

ВЪРХУ КОЕФИЦИЕНТА НА ПЪЛЗЕНЕ СПОРЕД ЕВРОКОД 2

Димитър Димитров¹, Евгени Георгиев²

Ключови думи: пълзене, деформация, Еврокод 2

Научна област: строителство – строителни конструкции

РЕЗЮМЕ

Анализират се факторите, които влияят върху определянето на коефициента на пълзене на бетона – класа на бетона, относителната влажност на околния въздух RH , размерите на сечението на елемента, възрастта на бетона при началото на натоварването и видът на цимента. Представен е удобен за ползване графо-аналитичен метод за определяне на коефициента на пълзене. Методът е илюстриран върху числен пример за определяне на преместванията в реална мостова конструкция.

1. Въведение

Точното определяне на коефициента на пълзене φ често значително затруднява проектантите и изследователите на бетонни и стоманобетонни конструкции, тъй като зависи от редица фактори и най-вече от факторите „време“ и „възраст при началото на натоварването“ t_0 . Тези фактори следва на етап „проект“ да се прогнозира. Необходимо е да се познава коефициентът на пълзене в следните случаи:

1. При определяне на преместванията на стоманобетонни елементи. Известно е, че проектантите „експертно“ определят преместванията като определените еластични премествания се умножават $(1+\varphi)$ пъти. Подобен подход не е нормиран, но се ползва широко в проектантската практика и дава задоволителни резултати;

2. При проверките на стоманобетонни елементи, работещи в условията на „нелинейно пълзене“, т.е при напрежения превишаващи $0,45f_{cm}$;

В [1], наричан по-долу за краткост Еврокод 2 са дадени графики $\varphi(\infty, t_0)$ за определянето на коефициентът на пълзене, но по мнение на авторите тяхното ползване не винаги е удобно.

В т.2 е направен подробен анализ на факторите, които влияят върху пълзенето на бетона. В [2], който вече не се ползва, коефициентът на пълзене също се определя

¹ Доц. д-р инж. Димитър Димитров, УАСГ, e-mail dim1959@hotmail.com

² Гл.ас. инж. Евгени Георгиев, УАСГ, e-mail evgeni_georgiev_fce@abv.bg

графично с по-удобни за ползване графики на зависимостта $\varphi(t_0)$. В настоящата статия е представен графо-аналитичен подход за определяне на $\varphi(t)$ при различно t_0 . Това е както по-лесно за ползване, така и необходимо в някои случаи, като напр. при етапно изграждане на конструкцията, напр. при сегментно изграждане на мостове.

2. Фактори, влияещи върху пълзенето на бетона

2.1. Класът на бетона. При еднакви други условия по-високият клас бетон по-малко „пълзи“. Във формулите, дадени в т.3 и т.4. участва средната якост на бетона на натиск на 28 ден $f_{cm}=f_{ck}+8$ [MPa], където f_{ck} е характеристикната якост на бетона;

2.2. Относителната влажност на околния въздух RH . С нарастването на RH пълзенето намалява. В [1] са представени графики при $RH=50\%$ и $RH=80\%$, като се допуска „тези графики да се ползват при влажност от 40 до 100%“. Според авторите (виж табл. 3) по-коректен е следният текст: „Графиката за $RH=50\%$ може да се ползва за влажности от 40 до 70%. За по-голяма влажност от 70% коефициентът на пълзене се определя за съответната влажност.“

2.3. Размерите на сечението на елемента. Определя се условният размер $h_0=2A_c/u$, където A_c е площта на напречното сечение. В [1] и [3] „ u “ е изложението на околната среда, т.е. на изсъхване, периметър, докато в [4] е целият периметър на сечението. С оглед на характера на явлениято „пълзене“ първото определение е по-коректно. Но и то не е съвсем ясно дефинирано, тъй като в сградите липсва пряк контакт на бетонните повърхности с околната среда поради стенните, подови и тавански покрития. За мостови и покривни плочи не става ясно дали в „ u “ се включва горната повърхност на плочата. По наше мнение точното дефиниране за „ u “ е „периметърът на всички части от напречното сечение в контакт с околната среда, включително частите обработени с покрития, без частите покрити с хидроизолация“. При увеличаване на условния размер бетонът „пълзи“ по-малко.

2.4. Възрастта на бетона в началото на натоварването t_0 . Ясно е, че при по-малка възраст бетонът „пълзи“ повече. Но и тук остава неясен въпросът как се процедира при етапно изграждане, тъй като за различните въздействия е различна възрастта t_0 . Освен това не е ясно как да се определя коефициентът на пълзене за характеристично въздействие с вероятност на сбъждане веднъж по време на проектния живот на сградата или съоръжението, напр. въздействието LM1 за пътни мостове.

Дадените в [1] графики показват, че при възраст в началото на натоварването t_0 по-голяма от 20 дни, което е обичайния случай, се ползва „тангенциалната линия“. Това което води до неточност. Освен това при ползване на тази линия е очевидно без значение видът на цимента. Поради това в настоящата статия видът на цимента не се отчита.

3. Графо-аналитичен подход за определяне на на $\varphi(t)$

Приемат се за известни класът на бетона по якост на натиск (C) в МПа, относителната влажност на околния въздух $RH\%$ и размерите на сечението на елемента, респ. условният размер h_0 в mm.

Определят се коефициентите α_1 , α_2 , α_3 и $\beta(f_{cm})$ по форм. 1 и 2 или от табл.1

$$\alpha_1 = (35 / f_{cm})^{0.7} = (35 / f_{cm})^{0.2} (35 / f_{cm})^{0.5} = \alpha_2 \alpha_3, \quad (1a)$$

$$\alpha_2 = (35 / f_{cm})^{0,2}, \quad (1b)$$

$$\alpha_3 = (35 / f_{cm})^{0,5}, \quad (1c)$$

$$\beta(f_{cm}) = 16,8 / \sqrt{f_{cm}}. \quad (2)$$

Определя се коефициентът β , зависещ от възрастта t_0 по форм. 3 или от табл.2

$$\beta(t_0) = 1 / (0,1 + t_0^{0,2}). \quad (3)$$

Определя се коефициентът φ_{RH} по формули 4

$$\varphi_{RH} = 1 + (1 - RH / 100) / (0,13 \sqrt{h_0}), f_{cm} \leq 35 MPa, \quad (4a)$$

$$\varphi_{RH} = \left[1 + \frac{1 - RH / 100}{0,13 \sqrt{h_0}} \alpha_1 \right] \alpha_2, f_{cm} > 35 MPa. \quad (4b)$$

Определя се основният коефициент на пълзене φ_0 по форм. 5

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \beta(f_{cm}) \beta(t_0). \quad (5)$$

Влиянието на влажността се отчита с коефициентът β_H по формули 7. За по-лесно определяне е въведена функцията $f(RH)$ според формула 6 - виж табл. 3

$$f(RH) = 1,5 \left[1 + (0,012 RH)^{18} \right], \quad (6)$$

$$\beta_H = f(RH) h_0 + 250 \leq 1500, f_{cm} \leq 35 MPa, \quad (7a)$$

$$\beta_H = f(RH) h_0 + 250 \alpha_3 \leq 1500 \alpha_3, f_{cm} \geq 35 MPa. \quad (7b)$$

Пълзенето във времето се определя от коефициентът $\beta_c(t, t_0)$ по форм. 8

$$\beta_c(t, t_0) = \left[(t - t_0) / (\beta_H + (t - t_0)) \right]^{0,3}. \quad (8)$$

Окончателният коефициент на пълзене се определя по форм. 9.

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \beta_c(t, t_0). \quad (9)$$

Таблица 1. Коефициенти α_1 , α_2 , α_3 и $\beta(f_{cm})$ за класове на бетона $C \leq C60/75$

Клас на бетона	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60	C55/67	C60/75
f_{ck}	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60
f_{cm}	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68
α_1	1,480	1,302	1,169	1,042	0,944	0,866	0,802	0,748	0,702	0,663	0,628
α_2	1,118	1,078	1,046	1,012	0,984	0,960	0,939	0,920	0,904	0,889	0,876
α_3	1,323	1,208	1,118	1,030	0,960	0,902	0,854	0,813	0,777	0,745	0,717
$\beta(f_{cm})$	3,757	3,429	3,175	2,925	2,725	2,562	2,425	2,308	2,206	2,117	2,037

Таблица 2. Стойности на коефициента β по форм. (3)

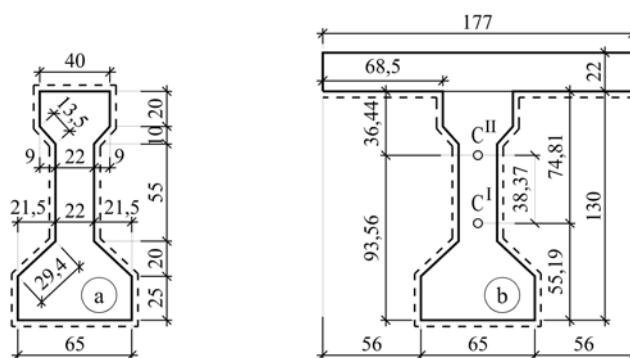
t_0 [дни]	1	3	5	7	10	14	20	28	30
$\beta(t_0)$	0,9091	0,7431	0,6758	0,6346	0,5935	0,5570	0,5207	0,4884	0,4821
t_0 [дни]	40	50	60	100	200	365	550	730	1 095
$\beta(t_0)$	0,4564	0,4373	0,4223	0,3829	0,3350	0,2981	0,2753	0,2605	0,2407
t_0 [дни]	1 460	1 825	3 650	5475	9 125	18 250	25 550	27 375	36 500
$\beta(t_0)$	0,2276	0,2179	0,1902	0,1756	0,1589	0,1386	0,1297	0,1279	0,1209

Таблица 3. Стойности на функцията $f(RH)$

RH	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$f(RH)$	1,5000	1,5000	1,5000	1,5000	1,5000	1,5000	1,5000	1,5000	1,5000	1,5002
RH	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
$f(RH)$	1,5008	1,5041	1,5171	1,5650	1,7251	2,2194	3,6424	7,4940	17,363	41,435

4. Пример

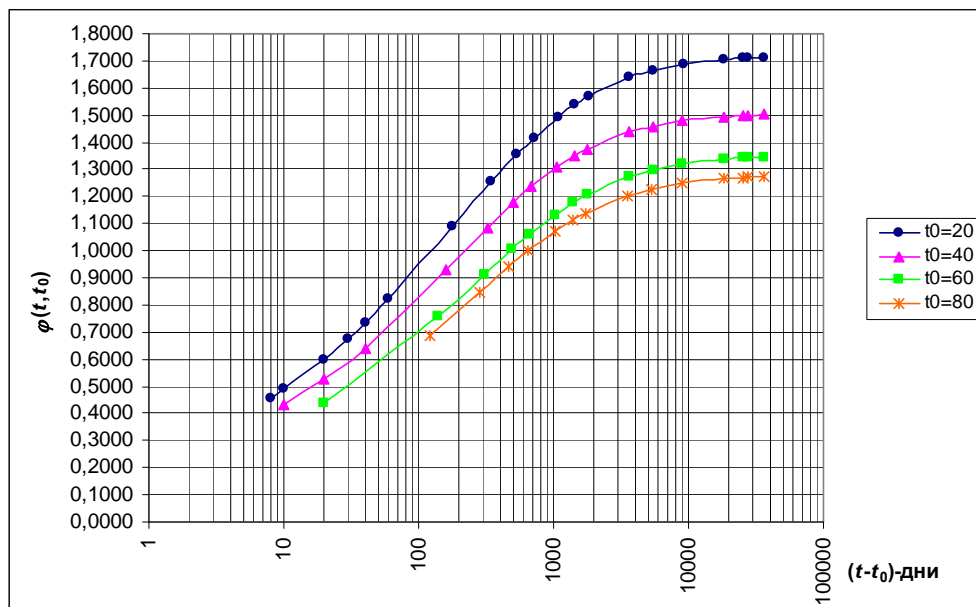
Разглежда се двуетапно изпълнена мостова плочогреда дадена на фиг.1. С прекъснатата линия е означен подложения на изсъхване периметър. Отворът на гредата е 18m. Изпълнена е от бетон клас C35/45 и е предварително напрегната. В експлоатационно състояние гредата работи само с натискови напрежения в сечението. Поради това определените по методите на строителната механика еластични премествания, означени с индекс "el", са с използване на цялото напречно сечение. Относителната влажност RH е 75%. Въздействията са собствено тегло на гредата g_1 , собствено тегло на плочата g_2 , собствено тегло на настилката g_3 и товарен модел LM1 - виж табл. 4. Прието е, че често повтарящата се стойност $(0.75TS+0.40UDL)$ е „продължително въздействие”, предизвикващо пълзене. Приемат се следните възрасти за t_0 : за g_1 - 20 дни, за g_2 - 40 дни, за g_3 - 60 дни и за LM1 - 80 дни. Графиките $\varphi(t, t_0)$ за тези възрасти са показани на фиг.2. Търсят се крайните премествания за 100-годишен експлоатационен срок.



Фиг. 1. Напречни сечения за строително (I етап) и експлоатационно (II етап) състояние

Таблица 4. Премествания при I и II етап етап

A_c^I mm ²	U_c^I mm	h_0^I mm	I_c^I mm ⁴	E_{cm} МПа	L см	$t-t_{0,1}^I$ дни	$t-t_{0,2}^I$ дни		
481500	3906,35	246,52	83 287 790 300	34000	1800	36480	36460		
$t_{0,1}^I$ дни	g_1 kN/m	$\varphi_{RH,1}$	$\varphi_{0,1}$	$\beta_{H,1}$	$\beta_{c,1}(t,t_0)$	$\varphi_1(t,t_0)$	$f_{g1,el}$ mm	f_{g1} mm	
20	12,0375	1,2909	1,7221	650,8329	0,9947	1,7130	5,81	15,76	
$t_{0,2}^I$ дни	g_2 kN/m	$\varphi_{RH,2}$	$\varphi_{0,2}$	$\beta_{H,2}$	$\beta_{c,2}(t,t_0)$	$\varphi_2(t,t_0)$	$f_{g2,el}$ mm	f_{g2} mm	
40	9,735	1,291	1,5093	650,8329	0,9947	1,5013	4,70	11,75	
A_c^{II} mm ²	U_c^{II} mm	h_0^{II} mm	I_c^{II} mm ⁴	E_{cm} МПа	L см	$t-t_{0,3}^{II}$ дни	$t-t_{0,4}^{II}$ дни		
870900	4876,81	357,16	243 373 111 000	34000	1800	36440	36420		
$t_{0,3}^{II}$ дни	g_3 kN/m	$\varphi_{RH,3}$	$\varphi_{0,3}$	$\beta_{H,3}$	$\beta_{c,3}(t,t_0)$	$\varphi_3(t,t_0)$	$f_{g3,el}$ mm	f_{g3} mm	
60	18,5	1,252	1,35507	841,70	0,9932	1,3458	3,06	7,17	
$t_{0,4}^{II}$ дни	LM1 kN/m	$\varphi_{RH,4}$	$\varphi_{0,4}$	$\beta_{H,4}$	$\beta_{c,4}(t,t_0)$	$\varphi_4(t,t_0)$	$f_{g4,el}$ mm	f_{g4} mm	
80		1,252	1,28233	841,70	0,9932	1,2736	2,12	4,82	



Фиг. 2. Графики на $\varphi(t, t_0)$ за различни възрасти на натоварване

5. Изводи от числения пример:

1. Пълзенето практически престава независимо от възрастта t_0 след $t=50$ години.
2. Крайният коефициент на пълзене може да се намали от 1,70 на 1,50, ако се натовари бетона вместо на 20-ия на 40-ия ден.
3. С помощта на стойностите от фиг.2 е възможно да се предсказва очакваното преместване в кой да е момент от експлоатацията на мостовата конструкция, респ. да се правят проверки „на място” за оценка на поведението на конструкцията.

ЛИТЕРАТУРА

1. ЕВРОКОДОВЕ: Сборник 2. Проектиране на сгради със стоманобетонни и комбинирани конструкции. Издание на БИС, Сборник от стандарти, 2010.
2. DIN 4227. Spannbeton. Berlin, 1988.
3. Русев К. Стоманобетон. НПБСК-ЕС2, АВС Техника, 2008
4. Иванчев И. Проектиране на стоманобетонни мостове според Еврокод 2, АВС Техника, 2010

REGARDING CREEP COEFICIENT ACCORDING EC2

Dimitar Dimitrov³, Evgeni Georgiev⁴

Keywords: creep, deformation, Eurocode 2

Research area: civil engineering - reinforced concrete structures

ABSTRACT

The factors that affect the concrete creep determination have been analyzed – concrete grade, relative humidity of the ambient environment, cross section dimensions, age of the concrete at loading and type of cement. Convenient for use graphic and analytical method for creep coefficient determination is presented. The method is illustrated with numerical example for deflection determination for real bridge structure.

³ Asc. Prof. Ph D M.Sc. C. Eng Dimitar Dimitrov, UACEG, 1 Hristo Smirnenki Blvd. Sofia 1046, Bulgaria., e-mail: dim1959@hotmail.com

⁴ Chief Assist. Prof. M.Sc. C. Eng Evgeni Georgiev, UACEG, 1 Hristo Smirnenki Blvd. Sofia 1046, Bulgaria, e-mail: evgeni_georgiev_fce@abv.bg