

VÝPOČET DOTVAROVÁNÍ A SMRŠŤOVÁNÍ DLE ČSN EN 1992-1-1 CALCULATION OF CREEPING AND SHRINKING ACCORDING TO ČSN EN 1992-1-1 STANDARD

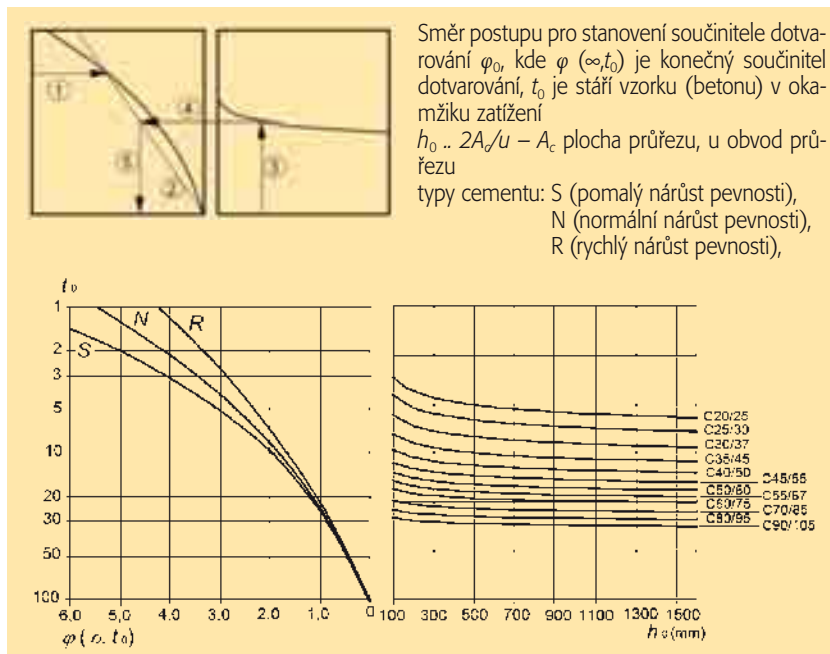


DUŠAN SPŮRA

Příspěvek se snaží nastínit širší veřejnosti používající objemová přetvoření, např. pro výpočty ztrát předpjatých konstrukcí z betonu, jaký je současný stav problematiky a jaké možnosti v této problematice skýtá jedna z posledních revizí ČSN EN 1992-1-1.

This paper is trying to outline to wider public using calculations of volume changes, e.g. for prestressed concrete structures, what is the current situation of problems and what possibilities in those problems offer one of latest revisions of Eurocode 2 – ČSN EN 1992-1-1.

Vývoj predikce účinku dotvarování a smršťování dle platné normy ČSN 73 1201 prakticky skončil s vydáním poslední změny č. 2 v září 1994 s platností od 1. 10. 1994. 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) poslední změna byla vydána v prosinci roku 2004 [2].



Směr postupu pro stanovení součinitele dotvarování φ , kde $\varphi(\infty, t_0)$ je konečný součinitel dotvarování, t_0 je stáří vzorku (betonu) v okamžiku zatížení
 $h_0 \approx 2A_c/u - A_c$ plocha průřezu, u obvod průřezu
 typy cementu: S (pomalý nárůst pevnosti), N (normální nárůst pevnosti), R (rychlý nárůst pevnosti),

Ve srovnání s ostatními současnými modely predikce výpočtu objemových změn je mnohem bližší ČSN EN 1992-1-1 než ČSN 73 1201, přičemž zmíněná ČSN EN 1992-1-1 je v podrobném výpočtu shodná s Eurocode 2 (2nd draft) již od roku 2001 [1].

Obr. 1 Ukázka zjednodušeného stanovení součinitele dotvarování [2]

Fig. 1 Demonstration of simplified determination of the creep coefficient [2]

Protože hodnota dotvarování a smršťování betonu bude nejvíce ovlivněna samotnými charakteristikami betonu (pevnostní – f_{ck} válcová pevnost a E_c výrobně technologické, časové – jako 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 mezích použitelnosti daného modelu. Např. v ČSN EN 1992-1-1 je teplotní rozsah od -40 do +40 °C a vlhkost od 40 do 100 %. Obdobná omezení v použitelnosti nalezneme u všech existujících modelů predikce. Jako ukázka postačí porovnání vstupních údajů pro podrobný výpočet přetvoření vybraných modelů v tabulce 1.

Aby se však běžný uživatel dostal až k stanovení požadovaných hodnot přetvoření, může zvolit buďto zjednodušený výpočet založený na stanovení základního součinitele dotvarování a smršťování, které stanoví z předem vypracovaných

Tab. 1 Nutné vstupní údaje pro stanovení přetvoření od dotvarování (smršťování) betonu pro ČSN EN 1992-1-1 ve srovnání s modelem B3 [4]

Tab. 1 Input data necessary for determination of deformation of concrete from creeping (shrinking) for the ČSN EN 1992-1-1 standard in comparison with B3 model [4]

Vstupní charakteristiky		ČSN EN 1992-1-1	Model B3
Materiálové	cement	hmotnost	–
		typ	požadováno: S, N, R
	voda	hmotnost	–
	kamenivo	hmotnost	–
Průřezové	plocha řezu (A_c)	požadováno	požadováno
	obvod (u)	požadováno	požadováno
	typ tělesa	–	požadováno
Prostředí	vlhkost (RH)	požadováno	požadováno
	typ uložení	–	požadováno
	teplota (T)	pokud chci zohlednit	pokud chci zohlednit
Pevnostní	pevnost – válcová (f_{ck})	požadováno	požadováno
	modul pružnosti (E_{cm})	alternativně, jinak dopočítáván ze síly	alternativně, jinak dopočítáván ze síly
	napětí ve vzorku (pružné) σ	požadováno (max. 45 % σ)	požadováno (max. 45 % σ)

h0	100	200	300	≥ 500
kh	1,0	0,85	0,75	0,70

Tab. 2 Hodnoty k_h
Tab. 2 Values of k_h

Třída cementu	S	N	R
α	-1	0	1

Tab. 4 Hodnoty α
Tab. 4 Values of α

Třída cementu	S	N	R
α_{ds1}	3	4	6
α_{ds2}	0,13	0,12	0,11

Tab. 5 Hodnoty α_{ds1} a α_{ds2}
Tab. 5 Values of α_{ds1} a α_{ds2}

Součinitel	$f_{ck} \leq LC16/18$	$f_{ck} \geq LC20/22$
η_2	1,3	1,0
η_3	1,5	1,

Tab. 6 Hodnoty η_2 a η_3
Tab. 6 Values of η_2 a η_3

diagramů a tabulek, nebo se může zpracovat podrobným výpočtem přetvoření zohledňujícím jednotlivé vlivy exaktními vztahy, popřípadě dílčími součiniteli tyto vlivy charakterizujícími.

Vypracované grafy pro RH 50 % odpovídající běžným vnitřním podmínkám v budovách [1].

Po stanovení součinitele dotvarování $\varphi(\infty, t_0)$ už jen stačí dopočítat hodnotu přetvoření $\varepsilon_{cs}(\infty, t_0)$ od dotvarování dle vztahu (1):

$$\varepsilon_{cs}(\infty, t_0) = \varphi(\infty, t_0) \cdot (\sigma_c / E_c) \quad (1)$$

kde $\varphi(\infty, t_0)$ je konečný součinitel dotva-

$f_{ck} / f_{td,0}$ oube [MPa]	Relative Humidity [%]					
	20	40	60	80	90	100
20/25	0,62	0,58	0,49	0,30	0,17	0,00
40/50	0,48	0,46	0,38	0,24	0,13	0,00
60/75	0,38	0,36	0,30	0,19	0,10	0,00
80/95	0,30	0,28	0,24	0,15	0,08	0,00
90/105	0,27	0,25	0,21	0,13	0,07	0,0

Tab. 3 Vypracovaná tabulka jmenovitých volných přetvoření $\varepsilon_{cd,0}$ [%] od smršťování vysycháním pro cement typu N (normální nárůst pevnosti) [1]

Tab. 3 Table of nominal free deformations $\varepsilon_{cd,0}$ [%] from shrinking by drying up for cement of N type (normal strength increase) [1]

rování, σ_c je tlakové napětí ve vzorku od zatížení a E_c je tečný modul pružnosti.

Obdobně lze postupovat i pro smršťování. Z příslušné tabulky, např. tab. 3, stanovíme jmenovité přetvoření od smršťování a potom už stačí zohlednit stáří vzorku pomocí součinitele $\beta_{ds}(t, t_s)$ a vliv pomyslné velikosti vzorku h_0 pomocí součinitele k_h .

$$\varepsilon_{ds}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) k_h \varepsilon_{cd,0} \quad (2)$$

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0,04 \sqrt{h_0^3}} \quad (3)$$

Kde t je čas, ve kterém smršťování od vysychání uvažujeme a t_s je stáří vzorku (betonu), ve kterém vysychání (bobtnání) započalo (běžně uvažujeme konec ošetřování). Hodnotu k_h získáme z tabulky 2.

Nyní už stačí dopočítat hodnotu autogenního smršťování $\varepsilon_{ca}(t)$ a stanovit celkové přetvoření od smršťování ε_{cs} dle vztahů (4) a (5).

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{ca} + \varepsilon_{cd} \quad (4)$$

$$\varepsilon_{ca} = (1 - \exp(-0,2t^{0,5})) 2,5(f_{ck} - 10) 10^{-6} \quad (5)$$

Nevýhodou zjednodušeného stanovení základních součinitelů dotvarování a smršťování se může jevit omezený počet grafů a tabulek stanovených jen pro několik vlhkostí prostředí RH, i když právě pro nejběžnější potřebné hodnoty.

Pokud jsme nuceni díky některým omezením zjednodušené metody použít podrobný výpočet objemových změn, dostaneme se k součiniteli dotvarování pomocí konečného vztahu (7), kde RH je vlhkost [%], f_{ck} je válcová pevnost betonu v tlaku po 28 dnech, t_0 je stáří betonu (vzorku), popř. $t_{0,T}$ je stáří betonu upravené s ohledem na teplotu a součinitel α nabývá hodnot dle tab. 4.

Potřebujeme-li navíc ještě zohlednit vliv teploty (v rozsahu od 0 po +80 °C) můžeme upravit stáří betonu dle vztahu (8), kde t_T je upravené stáří betonu dle vlivu teploty, $T(\Delta t)$ je teplota [°C] během časového úseku Δt ; a Δt je počet dní, kdy převládá teplota T .

Při podrobném výpočtu smršťování se

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

$$t_T = \sum_{i=1}^n e^{-\left(4000 / [273 + T(t_i)] - 13,65 \right)} \cdot \Delta t_i, \quad (8)$$

$$\varepsilon_{cs} = 0,85 \left[(220 + 110 \alpha_{ds1}) e^{\left(\alpha_{ds2} \frac{f_{ck} + 8}{10} \right)} \cdot 10^{-6} \cdot \left(1,55 \cdot \left[1 - \left(\frac{RH}{100} \right)^3 \right] \right) \right] + \left(1 - e^{(-0,2\sqrt{t})} \right) \cdot 2,5(f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} \quad (9)$$

ve výsledném podání dostaneme ke vztahu (9), kde α_{ds1} a α_{ds2} získáme pro dané typy cementu z tabulky 5.

V této problematice nesmíme zapomenout na vývoj nových materiálů a kompozitů, na bázi betonu jako vláknobetonu či lehké betony. V ČSN EN 1992-1-1 jsou detailně uvedeny např. pro lehké betony, jejichž dotvarování je ovlivněno hlavně nižší hustotou materiálu a nižší pevností lehkých betonů. Součinitel dotvarování potom stačí upravit pomocí koeficientu $(\rho/2200)^2$ a napěťí od dotvarování upravit pomocí součinitele η_2 . Konečné smršťování od vysychání potom u lehkých betonů upravuje součinitel η_3 .

ZÁVĚR

Současné sofistikované modely pro stanovení dotvarování a smršťování jsou spíše otázkou dostupnosti pomůcek k vý-

počtu jednotlivých modelů, jako je např. pomůcka k výpočtu modelu B3 od Prof. Křístka a Ing. Petřika, ale velké zlepšení situace skýtá i tabelování nejběžnějších hodnot, jako tomu je v zmíněné ČSN EN 1992-1-1. Vyjádření vlivů objemových přetvoření pro vláknobeton je doposud ve stádiu výzkumu a pro praktické výpočty prozatím nejsou ucelené pomůcky. Upřesňování součinitelů vlivu jednotlivých vláken si patrně ještě nějaký čas vyžádá.

Příspěvek vznikl za podpory MSM:684077001.

Ing. Dušan Spůra

Katedra betonových konstrukcí a mostů

Fakulta stavební ČVUT

Tháškova 7, 166 29 Praha 6

tel.: 224 354 62

Literatura:

- [1] European standard – EN 1992-1 (2nd draft), Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1: General rules and rules for buildings, (September 2001)
- [2] ČSN EN 1992-1-1 (Eurocode 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby), prosinec 2004
- [3] ACI 209, "Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures", (Manual of Concrete Practice, ACI, 1994), pp. 209R-1 to 209R-47
- [4] Bažant Z. P., Baweja S.: "Creep and shrinkage prediction model for Analysis and Design of Concrete Structures", Model B3 distributed at ACI (April 1998)

PROF. ING. JOSEF ŘÍHA, DRSC. - IN MEMORIAM

POSLEDNÍ ROZLOUČENÍ S PROF. ING. JOSEFEM ŘÍHOU, DRSC., SE KONALO V PÁTEK 17. BŘEZNA V BRNĚ.

Josef Říha se narodil v dubnu 1919 v Brodce u Prostějova.

Po absolvování Vysoké školy technické v Brně působil krátce jako asistent na Ústavu stavební mechaniky a mostů, poté vedl stavební oddělení v Moravskoslezských cementárnách a postupně pracoval v Průmyslových stavbách Brno, PREFA Brno a ve Výzkumném ústavu prefabrikace a zprůmyslnění stavebnictví Praha.

Na výzvu Prof. Kalaunera přešel na Fakultu stavební VUT v Brně, kde se spolupodílel na založení, v té době v Evropě unikátního, nového oboru - Technologie stavebních hmot a dílců. Při jeho rozvoji se zaměřil zejména na problematiku technologie prefabrikace, technologie betonu a technologické systémy výroby stavebních dílců. Nové vědní disciplíny měly vynikající teoretický základ podložený experimentální laboratorní, cílevědomou a pečlivou prací a blízkou návazností na praktické realizace. Ve funkci vedoucího katedry pracoval od roku 1958 úspěšně více než třicet let a dosažené vědecké výsledky katedry byly známé u nás i v zahraničí. Byl zván na vědecké a technické konference do téměř všech zemí Evropy, vedl řadu postgraduálních školení u nás i v zahraničí, přednášel a spolupracoval až v Indii a na Kubě. Po zemětřesení v bývalé Jugoslávii byl v roce 1966 vyzván OSN k práci na obnově zničeného města Skopje.

Byl vynikajícím pedagogem, který díky přátelskému, přímému přístupu, svéráznému smyslu pro humor a učitelskému umu dokázal denně předávat své bohaté teoretické a praktické znalosti mnoha generacím studentů. Vychoval desítky technolo-



gů, odborníků, kteří dodnes těží z jeho znalostí, životního moudra a zkušeností. V roce 1969 byl v první svobodné volbě zvolen děkanem Stavební fakulty. Volba byla zrušena jako neplatná a stála ho málem vyloučení z fakulty.

Prof. Říha se po celý život věnoval hlavně technologii stavebních dílců a vývoji různých druhů betonů. Vyvinul, teoreticky odvodil a patentoval některé, i pro celý svět, nové technologie, např. výrobu tenkých stropních betonových desek, tzv. vibrotážení nebo výjimečný způsob zhutňování, tzv. vibroaktivaci. Jeho teorie zabývající se návrhem složení betonů jsou stále používány při výuce i v praxi. Za nové technologie získal řadu patentů a mnohé z nich jsou dodnes platné i v zahraničí. Dostal také četná ocenění, z nichž si zvláště vážil Zlaté medaile Čsl. prefabrikace, za přínos a zásluhy o rozvoj výroby prefabrikátů v Československu, Čestného doktorátu Vysoké školy technické v Lipsku a Státní ceny za nové technologie stavebních hmot a dílců. Na Technické univerzitě v Bratislavě získal Zlatou medaili za pomoc při budování obdobného oboru jako v Brně. V roce 2001 byl jako respektovaný špičkový odborník zvolen čestným členem České betonářské společnosti.

Často se ptáme, kde lidé jako on brali čas na práce tak početné a různorodé. Snad těmito pracemi žili a bez nich ani žít nemohli. Chystal se ještě k dalšímu psaní. Poslední připravovaná kniha „Beton v heslech“ už nevyjde...

Zákony přírody, které jako vědec vždy ctíl a respektoval, jsou neúprosné. Rozloučení bylo těžké, i když víme, že prožil dlouhý a naplněný život pod heslem: Nezačni končit, nepřestávej začínat! Čest jeho památce.