

EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ A ANALÝZA OBJEMOVÝCH ZMĚN BETONU

EXPERIMENTAL MEASUREMENT AND ANALYSIS OF VOLUME CHANGES OF CONCRETE

Ing. Michal Kropáček

ABSTRAKT

Příspěvek popisuje experiment zabývající se měřením objemových změn se zaměřením na smršťování cementového betonu. Měření je prováděno na velkorozměrových vzorcích pomocí strunových tenzometrů osazených vnitřním i vnějším způsobem. Vzorky jsou umístěny v laboratoři a ve venkovním prostředí, bude tak možné porovnat výsledné hodnoty z různých prostředí. Naměřené výsledky budou porovnány s modelem výpočtu smršťování (model B4).

Klíčová slova: beton, objemové změny, smršťování, model B4

ABSTRACT

The paper describes an experiment concerning the measurement of volume changes with focus on shrinkage in cement concrete. Measurement is carried out on large-scale specimens using string strain gauges, both internally and externally. The specimens are located in the laboratory and in the outdoor environment, so it will be possible to compare the resulting values from different environments. The measured results will be compared with the calculation model of shrinkage (model B4).

Key words: concrete, volume changes, shrinkage, model B4

1 ÚVOD

Objemové změny cementového betonu jsou jev, který provází tuhnutí a tvrdnutí betonu od samotného počátku. Z hlediska složení běžného cementového betonu dochází v prvních hodinách a dnech k bobtnání, které po určité době převáží v postupně smršťování. Toto chování lze obecně popsat jako objemové změny. Tyto objemové změny jsou z hlediska složení spojeny s hydratací cementového pojiva, kdy dochází k chemickým reakcím. V závislosti na složení betonu, množství cementu a velikosti vodního součinitele se pak různí průběh objemových změn. Ačkoliv jsou objemové změny vlivem hydratace velmi dobře teoreticky popsány, stále není celý průběh důkladně prozkoumán. Kromě objemových změn způsobených hydratací, má vliv na objemové změny také okolní prostředí a při popisu je tak nutné umět odseparovat vlivy jednotlivých faktorů na objemové změny. Objemovým změnám způsobeným vlivem složení betonu lze předcházet správným ošetřováním. Negativní vliv smršťování betonu, v extrémním případě vedoucí až ke vzniku trhlin, lze tímto omezit. [1; 2; 3; 4; 6]

Provedený experiment si klade za cíl separovat jednotlivé vlivy způsobující objemové změny. Velkorozměrový vzorek umístěný v laboratoři bude s ohledem na zvolené složení podléhat smrštění vysycháním. Vzorek umístěný mimo laboratoř, ve venkovním prostředí, bude podléhat vnějším klimatickým vlivům. Kromě smrštění vysycháním zde bude nutné zohlednit také objemové změny způsobené změnou teplot. Ostatní druhy smršťování lze v rámci tohoto experimentu zanedbat. Zejména autogenní smršťování není nutné s ohledem na vysoký vodní součinitel zohlednit. [2]

2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

2.1 Složení betonu

Pro experiment byl navržen beton C30/37-XC4 z betonárny Českomoravský beton Ostrava – Vítkovice. Jelikož bylo záměrem eliminovat z hlediska složení co nejvíce jevů, které mohou mít vliv na objemové změny, nebyla do betonu dávkována žádná příměs a nebyl navržen provzdušněný beton. Pevnostní třída byla zvolena s ohledem na časté používání této pevnostní třídy v praxi a zároveň na vysokou dávku cementu, u které se předpokládá vysoké smrštění. Beton byl navržen v souladu s normou ČSN EN 206, kde jsou definovány požadavky pro složení tohoto betonu. Technická norma požaduje minimální množství cementu (300 kg/m^3), maximální vodní součinitel ($w/c = 0,5$) a pevnostní třídu (25/30). Navržený beton splňuje oproti normě přísnější požadavky, protože bylo dávkováno 345 kg/m^3 portlandského cementu CEM I 42,5 R, z čehož plyne vyšší pevnostní třída. Vodní součinitel byl 0,5. Do betonu byla dávkována superplastifikační přísada pro zajištění požadovaného vodního součinitele a konzistence S3. Po uložení betonu do bednění bylo ihned na počátku tuhnutí zahájeno ošetřování betonu a souběžně měření objemových změn pomocí strunových tenzometrů. Pro stanovení pevnosti v tlaku a modulu pružnosti po 7 a 28 dnech byly odebrány vzorky v četnosti 6 válců pro každou zkoušku. Stanovení pevností a modulů pružnosti je důležité pro výpočetní modely.

2.2 Vzorky, uložení betonu a ošetřování

Vzorky byly navrženy ve velikosti $150 \times 500 \times 6000 \text{ mm}$. Jeden vzorek byl uložen v laboratoři a druhý byl umístěn mimo laboratoř do venkovního prostředí, kde byl vzorek vystaven vnějším klimatickým podmínkám včetně srážek. Beton byl uložen do vyrobeného bednění z OSB desek. Dno bednění bylo překryto PE fólií, aby bylo zajištěno nulové odebrání vody od spodního povrchu (zamezení plastickému smrštění) a také nižší tření betonu, viz obr. 1.



Obr. 1 Bednění a osazení vnitřních strunových tenzometrů

Beton byl ukládán pomocí žlabu přímo z auto domíchávače a hutněn ponorným vibrátorem, viz obr. 2. Vzorky byly ihned na počátku tuhnutí betonu překryty geotextilií a ošetřovány vodou po dobu 5 dní. Po ukončení ošetřování byla odebrána geotextilie a bylo provedeno odbednění z bočních stran. Vzorek v laboratoři byl trvale uložen v prostředí s teplotou $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ a relativní vlhkostí vzduchu $55 \pm 5 \%$.



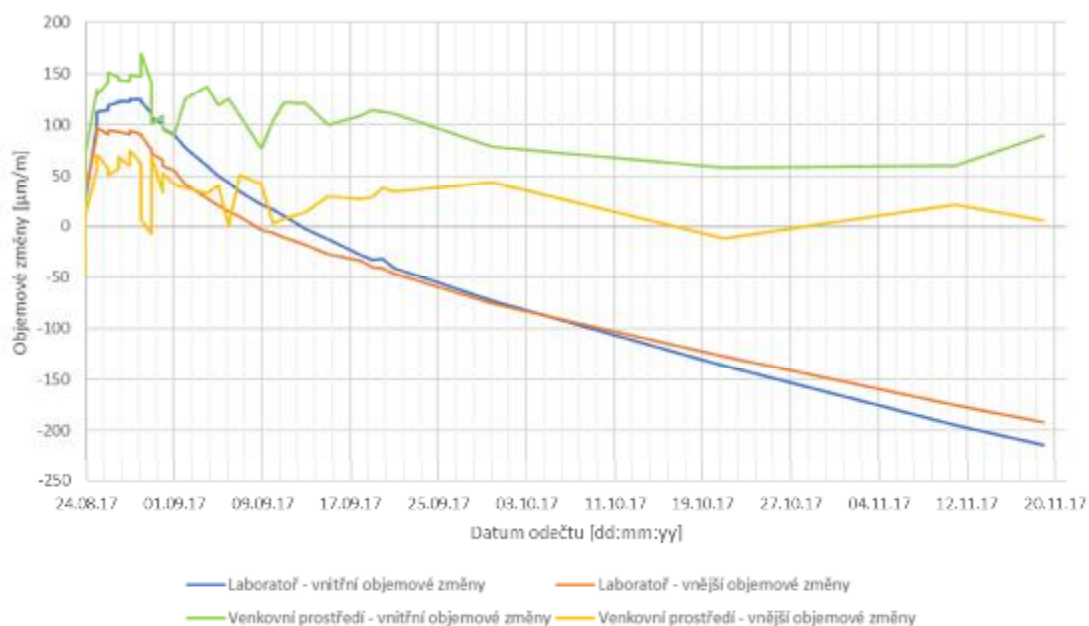
Obr. 2 Uložení betonu a osazení vnějších tenzometrů

2.3 Měření strunovými tenzometry

K měření objemových změn na vzorcích byly použity strunové tenzometry EDS-20V-E. Do každého vzorku byly umístěny tři tenzometry ve vzdálenosti 1,5 m od sebe, počítáno od kraje vzorku po délce. Tyto vnitřní tenzometry byly ve výšce 50 ± 10 mm od spodního povrchu vzorku. Vnitřní tenzometry byly ukotveny pomocí ocelových háků a vázacího drátu, viz obr. 1. Experimentálně byl také jeden tenzometr umístěn na povrch vzorků do poloviny délky (3 m). Povrchové tenzometry byly ukotveny pomocí ocelových U profilů, které se svisle umístily do tuhnutí do hloubky cca 20 mm. Do 10 mm dlouhého vyčnívajícího konce nad povrch byly umístěny tenzometry. Tento spoj byl zpevněn pomocí betonu tzv. na hrobeček, viz obr. 2. Odečty hodnot se prováděly pomocí ústředny Gage GT1174-3 minimálně jednou každý den od zabetonování.

3 VYHODNOCENÍ HODNOT A VÝSLEDKŮ

Experiment byl vyhodnocen po 3 měsících. Měření objemových změn pomocí strunových tenzometrů je znázorněno na grafu na obr. 3. Naměřené hodnoty jsou již po přepočítané korekci na teplotu u tenzometru, jelikož vlivem hydratace dochází i v laboratoři k prudkým změnám teplot a tyto změny v roztažnosti betonu a strunového tenzometru je nutné výpočtově zohlednit. U vzorku mimo laboratoř je toto nutné zohlednit i u změn klimatických teplot. S ohledem na stálé podmínky okolního prostředí v laboratoři bude okomentován nejdříve vzorek umístěný v laboratoři. Z grafu lze vypožorovat, že vzorek vlivem vyšší teploty způsobené hydratací cementu a přísunem vody z ošetřování začal ihned na počátku tuhnutí bobtnat. Bobtnání je způsobeno také vznikem nových hydratačních minerálů jako je C_3A a C_2S , ale jev je u betonu minimální a ve srovnání s ostatními vlivy netvoří dominantní část bobtnání [5]. Dále lze pozorovat, že bobtnání je na povrchu, kde docházelo k přímému kontaktu se studenou vodou (obecně nižší teplotou prostředí) nižší. Po 5 dnech, kdy bylo ukončeno ošetřování vodou, se začal vzorek smršťovat vysycháním. Opět lze pozorovat trend, kdy smršťování vysycháním je na povrchu dynamičtější a v pozdějších fázích je naopak pomalejší a má nižší hodnoty než objemové změny uvnitř vzorku.

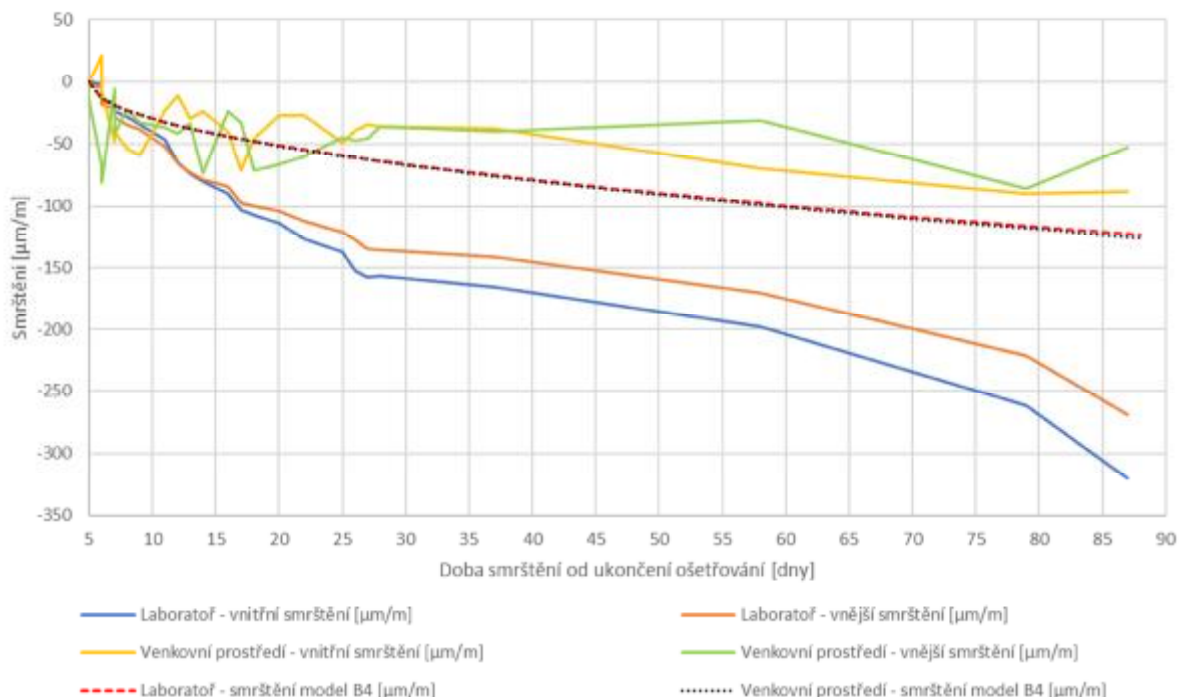


Obr. 3 Srovnání objemových změn vzorků

Pro vzorek vystavený klimatickým podmínkám platí rozbor ve výše uvedeném odstavci, nicméně se přidávají další významné vlivy, proměnná teplota a relativní vlhkost vzduchu. U tohoto vzorku lze konstatovat, že v celkovém součtu všech vlivů včetně počátečního bobtnání nepřekročily hodnoty objemových změn nulu a tedy křivky nejsou v oblasti záporných hodnot, které popisuje smrštění vzorku, tak jak je patrné u vzorku umístěného v laboratoři. Ke smršťování vysycháním nepochybně dochází (což bude objasněno na obr. 4), nicméně tento jev je popřen dalšími vlivy jako roztažnost betonu a absorpce vody. S jistotou lze konstatovat, že hodnoty konečného smrštění budou vždy nižší než u laboratorního vzorku, jelikož dochází k přísunu vody vlivem srážek a absorpci vzdušné vlhkosti.

V grafu na obr. 4 je provedeno srovnání konečného smrštění po 3 měsících na velkorozměrových vzorcích a graf je dále doplněn o křivky vykreslené dle výpočetního modelu B4. Model B4 je z hlediska výpočtu aktuálně nejpracovanější model na výpočet smrštění. Zohledňuje nejvíce parametrů a okrajových podmínek a do výpočtu je tak možné zapracovat co nejvíce proměnných. Z těchto důvodů byl model B4 zvolen jako výchozí pro porovnávání, nicméně autor do budoucna uvažuje zohlednění více modelů (Eurocode, Model Code aj.). [7]

Aby bylo možné porovnávat hodnoty smrštění vzorku s výpočetním modelem, který neuvažuje bobtnání vlivem hydratace a v době ošetřování, bylo nutné přepočítat objemové změny měřených vzorků a omezit je pouze na smrštění. Vzorky se začaly smršťovat po ukončení ošetřování, což bylo po 5 dnech. Nejvyšší hodnota bobtnání byla pro výpočet definovaná nula a od této hodnoty se začalo počítat smrštění. Proto jsou hodnoty smrštění vyšší než na obr. 3.



Obr. 4 Srovnání smrštění vzorků a výpočetního modelu

Z obr. 4 je patrné, že vypočtený průběh smrštění dle modelu B4 je ve srovnání laboratorní a venkovní prostředí téměř shodný. Ve srovnání s reálnými výsledky laboratorního vzorku je ale značně podhodnocený. Průběh smrštění není tak dynamický a konečné hodnoty smrštění jsou nižší. Ve srovnání se vzorkem, který byl uložený v reálném prostředí, jsou hodnoty konečného smrštění výpočetního modelu vyšší. Křivce výpočetního modelu se v pozdější fázi nejvíce blíží žlutá křivka popisující vzorek ve venkovním prostředí s tenzometry umístěnými uvnitř betonu. Výkyvy ve smrštění

u vzorku uloženém ve venkovním prostředí jsou způsobené změnami teplot, vlivem srážek a proměnlivou relativní vlhkostí vzduchu.

4 ZÁVĚR

Příspěvek popisuje měření objemových změn cementového betonu na velkorozměrových vzorcích. Jelikož se jedná o vstupní “nultý” experiment, bylo účelem především sjednocení metodik a postupů. Výzkum bude dále pokračovat měřením jiných receptur betonu případně simulací jiných vlivů objemových změn. Autor dále pokračuje v měření vzorků.

Experimentem byly potvrzeny známé jevy objemových změn u cementového betonu, nicméně autor se také domnívá, že u velkorozměrových vzorků má ve velikosti smrštění význam také podloží a vlastní tíha vzorku. Vlastní tíha vzorku způsobuje přitěžování spodní plochy a tím zvyšuje tření v závislosti na materiálu podkladu. Tomuto jevu bude dále věnována pozornost a bude se jednat o jedno z dalších směřování výzkumu.

5 PODĚKOVÁNÍ

Práce byly podporovány z prostředků Studentské grantové soutěže VŠB-TUO. Registrační číslo projektu je SP2017/181.

Použitá literatura

- [1] AÏTCIN, Pierre-Claude. *Binders for durable and sustainable concrete*. New York: Taylor & Francis, 2008. ISBN 978-0-203-94048-8.
- [2] AÏTCIN, Pierre-Claude a Sidney. MINDESS. *Sustainability of concrete*. New York: Spon Press, 2011. Modern concrete technology, 17. ISBN 978-0-203-85663-5.
- [3] BAŽANT, Zdeněk. RILEM draft recommendation: TC-242-MDC multi-decade creep and shrinkage of concrete. *Materials and Structures*. 2015, **48**(4), 753-770. DOI: 10.1617/s11527-014-0485-2. ISSN 1359-5997. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1617/s11527-014-0485-2>
- [4] ED. BY A. BENTUR. *Early age cracking in cementitious systems: report of RILEM Technical Committee 181-EAS 'Early Age Shrinkage Induced Stresses and Cracking in Cementitious Systems'*. Bagneux: RILEM Publ, 2003. ISBN 2912143330.
- [5] KROPÁČEK, Michal a Jiří ŠAFRATA. Objemové změny cementů z různých lokalit v závislosti na čase. *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava. Řada stavební*. 2015, **15**(1), 11-20. ISSN 1213-1962.
- [6] HAVLÁSEK, Petr. *Creep and Shrinkage of Concrete Subjected to Variable Environmental Conditions*. Praha, 2014. Doctoral thesis. Czech technical university in Prague. Vedoucí práce Milan Jirásek.
- [7] VINKLER, Marek a Jan L. VÍTEK. Drying shrinkage of concrete elements: Structural Concrete. *Structural Concrete*. 2017, **18**(1), 92-103. DOI: 10.1002/suco.201500208. ISSN 14644177. Dostupné také z: <http://doi.wiley.com/10.1002/suco.201500208>