

POROVNÁNÍ SMRŠŤOVÁNÍ BÍLÉHO A ŠEDÉHO BETONU

Vít Némčic, *

Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební,
České vysoké učení technické v Praze, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6, Česká republika.
vit.nemcic@fsv.cvut.cz

ABSTRAKT

Objemové změny betonu jsou důležité parametry pro ověření mezních stavů únosnosti a použitelnosti. Predikční modely, které lze nalézt v návrhových předpisech, jsou použitelné pro běžné typy betonu. Neobvyklé typy betonu, jako je např. bílý beton, lze použít, ale jejich vlastnosti by měly být zkoumány experimentálními zkouškami. Příspěvek je zaměřen na měření smršťování bílého a šedého betonu stejné pevnostní třídy. Experimenty ukázaly, že smršťování bílého betonu jsou vyšší než u běžného šedého betonu. Naměřené deformace smrštění byly porovnány s předpovězenými deformace smrštění pomocí různých predikčních modelů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Beton, smršťování, udržitelnost

ABSTRACT

Volume changes of concrete are important parameters for verification of ultimate and serviceability limit states. The prediction models which can be found in design codes, are applicable for ordinary concrete types. Unusual concrete types, like e.g., white concrete can be used, but their properties should be investigated by experimental testing. The paper is focused on measurement of shrinkage of white and grey concrete of the same strength class. The experiments showed that both, creep and shrinkage of white concrete are higher than those of ordinary grey concrete. The measured shrinkage strains were compared with predicted shrinkage strains using various prediction models.

KEYWORDS

Concrete, shrinkage, environment

1. ÚVOD

Při navrhování předpjatých konstrukcí v praxi se projektant obvykle spoléhá na některý z dostupných matematických modelů pro předpověď reologických účinků (smršťování betonu). Smršťování závisí na mnoha parametrech. Proto mají naměřené deformace velký rozptyl. Na druhé straně existuje mnoho numerických modelů pro předpověď smršťování různé složitosti a kvality. V praxi může nevhodná volba nebo interpretace numerického modelu snadno vést k podcenění

velikosti smršťování. U velkých konstrukcí (např. mostů velkých rozpětí apod.) je často nutné porovnat jejich skutečné chování s chováním předpovězeným podle numerických modelů. Sledování chování konstrukcí během výstavby a v průběhu jejich životnosti pak vede k lepšímu pochopení jejich funkce a také může přispět ke zlepšení numerických modelů. Příspěvek se zabývá měřením deformací na betonových vzorcích z různých betonů používaných pro betonové mosty.

2. MĚŘENÍ OBJEMOVÝCH ZMĚN NA LABORATOVNÍCH VZORCÍCH

Cílem experimentálního programu bylo sledování smršťování betonu na standardních válcích o rozměrech 150x300 mm. Výsledky jsou průběžně vyhodnocovány. Naměřené hodnoty jsou porovnány s výsledky numerické analýzy pomocí různých predikčních modelů. Predikční modely použité pro analýzu byly převzaty z návrhových norem – česká verze Eurokódů: ČSN EN 1992-1-1 PŘÍLOHA B [13], ČSN EN 1992-2 PŘÍLOHA B [14], Bažantův model B3 [15]; a fib Model Code 2010 [16].

V rámci experimentálního programu jsou porovnány dvě betonové směsi se shodnou návrhovou pevností (C45/55). Směsi se liší typem použitého cementu. První směs je z bílého betonu s bílým cementem CEM II/A-S 52,5 N, (bílý cement z Rohožníka dodaný ze Slovenska) o dávce 470 kg/m³. Druhá směs - klasický šedý beton obsahuje cement CEM I 42,5 R (z Radotína, ČR) o stejném dávkování 470 kg/m³.

Pro ověření reologických vlastností bylo vyrobeno 8 zkušebních válců z každé betonové směsi. Pro měření poměrných přetvoření byly zabudovány do každého válce strunové tenzometry. Pro uchycení strunových tenzometrů ve válcích byly vyrobeny pomocné trojnožky, které byly vloženy do ocelové formy (Obr. 1). Po instalaci tenzometrů a připojení měřicí linky byly válce zabetonovány (Obr. 2). Po dokončení betonáže byla horní plocha všech testovaných válců izolována fólií proti vysychání (Obr. 3). Všechny válce byly ponechány v ocelové formě po dobu 3 dnů a poté byly vyjmuty z formy. Poté byly 4 válce zabaleny do izolační fólie, aby se bránilo jejich vysychání a 4 válce byly ponechány bez izolace (Obr. 4). Všechny vzorky jsou uloženy ve vnitřním prostředí (= uvnitř budovy).

* Školitel: prof. Ing. Jan L. Vítek, CSc., FEng.



Obr. 1: Strunový tenzometr umístěný v ocelové formě



Obr. 2: Válce po ukončení betonáže



Obr. 3: Válce izolovány PE folií



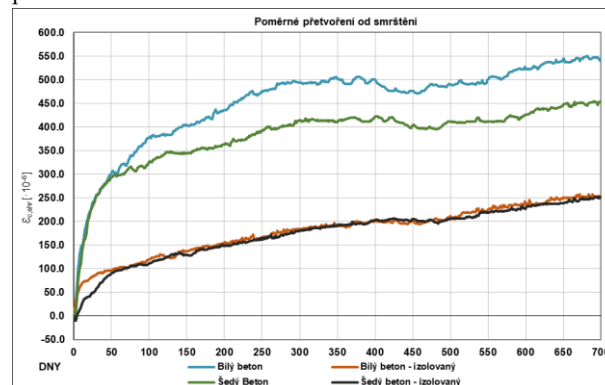
Obr. 4: Válce po odbedněni

3. POROVNÁNÍ EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘENÍ SMRŠTĚNÍ

Cílem experimentu je porovnání smrštění bílého a šedého betonu. Smrštění bylo měřeno za dvou různých podmínek. 1. Smrštění izolovaných válců (měřilo se základní smrštění). Základním smrštěním se rozumí smrštění vzorků, u nichž je zabráněno vysychání 2. Smrštění neizolovaných válců vystavených působení prostředí v místnosti (základní smrštění a smrštění při vysychání). Vývoj smršťovacích deformací v čase je znázorněn na obr. 5.

U izolovaných válců bylo smršťování bílého betonu zpočátku rychlejší, ale přibližně po 60 dnech jsou deformace od smršťování bílého a šedého betonu téměř shodné. Smrštění válců vystavených vysychání bylo u bílého a šedého

betonu až do stáří 60 dnů poměrně podobné. Poté bylo smrštění bílého betonu vyšší (zhruba po jednom roce bylo smrštění bílého betonu přibližně o 15 % vyšší) než smrštění šedého betonu. Tento jev pokračoval a lze pozorovat, že po dvou letech je rozdíl smrštění bílého a šedého betonu cca 16 %. Na začátku měření byly u šedého betonu pozorovány záporné hodnoty deformace (vykazující bobtnání), zatímco u bílého betonu nebylo pozorováno žádné bobtnání.



Obrázek 5: Porovnání smrštění bílého a šedého betonu

4. POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT A NUMERICKÝCH MODELŮ

Pro porovnání naměřených smrštění byly použity numerické modely použité v předpisech ČSN EN 1992-1-1 PŘÍLOHA B [3]; ČSN EN 1992-2 PŘÍLOHA B [4]; B3 [5]; MC10 [6]. Hlavními vstupními parametry pro všechny predikční modely jsou pevnost v tlaku ve válci po 28 dnech, druh cementu, parametry průřezu a parametry prostředí (doba vytvrzování a vlhkost prostředí).

Ve fázi návrhu není známa skutečná pevnost betonu. Musí se použít pevnost v tlaku převzatá z předpisů. Skutečná pevnost betonu je obecně vyšší a může být použita při výpočtech návrhu v pozdějších fázích, kdy je známa skutečná betonová směs. Tabulky 1 a 2 ukazují předpokládané smrštění bílého a šedého betonu ve stáří 700 dnů vypočtené za předpokladu pevnosti podle předpisu a naměřené pevnosti. Výsledky ilustrují, že predikční modely nejsou schopny rozpoznat rozdíl mezi smrštěním bílého a šedého betonu, protože vstupní parametry jsou totožné, pokud se neuvažuje skutečná pevnost.

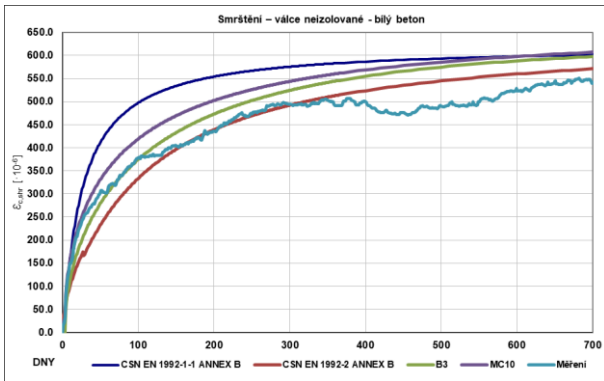
B3 [5] je jediný model, který zohledňuje změny ve složení betonové směsi (množství cementu, množství kameniva atd.).

V tabulce 1 jsou uvedeny rozdíly mezi naměřenými a vypočtenými smršťovacími deformacemi válců z bílého a šedého betonu vystavených vysychání. Pro porovnání modelů v prvních dvou řádcích byly zavedeny skutečné naměřené hodnoty průměrné pevnosti válce v tlaku po 28 dnech. Ve třetím řádku jsou uvedeny hodnoty vypočtené s pevností v tlaku předpokládanou podle předpisu. Na obr. 6 jsou znázorněny naměřené hodnoty smrštění bílého betonu a předpokládané hodnoty podle různých kódů. Předpověď podle ČSN EN 1992-2, PŘÍLOHA B [4] poskytuje nejlepší shodu při vyšším stáří betonu. Obr. 7 ukazuje hodnoty smrštění šedého betonu vystaveného vysychání. Předpovědní modely ČSN EN 1992-2, PŘÍLOHA B [4] a B3 [5] jsou nejbližší naměřeným hodnotám, ale shoda není tak dobrá jako u bílého betonu.

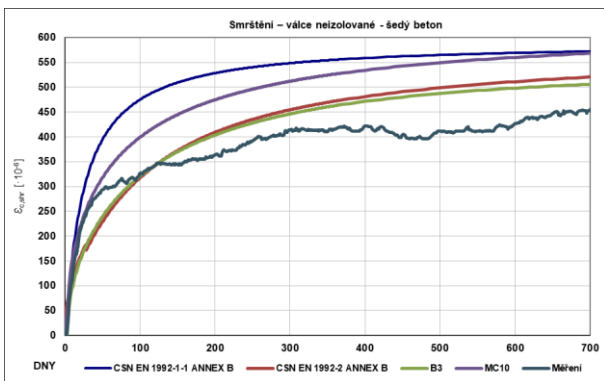
Tabulka 1: Smrštění - válce vystavené vysychání - 700 dní

Smrštění – neizolované válce [360 DNY]						
Betón	f_{cm} [MPa]	Reologické modely				Měření
		1992-1	1992-2	MC10	B3	
1 Bílý - pevnost v tlaku - dle normy	53	613.4	530.4	595.6	553.0	-
2 Šedý - pevnost v tlaku - dle normy	53	613.4	530.4	595.6	473.4	-
3 Bílý - pevnost v tlaku - naměřené hodnoty	63	582.9	512.8	560.0	544.4	491.3
4 Šedý - pevnost v tlaku - naměřené hodnoty	74.2	555.4	472.0	526.6	462.8	416.4
Rozdí - šedý/bílý		5%	8%	6%	15%	15%

Smrštění – neizolované válce [700 DNY]						
Betón	f_{cm} [MPa]	Reologické modely				Měření
		1992-1	1992-2	MC10	B3	
5 Bílý - pevnost v tlaku - naměřené hodnoty	63	601.0	571.0	606.9	597.64	540.6
6 Šedý - pevnost v tlaku - naměřené hodnoty	74.2	572.2	520.6	568.3	506.1	455.6
Rozdí - šedý/bílý		5%	9%	6%	15%	16%



Obr. 6: Smrštění – válce vystavené vysychání – bílý beton



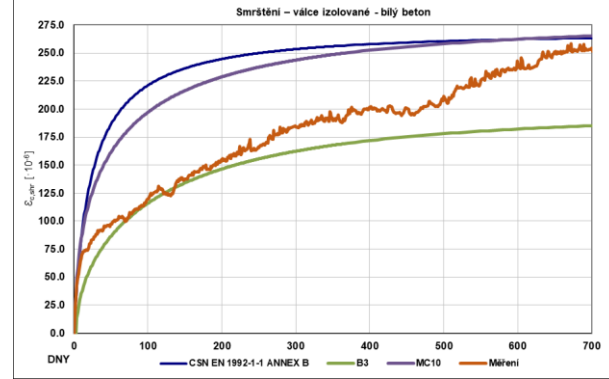
Obr. 7: Smrštění – válce vystavené vysychání – šedý beton

Tabulka 2 ukazuje rozdíly mezi naměřenými a předpokládanými hodnotami smrštění pro bílé a šedé betonové válce s těsněním proti odpařování vody. Pro porovnání modelů byly zavedeny skutečné naměřené hodnoty průměrné pevnosti válce v tlaku po 28 dnech (řádek 3 a 2). Pro srovnání jsou v řádku 1 a 2 uvedeny hodnoty vypočtené s pevností v tlaku podle předpisu. Na obr. 8 a na obr. 9 jsou uvedeny hodnoty smrštění uzavřených válců z bílého a šedého betonu. Model B3 [5] poskytuje nejlepší shodu naměřených deformací pro bílý i šedý beton. Podle vztahu B.103.2 - EN 1992-2 Příloha B [4] smrštění z vysychání jsou vztahy použitelné pouze pro hodnoty relativní vlhkosti do 80 %, proto je nelze použít pro výpočet.

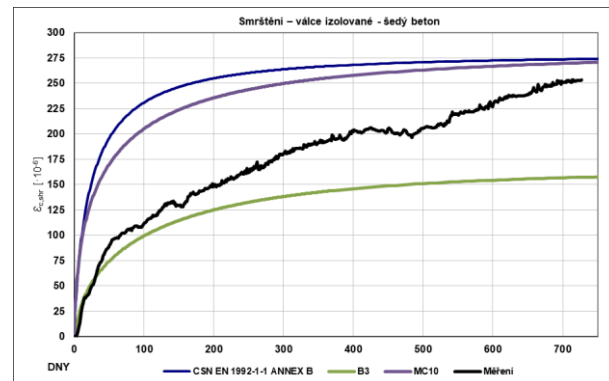
Tabulka 2: Smrštění - válce izolované - 700 dní

Smrštění – izolované válce [360 DNY]						
Betón	f_{cm} [MPa]	Reologické modely				Měření
		1992-1	1992-2	MC10	B3	
1 Bílý - pevnost v tlaku - dle normy	53	249.0	N/A	245.5	171.3	-
2 Šedý - pevnost v tlaku - dle normy	53	249.0	N/A	245.5	146.6	-
3 Bílý - pevnost v tlaku - naměřené hodnoty	63	256.4	N/A	249.5	168.6	189.2
4 Šedý - pevnost v tlaku - naměřené hodnoty	74.2	266.8	N/A	255.1	143.3	192.9
Rozdí - šedý/bílý		4%	N/A	2%	15%	2%

Smrštění – neizolované válce [700 DNY]						
Betón	f_{cm} [MPa]	Reologické modely				Měření
		1992-1	1992-2	MC10	B3	
5 Bílý - pevnost v tlaku - naměřené hodnoty	63	263.4	N/A	265.3	185.10	253.3
6 Šedý - pevnost v tlaku - naměřené hodnoty	74.2	273.7	N/A	269.7	156.7	250.7
Rozdí - šedý/bílý		4%	N/A	2%	15%	1%



Obr. 8: Smrštění – válce izolované – bílý beton



Obr. 9: Smrštění – válce izolované – šedý beton

3. ZÁVĚR

V rámci experimentálního programu byly testovány dvě betonové směsi. Obě směsi měly návrhovou pevnostní třídu C45/55. Hlavním rozdílem mezi směsmi byl typ cementu. Bílý beton byl vyroben z cementu CEM II/A-S 52,5 N, bílý z Rožničnicka s dávkou 470 kg/m³. Šedý beton byl vyroben z běžného šedého cementu CEM I 42,5 R z Radotína se shodnou dávkou 470 kg/m³. Bílý beton byl požadován pro mostní konstrukci z architektonických důvodů. Proto bylo nutné provést experimentální porovnání smršťování u bílého betonu s běžným šedým betonem.

Závěry lze shrnout do následujících bodů:

1. Základní smršťovací deformace (tj. smrštění měřené na uzavřených válcích s velmi omezeným vysycháním) byla nakonec u obou typů betonu stejná. V počátečním období přibližně 60 dnů bylo smrštění bílého betonu vyšší než smrštění šedého betonu. Základní smrštění a smršťovací deformace při vysychání byly měřeny po dobu 700 dní.
2. Smršťovací deformace při vysychání (zahrnující základní smršťování a smršťování při vysychání) se zpočátku vyvíjela u bílého a šedého betonu velmi podobně, ale po stáří přibližně

60 dnů se smršťování šedého betonu zpomalilo a nakonec po jednom roce vykazoval bílý beton výrazně vyšší deformaci od smršťování.5. Naměřená deformace od smršťování byla porovnána s výsledky predikčních modelů používaných v různých návrhových předpisech.6. Pevnost betonu v tlaku je jedním z nejdůležitějších vstupních parametrů. Vzhledem k tomu, že návrhová pevnost bílého a šedého betonu je stejná, stejně jako ostatní návrhové parametry, predikční modely nemohou rozpoznat rozdíl mezi bílým a šedým betonem a předpovídaná deformace obou betonů zůstává stejná.7. Naměřená pevnost šedého betonu je vyšší než naměřená pevnost bílého betonu. Pokud se naměřená pevnost betonu bere jako vstup do predikčních modelů, predikované deformace bílého a také šedého betonu nejlépe vyhovovaly pomocí predikčního modelu podle ČSN EN 1992-2 PŘÍLOHA B.8. Výsledky experimentů ukázaly, že bílý beton vykazuje větší smršťování než běžný šedý beton. U bílého betonu se také vyvíjí vyšší hydratační teplo (což bylo zjištěno v jiném výzkumu [2]) a je dražší z důvodu použití dražšího cementu a dalších příměsí. Důvod použití bílého betonu je čistě estetický. Lze důrazně doporučit, aby se velmi pečlivě zvažilo, zda je použití bílého betonu skutečně nezbytné a zda lze bílý beton nahradit běžným betonem. Je také vhodné vzít v úvahu, že po několika letech se povrch jakékoliv venkovní betonové konstrukce přirozeně znečistí a pak rozdíl v barvě zmizí.

Poděkování

V článku byly částečně využity výsledky projektu SGS Číslo grantu: SGS23/034/OHK1/1T/11 a SGS24/040/OHK1/1T/11.

Literatura

- [1] SOŠKA, Jan a Lukáš VRÁBLÍK. *Porovnání matematických modelů pro výpočet smršťování a dotvarování betonu*. *Beton TKS*. 2011(6), 58–65
- [2] *Teplotní měření v masivních betonových konstrukcích* Vít Němčic, Jan L. Vitek, Jiří Lukeš, Petr Sýkora, Maroš Hireš, 29. MEZINÁRODNÍ SYMPOZIUM MOSTY/BRIDGES 2024
- [3] ČSN EN 1992-1-1 – Eurokód 2: *Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby* 11/2006, vč. Opravy 1 07/2009, Změny Z1 03/2010
- [4] ČSN EN 1992-2 – Eurokód 2: *Navrhování betonových konstrukcí – Část 2: Betonové mosty – Navrhování a konstrukční zásady* 05/2007, vč. Opravy 1 10/2009, Změny Z1 03/2010
- [5] Bažant Z. P., Baweja S.: *Creep and Shrinkage Prediction Model for Analysis and Design of Concrete Structures: Model B3*, *ACI Special Publication Creep and Shrinkage of Concrete*, A. Al-Manaseer, Editor, 2000
- [6] *CEB-FIP Model Code 2010 Design Code*. 1'st ed. Lausanne, Switzerland: International Federation for Structural Concrete (fib), 2010.
- [7] NAVRÁTIL, Jaroslav. *Předpjaté betonové konstrukce*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004