



КОЕФИЦИЕНТ НА ПЪЛЗЕНЕ ПРИ СТОМАНОБЕТОННИ ЕЛЕМЕНТИ СЪГЛАСНО ЕВРОКОД 2

Борислав Даалов

bobdaal@abv.bg

*Висше строително училище “Любен Каравелов”,
Ул. Суходолска 175, 1373 София,
БЪЛГАРИЯ*

Ключови думи: коефициент на пълзене, стоманобетонни елементи

Резюме: Разгледана е процедурата за определяне на коефициента на пълзене като са представени подробно всички необходими формули. Показано е изчисляването на коефициента при нелинейна деформация на бетона, когато натисковото напрежение на възраст t_0 надвишава стойността $0,45 f_{ck}(t_0)$, както и коефициент на пълзене $\varphi(t, t_0)$ за определен срок t . Използвани са условията за влиянието на влажността и на възрастта t_0 , при която е натоварен бетонът. Взето е под внимание и вида на цимента върху коефициента на пълзене на бетона, а също и ефектът от повишените или понижените температури в интервала $0 - 80^\circ\text{C}$ върху втвърдяването на бетона. За улесняване е извършено изчисляване на коефициента с участие на основните параметри: клас на бетона, влажност на околната среда, време за натоварване на бетона t_0 , условен размер h_0 , зависещ от частта на сечението, подложена на атмосферните условия. Данните са поместени в таблица и е извършен анализ на резултатите. Един от най-важните изводи е, че при високи класове на бетона и голяма влажност по Еврокод 2 е възможно получаването на коефициенти на пълзене, които са значително по-малки от единица – стойности 0,63, 0,7, 0,8. Това е невъзможно да бъде постигнато на практика. По тази причина е наложително поставянето на долна граница за коефициента 1,0. Представен е пример за определяне на коефициент на пълзене при нелинейно пълзене на бетона.

Деформацията от пълзене на бетона $\varepsilon_{cc}(\infty, t_0)$ в момент $t = \infty$ при постоянно натисково напрежение σ_c , приложено при възраст на бетона t_0 , се определя по формулата

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

в която E_c е тангенциален модул на еластичност на бетона,

$$E_c = 1,05 E_{cm};$$

E_{cm} – текущ модул съгласно таблица 3.1 от [1].

Всички използвани означения са по Еврокод 2.

Когато натисковото напрежение в бетона на възраст t_0 надвишава стойността $0,45 f_{ck}(t_0)$, трябва да бъде взет под внимание нелинейният характер на пълзенето. Такава ситуация може да възникне като резултат например от предварително

напрягане. В тези случаи нелинейният условен коефициент на пълзене трябва да бъде определен по формулата

$$(2) \varphi_k(\infty, t_0) = \varphi(\infty, t_0) \exp(1,5 (k_\sigma - 0,45)),$$

където $\varphi(\infty, t_0)$ е крайната стойност на коефициента на пълзене;

$\varphi_k(\infty, t_0)$ - нелинеен условен коефициент на пълзене, който заменя $\varphi(\infty, t_0)$;

$$k_\sigma = \sigma_c / f_{ck}(t_0),$$

където σ_c е натисковото напрежение;

$f_{ck}(t_0)$ - характеристична якост на натиск на бетона в момента на натоварване.

Коефициентът на пълзене $\varphi(t, t_0)$ за определен срок t може да бъде изчислен по формулата:

$$(3) \varphi(t, t_0) = \varphi_0 \cdot \beta_c(t, t_0),$$

в която φ_0 е основната стойност на коефициента на пълзене, определян с израза

$$(4) \varphi_0 = \varphi_{RH} \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}} \beta(t_0),$$

φ_{RH} - коефициент, който отразява ефекта на относителната влажност върху основната стойност на коефициента на пълзене

$$(5) \varphi_{RH} = 1 + \frac{1 - RH / 100}{0,1 \sqrt[3]{h_0}} \quad \text{за } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa},$$

$$(6) \varphi_{RH} = \left[1 + \frac{1 - RH / 100 \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0,7}}{0,1 \sqrt[3]{h_0}} \right] \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0,2} \quad \text{за } f_{cm} > 35 \text{ MPa},$$

RH - относителната влажност на околната среда в % ;

f_{cm} - средната якост на натиск на бетона на възраст 28 дни, в MPa ;

$\beta(t_0)$ - коефициент, който отразява ефекта от възрастта, при която бетонът е натоварен, върху основната стойност на коефициента на пълзене, определян с израза

$$(7) \beta(t_0) = \frac{1}{(0,1 + t_0^{0,20})},$$

h_0 - условен размер на елемента в mm ,

$$(8) h_0 = \frac{2A_c}{u},$$

A_c - обща площ на бетонното напречно сечение в mm^2 ;

u - периметър на напречното сечение на елемента в контакт с атмосферата в милиметри;

$\beta_c(t, t_0)$ - коефициент, който отразява развитието на пълзенето във времето след натоварването, може да бъде определен посредством формулата:

$$(9) \beta_c(t, t_0) = \left[\frac{t - t_0}{\beta_H + t - t_0} \right]^{0,3},$$

t - възраст на бетона в разглеждания момент, в дни ,

t_0 - възраст на бетона при натоварване, в дни,

β_H - коефициент, зависещ от относителната влажност RH в % и от условията размер на елемента h_0 в mm, който може да бъде определен по формулите:

$$(10) \beta_H = 1,5 [1 + (0,012 RH)^{18}] h_0 + 250 \leq 1500 \quad \text{за } f_{cm} \leq 35,$$

$$(11) \beta_H = 1,5 [1 + (0,012 RH)^{18}] h_0 + 250 \sqrt{\frac{35}{f_{cm}}} \leq 1500 \sqrt{\frac{35}{f_{cm}}} \quad \text{за } f_{cm} > 35.$$

Ефектът на вида на цимента върху коефициента на пълзене на бетона може да бъде взет под внимание посредством промяна във формула (7) на възрастта t_0 на бетона при натоварване съгласно формулата

$$(12) \quad t_0 = t_{0,T} \left(\frac{9}{2 + t_{0,T}^{1,2}} + 1 \right)^\alpha \geq 0,5,$$

в която $t_{0,T}$ е температурната възраст на бетона при натоварване, изразена в дни и определена съгласно формула (13) ;

α - степенен показател, който зависи от вида на цимента, приема се :

- 1,0 за цимент клас S,
- 0,0 за цимент клас N,
- + 1,0 за цимент клас R.

Ефектът от повишените или понижени температури в интервала 0 - 80°C върху втвърдяването на бетона може да бъде взет под внимание посредством коригиране на възрастта на бетона съгласно формулата

$$(13) \quad t_{0T} = \sum_{i=1}^n e^{-\left[\frac{4000}{273+T(\Delta t_i)} - 13,65 \right]} \Delta t_i,$$

в която t_{0T} е коригираната възраст на бетона, която заменя t в съответните формули;

$T(\Delta t_i)$ е температурата в °C за период от време Δt_i ;

Δt_i - брой на дните в период i , в който преобладава температурата $T(\Delta t_i)$;

n – брой на периодите, през които температурата е фиксирана със стойност $T(\Delta t_i)$.

За ориентация при температура 60°C в продължение на едно денонощие по (13) се получава коригирана възраст на бетона от 5 дни. При температура 20°C не се получава увеличаване на възрастта на бетона или дните, през които температурата е 20°C, се прибавят към другите без корекция. За дните с температура по-ниска от 20°C с корекцията по (13) ще бъде получена по-малка възраст.

За голям период от време, когато $t \approx \infty$, коефициентът $\beta_c(t, t_0) \approx 1,0$ и $\varphi(t, t_0) = \varphi(\infty, t_0)$.

Процедурата по намирането на коефициента на пълзене е доста трудоемка. С цел опростяване на работата е извършено определяне на коефициента в зависимост от основните параметри. В таблица 1 са изчислени крайни коефициенти на пълзене $\varphi(\infty, t_0)$ за различни класове бетон при влажност 50, 80 и 100%. Стойностите са при условен размер $h_0 = 50, 200$ и 600 mm по (8).

Времето t_0 в таблица 1, показващо възрастта на бетона, при която е натоварен, трябва да бъде определено по (12) като бъде взет под внимание вида на цимента и температурните условия. Чрез стойностите от таблицата лесно могат да бъдат намерени коефициенти на пълзене за определен период от време t като бъде използван коефициента $\beta_c(t, t_0)$ по (9). При влажност 100% условният размер h_0 не влияе върху коефициента на пълзене и затова при тази стойност на влажността стойностите за коефициента на пълзене са само в един ред.

Анализът на данните от таблица 1 показва следното :

1. Коефициентът на пълзене има по-малки стойности при бетони с по-високи класове и при по-голяма влажност на околната среда.
2. С увеличаване на времето t_0 , при което е натоварен бетона, и на условията размер h_0 коефициентът на пълзене получава по-малки стойности.
3. При по-високи класове на бетона, по-голяма влажност и по-голям срок преди натоварване на бетона са получени стойности на коефициента на пълзене,

които са по-малки от единица. Това не е възможно на практика. Такива са коефициентите на пълзене при отлежаване над 10 дни и класове над С30/37. Стойности от 0,63, 0,70, 0,80 показват неточност във формулировката за изчисляване на коефициента на пълзене.

Получените несъответствия могат да бъдат поправени с поставяне на долна граница

$$\varphi(\infty, t_0) \geq 1,0.$$

Пример

За бетон клас С30/37 при цимент клас N и време на отлежаване 5 дни да бъде намерена деформацията от пълзене при създадено напрежение $\sigma_c = 16\text{MPa}$. Относителна влажност е 80%. Напречното сечение е с размери 30/60 cm. Контакт с атмосферата имат двете дълги и едната къса страна на сечението.

При $t = 5$ и $s = 0,25$ за цимент клас N по формула (3.2) от [1] изчисляваме

$$\beta_{cc}(5) = e^{0,25(1-\sqrt{28/5})} = 0,711.$$

За предвидения клас на бетона $f_{cm} = 30 + 8 = 38\text{MPa}$ и за $t = 5$ по формула (3.1) от [1]

$$f_{cm}(5) = 0,711 \cdot 38 = 27\text{MPa},$$

$$f_{ck}(5) = 27 - 8 = 19\text{MPa}.$$

Извършваме проверката за големината на σ_c

$$\sigma_c = 16 > 0,45 f_{ck}(t_0) = 0,45 \cdot 19 = 8,55\text{MPa}.$$

Следователно коефициентът на пълзене трябва да бъде определен с вземане под внимание нелинейното пълзене по формула (3).

За h_0 - условия размер на елемента в mm - получаваме по (8)

$$h_0 = \frac{2A_c}{u} = \frac{2 \cdot 300 \cdot 600}{2 \cdot 600 + 300} = 240\text{mm}.$$

По таблица 1 за $t_0 = 5$ дни, RH = 80% и за бетон С30/37 чрез интерполация отчитаме

$$\varphi(\infty, t_0) = 2,135.$$

За коефициент $k_{\sigma} = \sigma_c / f_{ck}(t_0) = 16 / 19 = 0,842$ по формула (2) намираме

$$\varphi_k(\infty, t_0) = 2,135 e^{1,5(0,842-0,45)} = 3,84.$$

Тангенциалният модул на еластичност за бетон клас С30/37 е $E_c = 1,0533 = 34,65\text{GPa} = 3465\text{kN/cm}^2$. По формула (1) определяме крайната деформация от пълзене за $\sigma_c = 16\text{MPa} = 1,6\text{kN/cm}^2$

$$\varepsilon_{cc}(\infty, t_0) = 3,84 \cdot 1,6 / 3465 = 0,001775.$$

Таблица 1 – Краен коефициент на пълзене $\varphi(\infty, t_0)$

t_0 дни	RH %	h_0 mm	Бетон клас							
			25/30	30/37	35/45	40/50	45/55	50/60	60/75	70/85
1	50	50	6,49	5,56	4,86	4,32	3,90	3,54	3,00	2,61
		200	5,10	4,40	3,90	3,50	3,16	2,90	2,50	2,20
		600	4,35	3,81	3,38	3,05	2,79	2,57	2,23	1,97
	80	50	4,21	3,68	3,28	2,97	2,71	2,50	2,17	1,93
		200	3,65	3,22	2,90	2,65	2,42	2,25	1,97	1,76
		600	3,35	2,98	2,69	2,46	2,27	2,11	1,86	1,67
	100	50-600	2,70	2,45	2,25	2,07	1,93	1,81	1,62	1,47

3	50	50	5,31	4,54	3,97	3,53	3,18	2,89	2,45	2,14
		200	4,16	3,60	3,20	2,85	2,60	2,37	2,04	1,80
		600	3,56	3,11	2,76	2,49	2,28	2,10	1,82	1,61
	80	50	3,442	3,01	2,68	2,43	2,22	2,05	1,78	1,58
		200	2,98	2,63	2,37	2,15	2,00	1,84	1,61	1,45
		600	2,74	2,44	2,20	2,01	1,86	1,73	1,52	1,37
100	50-600	2,20	2,00	1,83	1,70	1,60	1,50	1,32	1,20	
5	50	50	4,83	4,13	3,61	3,21	2,89	2,63	2,23	1,94
		200	3,78	3,27	2,90	2,60	2,35	2,15	1,85	1,63
		600	3,23	2,82	2,51	2,27	2,07	1,91	1,65	1,46
	80	50	3,13	2,74	2,44	2,21	2,02	1,86	1,62	1,43
		200	2,71	2,40	2,15	1,96	1,80	1,67	1,46	1,31
		600	2,49	2,22	2,00	1,83	1,69	1,57	1,38	1,24
100	50-600	2,00	1,81	1,66	1,54	1,43	1,35	1,21	1,10	
10	50	50	4,24	3,63	3,17	2,82	2,54	2,31	1,96	1,71
		200	3,32	2,90	2,55	2,30	2,07	1,90	1,63	1,43
		600	2,84	2,48	2,21	2,00	1,82	1,68	1,45	1,29
	80	50	2,74	2,41	2,15	1,94	1,77	1,63	1,42	1,26
		200	2,38	2,10	1,90	1,72	1,58	1,47	1,29	1,15
		600	2,19	1,95	1,76	1,61	1,48	1,38	1,22	1,09
100	50-200	1,76	1,60	1,46	1,35	1,26	1,18	1,06	0,96	
30	50	50	3,44	2,95	2,58	2,29	2,06	1,88	1,59	1,39
		200	2,70	2,35	2,06	1,85	1,70	1,55	1,32	1,16
		600	2,31	2,02	1,79	1,62	1,48	1,36	1,18	1,05
	80	50	2,23	1,95	1,74	1,57	1,44	1,33	1,15	1,02
		200	1,94	1,71	1,54	1,40	1,30	1,20	1,05	0,93
		600	1,78	1,58	1,43	1,31	1,20	1,12	0,98	0,89
100	50-600	1,43	1,30	1,20	1,10	1,02	0,96	0,86	0,78	
90	50	50	2,80	2,40	2,09	1,85	1,67	1,52	1,29	1,12
		200	2,18	1,90	1,67	1,50	1,36	1,25	1,07	0,94
		600	1,87	1,63	1,45	1,31	1,20	1,10	0,96	0,85
	80	50	1,81	1,58	1,41	1,27	1,17	1,07	0,93	0,83
		200	1,56	1,38	1,24	1,13	1,04	0,97	0,85	0,76
		600	1,44	1,28	1,16	1,06	0,98	0,91	0,80	0,72
100	50-600	1,15	1,05	0,96	0,89	0,83	0,78	0,70	0,63	

ЛИТЕРАТУРА

- [1] EN 1992-1-1,2004 Еврокод 2: Проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции: Общи правила и правила за сгради

CREEP FACTOR FOR REINFORCED CONCRETE ELEMENTS ACCORDING TO EC 2

Borislav Daalov
bobdaal@abv.bg

*University of Structural Engineering & Architecture, "Lyuben Karavelov",
175 Souhodolska Street, 1373 Sofia,
BULGARIA*

Key words : creep factor .

Abstract : *The procedure for determining the creep factor has been viewed, as presented in detail all the necessary formulas. It is shown the calculation of the creep coefficient at a non-linear deformation of the concrete when the compressive stress on the aged t_0 exceeds the value $0,45 f_{ck}(t_0)$, and the ratio of the creep $\varphi(t,t_0)$ for a certain period of time t . The conditions of humidity have been used and also age t_0 , at which the concrete is loaded. To facilitate the calculation has been made estimation of final creep coefficient by using the main parameters: grade of the concrete, humidity, age of loading t_0 , notional h_0 , depending on the part of the section, subjected to the weather. The data are shown in table.*