je cca 300 mikrostrain (0.3 mm/m), zatímco ve stěně 400 mm tlusté pouze 200 mikrostrain a ve stěně 800 mm tlusté jen asi 50 mikrostrain. Celkové zkrácení tlusté stěny je tedy výrazně menší než u stěny tenké (cca 6 krát). Zároveň smršťování naměřené na válcích dosahuje 500 mikrostrain. To je hodnota výrazně větší, než je naměřené smršťování i v tenké stěně. Z toho plyne, že poměrné deformace naměřené na laboratorních malých tělesech jsou vhodné k relativnímu porovnávání smršťování na jednotlivých druzích betonu, ale nejsou to hodnoty vhodné k definování velikosti smršťování na konstrukcích. To jsou sice známé skutečnosti, ale v praxi se lze setkat s opačným názorem a zejména kvantifikace smršťování je podstatným přínosem pro projektování vodonepropustných betonových konstrukcí.

Závěr

Experimentální program zahájený v rámci jiného projektu bude pokračovat za podpory výzkumného centra CESTI i v dalších letech. Měření musí být dlouhodobé, minimálně do konce projektu CESTI, protože rovněž vysychání ani smršťování pravděpodobně nebude ukončeno v době konce projektu v roce 2019. Právě výsledky naměřené po dlouhé době (mnoha letech) jsou nejvýznamnější, protože takových experimentálních údajů je značný nedostatek. Zároveň se rozbíhají práce na vývoji numerických modelů, které by měly být schopny složité transportní jevy v betonu modelovat s dostatečnou výstižností.

Literatura

- [1] Bažant, Z. P. and Chern, J. C.: Concrete Creep at Variable Humidity: Constitutive Law and Mechanism. *Materials and Structures*, 1985, vol. 18, no. 103.
- [2] Bažant, Z. P., Křístek, V. and Vitek, J. L.: Drying and Cracking Effects in Box – Girder Bridge Segment. *Journal of Structural Engineering*, 1992, vol. 118, no. 1.
- [3] Di Luzio, G. and Cusatis, G.: Hygro-thermo-chemical Modeling of High Performance Concrete. I: Theory. *Cement & Concrete Composites*, 2009, vol. 31, pp. 301-308.