



Приета: 16.02.2016 г.

Преработена: 02.03.2016 г.

Одобрена: 15.03.2016 г.

ВЛИЯНИЕ НА ТОЧНОСТТА НА КОЕФИЦИЕНТА НА ПЪЛЗЕНЕ ВЪРХУ ПРОВИСВАНЕТО НА ЕДНОПОСОЧНО АРМИРАНИ СТОМАНОБЕТОННИ ПЛОЧИ СЪГЛАСНО ЕВРОКОД 2

Евг. Георгиев¹

Ключови думи: стоманобетонни плочи, провисване, съсъхване, пълзене, Еврокод 2

РЕЗЮМЕ

Представени са резултати от числени примери на провисването на еднопосоечно армирани стоманобетонни плочи с отвор 8,4 m. Провисването е контролирано съгласно директния метод и опростения метод (*l/d*) на БДС EN 1992-1-1. Статическите схеми на плочите са ставно подпиране, едностранно запъване и двустранно запъване. Прието е отклонение от $\pm 30\%$ от средната стойност на коефициента на пълзене определен съгласно приложение В на БДС EN 1992-1-1. Анализирани са влиянията на точността на коефициента на пълзене, дълговременните ефекти съсъхване и пълзене на бетона, и количеството вложена арматурка върху провисванията на плочите.

1. Въведение

Методиката за определяне на коефициента на пълзене от приложение В на БДС EN 1992-1-1 [3] дава средната стойност на коефициента на пълзене. Съгласно приложение В на БДС EN 1992-1-1 [3] средният коефициент на вариация на данните за коефициента на пълзене, взети от компютърна база данни с резултати от лабораторни изпитвания, е от порядъка на 20%.

В БДС EN 1992-2 [5], т.е. Еврокод 2 за мостове, е дадено ново Приложение В, в което е даден друг метод за определяне на коефициента на пълзене за специфичните

¹ Евгени Георгиев, гл. ас. д-р инж., кат. „Масивни конструкции”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски” № 1, 1046 София, e-mail: evgeni_georgiev_fce@abv.bg

случаи на: – високоякостни бетони с якост на натиск, по-голяма от C50/60, и приготвени с цимент клас R със и без микросилициев прах; – “елементи с особено големи сечения”; – “дебели елементи”. Съгласно Приложение В на БДС EN 1992-2 [5] типичните експериментални стойности могат да се отклоняват до $\pm 30\%$ от величините на коефициента на пълзене, предвидени в съответствие със самото Приложение В. Съгласно [5] при изискване на по-голяма точност, предизвикана от чувствителността на конструкцията към пълзене, е необходимо експерименталното му определяне.

На основата на компютърна база данни с резултати от лабораторни изпитвания, в Модел Код 1990 [11], средният коефициент на вариация за прогнозиране на функцията на пълзене е $V_c = 20\%$. При приемане на нормално разпределение това отговаря на 10% и 5% граници на изключване, съответно от долната и горната страна на средната стойност на коефициента на пълзене ϕ , а именно $\phi_{0,10} = 0,74\phi$, $\phi_{0,05} = 0,66\phi$, $\phi_{0,90} = 1,26\phi$, $\phi_{0,95} = 1,34\phi$.

Съгласно Модел Код 2010 [12], отново въз основа на компютърна база данни с резултати от лабораторни изпитвания, средният коефициент на вариация за прогнозиране на функцията пълзене е определен да бъде $V_c = 25\%$. При приемане на нормално разпределение това отговаря на 10% и 5% граници на изключване, съответно, от долната и горната страна на средната стойност на коефициента на пълзене ϕ , а именно $\phi_{0,10} = 0,68\phi$, $\phi_{0,05} = 0,59\phi$, $\phi_{0,90} = 1,32\phi$, $\phi_{0,95} = 1,41\phi$.

На базата на направения анализ по-горе в статията е прието отклонение на стойностите на коефициента на пълзене от $\pm 30\%$ от средната стойност на коефициента на пълзене, определен съгласно Еврокод 2 [3].

Разгледани са числени примери на еднопосочно армирани плочи със следните статически схеми и дебелини: 1 – ставно подпърна плоча с дебелина $h_f = 38$ cm, 2 – едностранно запъната плоча с дебелина $h_f = 28$ cm и 3 – двустранно запъната плоча с дебелина $h_f = 22$ cm.

Серия от еднопосочно армирани плочи е означена с **E-1-L8,4-38**, което се тълкува: **E** е еднопосочно армирана плоча, **1** е статическата схема, **L** е изчислителният отвор, а **8,4** е самият отвор в метри, **38** е дебелината на плочата в cm. За разграничаване на параметрите, които се променят в числените примери към означението, описано по-горе след дебелината на плочата, са добавени цифра **1** или **1-C-D30(U30)**. В примери **1-C-D30** – коефициентът на пълзене е намален с 30% от средната му стойност, определена съгласно Еврокод 2. В примери **1** от [8] коефициентът на пълзене е със средната си стойност. В примери **1-C-U30** – коефициентът на пълзене е увеличен с 30% от средната му стойност, определена съгласно Еврокод 2.

Приетите характеристични въздействия върху плочите са: g_{1k} е характеристичното собствено тегло на плочата, $g_{2k} = 3,00$ kN/m² е останалата част от характеристичните постоянни въздействия, $q_k = 5,00$ kN/m² е временното характеристично въздействие, а $\psi_2 = 0,6$ е коефициентът, отчитащ частта от временното въздействие, участващо в квази-постоянна комбинация. Въздействието q_k е според [2], а коефициентът ψ_2 е според [1].

За всички плочи приетите възрасти на бетона за прилагане на въздействията са: в $t_1 = 28$ дни е g_{1k} , в $t_2 = 100$ дни е g_{2k} и в $t_3 = 550$ дни е $\psi_2 q_k$. За всяка от тези възрасти се определя съответният ѝ коефициент на пълзене $\phi_i(\infty, t_0)$ при влажност на околната среда $RH = 50\%$, съгласно Еврокод 2 [3] и [4], където за $t = \infty$, е приет период от 70 години, т.е. 25 550 дни. За отчитане на реалното време на прилагане на натоварване е определен еквивалентен коефициент на пълзене ϕ_{eq} съгласно [13] –

$$\phi_{eq} = \left[g_{1k} \phi_1(\infty, t_1) + g_{2k} \phi_2(\infty, t_2) + \psi_2 q_k \phi_3(\infty, t_3) \right] / \left[g_{1k} + g_{2k} + \psi_2 q_k \right].$$

Общата деформация от съсъхване ε_{cs} е определена за $RH = 50\%$, според Еврокод 2 [3] и [4], където $t = \infty$ е 70 години. Вж. подробности за $\varphi_i(\infty, t_0)$ и ε_{cs} в [9] и [10].

Използваните материали са съгласно Еврокод 2 [3], т.е. армировъчна стомана клас B500C и бетон клас C30/37. Извършено е оразмеряване на армировката за крайно гранично състояние (ULS) според Еврокод 2 [3]. С тази армировка е определено провисването с директното му изчисляване според [3] и подробно разгледано в [7] и [8]. След това се варира с количеството опънна (долна) армировка в полето, за да се проследи какво отражение има тя върху провисването. Проследява се влиянието на пълзенето и съсъхването върху провисването при промяната на армировката. Определено е влиянието на точността на коефициента на пълзене върху дълговременните провисвания. Определя се отношението между еластичните и реалните дълговременни провисвания при стоманобетонни плочи. Контролът на провисването е извършен и чрез отношението отвор/полезна височина (l/d) според [3].

2. Резултати и анализ от числените примери

В резултатите от числените примери и техния анализ са използвани следните означения: d е полезната височина на напречното сечение на плочата; p_{qua}/p_{uls} е отношението в проценти на въздействията от квази-постоянната комбинация към общото изчислително въздействие в крайно гранично състояние; E_{cm} е средният (секущият) модул на еластичност на бетона от Еврокод 2 [3]; ρ е необходимият коефициент на армиране с опънна армировка в средата на отвора, за поемане на огъващия момент от изчислителните товари или коефициент на армиране с опънна армировка в средата на полето; ρ_{sup} е коефициент на армиране с опънна армировка над опората, при непрекъсната еднопосочно армирана плоча; ρ_{uls} е необходимият коефициент на армиране от оразмеряването в крайно гранично състояние; f_{adm} е допустимото провисване.

Определени са следните провисвания: еластичното f_{el} , кратковременното след пукнатинообразуване f_{cr} , дълговременното, с отчитане само на пълзенето без съсъхването $f_{cr,\varphi}$ и дълговременното, с отчитане на пълзенето и съсъхването $f_{cr,\varphi,sh}$.

Определени са следните коефициенти: k_{cr} е разликата в пъти между кратковременното провисване след пукнатинообразуване и кратковременното еластично провисване, $k_{cr,\varphi}$ е разликата в пъти между дълговременното провисване, с отчитане само на пълзенето и кратковременното еластично провисване, а $k_{cr,\varphi,sh}$ е разликата в пъти между дълговременното провисване, с отчитане на пълзенето и съсъхването и кратковременното еластично провисване. Влиянието на пълзенето в проценти върху провисването е Δ_{φ} , а това на съсъхването е Δ_{sh} .

Забележки към табл. 1 ÷ 6: *Сивият ред показва ρ при изпълнено провисване.*

Таблиците с резултатите за примери, завършващи с 1 от [8] са публикувани в [6].

Забележки към фиг. 1 ÷ 3: *Окончанията на дълговременните провисвания с отчитане само на пълзенето и с отчитане на пълзенето и съсъхването, на фиг. 1÷3, съвпадат с означението на съответния числен пример 1 или 1-C-D30(U30).*

2.1. Числени примери серия E-1-L8,4-38

Анализ на примери **E-1-L8,4-38**. Влиянието на съсъхването е $\Delta_{sh} = 20,7 \div 63,4\%$, а на пълзенето е $\Delta_{\varphi} = 54,7 \div 126,2\%$. Коефициентите за отношенията между различните провисвания се изменят както следва: $k_{cr} = 3,89 \div 1,38$, $k_{cr,\varphi} = 6,85 \div 2,49$ и $k_{cr,\varphi,sh} = 8,27 \div 4,06$.

Анализ и изводи от сравнението на директното изчисляване на провисването и контрола на провисването, чрез отношението l/d , за примери **E-1-L8,4-38**:

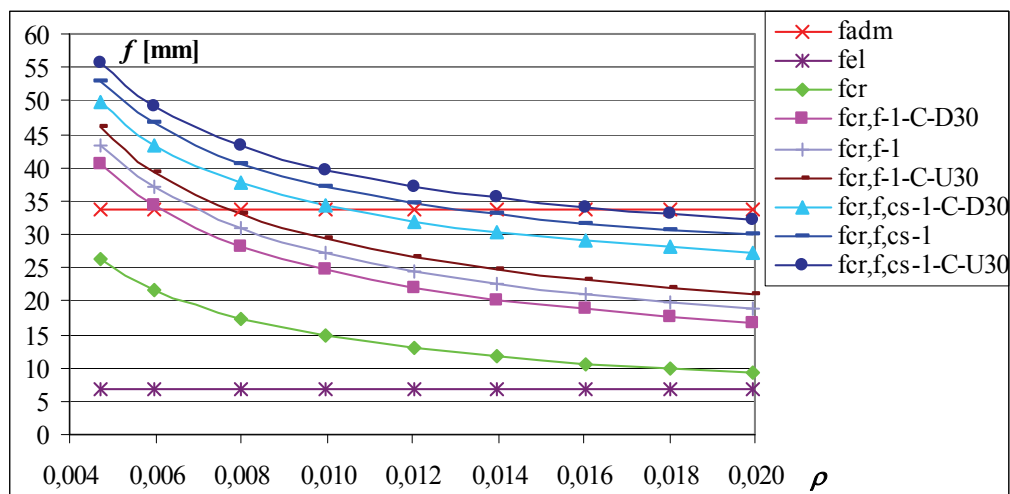
- във всички примери от серията отношението на товарите $p_{quad}/p_{uls} = 63,59\%$;
- за изпълнение на контрола на провисването, чрез отношението l/d , за всички плочи от серията е необходимо опънната армировка в средата на полето да се увеличи $\Delta p_{adm} = 1,25$ пъти съгласно [8];
- в **E-1-L8,4-38-1-C-D30** при точно изчисляване на провисването (вж. табл. 1), е необходимо увеличение на опънната армировка в средата на полето с $\Delta p_{adm} = 2,55$ пъти;
- в **E-1-L8,4-38-1** от [8], при точно изчисляване на провисването, увеличението на опънната армировка в средата на полето е $\Delta p_{adm} = 2,97$ пъти;
- в **E-1-L8,4-38-1-C-U30** при точно изчисляване на провисването (вж. табл. 2), е необходимо увеличение на опънната армировка в средата на полето с $\Delta p_{adm} = 3,82$ пъти;
- проверката на провисванията с l/d , от [3], е неприложима за тези примери.

Таблица 1. Резултати от числен пример E-1-L8,4-38-1-C-D30

	h_f [mm]	d [mm]	g_{1k} [kN/m ²]	f_{adm} [mm]	φ_{eq} (∞, t_0)	ε_{cs}	E_{cm} [MPa]		
	380	332,5	9,50	33,6	1,3104	4,020E-04	32837		
ρ	f_{el} [mm]	f_{cr} [mm]	$f_{cr,\varphi}$ [mm]	$f_{cr,\varphi,sh}$ [mm]	k_{cr}	$k_{cr,\varphi}$	$k_{cr,\varphi,sh}$	Δ_φ [%]	Δ_{sh} [%]
0,0047	6,72	26,17	40,49	49,75	3,89	6,03	7,40	54,7	22,9
0,0060	6,72	21,69	34,23	43,45	3,23	5,09	6,47	57,8	26,9
0,0080	6,72	17,29	28,25	37,75	2,57	4,20	5,62	63,4	33,6
0,0100	6,72	14,71	24,62	34,36	2,19	3,66	5,11	67,4	39,6
0,0120	6,72	12,91	22,00	31,90	1,92	3,27	4,75	70,4	45,0
0,0140	6,72	11,65	20,21	30,30	1,73	3,01	4,51	73,5	49,9
0,0160	6,72	10,65	18,76	29,04	1,58	2,79	4,32	76,2	54,8
0,0180	6,72	9,88	17,58	28,01	1,47	2,62	4,17	77,9	59,3
0,0200	6,72	9,28	16,70	27,28	1,38	2,49	4,06	80,0	63,4

Таблица 2. Резултати от числен пример E-1-L8,4-38-1-C-U30

	h_f [mm]	d [mm]	g_{1k} [kN/m ²]	f_{adm} [mm]	φ_{eq} (∞, t_0)	ε_{cs}	E_{cm} [MPa]		
	380	332,5	9,50	33,6	2,4336	4,020E-04	32837		
ρ	f_{el} [mm]	f_{cr} [mm]	$f_{cr,\varphi}$ [mm]	$f_{cr,\varphi,sh}$ [mm]	k_{cr}	$k_{cr,\varphi}$	$k_{cr,\varphi,sh}$	Δ_φ [%]	Δ_{sh} [%]
0,0047	6,72	26,17	46,03	55,57	3,89	6,85	8,27	75,9	20,7
0,0060	6,72	21,69	39,41	49,23	3,23	5,86	7,33	81,7	24,9
0,0080	6,72	17,29	33,15	43,18	2,57	4,93	6,43	91,7	30,3
0,0100	6,72	14,71	29,33	39,66	2,19	4,36	5,90	99,4	35,2
0,0120	6,72	12,91	26,59	37,13	1,92	3,96	5,53	106,0	39,6
0,0140	6,72	11,65	24,68	35,45	1,73	3,67	5,28	111,8	43,6
0,0160	6,72	10,65	23,14	34,13	1,58	3,44	5,08	117,3	47,5
0,0180	6,72	9,88	21,94	33,07	1,47	3,26	4,92	122,1	50,7
0,0200	6,72	9,28	20,99	32,29	1,38	3,12	4,81	126,2	53,8



Фиг. 1. Провисванията – функция на коефициента на армиране в примери серия E-1-L8,4-38

2.2. Числени примери серия E-2-L8,4-28

Таблица 3. Резултати от числен пример E-2-L8,4-28-1-C-D30

ρ_{sup}	h_f [mm]	d [mm]	g_{1k} [kN/m ²]	f_{adm} [mm]	Φ_{eq} (∞, t_0)	ϵ_{cs}	E_{cm} [MPa]		
0,00805	280	240,0	7,00	33,6	1,3301	4,213E-04	32837		
ρ	f_{el} [mm]	f_{cr} [mm]	$f_{cr,\varphi}$ [mm]	$f_{cr,\varphi,sh}$ [mm]	k_{cr}	$k_{cr,\varphi}$	$k_{cr,\varphi,sh}$	Δ_φ [%]	Δ_{sh} [%]
0,0044	5,87	20,11	32,28	39,82	3,43	5,50	6,78	60,5	23,4
0,0060	5,87	17,43	28,26	35,75	2,97	4,81	6,09	62,1	26,5
0,0080	5,87	15,20	24,92	32,64	2,59	4,25	5,56	63,9	31,0
0,0100	5,87	13,66	22,64	30,43	2,33	3,86	5,18	65,7	34,4
0,0120	5,87	12,60	21,09	29,11	2,15	3,59	4,96	67,4	38,0
0,0140	5,87	11,69	19,76	28,07	1,99	3,37	4,78	69,0	42,1
0,0160	5,87	10,99	18,70	27,27	1,87	3,19	4,65	70,2	45,8
0,0180	5,87	10,44	17,92	26,58	1,78	3,05	4,53	71,6	48,3
0,0200	5,87	9,95	17,21	26,31	1,70	2,93	4,48	73,0	52,9

Анализ на примери E-2-L8,4-28. Влиянието на съсъхватето е $\Delta_{sh}=21,3 \div 52,9\%$, а на пълзенето е $\Delta_\varphi = 60,5 \div 108,2\%$. Коефициентите за отношенията между различните провисвания се изменят както следва: $k_{cr} = 3,43 \div 1,70$, $k_{cr,\varphi} = 6,27 \div 2,93$ и $k_{cr,\varphi,sh} = 7,60 \div 4,48$.

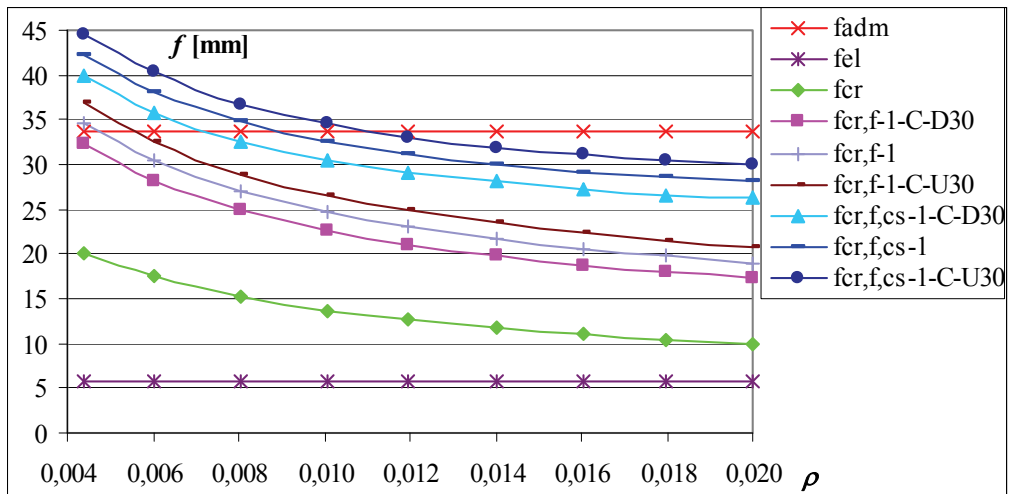
Анализ и **изводи** от сравнението на директното изчисляване на провисването и контрола на провисването, чрез отношението l/d , за примери E-2-L8,4-28:

- във всички примери от серията отношението на товарите е $p_{quad}/p_{uls} = 61,90\%$;
- за изпълнение на контрола на провисването, чрез отношението l/d , за всички плочи от серията е необходимо опънната армировката в средата на полето да се увеличи $\Delta p_{adm} = 1,19$ пъти съгласно [8];

- в **E-2-L8,4-28-1-C-D30** при точно изчисляване на провисването (вж. табл. 3), е необходимо увеличение на опънната армировка в средата на полето с $\Delta p_{adm} = 1,83$ пъти;
- в **E-2-L8,4-28-1** от [8], при точно изчисляване на провисването, увеличението на опънната армировка в средата на полето е $\Delta p_{adm} = 2,29$ пъти;
- в **E-2-L8,4-28-1-C-U30** при точно изчисляване на провисването (вж. табл. 4), е необходимо увеличение на опънната армировка в средата на полето с $\Delta p_{adm} = 2,72$ пъти;
- проверката на провисванията с l/d , от [3], е неприложима за тези примери.

Таблица 4. Резултати от числен пример E-2-L8,4-28-1-C-U30

ρ_{sup}	h_f [mm]	d [mm]	g_{1k} [kN/m ²]	f_{adm} [mm]	Φ_{eq} (∞, t_0)	ε_{cs}	E_{cm} [MPa]		
0,00805	280	240,0	7,00	33,6	2,4702	4,213E-04	32837		
ρ	f_{el} [mm]	f_{cr} [mm]	$f_{cr,\phi}$ [mm]	$f_{cr,\phi,sh}$ [mm]	k_{cr}	$k_{cr,\phi}$	$k_{cr,\phi,sh}$	Δ_ϕ [%]	Δ_{sh} [%]
0,0044	5,87	20,11	36,81	44,64	3,43	6,27	7,60	83,0	21,3
0,0060	5,87	17,43	32,44	40,36	2,97	5,53	6,88	86,1	24,4
0,0080	5,87	15,20	28,86	36,76	2,59	4,92	6,26	89,9	27,4
0,0100	5,87	13,66	26,56	34,60	2,33	4,52	5,89	94,4	30,3
0,0120	5,87	12,60	24,84	33,07	2,15	4,23	5,63	97,1	33,1
0,0140	5,87	11,69	23,46	31,81	1,99	4,00	5,42	100,7	35,6
0,0160	5,87	10,99	22,38	31,08	1,87	3,81	5,29	103,6	38,9
0,0180	5,87	10,44	21,54	30,35	1,78	3,67	5,17	106,3	40,9
0,0200	5,87	9,95	20,72	30,00	1,70	3,53	5,11	108,2	44,8



Фиг. 2. Провисванията – функция на коефициента на армиране в примери серия E-2-L8,4-28

2.3. Числени примери серия Е-3-L8,4-22

Анализ на примери Е-3-L8,4-22. Влиянието на съсъхването е $\Delta_{sh} = 22,7 \div 45,6\%$, а на пълзенето е $\Delta_{\phi} = 66,1 \div 101,3\%$. Коэффициентите за отношенията между различните провисвания се изменят както следва: $k_{cr} = 3,27 \div 2,11$, $k_{cr,\phi} = 6,26 \div 3,57$ и $k_{cr,\phi,sh} = 7,69 \div 5,20$.

Таблица 5. Резултати от числен пример Е-3-L8,4-22-1-C-D30

ρ_{sup}	h_f [mm]	d [mm]	g_{1k} [kN/m ²]	f_{adm} [mm]	Φ_{eq} (∞, t_0)	ϵ_{cs}	E_{cm} [MPa]		
0,00873	220	180,0	5,50	33,6	1,3463	4,503E-04	32837		
ρ	f_{el} [mm]	f_{cr} [mm]	$f_{cr,\phi}$ [mm]	$f_{cr,\phi,sh}$ [mm]	k_{cr}	$k_{cr,\phi}$	$k_{cr,\phi,sh}$	Δ_{ϕ} [%]	Δ_{sh} [%]
0,00415	5,15	16,85	27,98	35,13	3,27	5,43	6,82	66,1	25,6
0,0060	5,15	15,41	25,51	32,50	2,99	4,95	6,31	65,5	27,4
0,0080	5,15	14,26	23,73	30,59	2,77	4,61	5,94	66,4	28,9
0,0100	5,15	13,37	22,17	29,31	2,60	4,30	5,69	65,8	32,2
0,0120	5,15	12,70	21,23	28,28	2,47	4,12	5,49	67,2	33,2
0,0140	5,15	12,12	20,36	27,73	2,35	3,95	5,38	68,0	36,2
0,0160	5,15	11,63	19,67	27,29	2,26	3,82	5,30	69,1	38,7
0,0180	5,15	11,21	19,06	27,00	2,18	3,70	5,24	70,0	41,7
0,0200	5,15	10,85	18,38	26,77	2,11	3,57	5,20	69,4	45,6

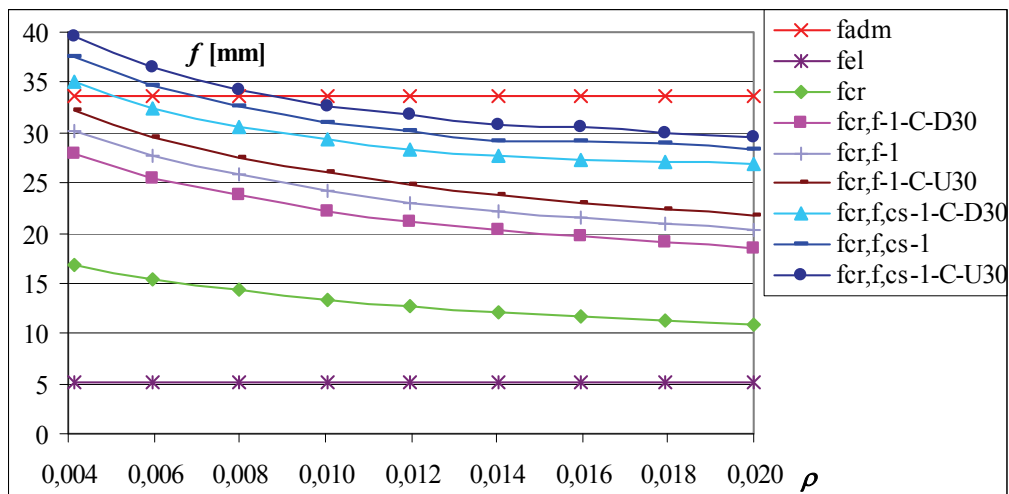
Таблица 6. Резултати от числен пример Е-3-L8,4-22-1-C-U30

ρ_{sup}	h_f [mm]	d [mm]	g_{1k} [kN/m ²]	f_{adm} [mm]	Φ_{eq} (∞, t_0)	ϵ_{cs}	E_{cm} [MPa]		
0,00873	220	180,0	5,50	33,6	2,5003	4,503E-04	32837		
ρ	f_{el} [mm]	f_{cr} [mm]	$f_{cr,\phi}$ [mm]	$f_{cr,\phi,sh}$ [mm]	k_{cr}	$k_{cr,\phi}$	$k_{cr,\phi,sh}$	Δ_{ϕ} [%]	Δ_{sh} [%]
0,00415	5,15	16,85	32,25	39,58	3,27	6,26	7,69	91,4	22,7
0,0060	5,15	15,41	29,52	36,51	2,99	5,73	7,09	91,6	23,7
0,0080	5,15	14,26	27,52	34,18	2,77	5,34	6,64	93,0	24,2
0,0100	5,15	13,37	26,03	32,65	2,60	5,05	6,34	94,7	25,4
0,0120	5,15	12,70	24,75	31,77	2,47	4,81	6,17	94,9	28,4
0,0140	5,15	12,12	23,80	30,85	2,35	4,62	5,99	96,4	29,6
0,0160	5,15	11,63	23,06	30,56	2,26	4,48	5,93	98,3	32,5
0,0180	5,15	11,21	22,42	30,02	2,18	4,35	5,83	100,0	33,9
0,0200	5,15	10,85	21,84	29,59	2,11	4,24	5,75	101,3	35,5

Анализ и **изводи** от сравнението на директното изчисляване на провисването и контрола на провисването, чрез отношението l/d , за примери Е-3-L8,4-22:

- във всички примери от серията отношението на товарите е $p_{quad}/p_{uls} = 60,61\%$;
- за изпълнение на контрола на провисването, чрез отношението l/d , за всички плочи от серията е необходимо опънната армировка в средата на полето да се увеличи $\Delta\rho_{adm} = 1,27$ пъти съгласно [8];

- в **E-3-L8,4-22-1-C-D30** при точно изчисляване на провисването (вж. табл. 5), е необходимо увеличение на опънната армировка в средата на полето с $\Delta p_{adm} = 1,44$ пъти;
- в **E-3-L8,4-22-1** от [8], при точно изчисляване на провисването, увеличението на опънната армировка в средата на полето е $\Delta p_{adm} = 1,93$ пъти;
- в **E-3-L8,4-22-1-C-U30** при точно изчисляване на провисването (вж. табл. 6), е необходимо увеличение на опънната армировка в средата на полето с $\Delta p_{adm} = 2,42$ пъти;
- проверката на провисванията с l/d , от [3], е неприложима за тези примери.



Фиг. 3. Провисванията функция на коефициента на армиране в примери серия E-3-L8,4-22

3. Сравнение на провисванията при различните коефициенти на пълзене

В резултатите са използвани следните означения: – $\Delta f_{cr,\varphi}$ е разликата в проценти на дълговременното провисване, с отчитане само на пълзенето без съсъхването, между посочените примери; – $\Delta f_{cr,\varphi,sh}$ е разликата в проценти на дълговременното провисване, с отчитане на пълзенето и съсъхването, между посочените примери.

Коефициентът на пълзене и неговата точност влияят само върху дълговременните провисвания $f_{cr,\varphi}$ и $f_{cr,\varphi,sh}$. Това е причината кратковременните провисвания след пукна-тинообразуване f_{cr} за всички плочи от една серия да са еднакви.

Изводи: Разликите в провисванията между примери **E-1-L8,4-38-1** и **E-1-L8,4-38-1-C-D30** са $\Delta f_{cr,\varphi} = -6,60 \div -11,83\%$ и $\Delta f_{cr,\varphi,sh} = -5,83 \div -8,73\%$, а между **E-1-L8,4-38-1** и **E-1-L8,4-38-1-C-U30** са $\Delta f_{cr,\varphi} = 6,18 \div 10,82\%$ и $\Delta f_{cr,\varphi,sh} = 5,19 \div 8,03\%$.

Изводи: Разликите в провисванията между примери **E-2-L8,4-28-1** и **E-2-L8,4-28-1-C-D30** са $\Delta f_{cr,\varphi} = -6,87 \div -9,56\%$ и $\Delta f_{cr,\varphi,sh} = -5,86 \div -7,23\%$, а между **E-2-L8,4-28-1** и **E-2-L8,4-28-1-C-U30** са $\Delta f_{cr,\varphi} = 6,20 \div 8,90\%$ и $\Delta f_{cr,\varphi,sh} = 5,53 \div 6,99\%$.

Изводи: Разликите в провисванията между примери **E-3-L8,4-22-1** и **E-3-L8,4-22-1-C-D30** са $\Delta f_{cr,\varphi} = -7,47 \div -9,50\%$ и $\Delta f_{cr,\varphi,sh} = -4,87 \div -6,51\%$, а между **E-3-L8,4-22-1** и **E-3-L8,4-22-1-C-U30** $\Delta f_{cr,\varphi} = 6,65 \div 7,53\%$ и $\Delta f_{cr,\varphi,sh} = 3,95 \div 5,66\%$.

Забележки за таблици 7 ÷ 12: Процентните разлики са определени спрямо примерите, завършващи с цифра **1**, т.е. тези, при които коефициентът на пълзене е със средната си стойност. Знакът минус „-“, пред процентната разлика означава, че провисването в дадения пример е с по-малка стойност от това в примера с цифра **1**. Положителната стойност на процентната разлика означава обратното.

Таблица 7. Процентни разлики между примери E-1-L8,4-38-1 и E-1-L8,4-38-1-C-D30			Таблица 8. Процентни разлики между примери E-1-L8,4-38-1 и E-1-L8,4-38-1-C-U30		Таблица 9. Процентни разлики между примери E-2-L8,4-28-1 и E-2-L8,4-28-1-C-D30			Таблица 10. Процентни разлики между E-2-L8,4-28-1 и E-2-L8,4-28-1-C-U30	
ρ	$\Delta f_{cr,\varphi}$ [%]	$\Delta f_{cr,\varphi,sh}$ [%]	$\Delta f_{cr,\varphi}$ [%]	$\Delta f_{cr,\varphi,sh}$ [%]	ρ	$\Delta f_{cr,\varphi}$ [%]	$\Delta f_{cr,\varphi,sh}$ [%]	$\Delta f_{cr,\varphi}$ [%]	$\Delta f_{cr,\varphi,sh}$ [%]
0,0047	-6,60	-5,83	6,18	5,19	0,0044	-6,87	-5,86	6,20	5,53
0,0060	-7,39	-6,68	6,63	5,73	0,0060	-7,31	-6,17	6,40	5,93
0,0080	-8,34	-7,02	7,56	6,35	0,0080	-7,70	-6,15	6,89	5,69
0,0100	-9,12	-7,46	8,27	6,81	0,0100	-8,38	-6,80	7,49	5,97
0,0120	-9,84	-7,88	8,98	7,22	0,0120	-8,50	-6,61	7,77	6,10
0,0140	-10,30	-8,15	9,54	7,46	0,0140	-8,98	-6,25	8,06	6,25
0,0160	-10,71	-8,39	10,14	7,67	0,0160	-9,22	-6,48	8,64	6,58
0,0180	-11,48	-8,61	10,47	7,90	0,0180	-9,40	-7,23	8,90	5,93
0,0200	-11,83	-8,73	10,82	8,03	0,0200	-9,56	-6,17	8,88	6,99

Таблица 11. Процентни разлики между примери E-3-L8,4-22-1 и E-3-L8,4-22-1-C-D30			Таблица 12. Процентни разлики между примери E-3-L8,4-22-1 и E-3-L8,4-22-1-C-U30	
ρ	$\Delta f_{cr,\varphi}$ [%]	$\Delta f_{cr,\varphi,sh}$ [%]	$\Delta f_{cr,\varphi}$ [%]	$\Delta f_{cr,\varphi,sh}$ [%]
0,00415	-7,47	-6,22	6,65	5,66
0,0060	-7,71	-6,04	6,80	5,55
0,0080	-7,84	-6,14	6,87	4,88
0,0100	-8,54	-5,33	7,38	5,46
0,0120	-7,94	-6,39	7,33	5,16
0,0140	-8,33	-4,87	7,16	5,83
0,0160	-8,47	-6,09	7,31	5,16
0,0180	-8,63	-6,51	7,48	3,95
0,0200	-9,50	-5,17	7,53	4,82

4. Заключение

Изводите за провисванията на еднопосочно армираните плочи са дадени в т. 2, а тези за влиянието на точността на коефициента на пълзене върху провисванията на разгледаните еднопосочно армирани плочи са дадени в т. 3.

Заклучения от числените примери:

- с увеличаване на φ се увеличават: необходимата армировка за контрол на провисванията, провисванията $f_{cr,\varphi}$, $f_{cr,\varphi,sh}$ и коефициентите $k_{cr,\varphi}$ и $k_{cr,\varphi,sh}$;
- с увеличаване на φ се увеличава влиянието на пълзенето Δ_φ и се намалява влиянието на съсъхването Δ_{sh} върху провисването на всяка серия от плочи;
- във всички 9 разгледани примера контролът на провисванията, чрез отношението отвор/полезна височина l/d , е неприложим. Съгласно него се изисква доста по-малко количество армировка за удовлетворяване на проверката на провисване от това при директното му изчисляване. Отношението l/d не отчита точността на коефициента на пълзене. Следва да се направят още изследвания за приложимостта на метода l/d ;
- в пример **E-1-L8,4-38-1-C-D30** проверката на провисване е изпълнена при $\rho = 0,012$ (табл. 1), в **E-1-L8,4-38-1** е изпълнена при $\rho = 0,014$ (от [8]), а в **E-1-L8,4-38-1-C-U30** при $\rho = 0,018$ (табл. 2). Следователно, при промяна на φ с -30%, ρ се променя с -14,29%, а при промяна на φ с +30%, ρ се променя с +28,57%;
- в пример **E-2-L8,4-28-1-C-D30** проверката на провисване е изпълнена при $\rho = 0,008$ (табл. 3), в **E-2-L8,4-28-1** е изпълнена при $\rho = 0,010$ (от [8]), а в **E-2-L8,4-28-1-C-U30** при $\rho = 0,012$ (табл. 4). Следователно, при промяна на φ с -30%, ρ се променя с -20%, а при промяна на φ с +30%, ρ се променя с +20%;
- в пример **E-3-L8,4-22-1-C-D30** проверката на провисване е изпълнена при $\rho = 0,006$ (табл. 5), в **E-3-L8,4-22-1** е изпълнена при $\rho = 0,008$ (от [8]), а в **E-3-L8,4-22-1-C-U30** при $\rho = 0,010$ (табл. 6). Следователно, при промяна на φ с -30%, ρ се променя с -25%, а при промяна на φ с +30%, ρ се променя с +25%;
- за серия плочи **E-1-L8,4-38** с увеличаване на ρ , се увеличават $\Delta f_{cr,\varphi}$ и $\Delta f_{cr,\varphi,sh}$;
- при ρ_{uls} разликите $\Delta f_{cr,\varphi}$ и $\Delta f_{cr,\varphi,sh}$ са min за серия плочи **E-1-L8,4-38** и max при **E-3-L8,4-22**;
- при $\rho = 0,02$ разликите $\Delta f_{cr,\varphi}$ и $\Delta f_{cr,\varphi,sh}$ са max за серия плочи **E-1-L8,4-38** и min при **E-3-L8,4-22**;
- във всяка серия от плочи абсолютната стойност на процентните разлики в провисванията $\Delta f_{cr,\varphi}$ и $\Delta f_{cr,\varphi,sh}$ между примери с окончание **1** и **1-C-D30** е по-голяма от тази между примери **1** и **1-C-U30**.

Стойностите на всички коментирани по-горе провисвания, коефициенти и процентни разлики са дадени в таблици 1 ÷ 12 – т. 2 и 3.

ЛИТЕРАТУРА

1. БДС EN 1990:2003/NA:2012. Национално приложение към БДС EN 1990:2003. Български институт за стандартизация, БИС, 2012.
2. БДС EN 1991-1-1:2004/NA:2011. Национално приложение към БДС EN 1991-1-1:2004. Български институт за стандартизация, БИС, 2011.
3. БДС EN 1992-1-1 "Проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции. Общи правила и правила за сгради", БИС, 2010.
4. БДС EN 1992-1-1:2005/NA:2014. Национално приложение към БДС EN 1992-1-1:2005. Български институт за стандартизация, БИС, 2014.
5. БДС EN 1992-2 "Проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции. Стоманобетонни мостове. Правила за проектиране и конструиране", БИС, 2010.
6. *Георгиев, Евг.* Влияние на възрастта на прилагане на натоварването върху провисването на еднопосочно армирани стоманобетонни плочи съгласно Еврокод 2. Първа научно-приложна конференция с международно участие – стоманобетонни и зидани конструкции – теория и практика, София, УАСГ, 22 ÷ 23.10.2015.
7. *Георгиев, Евг.* Подобряване на деформационните характеристики на стоманобетонни плочи чрез вариране с количеството на вложената армировка. Доклади, том 2, 70 години УАСГ. Международна юбилейна научно-приложна конференция, УАСГ 2012. ISBN 978-954-724-049-0.
8. *Георгиев, Евг.* Провисване на стоманобетонни плочи. Дисертация за присъждане на образователната и научна степен „доктор“. София, 2014.
9. *Димитров, Д., Георгиев, Евг.* Върху коефициента на пълзене според Еврокод 2. Доклади, том 2, 70 години УАСГ. Международна юбилейна научно-приложна конференция УАСГ 2012, ISBN 978-954-724-049-0.
10. *Димитров, Д., Георгиев, Евг.* Определяне на деформацията от съсъхване в сгради и мостове според Еврокод 2 . // Годишник на УАСГ, свитък V, том XLVI 2013 – 2014, УАСГ, София, ISSN 1310-814X.
11. *CEB-FIP.* Model Code 1990. Design Code. Comite euro-International du beton. Thomas Telford, 1998.
12. *CEB-FIP-bulletin 65.* Model Code 2010. Final draft. Volume 1, March 2012.
13. Eurocode 2 – Commentary. European Concrete platform ASBL, June 2008.

THE INFLUENCE OF ACCURACY OF CREEP COEFFICIENT ON DEFLECTION OF ONE-WAY REINFORCED CONCRETE SLABS ACCORDING TO EUROCODE 2

Evg. Georgiev¹

Keywords: reinforced concrete slabs, deflection, shrinkage, creep, Eurocode 2

ABSTRACT

The results of numerical examples of deflection of one-way reinforced concrete slabs on beams with effective span 8.4 are presented. Deflection control is made with the general method and the simplified method (*l/d*) according to BDS EN 1992-1-1. The static schemes of slabs are simple supported slabs, one-end fixed slabs and two-end fixed slabs. The adopted accuracy of creep coefficient from mean value of creep coefficient determined according to Annex B of BDS EN 1992-1-1 is $\pm 30\%$. The influences of the creep coefficient accuracy, long-term effects of concrete shrinkage and creep, and embedded reinforcement on deflection of one-way reinforced concrete slabs on beams have been analysed.

¹ Evgeni Georgiev, Chief Assist. Dr. Eng., Dept. "Reinforced Concrete Structures", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: evgeni_georgiev_fce@abv.bg