

Deformacije tečenja i skupljanja betona prema Evrokodu 2

IVAN M. MILIĆEVIĆ, Univerzitet u Beogradu,
Građevinski fakultet, Beograd
NENAD P. PEČIĆ, Univerzitet u Beogradu,
Građevinski fakultet, Beograd

Stručni rad
UDC: 624.012.4
DOI: 10.5937/tehnika1705655M

U tekstu je prikazan postupak izračunavanja vrednosti koeficijenta tečenja i dilatacije skupljanja prema Evrokodu 2 (SRPS EN 1992-1-1:2004). Izračunate vrednosti, za uobičajene proračunske uslove, su date u priloženim tabelama. Analiziran je uticaj pojedinih parametara na konačne vrednosti i urađeno poređenje vrednosti određenih prema Evrokodu 2 i PBAB 87.

Ključne reči: beton, tečenje, skupljanje, Evrokod 2, BAB 87

1. UVOD

Analizom i proračunom građevinskih konstrukcija inženjeri bi trebalo da predvide njihovo ponašanje sa aspekta nosivosti i funkcionalnosti u toku projektovanog eksploatacionog veka. Uvažavajući činjenicu da ponašanje armiranobetonskih konstrukcija pri dugotrajnim dejstvima značajno zavisi od vremenskih deformacija betona – tečenja i skupljanja, poznavanje mehaničkih karakteristika betona koje uključuju i ove fenomene od suštinske je važnosti pri razmatranju graničnih stanja upotrebljivosti, problema stabilnosti i prethodnog naprezanja. Stoga, modeli koji opisuju reološka svojstva betona treba da daju relativno pouzdana predviđanja kako konačnih vrednosti deformacija tečenja i skupljanja tako i njihovog razvoja u vremenu na osnovu parametara koji najviše utiču na ove složene fenomene.

Kako bi imali praktičnu primenu, pri formiranju odgovarajućih izraza uglavnom su uzeti u obzir samo oni parametri koji su prilikom proračuna poznati projektantu ili koji se, sa dovoljnom tačnošću, mogu usvojiti: dimenzije preseka, relativna vlažnost vazduha, čvrstoća betona pri pritisku, klasa cementa, trajanje nege i dejstva opterećenja kao i starost betona pri opterećenju. Pri tome, važno je napomenuti da vrednosti vremenskih deformacija ne zavise eksplicitno od čvrstoće betona pri pritisku niti starosti betona pri opterećenju

već od sastava betona (količine cementa, vodocementnog faktora, krutosti agregata, itd.) i stepena hidratacije u trenutku opterećenja. Ipak, zavisnost vremenskih deformacija betona od pomenutih parametara su predmet najvećih diskusija u oblasti ponašanja betona u poslednjih nekoliko decenija, koje su rezultovale raznim modelima koji u različitoj meri uzimaju u obzir uticaj svakog od njih.

U dosadašnjoj inženjerskoj praksi, na prostorima na kojima se primenjivao Pravilnik BAB 87 [1], korišćene su tabulisane vrednosti koeficijenta tečenja i dilatacija skupljanja prikazane u tekstu Pravilnika. Vrednosti su izvedene na osnovu aditivnog zakona tečenja i odredbi o skupljanju datim u MC 78 (CEB Model Code 78) [2] uz uvažavanje eksperimentalnih ispitivanja sprovedenih u našoj zemlji [3]. Definicije koeficijenta tečenja i dilatacije skupljanja u Evrokodu 2 [4] zasnivaju se na odredbama MC 90-99 (CEB-FIP Model Code 1990-99) [5] u kome je zakon tečenja multiplikativan a ukupna dilatacija skupljanja predstavljena kao zbir dve komponente – sopstvene dilatacije skupljanja i dilatacije skupljanja usled sušenja betona. MC 2010 (FIB Model Code 2010) [6], koji je osnova nove serije Evrokodova, razdvaja i koeficijent tečenja na dve komponente koje opisuju dva različita fizička mehanizma tečenja.

U okviru ovog rada prikazan je model dat u klauzulama Evrokoda 2 [4] i komentaran je uticaj pojedinih parametara na konačne vrednosti koeficijenta tečenja i dilatacije skupljanja u ovom modelu. Na osnovu rezultata parametarske analize, formirane su tabele za određivanje konačnih vrednosti koeficijenta tečenja i dilatacije skupljanja koje omogućavaju jednostavnu primenu u svakodnevnoj inženjerskoj praksi.

Adresa autora: Ivan Milićević, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73

e-mail: ivani@imk.grf.bg.ac.rs

Rad primljen: 18.08.2017.

Rad prihvaćen: 06.09.2017.

Takođe, izvršeno je i poređenje vrednosti koeficijenta tečenja i dilatacija skupljanja koje daju Evrokod 2 [4] i BAB 87 [1].

2. DEFORMACIJE PREMA EVROKODU 2

Evrokod 2 [4] daje predviđanja srednjih vrednosti koeficijenta tečenja (sa koeficijentom varijacije od 20%) i dilatacija skupljanja (sa koeficijentom varijacije od 30%), za betone sa normalnim i visokim čvrstoćama.

2.1. Tečenje betona

Prema Evrokodu 2 [4], dilatacije betona usled tečenja mogu se odrediti pomoću koeficijenta tečenja $\varphi(t, t_0)$ koji se koristi sa tangentnim modulom elastičnosti betona $E_c = 1,05E_{cm}$, gde je E_{cm} srednja vrednost modula pri starosti betona od 28 dana. Koeficijent tečenja $\varphi(t, t_0)$ dat je u obliku:

$$\varphi(t, t_0) = \beta_c(t, t_0) \times \beta(f_{cm}) \times \beta(t_0) \times \varphi_{RH} \quad (1)$$

gde (je)

t_0 - starost betona u trenutku opterećenja,

t - starost betona u razmatranom trenutku,

$\beta_c(t, t_0)$ - kojim se opisuje razvoj tečenja tokom vremena,

$\beta(f_{cm})$ - kojim se uzima u obzir uticaj čvrstoće betona,

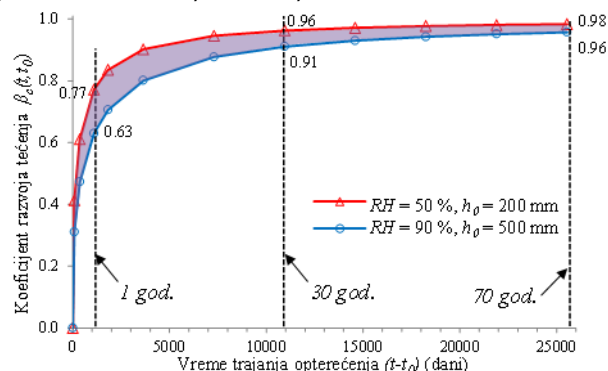
$\beta(t_0)$ - kojim se uzima u obzir uticaj starosti betona u trenutku opterećenja t_0 i vrste cementa (klase S , N i R prema [4]),

φ_{RH} - kojim se uzima u obzir uticaj relativne vlažnosti sredine $RH(\%)$, a zavisi i od nominalne dimenzije elementa h_0 i srednje čvrstoće betona pri pritisku na cilindar $f_{cm} (= f_{ck}^1 + 8 \text{ MPa})$ pri starosti od 28 dana,

h_0 - nominalna dimenzija elementa, $h_0 = 2A_c/u$, gde je A_c površina preseka a u obim izložen dejstvu sredine.

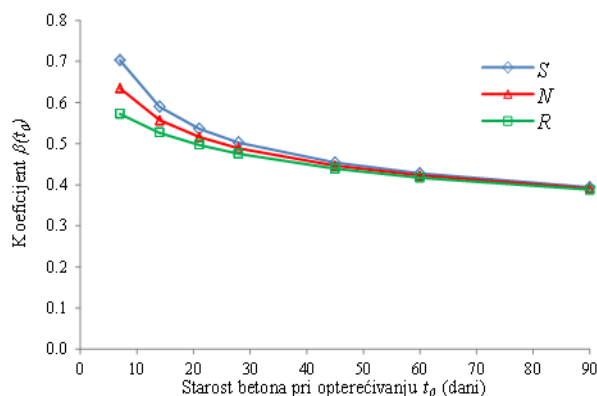
Koeficijent $\beta_c(t, t_0)$ suštinski zavisi od trajanja opterećenja ($t-t_0$) i, u manjoj meri, od relativne vlažnosti RH , nominalne dimenzije h_0 i čvrstoće f_{cm} . - Variranje vrednosti, za neki vremenski interval ($t-t_0$) nije veliko, i u najvećem je opredeljeno kombinacijom vrednosti RH i h_0 . Na slici 1 prikazana je anvelopa vrednosti koeficijenta $\beta_c(t, t_0)$, za opseg $RH = 50 \div 90 \%$, $h_0 = 200 \div 500 \text{ mm}$, $f_{cm} = 25 \div 50 \text{ MPa}$. "Konačna" vrednost

(vrednost koja daje konačnu veličinu koeficijenta tečenja, $t \rightarrow \infty$) je uvek 1,0, nezavisno od RH , h_0 i f_{cm} . Konačna vrednost koeficijenta tečenja $\varphi(\infty, t_0)$ je, prema Evrokodu 2 [4], definisana za trajanje opterećenja od 70 godina. Na slici 1 se vidi da $\beta_c(t, t_0)$ tada ima vrednosti bliske jedinici. Prikazane vrednosti koeficijenta tečenja u nastavku određene su sa usvojenom vrednošću $\beta_c(t, t_0) = \beta_c(\infty, t_0) = 1,0$.



Slika 1 – Razvoj koeficijenta tečenja u vremenu

Koeficijentom $\beta(f_{cm})$ opisuje se uticaj čvrstoće betona na vrednost koeficijenta tečenja. Njegova vrednost iznosi $16,8/\sqrt{f_{cm}}$, i kreće se u opsegu od 3,2 za klasu C20/25 do 2,2 za klasu C50/60. Čvrstoća betona se pojavljuje posredno i u drugim faktorima koji učestvuju u izrazu (1). Ukupni uticaj čvrstoće betona sumiran je u korekcionom koeficijentu za određivanje konačne vrednosti koeficijenta tečenja prikazanom u tabeli 6 u prilogu 2. Uticaj čvrstoće betona na vrednost koeficijenta tečenja $\varphi(\infty, t_0)$ ilustrovan je na slici 4a.



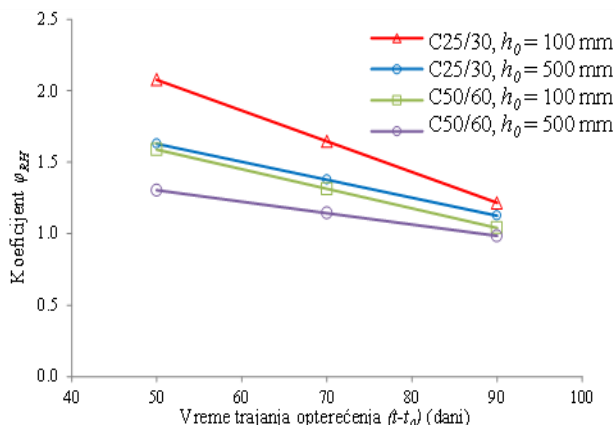
Slika 2 – Zavisnost koeficijenta $\beta(t_0)$ od starosti t_0 i klase cementa

Koeficijentom $\beta(t_0)$ opisuje se uticaj starosti betona t_0 pri opterećivanju. Stvarna starost se modifikuje u skladu sa primenjenom vrstom cementa (S , N i R) kako bi se uvažile razlike u brzini očvršćavanja betona. Vrednosti koeficijenta $\beta(t_0)$ prikazane su na slici 2. Uticaj vrste cementa nije veliki i iskazuje se u iole većem obimu pri opterećivanju mladih betona (za cimente klase S i R , u odnosu na klasu N , razlika iznosi

¹Oznaka klase čvrstoće $C f_{ck,cyl}/f_{ck,cube}$ sadrži dva broja razdvojena kosom crtom. Prvi broj $f_{ck,cyl} = f_{ck}$ označava čvrstoću određenu na standardnom ispitnom cilindru i koristi se u svim obrascima. Drugi broj $f_{ck,cube}$ odgovara čvrstoći određenoj na kocki stranice 150 mm i informativnog je karaktera. Drugi broj približno odgovara MB prema PBAB 87 [1].

$\pm 10\%$ za $t_0 = 7$ dana, odnosno $\pm 7\%$ za $t_0 = 14$ dana, a nakon toga razlike su zanemarljive). Odgovarajuće vrednosti koeficijenta tečenja prikazane su na slici 4d.

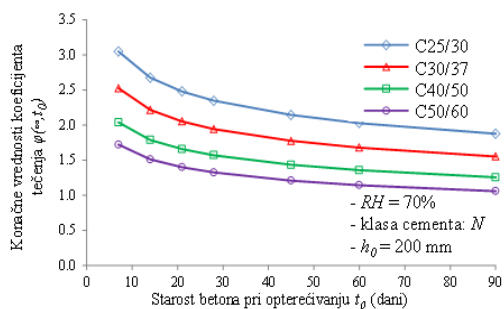
Koeficijentom φ_{RH} opisuje se uticaj relativne vlažnosti RH na koeficijent tečenja. Njegova vrednost linearno opada sa povećanjem relativne vlažnosti sredine, a zavisi još i od nominalne dimenzije elementa h_0 i od čvrstoće f_{cm} . Vrednosti koeficijenta φ_{RH} se generalno kreću u intervalu od 1,0 do 2,1, za uobičajene uslove sredine i kvalitet betona, slika 3.



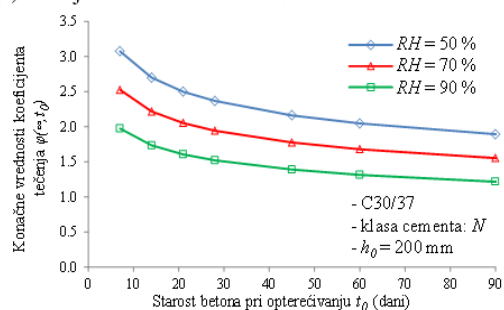
Slika 3 – Zavisnost koeficijenta φ_{RH} od parametara RH , h_0 i f_{cm}

Uticaj relativne vlažnosti RH i nominalne dimenzije h_0 ilustrovan je na slikama 4c i 4b.

a) uticaj čvrstoće betona



c) uticaj relativne vlažnosti

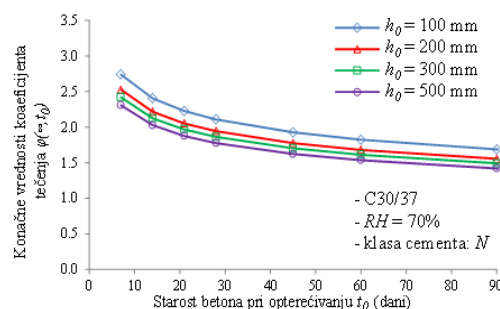


Na slikama 4a-d razmatran je uticaj pojedinih parametara na konačnu vrednost koeficijenta tečenja $\varphi(\infty, t_0)$. Može se uočiti da najveći uticaj ima starost betona pri opterećivanju t_0 . Od znatnog uticaja su i relativna vlažnost RH (slika 4c) i čvrstoća betona (slika 4a). Za razliku od Evrokoda 2 [4], Pravilnik BAB 87 [1] pri određivanju koeficijenta tečenja razmatra samo t_0 i RH .

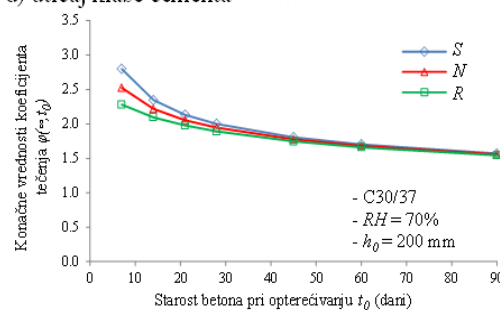
Parametarske analize uticaja pojedinih faktora na konačnu vrednost koeficijenta tečenja $\varphi(\infty, t_0)$, prema izrazu (1), su pokazale da je prikladno da se vrednosti tabulišu za jednu klasu čvrstoće betona, a da se za druge klase ustanove odgovarajući korekcionni koeficijenti (multiplikatori).

Ovaj pristup upotrebljen je pri izračunavanju vrednosti koeficijenta tečenja prikazanih u Prilogu 2. Izabrana referentna klasa čvrstoće u Prilogu 2 je C30/37 (tabela 5 u prilogu 2). Usvojeno je da je $\beta_c(t, t_0) = \beta_c(\infty, t_0) = 1,0$. Multiplikatori za klase čvrstoće od C20/25 do C50/60 dati su u tabeli 6 Priloga 2. Iz tabele 5 uzima se osnovna vrednost koeficijenta tečenja $\varphi(\infty, t_0)$, što je ujedno konačna vrednost u slučaju klase C30/37. Vrednost koeficijenta tečenja za neku drugu klasu dobija se množenjem pročitane vrednosti odgovarajućim koeficijentom iz tabele 6. Odstupanje u odnosu na „tačnu“ vrednost nije veće od nekoliko procenata.

b) uticaj nominalne dimenzije



d) uticaj klase cementa



Slika 4 – Uticaj pojedinih parametara na konačni koeficijent tečenja $\varphi(\infty, t_0)$

Prema Evrokodu 2 [4], vrednosti koeficijenta $\varphi(t, t_0)$ određene izrazom (1) važe za temperature u opsegu od

-40°C do $+40^\circ\text{C}$. Uticaj povišenih ili sniženih temperatura na ubrzani odnosno usporeni proces očvršća-

vanya betona obuhvata se modifikacijom starosti betona t_0 odgovarajućim korekcionim faktorima. Postupak modifikacije starosti betona objašnjen je u Aneksu B Evrokoda 2 ([4], relacija B.10).

Koeficijent $\varphi(t, t_0)$ dat izrazom (1) uspostavlja vezu između dilatacije tečenja i napona pritiska u betonu koja je linearna ukoliko su naponi manji od $0,45f_{ck}(t_0)$, gde je $f_{ck}(t_0)$ karakteristična čvrstoća betona u trenutku opterećenja t_0 .

Pri većim naponima, Evrokod 2 [4] nalaže da se nelinearno tečenje betona uzme u obzir, uvećanjem koeficijenta tečenja $\varphi(t, t_0)$ prema izrazu (1) faktorom koji je eksponencijalna funkcija napona u betonu.

2.2 Skupljanje betona

Ukupna dilatacija skupljanja betona ε_{cs} , prema Evrokodu 2 [4], jednaka je (slika 5):

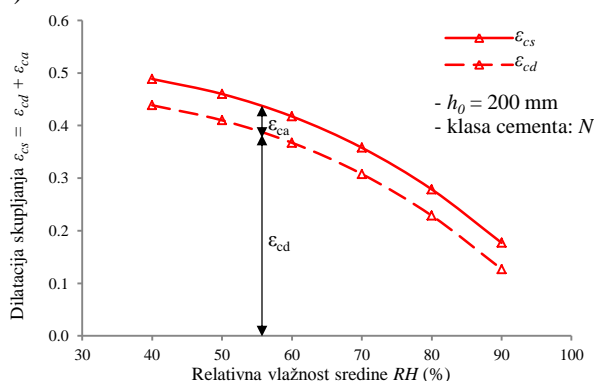
$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{ca} + \varepsilon_{cd} \quad (2)$$

gde je

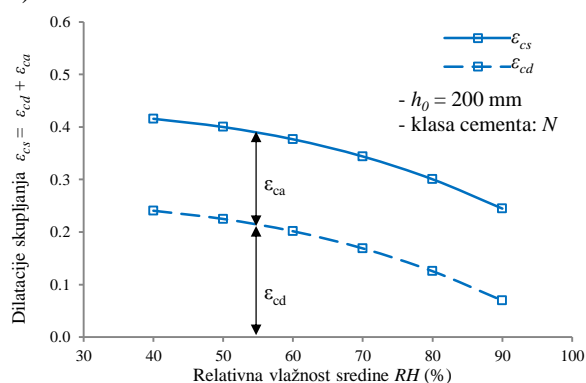
- ε_{ca} sopstvena dilatacija skupljanja,
- ε_{cd} dilatacija skupljanja usled sušenja.

Ovakva dekompozicija ukupne dilatacije skupljanja je izvršena sa ciljem da se obuhvati ponašanje pri skupljanju betona normalnih i visokih čvrstoća jedinstvenim modelom.

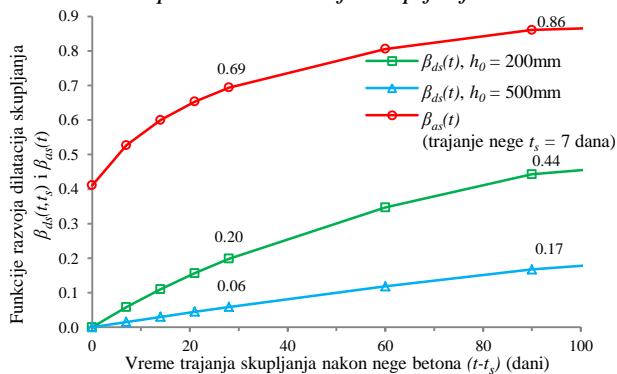
a) klasa betona C30/37



b) klasa betona C80/95



Slika 5 – Komponente dilatacije skupljanja



Slika 6 - Razvoj dilatacije skupljanja u vremenu

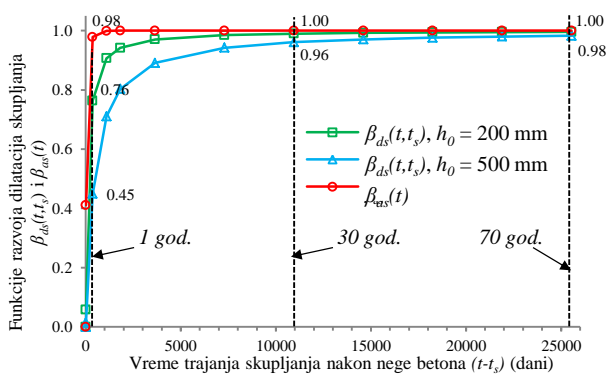
Udeo sopstvene dilatacije skupljanja ε_{ca} u ukupnoj dilataciji skupljanja kod betona uobičajenih čvrstoća je relativno mali dok je kod betona visokih čvrstoća znatno veći, slika 5. S druge strane, ukupna konačna dilatacija skupljanja umereno zavisi od klase čvrstoće.

Sopstvena (autogena) dilatacija skupljanja izražena je kao:

$$\varepsilon_{ca} = \beta_{as}(t) \cdot \varepsilon_{ca}(\infty) \quad (3)$$

gde je

$\varepsilon_{ca}(\infty)$ konačna vrednost sopstvene dilatacije skupljanja koja je linearna funkcija čvrstoće betona f_{ck} ,



$\beta_{as}(t)$ funkcija razvoja autogene dilatacije skupljanja u vremenu t .

Dilatacija skupljanja usled sušenja data je izrazom:

$$\varepsilon_{cd} = \beta_{ds}(t, t_s) \cdot k_h \cdot \varepsilon_{cd,0} \quad (4)$$

gde je

$\varepsilon_{cd,0}$ osnovna vrednost dilatacije skupljanja usled sušenja kojom se uzima u obzir uticaj relativne vlažnosti, čvrstoće betona f_{cm} i vrste cementa,

k_h koeficijent koji zavisi od nominalne dimenzije h_0 ,

$\beta_{ds}(t, t_s)$ funkcija razvoja dilatacije skupljanja usled sušenja betona koji zavisi od vremena trajanja nege t_s i dimenzije h_0 .

Sa slike 5 se vidi da se dilatacija skupljanja usled sušenja ε_{cd} , a samim tim i ukupna dilatacija skupljanja ε_{cs} , smanjuje porastom čvrstoće betona i relativne vlažnosti sredine.

Sopstvena dilatacija skupljanja odigrava se u toku očvršćavanja betona i predstavlja posledicu hidratacionog procesa usled kog dolazi do samoisušivanja unutar materijala bez uticaja spoljašnje sredine. Njen najveći deo obavlja se u prvih nekoliko dana nakon betoniranja (funkcija $\beta_{as}(t)$ na slici 6).

Dilatacija skupljanja usled sušenja je posledica razmene vlažnosti sa spoljašnjom sredinom usled čega dolazi do gubitka vode. Ona se odvija znatno sporije, kao što se može videti na dijagramu $\beta_{ds}(t, t_s)$ prikazanom na slici 6.

Razlike u brzini razvijanja komponenti dilatacije skupljanja ε_{ca} i ε_{cd} u periodu nakon betoniranja (slika 6a), kao i u njihovom učešću u ukupnoj dilataciji skupljanja (slika 5), su od interesa kod određivanja naprežanja koje nastaje kao posledica sprežanja betona različitih starosti pri faznoj ili segmentnoj gradnji.

Pri proračunu ugiba ili širine prslina od značaja je najčešće konačna vrednost ukupne dilatacije skupljanja $\varepsilon_{cs}(\infty)$. Na slici 6b vidi se asimptotski karakter ovih funkcija već nakon nekoliko godina. Za dalje analize prikazane u tekstu usvojene su vrednosti $\beta_{as}(\infty) = \beta_{ds}(\infty, t_s) = 1,0$.

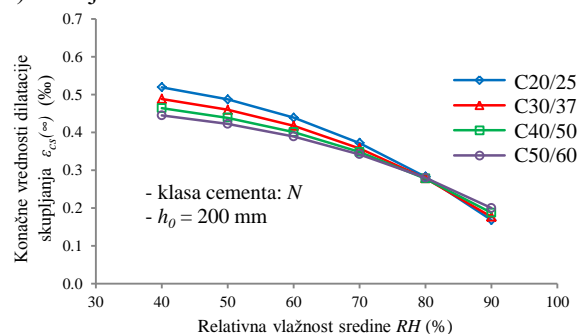
Na slikama 7a-c razmatran je uticaj parametara RH , f_{ck} , h_0 i klase cementa na konačnu vrednost dilatacije skupljanja $\varepsilon_{cs}(\infty)$. Može se uočiti da najveći uticaj imaju relativna vlažnost sredine RH i klasa cementa. Od znatnog uticaja je i nominalna dimenzija h_0 , dok je uticaj klase čvrstoće simboličan. Pravilnik BAB 87 [1] pri određivanju ukupne dilatacije skupljanja ne razmatra čvrstoću betona ali ni klasu cementa.

Parametarske analize uticaja pojedinih faktora na konačnu vrednost ukupne dilatacije skupljanja $\varepsilon_{cs}(\infty)$ prema izrazu (2), pokazale su da je, kao i kod koeficijenta tečenja, prikladno da se vrednosti tabulišu za jednu klasu čvrstoće betona, a da se za druge klase, sa odstupanjem od nekoliko procenata, usvoje odgovarajući korekcionni multiplikatori.

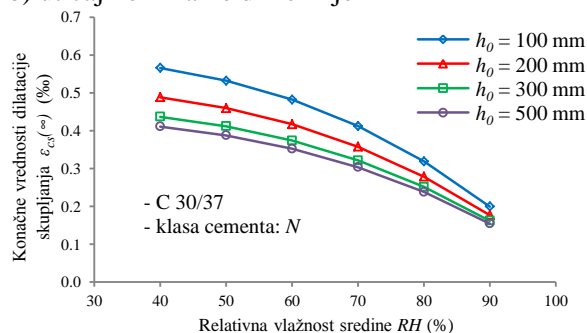
Ovaj pristup upotrebljen je pri izračunavanju vrednosti dilatacija skupljanja prikazanih u prilogu 1. Usvojeno je da je $\beta_{as}(\infty) = \beta_{ds}(\infty, t_s) = 1,0$. Izabrana referentna klasa čvrstoće u Prilogu 1 je C30/37 (tabela 3 u prilogu 1). Multiplikatori za klase čvrstoće od C20/25 do C50/60 dati su u tabeli 4 priloga 1. Iz tabele 3 uzima

se osnovna vrednost dilatacije skupljanja $\varepsilon_{cs}(\infty)$, što je ujedno konačna vrednost u slučaju klase C30/37. Vrednost skupljanja za neku drugu klasu dobija se množenjem pročitane vrednosti odgovarajućim koeficijentom iz tabele 4.

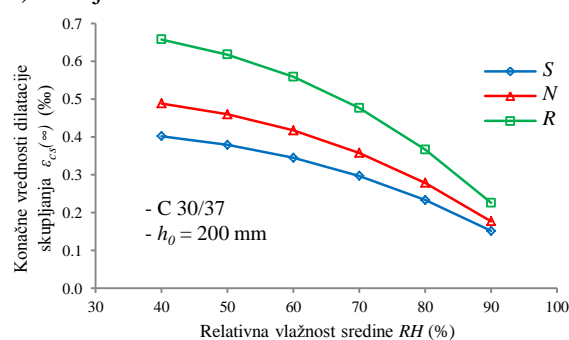
a) uticaj čvrstoće betona



b) uticaj nominalne dimenzije



c) uticaj klase cementa



Slika 7 – Uticaj pojedinih parametara na ukupnu dilataciju skupljanja $\varepsilon_{cs}(\infty)$

3. POREĐENJE EVROKOD 2 – BAB 87

Koeficijenti tečenja i dilatacije skupljanja betona dati u Pravilniku BAB 87 [1] dobijeni su korišćenjem pristupa iz MC 78 [2] i rezultata sprovedenih sopstvenih eksperimentalnih istraživanja, posebno u oblasti skupljanja betona [3].

Umesto izraza, u Pravilniku [1] su prikazane samo konačne vrednosti koeficijentata tečenja i dilatacija skupljanja u tabelarnom obliku. Razvoj tečenja i skupljanja tokom vremena dat je tabulisanim koeficijentima u čl. 58 i 60 [1]. Ove vrednosti izvedene

za betone marke MB30, [7], koji su spravljeni sa portland cementom bez aditiva [1].

Mehaničke karakteristike ovih betona odgovaraju karakteristikama betona klase čvrstoće C25/30 sa cementom klase N iz Evrokoda 2 [4], što je iskorišćeno za poređenje koeficijenta tečenja i dilatacija skupljanja iz ova dva propisa prikazano u nastavku.

3.1. Tečenje betona

Koeficijent tečenja prema PBAB 87 [1] zavisi od starosti betona pri opterećivanju, relativne vlažnosti i dimenzije elementa, dok Evrokod 2 [4] uvodi još i uticaj čvrstoće betona i klase cementa.

Za razliku od koeficijenta tečenja prema Evrokodu 2 [4], koji je funkcija (tangentsnog) modula elastičnosti E_c pri starosti od 28 dana, koeficijent tečenja u BAB 87 [1] definisan je pomoću modula elastičnosti $E_b(t_0)$

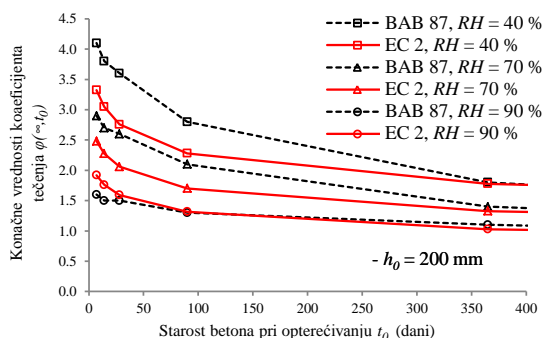
koji odgovara starosti betona u trenutku opterećivanja t_0 .

Za potrebe adekvatnog poređenja, vrednosti koeficijenta tečenja određene prema Evrokodu 2 [4] korigovane su tako da odgovaraju pristupu koji se primenjuje u BAB 87 [1] i prikazane su u tabeli 1 zajedno sa odgovarajućim vrednostima iz [1].

Radi ilustracije, na slici 8 izdvojene su vrednosti za tri relativne vlažnosti – $RH = 40, 70$ i 90% i $h_0 = 200$ mm. Vidi se da su vrednosti relativno slične. Razlike su nešto veće pri manjoj vlažnosti i ranijem opterećivanju, dok za starije betone praktično nema razlike. Znatnije razlike se mogu uočiti u tabeli 1 u slučaju relativno tankih elemenata ($h_0 = 100$ mm) ili pri veoma kasnom opterećivanju (3 godine), što su sa aspekta praktičnih proračuna ređe situacije.

Tabela 1. Poređenje koeficijenta tečenja prema BAB 87 i EC 2

Starost betona u trenutku opterećenja t_0 (dani/godine)	Nominalna veličina elementa h_0 (mm)	Konačne vrednosti koeficijenta tečenja $\varphi(\infty, t_0)$							
		Relativna vlažnost sredine - RH (%)							
		40		70		90		100	
		BAB 87	EC 2	BAB 87	EC 2	BAB 87	EC 2	BAB 87	EC 2
7	100	4.30	3.76	3.10	2.70	1.70	1.99		
	200	4.10	3.32	2.90	2.48	1.60	1.92	1.40	1.64
	400	3.80	2.98	2.70	2.31	1.60	1.86		
14	100	4.00	3.45	2.90	2.48	1.60	1.83		
	200	3.80	3.05	2.70	2.28	1.50	1.76	1.30	1.50
	400	3.60	2.73	2.50	2.12	1.50	1.71		
28	100	3.70	3.12	2.60	2.24	1.60	1.65		
	200	3.60	2.76	2.60	2.06	1.50	1.59	1.20	1.36
	400	3.40	2.47	2.50	1.91	1.40	1.55		
90	100	2.70	2.58	2.00	1.85	1.30	1.37		
	200	2.80	2.28	2.10	1.70	1.30	1.32	1.00	1.12
	400	2.90	2.04	2.10	1.58	1.30	1.28		
365	100	1.70	2.01	1.30	1.44	1.00	1.07		
	200	1.80	1.78	1.40	1.33	1.10	1.03	1.00	0.88
	400	2.00	1.59	1.50	1.23	1.10	1.00		
3 godine	100	0.90	1.64	0.80	1.18	0.70	0.87		
	200	1.10	1.45	0.90	1.08	0.80	0.84	0.80	0.71
	400	1.20	1.30	1.00	1.00	0.80	0.81		



Slika 8 – Poređenje koeficijenata tečenja prema BAB 87 i EC 2 (C 25/30)

Razlike se uvećavaju ukoliko se u razmatranje uvede klasa čvrstoće betona, u skladu sa pristupom Evrokoda 2 [4]. Kao ilustracija, na slici 9 prikazane su vrednosti koeficijenta tečenja za klase C20/25, C25/30 (\approx MB30) i C35/45. Kao generalni zaključak, na osnovu prikazanih vrednosti u tabeli 1 i na slikama 8 i 9, može se reći da BAB 87 [1] daje nešto veće vrednosti konačnog koeficijenta tečenja u odnosu na Evrokod 2 [4] za uobičajene proračunske uslove.

3.2. Skupljanje betona

Dilatacija skupljanja prema PBAB 87 [1] zavisi od

Tabela 2. Poređenje skupljanja prema BAB 87 i EC 2 (klasa cementa N)

Nominalna veličina elementa h_0 (mm)	Konačne vrednosti dilatacije skupljanja (‰)							
	Relativna vlažnost sredine - RH (%)							
	40		70		90		100	
	BAB 87	EC 2	BAB 87	EC 2	BAB 87	EC 2	BAB 87	EC 2
100	0.56	0.59	0.40	0.42	0.15	0.20		
200	0.48	0.50	0.34	0.36	0.12	0.17	0.00	0.04
400	0.42	0.43	0.30	0.32	0.10	0.15		

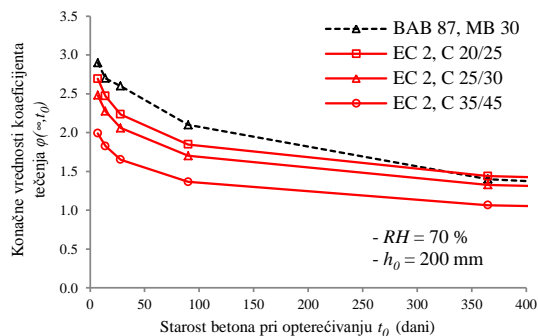
4. ZAKLJUČAK

Prikazani rezultati ukazuju da, u većini uobičajenih proračunskih uslova, nema velikih razlika u predviđanju vremenskih deformacija betona prema Evrokodu 2 (SRPS EN 1992-1-1:2004) i PBAB 87.

Veličine koeficijenata tečenja i dilatacija skupljanja betona su u Evrokodu 2 definisane većim brojem parametara u odnosu na PBAB 87.

Dodatni parametri su čvrstoća betona i klasa cementa. Veličine konačnih koeficijenata tečenja i dilatacija skupljanja prema Evrokodu 2 mogu se, za praktične proračune, tabulisati na sličan način kao i u PBAB 87.

Uticaj dodatnih parametara može se efikasno obuhvatiti pomoću korekcionih koeficijenata.



Slika 9 – Poređenje koeficijenata tečenja prema BAB 87 i EC 2 – uticaj čvrstoće betona

relativne vlažnosti i dimenzije elementa, dok Evrokod 2 [4] uvodi još i uticaj čvrstoće betona i klase cementa.

U tabeli 2 upoređene su konačne vrednosti skupljanja prema BAB 87 [1] i Evrokodu 2 [4], pri čemu je za [4] usvojeno C25/30 i klasa cementa N. Prikazane vrednosti u tabeli 2 se relativno malo razlikuju.

Uticaj čvrstoće betona (slika 7a) takođe nije veliki. Međutim, treba imati u vidu da u slučaju cementa klase S i R razlike mogu biti i osetnije u odnosu na one koje se sagledavaju iz tabele 2.

5. ZAHVALNICA

Autori zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije na finansijskoj podršci u okviru projekta TR-36048 „Istraživanje stanja i metoda unapređenja građevinskih konstrukcija sa aspekta upotrebljivosti, ekonomičnosti i održavanja”.

LITERATURA

- [1] Pravilnik o tehničkim normativima za beton i armirani beton, Sl. list SFRJ", br. 11/87, Beograd, 1987.
- [2] CEB-FIP Model Code for concrete structures, Comité Euro-International du Béton (CEB), 3rd ed., Lausanne, Switzerland, 1978.
- [3] Grupa autora, *Beton i armirani beton prema BAB87, Tom 1 (Priručnik) i Tom 2 (Prilozi)*, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1995.

- [4] SRPS EN 1992-1-1:2004 – „Evrokod 2: Projektovanje betonskih konstrukcija – Deo 1-1: Opšta pravila i pravila za zgrade“, Institut za standardizaciju Srbije, Beograd, 2015.
- [5] CEB Model Code 90-99. Structural concrete – textbook on behaviour, design and performance, updated knowledge of CEB-FIP Model Code 90, *In CEB-FIP bulletin 2*, Vol.2, Fédération internationale du béton, Lausanne, Switzerland, 1999.
- [6] FIB Model Code for concrete structures 2010, Fédération internationale du béton, Lausanne, Switzerland, 2013.
- [7] Muravljov M, Perišić Ž. „Svojstva materijala“, *Jugoslovensko savetovanje: Evrokodovi i jugoslovensko građevinsko konstrukterstvo*, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1995.

PRILOG 1 – Konačne vrednosti ukupne dilatacije skupljanja prema SRPS EN 1992-1-1:2004

Tabela 3. Konačne vrednosti dilatacije skupljanja $\epsilon_{cs}(\infty)$ (‰) za beton klase C30/37

h_0 (mm)	Konačne vrednosti dilatacije skupljanja $\epsilon_{cs}(\infty)$ (‰) za beton klase C30/37											
	RH (%) = 50			70			80			90		
	Klasa cementa											
	S	N	R	S	N	R	S	N	R	S	N	R
100	0.44	0.53	0.72	0.34	0.41	0.55	0.27	0.32	0.42	0.17	0.20	0.26
200	0.38	0.46	0.62	0.30	0.36	0.48	0.23	0.28	0.37	0.15	0.18	0.23
300	0.34	0.41	0.55	0.27	0.32	0.43	0.21	0.25	0.33	0.14	0.16	0.21

Tabela 4. Količnik dilatacije $\epsilon_{cs}(\infty)$ za pojedine klase i dilatacije $\epsilon_{cs}(\infty)$ za C30/37

Klasa čvrstoće betona	Količnik dilatacije $\epsilon_{cs}(\infty)$ za pojedine klase i dilatacije $\epsilon_{cs}(\infty)$ za C30/37			
	RH (%) = 50	70	80	90
C20/25	1.06	1.04	1.02	0.95
C25/30	1.03	1.02	1.01	0.97
C35/45	0.98	0.98	1.00	1.03
C40/50	0.95	0.97	1.00	1.06
C45/55	0.93	0.96	1.00	1.09
C50/60	0.92	0.96	1.00	1.13

PRILOG 2 – Konačne vrednosti koeficijenta tečenja SRPS EN 1992-1-1:2004

Tabela 5. Vrednosti konačnog koeficijenta tečenja $\phi(\infty, t_0)$ za beton klase C30/37

t_0 (dani/ godine)	h_0 (mm)	Vrednosti konačnog koeficijenta tečenja $\phi(\infty, t_0)$ za beton klase C30/37											
		RH (%) = 50			70			80			90		
		Klasa cementa											
		S	N	R	S	N	R	S	N	R	S	N	R
7	100	3.80	3.43	3.10	3.03	2.74	2.47	2.65	2.39	2.16	2.27	2.05	1.85
	200	3.41	3.07	2.77	2.80	2.53	2.28	2.49	2.25	2.03	2.19	1.98	1.78
	300	3.21	2.90	2.62	2.68	2.42	2.18	2.42	2.18	1.97	2.15	1.94	1.75
14	100	3.19	3.01	2.85	2.54	2.40	2.27	2.22	2.10	1.98	1.90	1.80	1.70
	200	2.86	2.70	2.55	2.35	2.22	2.09	2.09	1.98	1.87	1.84	1.73	1.64
	300	2.69	2.55	2.41	2.25	2.13	2.01	2.03	1.91	1.81	1.80	1.70	1.61
21	100	2.90	2.79	2.69	2.31	2.23	2.14	2.02	1.95	1.87	1.73	1.66	1.60
	200	2.60	2.50	2.41	2.13	2.05	1.98	1.90	1.83	1.76	1.67	1.61	1.55
	300	2.45	2.36	2.27	2.04	1.97	1.89	1.84	1.77	1.71	1.64	1.58	1.52
28	100	2.72	2.64	2.57	2.17	2.11	2.05	1.89	1.84	1.79	1.62	1.58	1.53
	200	2.43	2.37	2.30	2.00	1.94	1.89	1.78	1.73	1.68	1.56	1.52	1.48
	300	2.30	2.23	2.17	1.92	1.86	1.81	1.73	1.68	1.63	1.54	1.49	1.45

t_0 (dani/ godine)	h_0 (mm)	Vrednosti konačnog koeficijenta tečenja $\varphi(\infty, t_0)$ za beton klase C30/37											
		RH (%) = 50			70			80			90		
		Klasa cementa											
		S	N	R	S	N	R	S	N	R	S	N	R
45	100	2.45	2.41	2.37	1.96	1.93	1.89	1.71	1.68	1.65	1.46	1.44	1.42
	200	2.20	2.16	2.13	1.81	1.78	1.75	1.61	1.58	1.56	1.41	1.39	1.37
	300	2.07	2.04	2.01	1.73	1.70	1.67	1.56	1.53	1.51	1.39	1.36	1.34
60	100	2.31	2.28	2.26	1.85	1.82	1.80	1.61	1.59	1.57	1.38	1.36	1.35
	200	2.07	2.05	2.02	1.70	1.68	1.66	1.52	1.50	1.48	1.33	1.31	1.30
	300	1.95	1.93	1.91	1.63	1.61	1.59	1.47	1.45	1.43	1.31	1.29	1.28
90	100	2.13	2.11	2.1	1.70	1.69	1.67	1.48	1.47	1.46	1.27	1.26	1.25
	200	1.91	1.89	1.88	1.57	1.55	1.54	1.40	1.39	1.38	1.23	1.22	1.21
	300	1.80	1.79	1.77	1.50	1.49	1.48	1.35	1.34	1.33	1.20	1.20	1.19
365	100	1.61	1.61	1.61	1.29	1.29	1.29	1.13	1.12	1.12	0.96	0.96	0.96
	200	1.45	1.44	1.44	1.19	1.19	1.18	1.06	1.06	1.06	0.93	0.93	0.93
	300	1.36	1.36	1.36	1.14	1.14	1.14	1.03	1.02	1.02	0.91	0.91	0.91
3 godine	100	1.30	1.30	1.30	1.04	1.04	1.04	0.91	0.91	0.91	0.78	0.78	0.78
	200	1.17	1.17	1.17	0.96	0.96	0.96	0.85	0.85	0.85	0.75	0.75	0.75
	300	1.10	1.10	1.10	0.92	0.92	0.92	0.83	0.83	0.83	0.74	0.74	0.74

Tabela 6. Količnik koeficijenta $\varphi(\infty, t_0)$ za pojedine klase i koeficijenta $\varphi(\infty, t_0)$ za C30/37

Klasa čvrstoće betona	Količnik koeficijenta $\varphi(\infty, t_0)$ za pojedine klase i koeficijenta $\varphi(\infty, t_0)$ za C30/37			
	RH (%) = 50	70	80	90
C20/25	1.22	1.21	1.20	1.19
C25/30	1.12	1.11	1.11	1.10
C35/45	0.88	0.89	0.90	0.91
C40/50	0.79	0.81	0.82	0.83
C45/55	0.72	0.74	0.75	0.77
C50/60	0.66	0.68	0.70	0.72

SUMMARY

CREEP AND SHRINKAGE OF CONCRETE ACCORDING TO EUROCODE 2

This paper presents the procedure for calculation of creep coefficient and shrinkage strain according to Eurocode 2 (SRPS EN 1992-1-1:2004). The calculated values of final creep coefficient and shrinkage strain, for the usual design conditions, are given in Annexes. The influence of key parameters on final creep coefficient and shrinkage strain is analyzed and the comparison between their final values calculated according to Eurocode 2 and BAB 87 is presented.

Key words: concrete, creep, shrinkage, Eurocode 2, BAB 87