

DOTVAROVÁNÍ A SMRŠŤOVÁNÍ KONSTRUKČNÍCH VLÁKNOBETONŮ

■ CREEP AND SHRINKAGE OF STRUCTURAL FIBER CONCRETES

Jan Vodička, Dušan Spůra

Článek popisuje dlouhodobý výzkum v oblasti dotvarování a smršťování konstrukčních vláknobetonů, uvádí výsledky měření a z těchto výsledků odvozené závěry pro výpočet dotvarování a smršťování. ■ The paper describes the long-term investigations in creep and shrinkage sphere and lists results of measurements and conclusions for analysis of creep and shrinkage derived from the testing program.

Objemové změny způsobené dotvarováním a smršťováním jsou natolik významné vlastnosti betonu i vláknobetonu, že nelze bez jejich určení navrhovat složitější konstrukce.

Složitost predikce obou těchto přetvoření pro běžný beton zde není třeba rozebírat. Postačí uvést příklady v současnosti používaných výpočetních modelů – model B3 prof. Bažanta nebo model, který obsahuje Eurokód (EC 2). To ukazuje nejen složitost problému stanovení objemových změn, ale též to, že i po více než 150 letech, co je znám běžný beton, je třeba se vlivy dotvarování a smršťování stále zabývat a upřesňovat jejich výpočet s ohledem na současný vývoj a výzkum betonu i vláknobetonu. Základem pro úpravu či tvorbu nových modelů jsou dlouhodobá experimentální měření.

Vláknobeton je složitějším kompozitem než běžný beton, neboť rovnoměrně rozptýlená vlákna ztužují i mění jeho strukturu, čímž mají přímý vliv na uvedené objemové změny. Pro vláknobeton je výhodou, že pro vypracování výpočetních modelů lze užít poznatků získaných z prací na betonu obyčejném. Základ však musí opět tvořit výsledky získané z dlouhodobého experimentálního výzkumu na samotných vláknobetonech.

Předkládaný článek shrnuje výsledky více než dvacetiletého experimentálního měření (1985 až 2005) vláknobetonových prvků.

Zkušební tělesa (hranolý 150 × 150 × 600 mm) byla volena tak, aby velikostí byla shodná se zkušebními tělesy dnes propagovanými pro zkoušení vláknobetonů. Dávky vláken byly užity v rozmezí 0,5 až 1 % objemového vyztužení. Homogenita vláknobetonu byla kontrolována v doprovodných zkouškách na vzorcích, krychle o hraně 150 mm, válce ø 150 mm a výšky 300 mm a hranolý, destruovaných po ukončení měření objemových změn.

Měření probíhala současně pro dotvarování a smršťování v cyklech jeden nebo dva roky pro sérii hranolů v počtu 18 + 18 kusů. Velký počet stendů, které byly pro měření k dispozici, umožnil zkoušet různé modifikace vláknobetonu vycházející převážně z různých typů vláken. Z výsledků všech zkoušek, tj. ze zkoušek hranolů a doprovodných těles, bylo možné sledovat navíc i další charakteristiky vláknobetonů,



1



2



3



4



Obr. 1 Soubory vzorků pro zkoušení (36 vzorků) ■ Fig. 1 Sets of samples for testing (36 specimens)

Obr. 2 Měření ve stendech na Politechnice ve Varšavě s typickým souborem vzorků měření ■ Fig. 2 Measurements in the stands in Politechnic Warsaw with typical set of samples for measurement

Obr. 3 Uložení vzorku a způsob měření ■ Fig. 3 Setting of the specimen and technique of measurement

Obr. 4 Vzorky po destrukci ■ Fig. 4 Specimens after failure

Obr. 5 Výroba zkušebních těles ■ Fig. 5 Making of test specimens

Obr. 6 Zkouška v příčném tahu ■ Fig. 6 Tensile splitting test

Obr. 7 Těleso po zkoušce v příčném tahu ■ Fig. 7 Specimen after tensile splitting test

Obr. 8 Měření modulu pružnosti (zkoušky v KÚ ČVUT v Praze) ■ Fig. 8 Measurement of the modulus of elasticity



např. pevnosti v tlaku a jejich nárůst v čase, pevnosti v příčném tahu, moduly pružnosti a jejich nárůst v čase apod. Celkem bylo za uvedené období odzkoušeno a k závěrům využito výsledků z cca 100 vzorků pro dotvarování a 100 vzorků pro smršťování.

Ze stručného popisu výzkumu je vidět jeho rozsáhlost a časová náročnost.

Přiložené fotografie charakterizují provedená měření. Zahrnují zkušební tělesa, na kterých probíhala měření dotvarování a smršťování (jedna série celkem 36 vzorků – obr. 1), zkušební stendy (obr. 2), způsob měření objemových změn (obr. 3) a zkušební vzorky po destrukci po ukončení měření (obr. 4).

Obr. 5 až 8 zachycují výrobu a některé zkoušky doprovodných zkušebních vzorků pro určení pevnosti v tlaku, hránkové pevnosti, pevnosti v příčném tahu a modulu pružnosti.



11. mezinárodní konferenci

PODZEMNÍ STAVBY PRAHA 2010

Termín: 14. až 16. 6. 2010

Místo: Clarion Congress, Hotel Prague

Hlavní téma konference:

DOPRAVNÍ A MĚSTSKÉ TUNELY

Registrace účastníků přes www.ita-aites.cz

Více na: www.ita-aites.cz



MODELY PRO VÝPOČET SMRŠŤOVÁNÍ A DOTVAROVÁNÍ KONSTRUKČNÍCH VLÁKNOBETONŮ

Současné modely pro výpočet dotvarování a smršťování pro beton jsou velmi komplexní a tím i složité (např. model B3). Pro spočítání výsledných hodnot dotvarování a smršťování lze použít programů, jako např. pomůcky k výpočtu dotvarování a smršťování prostých betonů dle modelu B3 od prof. Křístka a Ing. Petřika a novější přepracovanou verzi prof. Křístka a Ing. Vráblíka. Velké zlepšení situace pro praktické výpočty skýtá i tabelování nejběžnějších hodnot jako tomu je v ČSN EN 1992-1-1.

ČSN EN 1992-1-1 se pro výpočty vlivu objemových změn ustálila na stejném výpočtu, jako obsahovala již první verze EC 2 a již několik let je možné ji pro výpočty objemových změn používat prakticky ve stejném znění. Několik posledních revizí tento výpočet již nijak nemění, pouze přinesly doplnění ve výpočtu pro lehké betony. Další změny a upřesnění výpočtu jsou spojeny s vývojem EC 2, a tím i společně platné ČSN EN 1992-1-1 (Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby).

Protože hodnota dotvarování a smršťování betonu bude nejvíce ovlivněna samotnými charakteristikami betonu (pevnostní: tj. válcová pevnost a modul pružnosti – f_{ck} , E_c), dále vlastnostmi výrobně technologickými a časovými (stáří apod.) a charakteristikami okolního prostředí (vlhkost, teplota, hladina zatížení atd.), je pro každý model predikce nutné vědět, či předpokládat tyto vstupní údaje v přípustných rozmezích použitelnosti daného modelu. Např. v ČSN EN 1992-1-1 je teplotní rozsah $<- 40 \text{ }^\circ\text{C}, + 40 \text{ }^\circ\text{C}>$ (nad $40 \text{ }^\circ\text{C}$ je nutné zohlednit vliv zvýšené teploty) a vlhkosti $< 40 \text{ } \%, 100 \text{ } \% >$. Obdobná omezení v použitelnosti nalezneme u všech existujících modelů predikce.

Pro podrobný výpočet objemových změn můžeme použít součinitel dotvarování spočtený pomocí vztahu (1)

$$\Phi(t - t_0) = \left(1 + \frac{\left(1 - \frac{RH}{100}\right) \left[\frac{35}{f_{ck} + 8}\right]^{0,7}}{0,1 \cdot \sqrt[3]{\frac{2A}{u}}} \right) \left[\frac{35}{f_{ck} + 8}\right]^{0,2} \cdot \frac{16,8}{\sqrt{f_{ck} + 8}} \cdot \frac{1}{0,1 + \left(t_{0,T} \left(\frac{9}{2 + t_{0,T}^{1,2}} + 1\right)\right)^{0,2}} \cdot \left(\frac{(t - t_0)}{\left(1,5 \left(1 + (0,012 RH)^{18}\right) \frac{2A}{u} + 250 \left[\frac{35}{f_{ck} + 8}\right]^{0,5}\right) + t - t_0}\right)^{0,3} \quad (1)$$

kde RH je vlhkost [%], f_{ck} je válcová pevnost betonu v tlaku po 28 dnech [MPa], t_0 je stáří betonu (vzorku), popř. $t_{0,T}$ je stáří betonu upravené s ohledem na teplotu a součinitel α nabývá hodnot od -1 do 1 podle použité třídy cementu.

Potřebujeme-li navíc ještě zohlednit vliv teploty (v rozsahu 0 až $+ 80 \text{ }^\circ\text{C}$), můžeme upravit stáří betonu dle vztahu (2)

$$t_T = \sum_{i=1}^n e^{-\left(\frac{4000}{273+T(\Delta t_i)} - 13,65\right) \cdot \Delta t_i} \quad (2)$$

kde t_T je upravené stáří betonu dle vlivu teploty, $T(\Delta t_i)$ je teplota [$^\circ\text{C}$] během časového úseku Δt_i a Δt_i je počet dní, kdy převládá teplota T .

Při podrobném výpočtu smršťování se ve výsledném podání dostaneme ke vztahu (3)

$$\varepsilon_{cs} = 0,85 \left[\left(220 + 110\alpha_{ds1}\right) e^{\left(\alpha_{ds2} \frac{f_{ck} + 8}{10}\right)} \right] \cdot 10^{-6} \cdot \left(1,55 \cdot \left[1 - \left(\frac{RH}{100}\right)^3\right]\right) + (1 - e^{-0,2\sqrt{t}}) \cdot 2,5(f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} \quad (3)$$

kde α_{ds1} a α_{ds2} získáme pro dané typy cementu z tabulky hodnot α_{ds1} a α_{ds2} .

NÁVRH MODELU VÝPOČTU DOTVAROVÁNÍ A SMRŠŤOVÁNÍ VLÁKNOBETONU

Z výsledků získaných dlouhodobým měřením vyplynula hypotéza, že výpočet dotvarování a smršťování pro vláknobeton lze upravit podle měřených pevností, jak je uvedeno ve vztazích (4) a (5):

• pro dotvarování

$$\varepsilon_{fc,creep} = \varepsilon_{c,creep} \cdot \frac{f_{c,comp,exp}}{f_{fc,comp,exp}} \quad (4)$$

• pro smršťování

$$\varepsilon_{fc,sh} = \varepsilon_{c,sh} \cdot \frac{f_{ct,spl,exp}}{f_{fct,spl,exp}} \quad (5)$$

kde $f_{c,comp}$ a $f_{fc,comp}$ jsou pevnosti v tlaku zjištěné na krychlicích o hraně 150 mm a $f_{ct,spl}$ a $f_{fct,spl}$ jsou pevnosti v příčném tahu zjištěné na krychlicích o hraně 150 mm.

Zpracováním výsledků měření byl proveden výpočet koeficientů κ_i , které ukázaly na pravdivost vyslovené hypotézy. Byly provedeny výpočty součinitelů κ_i pro dva případy poměrného přetvoření betonu bez vláken $\varepsilon_{c,i}$ a to:

• všechny hodnoty byly dosazeny z experimentálních měření

$$\varepsilon_{f,creep,exp} = \varepsilon_{c,creep,exp} \cdot \frac{f_{c,comp,exp}}{f_{fc,comp,exp}} \cdot \kappa_{f,creep,exp}$$

$$\varepsilon_{f,sh,exp} = \varepsilon_{c,sh,exp} \cdot \frac{f_{c,spl,exp}}{f_{fct,spl,exp}} \cdot \kappa_{f,sh,exp}$$

• hodnoty poměrných přetvoření $\varepsilon_{f,c,i}$ byly vypočteny ze vzorců z EC 2

$$\varepsilon_{fc,creep,exp} = \varepsilon_{c,creep,teor} \cdot \frac{f_{c,comp,exp}}{f_{fc,comp,exp}} \cdot \kappa_{f,creep,teor}$$

$$\varepsilon_{fc,sh,exp} = \varepsilon_{c,sh,teor} \cdot \frac{f_{c,spl,exp}}{f_{fct,spl,exp}} \cdot \kappa_{f,sh,teor}$$

Všechny výsledky prokázaly, že součinitele $\kappa_{f,creep,exp}$ i $\kappa_{f,creep,teor}$ se pohybovaly v rozmezí cca 0,9 až 1,1 a součinitele $\kappa_{f,sh,exp}$ i $\kappa_{f,sh,teor}$ se pohybovaly v rozmezí 0,8 až 1,2. Z uvedeného lze učinit závěr, že pro výpočet dotvarování a smršťování vláknobetonu lze zavést součinitele κ_i rovný jedné a dojít tak k jednoduchému výpočtu dotvarování a smršťování vláknobetonu na základě modelů odvozených pro beton.

Literatura:

- [1] *Spůra D.*: Výpočet dotvarování a smršťování dle ČSN EN 1922-1-1, Beton TKS 2/2006, roč. 6, s. 56–58. ISSN 1213-3116
- [2] *Vodička J., Krátký J., Spůra D.*: Model for Calculation of Creep and Shrinkage of Fiber Reinforced Concrete, Fiber Reinforced Concretes, Bagnex: Rilem Publications s.a.r.l., 2004, vol. 2, p. 895-902, ISBN 2-912143-50-0

ZÁVĚR

Uvedené modely pro výpočet objemových změn od smršťování a dotvarování vláknobetonu mohou využít v plné šíři již dnes známých a užívaných modelů pro navrhování konstrukcí z běžného betonu. Umožnily to rozsáhlé výsledky provedených měření a snaha zpracovatelů získat jednoduchý model a skutečnost, že vláknobeton je stále kompozit s cementovou maticí, která na uvedené objemové změny má podstatný vliv.

Uvedené modely, pokud je autorům známo, jsou ojedinělé. V technické literatuře jediné, které jsou podloženy tak dlouhodobým a rozsáhlým měřením. Je nesporné, že budoucnost přinese další modely, či pohledy na objemové změny vláknobetonů stejně tak, jako tomu bylo a bude i v případě běžného betonu.

PŘÍNOS PRO PRAXI

Model, ze kterého lze vyčíslit dotvarování a smršťování vláknobetonů, přináší první dostupný prostředek k výpočtu objemových změn vláknobetonů.

Pro praktický návrh je velkou výhodou, protože je použitelný i pro nové typy vláken, jejichž vliv se vždy musí projevit již v základních pevnostech vláknobetonu (tlak, příčný tah). Model je tím využitelný pro jakýkoli vláknobeton s libovolně zvoleným množstvím a typem vláken a to jak ocelových, tak i syntetických.

Nemalým přínosem pro praktické navrhování vláknobetonu je i databáze výsledků, získaných z doprovodných zkoušek, která může posloužit jako zdroj informací při navrhování složení vláknobetonových směsí.

Příspěvek vznikl za podpory projektu GA ČR 103/09/1788.

Měření objemových změn probíhala v laboratoři Politechniki Warszawskie na základě mezistátní dohody s Fakultou stavební ČVUT v Praze.

Doc. Ing. Jan Vodička, CSc.

Katedra betonových a zděných konstrukcí

Fakulta stavební ČVUT v Praze

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

tel.: 224 354 622, fax: 233 335 797

e-mail: jan.vodicka@fsv.cvut.cz

<http://concrete.fsv.cvut.cz/>



Ing. Dušan Spůra, Ph.D.

Ballymore Properties, s. r. o.

Broadway Palace

Na Příkopě 31, 110 00 Prague 1

mob.: 721 970 151

e-mail: dspura@ballymoregroup.com

www.ballymoregroup.com



Text článku byl posouzen odborným lektorem.



Tiefbau

pro sanaci železobetonových a betonových konstrukcí

Nová řada výrobků Knauf Tiefbau je systém, který řeší problematiku železobetonových konstrukcí, jež se potýkají se stárnutím a karbonatací. Výrobky jsou určeny pro sanace a opravy inženýrských staveb čtyř základních problematických skupin:

- opravy a sanace mostů a dopravních objektů v rámci silniční sítě ČR,
- opravy a intenzifikace provozů čistíren odpadních vod,
- opravy a sanace zděných kanalizačních štol,
- opravy a sanace ploch jež jsou zatěžovány pochozím, či pojezdovým zatížením.

Pro všechny tyto práce je připraven jednoduše identifikovatelný systém značení a rozdělení nových produktů. Značení je voleno v logické návaznosti na způsob a oblast použití:

- **Knauf Tiefbau řada 100** – Adhezní můstky a ochrana výztuže
- **Knauf Tiefbau řada 200** – Reprofilační malty
- **Knauf Tiefbau řada 300** – Finální stěrky
- **Knauf Tiefbau řada 400** – Stříkané betony (torkrety)
- **Knauf Tiefbau řada 500** – Materiály pro sanace zděných kanalizačních štol
- **Knauf Tiefbau řada 600** – Materiály pro opravy ploch jež jsou zatěžovány pochozím nebo pojezdovým zatížením.



Praktické použití systému Tiefbau vždy vychází z konkrétního projekčního řešení, které bere v úvahu všechny předpokládané aspekty opořebené konstrukce. Ve většině případů je systém složen vždy ze tří na sebe navazujících aplikací.

Příklad použití:

- **Opravy mostů:** adhezní můstek Knauf TS 110, reprofilační malta Knauf TS 210, finální stěrka Knauf TS 310
- **Opravy čistíren odpadních vod:** adhezní můstek Knauf TS 100, reprofilační malta Knauf TS 200, finální stěrka Knauf TS 300
- **Opravy pochozích ploch:** adhezní můstek Knauf TS 130, reprofilační malty Knauf TS 630, ev 635.

Tiefbau je promyšlený třívrstvý systém, který má za úkol navrátit konstrukcím jejich původní profil a zamezit další pokračující degradaci.

SERVIS HOTLINE
844 600 600
www.knauf.cz

KNAUF