

MATERIÁLOVÉ MODELY PRO ČASOVĚ ZÁVISLOU ANALÝZU BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ

MATERIAL MODELS FOR TIME-DEPENDENT ANALYSIS OF CONCRETE STRUCTURES

OMAR RODRIGO BACARREZA,
JAN ZATLOUKAL, PETR KONVALINKA

V příspěvku jsou rozebírány materiálové modely pro časově závislou analýzu betonových konstrukcí. Zmíněny a následně vzájemně porovnány jsou materiálové modely pro smršťování a dotvarování z předpisu CEB-FIP Model Code 1990, jeho revize z roku 1999 a Bažantův model B3.

Material models for time-dependent analysis of concrete structures are discussed. Creep and shrinkage models in the CEB-FIP Model Code 1990, its 1999 update and Bažant's B3 model are reviewed and then compared.

Napětí a deformace konstrukcí z železobetonu a předpjatého betonu se mění v čase v dlouhodobém měřítku, v němž se projeví účinky dotvarování a smršťování. Při analýze časově závislých napětí a deformací je třeba zavést časové funkce pro příslušné materiály.

V tomto článku uvažujeme beton jako stárnoucí lineárně viskoelastický materiál, jehož modul pružnosti se s časem zvyšuje.

Vnesení napětí do betonu vyvolá okamžitou deformaci: je-li napětí udržováno, deformace se bude v čase stále zvětšovat v důsledku dotvarování. Na dotvarování lze také pohlížet i z jiného úhlu: je-li betonové těleso zatíženo v čase konstantní deformací, dotvarování se v čase projeví jako postupný pokles napětí.

Rozlišit mezi okamžitou pružnou deformací a počátečním dotvarováním je obtížné, ale toto rozlišení nemá praktický význam, protože rozhodující je celková deformace, vyvolaná vnesením zatížení.

Velikost okamžité deformace a deformace způsobené dotvarováním závisí na stáří betonu při vnesení zatížení a délce doby jeho působení. Ostatní parametry ovlivňující velikost deformace při dotvarování i smršťování jsou závislé na kvalitě betonu, okolním prostředí, tvaru zkoumaného betonového prvku, vlivu poměru velikosti napětí a pevnosti materiálu a teplotě.

MODUL PRUŽNOSTI

Modul pružnosti je vstupní parametr při výpočtu funkce poddajnosti při dotvarování. Je definován jako tečný modul pružnosti na počátku pracovního diagramu a může být odhadnut ze střední hodnoty válcové pevnosti a stáří betonu. Tečný modul je přibližně roven sečnému modulu při odtěžování, který je obvykle měřen při zkouškách.

Kromě pevnosti betonu modul pružnosti závisí také na druhu použitého kameniva, podmínkách při ošetřování betonu a metodice zkoušení. Tyto faktory se poté zásadně podílí na velkém rozptylu experimentálně zjištěných hodnot modulu pružnosti proti pevnosti betonu.

Obecně se má za to, že pro časově závislou analýzu konstrukcí nehraje roli přesná velikost pružné a trvalé deformace, pokud jejich součet dává správnou hodnotu. Jinými slovy, funkce poddajnosti J je při studiu dotvarování mnohem důležitější než samostatný modul pružnosti E a součinitel dotvarování φ . Stanovení funkce poddajnosti také odstraňuje riziko zkombinování rozměrově si neodpovídajících hodnot modulu pružnosti a součinitele dotvarování.

Pro velké stavby se doporučuje krátkodobý test dotvarování. Při důkladném a přesném provedení může dostatečně přesné výsledky pro ověření teoretické funkce poddajnosti poskytnout i test s dobou trvání zatížení pouhé dva dny [1].

CEB-FIP MODEL CODE 1990

Vztahy zde uvedené odvodili Müller a Hilsdorf [2] a byly publikovány ve finální verzi předpisu CEB-FIP Model Code 1990 [3]. Model je založen na lineární aproximaci jednotlivých dílčích součinitelů bez separace do časově závislých složek deformace, a ukazuje se jednodušší než součtový model.

Model je platný pro betony normálních hutností do třídy pevnosti C80, vystavené prostředí s průměrnou relativní vlhkostí v rozmezí 40 až 100 %. V době vzniku předpisu ještě nebyly detailně prozkoumány vlastnosti betonů pevno-

sti vyšších než 50 MPa, proto je při jeho užití v této oblasti pevností třeba postupovat s opatrností.

Dotvarování

Vztah mezi celkovou deformací, vyvolanou účinky napětí, a napětím popisuje funkce poddajnosti, definovaná jako:

$$J(t, t_0) = \frac{1}{E_c(t_0)} + \frac{\varphi(t, t_0)}{E_c}, \quad (1)$$

kde $\varphi(t, t_0)$ je součinitel dotvarování (viz vztah (2)), t stáří betonu, t_0 stáří betonu při vnesení zatížení, E_c modul pružnosti betonu ve stáří 28 dní, $E_c(t_0)$ modul pružnosti betonu v okamžiku vnesení zatížení t_0 .

Součinitel dotvarování je odhadnut ze vztahu

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \cdot \beta_c(t - t_0), \quad (2)$$

kde φ_0 je základní součinitel dotvarování, $\beta_c(t - t_0)$ časová funkce, popisující vývoj dotvarování v čase.

Časová funkce $\beta_c(t - t_0)$ se asymptoticky blíží k nenulové koncové hodnotě. Znamená to, že i poddajnost při dotvarování se v čase blíží konečné hodnotě. Zda tato konečná hodnota pro dotvarování skutečně existuje, je stále otázkou odborných diskuzí. Z praktického hlediska má však pouze malý význam. Při době trvání zatížení sedmdesát let se rychlost dotvarování stává velmi nízkou a je nepravděpodobné, že by se po této době objevil výraznější nárůst dotvarování. Časová funkce navíc bere v úvahu i velikost betonového prvku jako vstupní parametr pro difúzní jevy, a to tím způsobem, že s rostoucí tloušťkou prvku klesá hodnota základního součinitele dotvarování φ_0 .

Příjemnou vlastností tohoto modelu dotvarování je to, že jako vstupní parametry jsou voleny veličiny snadno dostupné projektantovi i v raných fázích návrhu konstrukce: průměrná pevnost betonu v tlaku, stáří betonu při vnesení zatížení, velikost betonového prvku (charakteristický rozměr), relativní vlhkost okolního prostředí a typ cementu.

Vliv pevnosti betonu na základní součinitel dotvarování je potenciálním zdrojem velké části chyb v predikci dotvarování [2], [3]. Dotvarování nezávisí přímo na pevnosti betonu, ale především na jeho složení. Obecně platí, že čím větší množství cementu nebo čím vyšší vodní součinitel, tím je větší i dotvarování. Protože betony vyšších pevností mají obvykle nižší hodnotu vodního součinitele a vyšší obsah cementu a vykazují nižší míru dotvarování, je vodnímu součiniteli přisuzována větší váha. Tento vztah vyplývá z pozorovaného trendu dostupných experimentálních měření.

Předpis CEB-FIP Model Code 1990 nerozlišuje mezi složkami dotvarování, jako je základní dotvarování a dotvarování vyvolané vysycháním.

Vliv stáří betonu při vnesení zatížení na základní součinitel dotvarování je dán hyperbolickou funkcí, která poskytuje dobrý odhad vlivu stáří betonu i pro

vysoká stáří betonu, pokud před vnesením zatížení nedojde k výrazné ztrátě vlhkosti z betonu. Tento předpoklad je splněn u masivních betonových prvků ve vlhkém prostředí. U štíhlých prvků zabudovaných v suchém prostředí tento model nadhodnocuje velikost dotvarování, pokud je zatížení vneseno dlouho po začátku vysychání. Tento nedostatek by bylo možno odstranit pouze pokud by bylo celkové dotvarování možno rozdělit do složek základního dotvarování a dotvarování vyvolaného vysycháním.

Nástup účinků dotvarování se v čase opožďuje se zvětšováním rozměrů betonového prvku a s rostoucí relativní vlhkostí okolního prostředí.

Smršťování

Deformace od smrštění (nebo rozpínání) se vypočte jako

$$\varepsilon_{cs}(t, t_s) = \varepsilon_{cs0} \beta_s(t - t_s), \quad (3)$$

kde ε_{cs0} je základní součinitel smršťování, $\beta_s(t - t_s)$ časová funkce popisující vývoj smršťování v čase, t_s stáří betonu v okamžiku počátku vysychání.

Uvedená časová funkce splňuje základní princip difúzní teorie. Doba potřebná k vyschnutí na určitou průměrnou hodnotu v průřezu je přímo úměrná druhé mocnině charakteristického rozměru prvku. Její hodnota se také asymptoticky blíží konečné hodnotě.

Podobně jako u dotvarování, smršťování nezávisí na pevnosti betonu jako takové, ale spíše na velikosti vodního součinitele a obsahu cementu. Známý vztah mezi těmito veličinami však nabízí jednoduchý a praktický způsob, jak odhadnout smršťování z pevnosti betonu.

Časová funkce je definována tak, že její asymptotická hodnota není v tlustých průřezích dosažena ani po dlouhé době vysychání (třicet let). Předpoklad existence konečné hodnoty smrštění, nezávislé na velikosti prvku, je s největší pravděpodobností teoreticky správný. Protože však v praxi její dosažení může u masivních prvků trvat i stovky let, je rozumné pro praktické výpočty uvažovat, že „konečná“ hodnota smrštění závisí na velikosti prvku. Je také třeba připomenout, že časově závislá funkce je značně nejistá pro průřezy s charakteristickým rozměrem větším než 500 mm. Je to dáno nedostatečnou experimentální znalostí smršťování masivních průřezů při dlouhých dobách vysychání.

Velikost betonového prvku neovlivňuje celkovou konečnou velikost smrštění, ale pouze průběh smršťování v čase.

REVIZE PŘEDPISU CEB-FIP MODEL CODE 1990 Z ROKU 1999

Model byl publikován v bulletinu *fib „Structural Concrete“* [4]. Primárním účelem revize bylo vylepšení predikčního modelu pro vysokopevnostní betony a rozšíření platnosti modelu na betony vysokohodnotné.

Aktualizovaný model dotvarování byl publikován již v předpisu Eurocode 2 [5]. Je velice blízký modelu CEB-FIP Model Code 1990, ale oproti původnímu přibyla trojice na pevnosti závislých součinitelů. V tomto článku na něj budeme odkazovat jako na model MC90(99).

Zásadní změnu představuje model smršťování. Celkové smrštění je rozděleno na složky autogenního smrštění a smrštění vyvolaného vysycháním.

Obr. 1 Poddajnost při dotvarování u rozdílných modelů

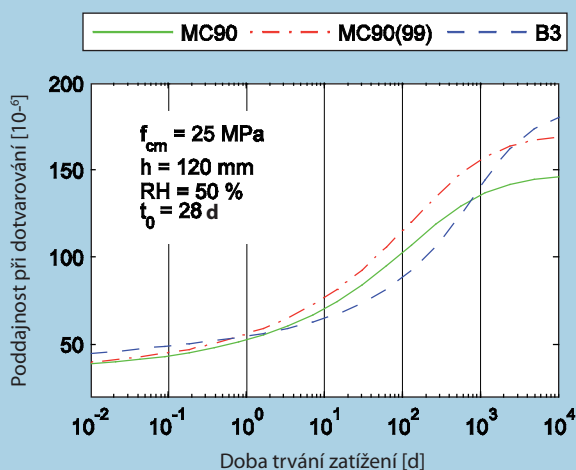
Fig. 1 Creep compliance given by different models

Obr. 2 Vývoj smršťování u rozdílných modelů

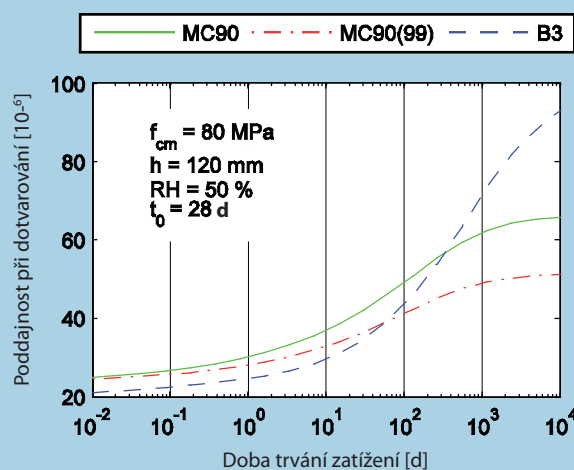
Fig. 2 Shrinkage development given by different models

Obr. 3 Autogenní smršťování a smršťování způsobené vysycháním u betonu běžné pevnosti a betonu vysokopevnostního, podle modelu MC90(99)

Fig. 3 Autogenous shrinkage and drying shrinkage components in NSC and HPC as given by the MC90(99) model



1a



1b

Dotvarování

Rozšířený model je platný jak pro betony obvyklých pevností, tak pro vysokohodnotné betony až do válcové pevnosti v tlaku 120 MPa. Do modelu MC90 byla doplněna trojice součinitelů. Tyto součinitele jsou funkcemi průměrné válcové pevnosti betonu; součinitele α_1 a α_2 ovlivňují základní součinitel dotvarování, kde součinitel α_2 má význam faktoru ovlivňujícího základní dotvarování a součinitel α_1 a α_2 je vyjádřením faktoru ovlivňujícího dotvarování způsobené vysycháním. Součinitel α_3 ovlivňuje hodnoty časově závislé funkce.

Změněno je stanovení základního součinitele dotvarování, obzvláště je změna patrná pro betony velmi vysokých pevností. Redukce je oproti modelu MC90 asi 11 až 18 % pro beton s průměrnou válcovou pevností 55 MPa a asi 15 až 23 % pro beton s průměrnou válcovou pevností 65 MPa.

Změna časově závislé funkce je mírná, s rostoucí pevností betonu se leh-

ce zvyšuje rychlost účinků dotvarování v čase.

Smršťování

V modelu MC90(99) je celkové smrštění rozděleno na složku autogenního smrštění a složku smrštění vyvolanou vysycháním. Díky tomuto přístupu bylo možné formulovat model, který je platný jak pro betony obvyklých pevností, tak pro betony vysokopevnostní až do průměrné válcové pevnosti 120 MPa.

Celková deformace při smrštění se vypočte jako

$$\varepsilon_{cs}(t, t_s) = \varepsilon_{cas}(t) + \varepsilon_{cds}(t, t_s), \quad (4)$$

kde

$$\begin{aligned} \varepsilon_{cas}(t) &= \varepsilon_{cas0}(f_{cm}) \beta_{as}(t) \\ \varepsilon_{cds}(t, t_s) &= \varepsilon_{cds0}(f_{cm}) \beta_{RH} \beta_{ds}(t - t_s) \end{aligned} \quad (5a, 5b)$$

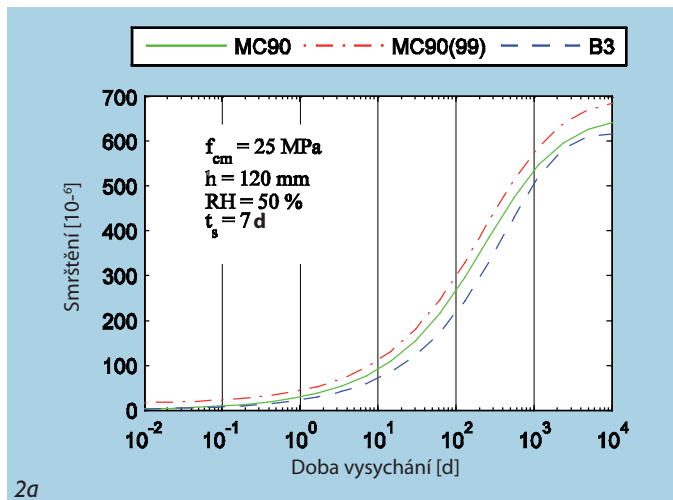
kde $\varepsilon_{cs}(t, t_s)$ je celková deformace při smrštění v čase t , $\varepsilon_{cas}(t)$ autogenní smr-

štění v čase t , $\varepsilon_{cds}(t, t_s)$ smrštění vyvolané vysycháním v čase t , $\varepsilon_{cas0}(f_{cm})$ základní součinitel autogenního smršťování, $\beta_{as}(t)$ časově závislá funkce autogenního smršťování, $\varepsilon_{cds0}(f_{cm})$ základní součinitel smršťování vyvolaného vysycháním, β_{RH} součinitel beroucí do úvahy relativní vlhkost prostředí při smršťování vyvolaném vysycháním, $\beta_{ds}(t - t_s)$ časově závislá funkce pro smršťování vyvolané vysycháním, t_s je stáří betonu v okamžiku počátku vysychání.

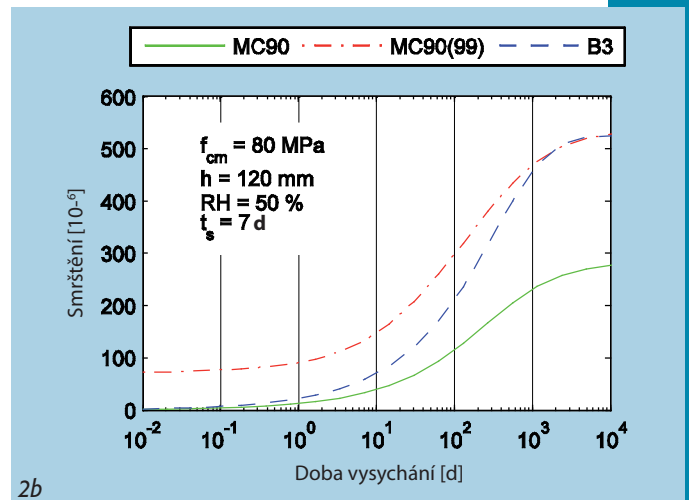
MODEL B3

Tento model není založen na stejných principech jako předchozí modely zmíněné v tomto článku; jeho formulace je unikátní a poměrně komplexní. Model B3 vyžaduje znalost více parametrů a provedení více výpočtů než modely předchozí.

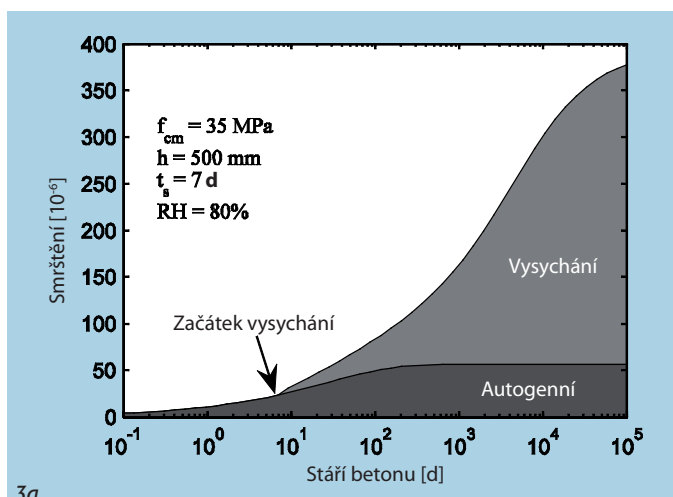
Predikční model B3 [6], [7] a [8] je poslední variantou v řadě predikčních metod pro dotvarování a smršťování, vyvinutých profesorem Bažantem a jeho spolupracovníky [9], [10], [11]



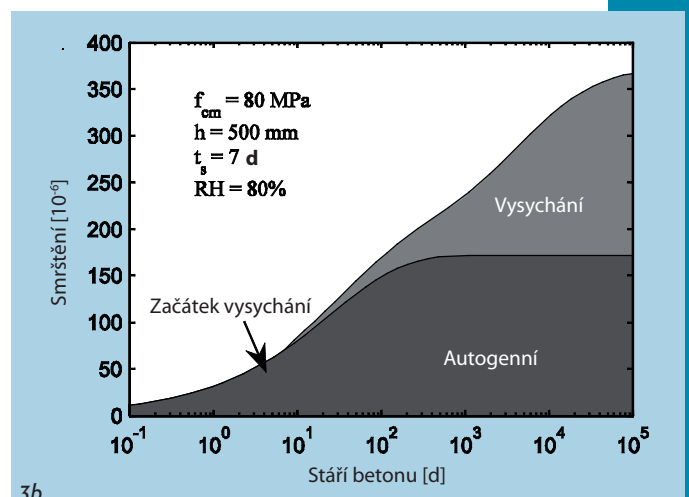
2a



2b



3a



3b

a [12] na Northwestern University. Jeho použití je omezeno na oblast provozních napětí (nebo do přibližně $0,45 f_{cm}$, kde f_{cm} je průměrná válcová pevnost ve stáří betonu 28 dní).

Pro konstantní napětí působící od okamžiku t'

$$\varepsilon(t) = J(t, t')\sigma + \varepsilon_{sh}(t) + \alpha\Delta T(t), \quad (6)$$

kde $\varepsilon(t)$ je poměrné přetvoření, $J(t, t')$ funkce poddajnosti = deformace (dotvarování plus pružná) v čase t způsobená jednotkovým jednoosým napětím, působícím od okamžiku t' , σ jednoosé napětí, $\varepsilon_{sh}(t)$ deformace od smrštění (záporná hodnota při zmenšení objemu), $\Delta T(t)$ změna teploty oproti referenční hodnotě v čase t , α součinitel teplotní roztažnosti.

Dotvarování

Důležitou vlastností modelu B3 pro dotvarování je to, že funkce poddajnosti je složena ze složky okamžité pružné odezvy, složky funkce poddajnosti pro základní dotvarování a další složky funkce poddajnosti pro dotvarování vyvolané vysycháním.

Funkce poddajnosti při dotvarování se zapíše jako

$$J(t, t') = q_1 + C_0(t, t') + C_d(t, t', t_0), \quad (7)$$

kde q_1 je okamžitá deformace vyvolaná jednotkovým napětím, $C_0(t, t')$ funkce poddajnosti základního dotvarování (dotvarování při konstantním obsahu vlhkosti, bez transportu vlhkosti materiálem), $C_d(t, t', t_0)$ další funkce poddajnosti pro dotvarování způsobené současným vysycháním, t stáří betonu, t' stáří betonu v okamžiku vnesení zatížení, t_0 stáří betonu v okamžiku počátku vysychání.

Na rozdíl od modelu MC90, poddajnost při dotvarování se v modelu B3 nepřibližuje konečné hodnotě, ale s časem roste nadě všechny meze. Funkce poddajnosti pro dotvarování způsobené vysycháním obsahuje konečnou hodnotu, protože je vztahována k procesu výměny vlhkosti mezi betonem a okolním prostředím, který ustane po dosažení rovnovážného stavu.

Model B3 bere v úvahu přímo vliv materiálového složení betonu. Kromě vstupních parametrů, uvažovaných i v předchozích zmíněných modelech, jsou brány do úvahy obsah cementu, hodnota vodního součinitele, poměr cementu a kameniva a obsah vody.

Model B3 je považován za velmi sofistikovaný, ale občas trochu těžkopádný, právě kvůli potřebné znalosti mnoha parametrů, které často nejsou v počátečních návrhu projektantovi dostupné. Výpočetní náročnost modelu je také poměrně vysoká, naštěstí je jeho softwarová implementace snadná. Přímo v popisu modelu je obsažen vztah pro výpočet funkce poddajnosti základního dotvarování jako funkce rychlosti dotvarování.

Smršťování

Průměrné smrštění v průřezu se vypočte dle následujícího vztahu:

$$\varepsilon_{sh}(t, t_0) = -\varepsilon_{sh\infty} k_{RH} S(t), \quad (8)$$

kde $\varepsilon_{sh\infty}$ je konečné smrštění, k_{RH} faktor závislý na relativní vlhkosti, $S(t)$ časová závislost.

NEJISTOTY V PREDIKCI DOTVAROVÁNÍ A SMRŠŤOVÁNÍ

Důležitou a bohužel často opomíjenou vlastností predikčních modelů pro dotvarování a smršťování je předpokládaná chyba predikce. Dotvarování a smršťování jsou jedny z nejvíce nejistých mechanických vlastností betonu. Teoretické modely predikují pouze nejvýraznější tendence, vyzorované z dostupných experimentálních dat. V každé jednotlivé konkrétní predikci může být vliv libovolného vstupního parametru nadhodnocen nebo podhodnocen.

Poddajnost při dotvarování a deformace od smrštění proto můžeme považovat za náhodné proměnné. Proto je vedle jejich střední hodnoty důležitým parametrem i jejich rozptyl. Rozptyl hodnot může být charakterizován variačním součinitelem predikce (poměr směrodatné odchylky a střední hodnoty). Doložené hodnoty variačního součinitele pro modely dotvarování a smršťování CEB-FIP Model Code 1990 a B3 jsou uvedeny v tab. 1.

Stojí jistě za zmínku, že menší hodnota variačního součinitele ještě nutně neznamená, že je jeden model přesnější než druhý a naopak. Závisí totiž na rozsahu experimentálního souboru dat, z něhož byl model odvozen a adjustován a z něhož byl také vypočten variační součinitel.

Hodnoty variačního součinitele v tab. 1 reprezentují střední hodnoty variačních součinitelů vypočtených na základě

všech provedených experimentů během celé doby zatížení a vysychání. Charakterizují průměrnou chybu predikční metody [2] pro model MC90 a variační součinitel BP [9] pro model B3.

POROVNÁNÍ MODELŮ DOTVAROVÁNÍ A SMRŠŤOVÁNÍ

Představované materiálové modely byly podrobeny parametrické studii, zahrnující několik charakteristických souborů podmínek a poté porovnány. Porovnání výsledků dotvarování je důležité hlavně mezi modelem CEB-FIP Model Code 1990 a modelem B3. Model MC90(99) je velice blízký formulaci modelu MC90.

Obecně lze říci, že shoda mezi jednotlivými modely je dostatečně dobrá, pokud jsou vstupní parametry v rozsahu běžných laboratorních hodnot. Na druhou stranu zase platí, že největší rozdíly mezi modely se vyskytují v oblastech chybějících experimentálních měření a jakákoli predikce má proto nutně charakter extrapolace. Jedná se především o betony vysokých pevností, vysychání mohutných prvků a velmi dlouhé doby zatěžování.

Vliv vysoké pevnosti betonu je zachycen na obr. 1. Křivky vykazují dobrou shodu pro betony běžných pevností, ale rozdíly se výrazně zvyšují u betonů vysokých pevností. Při dlouhých dobách zatěžování je rozdíl velmi výrazný, pokud je bráno v úvahu vysychání masivních prvků. Dlouhodobý rozdíl je o něco menší u menších konstrukčních prvků a při vyšší vlhkosti okolního prostředí.

Model B3 obecně souhlasí s ostatními modely až do doby trvání zatížení 100 až 1 000 d. Při delších dobách zatěžování se rozdíl neustále zvětšuje, protože v modelu B3 pokračuje dotvarování do nekonečna, kdežto u ostatních modelů se křivky dotvarování asymptoticky blíží konečné hodnotě. Z křivek dotvarování, lišících se okamžikem vnesení zatížení, se dá také vyzorovat, že stáří betonu při vnesení zatížení má u modelu B3 větší vliv na dotvarování.

Tab. 1 Variační součinitel [%]

Tab. 1 Coefficient of variation [%]

Poddajnost modelu	Dotvarování	Smršťování
CEB-FIP MC90	20	35
Model B3	23	34

Literatura:

- [1] RILEM, TC107. (1995). Guidelines for characterizing concrete creep and shrinkage in structural design codes or recommendations. *Materials and Structures*, V28(1), str. 52–55
- [2] Muller H. S., Hilsdorf H. K.: (1990). Bulletin d'information no. 199 – Evaluation of the time dependent behavior of concrete: summary report on the work of General Task Group 9. Lausanne: Comité Euro-International du Béton (CEB)
- [3] CEB (1993). CEB-FIP model code 1990: design code. London: Telford.
- [4] fib (1999). Structural concrete: textbook on behaviour, design and performance: updated knowledge of the CEB/FIP model code 1990. Vol. 2, Basis of design. Lausanne: International Federation for Structural Concrete (fib)
- [5] [prEN 1992-1-1] – Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings, (1999)
- [6] Bažant Z. P., Baweja S.: (1995a). Creep and Shrinkage prediction model for analysis and design of concrete structures – Model B3. *Materials and Structures*, V28(7), str. 357–365
- [7] Bažant Z. P., Baweja S.: (1995b). Justification and refinements of model B3 for concrete creep and shrinkage 1. statistics and sensitivity. *Materials and Structures*, V28(7), str. 415–430
- [8] Bažant Z. P., Baweja S.: (1995c). Justification and refinements of model B3 for concrete creep and shrinkage 2. Updating and theoretical basis. *Materials and Structures*, V28(8), str. 488–495
- [9] Bažant Z. P., Panula L.: (1978). Practical prediction of time-dependent deformations of concrete – Parts I–IV. *Materials and Structures* 11, str. 307–316, str. 317–328, str. 415–424, str. 424–434
- [10] Bažant Z. P., Panula L.: (1979). Practical prediction of time-dependent deformations of concrete – Parts V–VI. *Materials and Structures* 12, str. 169–174, str. 176–183
- [11] Bažant Z. P., Kim J.-K., Panula L., Xi Y.: (1991). Improved prediction model for time-dependent deformations of concrete: Part I–II. *Materials and Structures*, 24, str. 327–345; str. 409–442
- [12] Bažant Z. P., Kim J.-K., Panula L., Xi Y.: (1992). Improved prediction model for time-dependent deformations of concrete: Part III–VI. *Materials and Structures*, 25, str. 21–28, str. 84–94, str. 163–169, str. 219–223

Příklady predikce smršťovacích křivek jsou znázorněny v obr. 2.

Je vidět velmi dobrá shoda vývoje smršťování u betonů běžných pevností, zatímco u betonů vysokopevnostních se objeví výrazná odchylka u modelu MC90(99), který bere v úvahu autogenní smršťování, zatímco ostatní modely uvažují smršťování jako děj způsobený primárně ztrátou vlhkosti betonu. Tento rozdíl se zvětšuje, pokud se snižuje význam smršťování způsobeného vysycháním a klesá i jeho rychlost (tj. u masivních prvků ve vlhkém prostředí).

Smršťování podle modelu MC90(99) je zobrazeno v obr. 3. Složky autogenního smršťování a smršťování způsobeného vysycháním jsou zobrazeny odděleně pro beton běžné pevnosti a vysokopevnostní beton. Je zajímavé, že celkové smrštění po sedmdesáti letech je přibližně stejné jak pro beton běžné pevnosti, tak pro vysokopevnostní.

Pro výpočet složky smršťování způsobeného vysycháním používá model MC90(99) velmi podobný přístup jako starší MC90. Pro autogenní smršťování byl u tohoto modelu vyvinut nový postup.

Tato práce vznikla za finanční podpory Grantové agentury České republiky, projekt č.: 103/06/1474.

Text článku byl posouzen odborným lektorem.

Ing. Omar Rodrigo Bacarreja

Jan Zatloukal
e-mail: jan.zatloukal@fsv.cvut.cz

Prof. Ing. Petr Konvalinka, CSc.
e-mail: petr.konvalinka@fsv.cvut.cz

všichni: ČVUT Fakulta stavební
Katedra mechaniky
Tháškova 7, 166 29 Praha 6



Statika štíhlých ŽB sloupů s návrhem na požární odolnost

Statické výpočty a hospodárné navrhování železobetonových sloupů podle evropských norem EN 1992-1-1 vede na materiálově a geometricky nelineární výpočet s teorií II. řádu. Referenční software **RIB BEST** splňuje nejen tyto náročné požadavky, ale nově rozšiřuje svoje aplikační spektrum o navrhování sloupů pro mimořádné návrhové situace, seizmicitu nebo požár.

Požární odolnost běžných sloupů lze standardně ověřit např. tabelární metodou. Pro neztužené a štíhlé sloupy nabízí **BEST** funkční rozšíření o návrh zónovou metodou ve smyslu normy EN 1992-1-2.

Více podrobností se dozvíte na: www.rib.cz

RIB stavební software s.r.o.

Zelený pruh 1560/99
CZ-140 00 Praha 4
telefon: +420 241 442 078
telefax: +420 241 442 085
e-mail: info@rib.cz



RIB

plan it, build it, run it