



Приета: 16.02.2016 г.
Преработена: 02.03.2016 г.
Одобрена: 15.03.2016 г.

ВЛИЯНИЕ НА ТОЧНОСТТА НА ОБЩАТА ДЕФОРМАЦИЯ ОТ СЪСЪХВАНЕ 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. Статическите схеми на плочите са ставно подпряна плоча, едностранно запъната плоча и двустранно запъната плоча. Изчислителният отвор на плочите е 8,4 m. Провисването е контролирано съгласно директния метод и опростения метод (l/d) на БДС EN 1992-1-1. Прието е отклонение от $\pm 30\%$ от средната стойност на общата деформация от съсъхване, определена съгласно приложение В на БДС EN 1992-1-1. Анализирани са влиянията на точността на деформацията от съсъхване, реологичните процеси съсъхване и пълзене на бетона, и количеството вложена армировка върху провисванията на плочите.

1. Въведение

Определянето на общата деформация от съсъхване ϵ_{cs} съгласно приложение В на БДС EN 1992-1-1 [3] дава нейната средната стойност. Съгласно БДС EN 1992-1-1 [3] базовата стойност на деформацията от съсъхване при изсъхване $\epsilon_{cd,0}$ е с очаквани средни стойности с коефициент на вариация около 30%.

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

В Еврокод 2 за мостове, т.е. БДС EN 1992-2 [5], е дадено различно Приложение В, в което е даден друг метод за определяне на общата деформация от съсъхване за: – високоякостни бетони с якост на натиск, по-голяма от C50/60 и приготвени с цимент клас R c и без микросилициев прах; – „елементи с особено големи сечения“; – „дебели елементи“. Съгласно Приложение В на БДС EN 1992-2 [5] типичните експериментални стойности на деформацията от съсъхване могат да се отклоняват до $\pm 30\%$ от величините на деформацията от съсъхване, предвидени в съответствие със самото Приложение В.

Съгласно Модел Код 1990 [8] и Модел Код 2010 [9], въз основа на компютърна база данни с резултати от лабораторни изпитвания, средният коефициент на вариация за прогнозиране на общата деформация от съсъхването е $V_s = 35\%$. При приемане на нормално разпределение това отговаря на 10% и 5% граници на изключване, съответно от долната и горната страна на средната стойност на общата деформация от съсъхването ϵ_{cs} , а именно $\epsilon_{cs0,10} = 0,55\epsilon_{cs}$, $\epsilon_{cs0,05} = 0,42\epsilon_{cs}$, $\epsilon_{cs0,90} = 1,45\epsilon_{cs}$; $\epsilon_{cs0,95} = 1,58\epsilon_{cs}$.

В статията е прието отклонението на стойностите на общата деформация от съсъхване да е $\pm 30\%$ от средната им стойност, определена съгласно Еврокод 2 [3].

Статическите схеми и дебелини на еднопосочно армираните плочи са: 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. Изчислителният отвор на плочите е $L = 8,4$ m.

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-SH-D30(U30)**. В примери **1-SH-D30** – общата деформация от съсъхване е намалена с 30% от средната си стойност определена съгласно Еврокод 2. В примери **1** от [7] общата деформация от съсъхване е със средната си стойност. В примери **1-SH-U30** – общата деформация от съсъхване е увеличена с 30% от средната си стойност, определена съгласно Еврокод 2.

Характеристичните 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-постоянната комбинация. Въздействието q_k е от [2], а коефициентът ψ_2 е от [1].

Приетите възрасти на бетона за прилагане на товарите 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 тези възрасти е определен съответният им коефициент на пълзене $\phi_k(\infty, t_0)$ при влажност на околната среда $RH = 50\%$, съгласно Еврокод 2 [3] и [4], където $t = \infty$ е период от 70 години. За отчитане на реалното време на прилагане на натоварване е определен еквивалентен коефициент на пълзене $\phi_{eq} = \left[g_{1k} \phi_{k1}(\infty, t_1) + g_{2k} \phi_2(\infty, t_2) + \psi_2 q_k \phi_3(\infty, t_3) \right] / \left[g_{1k} + g_{2k} + \psi_2 q_k \right]$ според [10].

Общата деформация от съсъхване ϵ_{cs} е определена за $RH = 50\%$ и $t = \infty = 70$ години според Еврокод 2 [3] и [4].

Използваните материали са армировъчна стомана клас B500C и бетон клас C30/37 съгласно Еврокод 2 [3]. 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 [6] и [7]. След това се варира с количеството опънна (долна) армировка в полето и се проследява отражението ѝ върху провисването. Определено е влиянието на точността на общата деформация от съсъхване върху дълговременните провисвания. Проследява се влиянието на

пълзенето и съсъхването върху провисването при промяната на армировката. Определя се отношението между еластичните и реалните дълговременни провисвания при стоманобетонните плочи. Контролът на провисването е извършен и чрез отношението отвор/полезна височина (l/d) според [3].

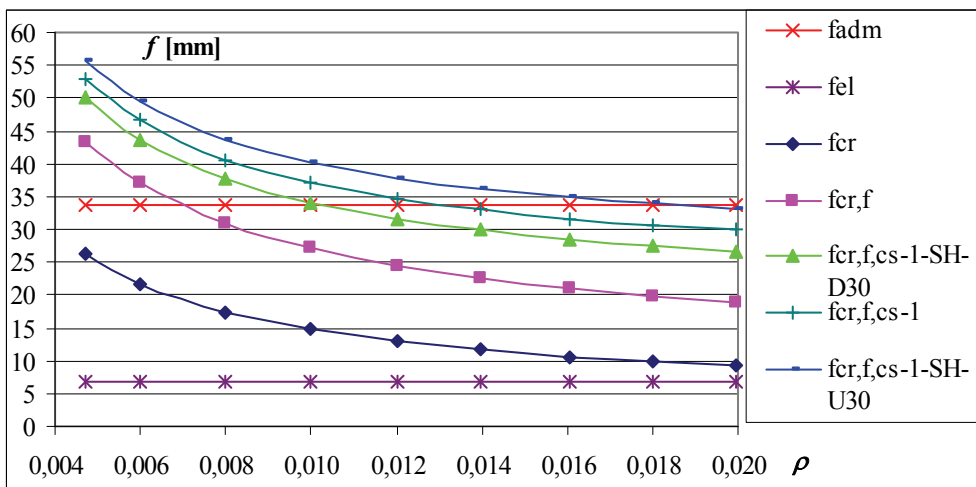
2. Резултати и анализ от числените примери

Използвани са следните означения в резултатите от числените примери и техния анализ: d е полезната височина на напречното сечение на плочата; p_{quad}/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 непрекъснатата 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} .

2.1. Резултати за серия примери E-1-L8,4-38



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

Забележки към табл. 1 ÷ 9: *Сивият ред показва ρ при изпълнено провисване.*

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

Таблица 1. Резултати от пример E-1-L8,4-38-1-SH-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	1,8720	2,814E-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	43,35	50,03	3,89	6,45	7,44	65,6	15,4
0,0060	6,72	21,69	36,96	43,57	3,23	5,50	6,48	70,4	17,9
0,0080	6,72	17,29	30,82	37,66	2,57	4,59	5,60	78,3	22,2
0,0100	6,72	14,71	27,09	34,11	2,19	4,03	5,08	84,2	25,9
0,0120	6,72	12,91	24,40	31,56	1,92	3,63	4,70	89,0	29,3
0,0140	6,72	11,65	22,53	29,85	1,73	3,35	4,44	93,4	32,5
0,0160	6,72	10,65	21,01	28,49	1,58	3,13	4,24	97,3	35,6
0,0180	6,72	9,88	19,86	27,41	1,47	2,96	4,08	101,0	38,0
0,0200	6,72	9,28	18,94	26,60	1,38	2,82	3,96	104,1	40,4

Таблица 2. Резултати от пример E-1-L8,4-38-1 от [7]

h_f [mm]	φ_{eq} (∞, t_0)	ε_{cs}	E_{cm} [MPa]	h_f [mm]	φ_{eq} (∞, t_0)	ε_{cs}	E_{cm} [MPa]
380	1,8720	4,020E-04	32837	380	1,8720	5,226E-04	32837
ρ	$f_{cr,\varphi,sh}$ [mm]	$k_{cr,\varphi,sh}$	Δ_{sh} [%]	ρ	$f_{cr,\varphi,sh}$ [mm]	$k_{cr,\varphi,sh}$	Δ_{sh} [%]
0,0047	52,83	7,86	21,9	0,0047	55,64	8,28	28,4
0,0060	46,56	6,93	26,0	0,0060	49,42	7,35	33,7
0,0080	40,60	6,04	31,7	0,0080	43,54	6,48	41,3
0,0100	37,13	5,53	37,1	0,0100	40,16	5,98	48,2
0,0120	34,63	5,15	41,9	0,0120	37,71	5,61	54,5
0,0140	32,99	4,91	46,4	0,0140	36,13	5,38	60,4
0,0160	31,70	4,72	50,9	0,0160	34,90	5,19	66,1
0,0180	30,65	4,56	54,3	0,0180	33,89	5,04	70,6
0,0200	29,89	4,45	57,8	0,0200	33,18	4,94	75,2

Таблица 3. Резултати от пример E-1-L8,4-38-1-SH-U30

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 $e_{p_{qual}}/p_{uls} = 63,59\%$;

- за изпълнение на контрола на провисването, чрез отношението l/d , за плочите от серията е необходимо опънната армировка в средата на полето да се увеличи $\Delta p_{adm} = 1,25$ пъти съгласно [7];
- в **E-1-L8,4-38-1-SH-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** при точно изчисляване на провисването увеличението на опънната армировка в средата на полето е $\Delta p_{adm} = 2,97$ пъти (вж. табл. 2 от [7]);
- в **E-1-L8,4-38-1-SH-U30** при точно изчисляване на провисването (вж. табл. 3) е необходимо увеличение на опънната армировка в средата на полето с $\Delta p_{adm} = 4,23$ пъти;
- проверката на провисванията с l/d , от [3], е неприложима за тези примери.

Анализ на примери **E-1-L8,4-38**. Влиянието на съсъхването е $\Delta_{sh} = 15,4 \div 75,2\%$, а на пълзенето е $\Delta_{\varphi} = 65,6 \div 104,1\%$. Коэффициентите за отношенията между различните провисвания се изменят както следва: $k_{cr} = 3,89 \div 1,38$, $k_{cr,\varphi} = 6,45 \div 2,82$ и $k_{cr,\varphi,sh} = 8,28 \div 3,96$. Армировката се увеличава 4,23 пъти за серия **E-1-L8,4-38**, а провисването $f_{cr,\varphi,sh}$ намалява 1,88 пъти в **E-1-L8,4-38-1-SH-D30**, 1,77 пъти в **E-1-L8,4-38-1** и 1,68 пъти в **E-1-L8,4-38-1-SH-U30**.

2.2. Резултати за серия примери E-2-L8,4-28

Таблица 4. Резултати от пример E-2-L8,4-28-1-SH-D3

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	1,9001	2,949E-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} [%]
0,00440	5,87	20,11	34,66	40,11	3,43	5,90	6,83	72,4	15,7
0,0060	5,87	17,43	30,49	35,79	2,97	5,19	6,10	74,9	17,4
0,0080	5,87	15,20	27,00	32,52	2,59	4,60	5,54	77,6	20,4
0,0100	5,87	13,66	24,71	30,23	2,33	4,21	5,15	80,9	22,3
0,0120	5,87	12,60	23,05	28,91	2,15	3,93	4,93	82,9	25,4
0,0140	5,87	11,69	21,71	27,52	1,99	3,70	4,69	85,7	26,8
0,0160	5,87	10,99	20,60	26,67	1,87	3,51	4,54	87,4	29,5
0,0180	5,87	10,44	19,78	25,82	1,78	3,37	4,40	89,5	30,5
0,0200	5,87	9,95	19,03	25,21	1,70	3,24	4,29	91,3	32,5

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 $p_{qua}/p_{uls} = 61,90\%$;
- 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 $\Delta p_{adm} = 1,19$ пъти съгласно [7];

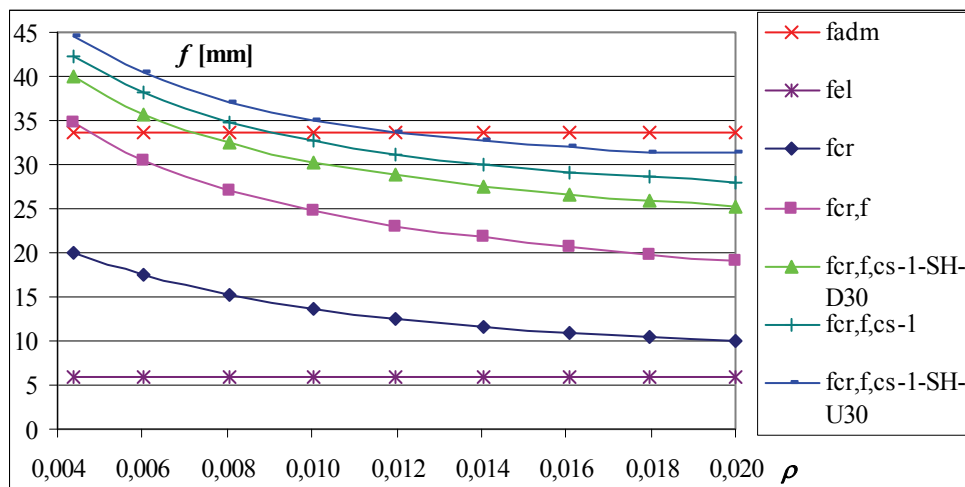
- в **E-2-L8,4-28-1-SH-D30** при точно изчисляване на провисването (вж. табл. 4) е необходимо увеличение на опънната армировка в средата на полето с $\Delta\rho_{adm} = 1,83$ пъти;
- в **E-2-L8,4-28-1** при точно изчисляване на провисването увеличението на опънната армировка в средата на полето е $\Delta\rho_{adm} = 2,29$ пъти (вж. табл. 5 от [7]);
- в **E-2-L8,4-28-1-SH-U30** при точно изчисляване на провисването (вж. табл. 6) е необходимо увеличение на опънната армировка в средата на полето с $\Delta\rho_{adm} = 3,19$ пъти;
- проверката на провисванията с l/d , от [3], е неприложима за тези примери.

Таблица 5. Резултати от пример E-2-L8,4-28-1 от [7]

ρ_{sup}	$\Phi_{eq}(\infty, t_0)$	ε_{cs}	E_{cm} [MPa]
0,00805	1,9001	4,213E-04	32837
ρ	$f_{cr,\varphi,sh}$ [mm]	$k_{cr,\varphi,sh}$	Δ_{sh} [%]
0,0044	42,30	7,21	22,0
0,0060	38,10	6,49	25,0
0,0080	34,78	5,93	28,8
0,0100	32,65	5,56	32,1
0,0120	31,17	5,31	35,2
0,0140	29,94	5,10	37,9
0,0160	29,16	4,97	41,6
0,0180	28,65	4,88	44,8
0,0200	28,04	4,78	47,3

Таблица 6. Резултати от пример E-2-L8,4-28-1-SH-U30

ρ_{sup}	$\Phi_{eq}(\infty, t_0)$	ε_{cs}	E_{cm} [MPa]
0,00805	1,9001	5,477E-04	32837
ρ	$f_{cr,\varphi,sh}$ [mm]	$k_{cr,\varphi,sh}$	Δ_{sh} [%]
0,00440	44,60	7,60	28,7
0,0060	40,42	6,89	32,6
0,0080	37,11	6,32	37,4
0,0100	35,04	5,97	41,8
0,0120	33,74	5,75	46,4
0,0140	32,66	5,56	50,4
0,0160	32,08	5,47	55,7
0,0180	31,41	5,35	58,8
0,0200	31,37	5,34	64,8



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

Анализ на примери **E-2-L8,4-28**. Влиянието на съсъхването е $\Delta_{sh} = 15,7 \div 64,8\%$, а на пълзенето е $\Delta_{\phi} = 72,4 \div 91,3\%$. Коефициентите за отношенията между различните провисвания се изменят както следва: $k_{cr} = 3,43 \div 1,70$, $k_{cr,\phi} = 5,90 \div 3,24$ и $k_{cr,\phi,sh} = 7,60 \div 4,29$. Армировката се увеличава 4,55 пъти за серия **E-2-L8,4-28**, а провисването $f_{cr,\phi,sh}$ намалява 1,59 пъти в **E-2-L8,4-28-1-SH-D30**, 1,51 пъти в **E-2-L8,4-28-1** и 1,42 пъти в **E-2-L8,4-28-1-SH-U30**.

2.3. Резултати за серия примери E-3-L8,4-22

Таблица 7. Резултати от пример E-3-L8,4-22-1-SH-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	1,9233	3,152E-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	30,24	35,32	3,27	5,87	6,86	79,5	16,8
0,0060	5,15	15,41	27,64	32,43	2,99	5,37	6,30	79,4	17,3
0,0080	5,15	14,26	25,75	30,52	2,77	5,00	5,93	80,6	18,5
0,0100	5,15	13,37	24,24	29,06	2,60	4,71	5,64	81,3	19,9
0,0120	5,15	12,70	23,06	28,08	2,47	4,48	5,45	81,6	21,8
0,0140	5,15	12,12	22,21	27,17	2,35	4,31	5,28	83,3	22,3
0,0160	5,15	11,63	21,49	26,80	2,26	4,17	5,20	84,8	24,7
0,0180	5,15	11,21	20,86	25,96	2,18	4,05	5,04	86,1	24,4
0,0200	5,15	10,85	20,31	25,42	2,11	3,94	4,94	87,2	25,2

Таблица 8. Резултати от пример E-3-L8,4-22-1 от [7]

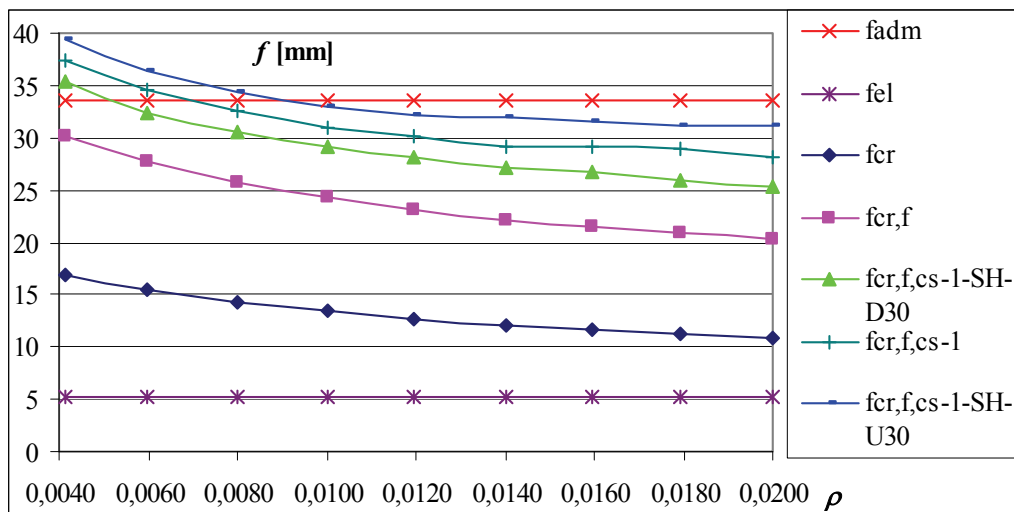
Таблица 9. Резултати от пример E-3-L8,4-22-1-SH-U30

ρ_{sup}	Φ_{eq} (∞, t_0)	ϵ_{cs}	E_{cm} [MPa]	ρ_{sup}	f_{adm} [mm]	Φ_{eq} (∞, t_0)	ϵ_{cs}	E_{cm} [MPa]
0,00873	1,9233	4,503E-04	32837	0,00873	33,6	1,9233	5,853E-04	32837
ρ	$f_{cr,\phi,sh}$ [mm]	$k_{cr,\phi,sh}$	Δ_{sh} [%]	ρ	$f_{cr,\phi,sh}$ [mm]	k_{cr}	$k_{cr,\phi,sh}$	Δ_{sh} [%]
0,00415	37,46	7,27	23,9	0,00415	39,46	3,27	7,66	30,5
0,0060	34,59	6,72	25,1	0,0060	36,47	2,99	7,08	31,9
0,0080	32,59	6,33	26,6	0,0080	34,42	2,77	6,68	33,7
0,0100	30,96	6,01	27,7	0,0100	32,94	2,60	6,40	35,9
0,0120	30,21	5,87	31,0	0,0120	32,12	2,47	6,24	39,3
0,0140	29,15	5,66	31,2	0,0140	31,96	2,35	6,21	43,9
0,0160	29,06	5,64	35,2	0,0160	31,49	2,26	6,11	46,5
0,0180	28,88	5,61	38,4	0,0180	31,25	2,18	6,07	49,8
0,0200	28,23	5,48	39,0	0,0200	31,13	2,11	6,04	53,3

Анализ на примери **E-3-L8,4-22**. Влиянието на съсъхването е $\Delta_{sh} = 16,8 \div 53,3\%$, а на пълзенето е $\Delta_{\phi} = 79,5 \div 87,2\%$. Коэффициентите за отношенията между различните провисвания се изменят както следва: $k_{cr} = 3,27 \div 2,11$, $k_{cr,\phi} = 5,87 \div 3,94$ и $k_{cr,\phi,sh} = 7,66 \div 4,94$. Армировката се увеличава 4,81 пъти за серия **E-3-L8,4-22**, а провисването $f_{cr,\phi,sh}$ намалява 1,39 пъти в **E-3-L8,4-22-1-SH-D30**, 1,33 пъти в **E-3-L8,4-22-1** и 1,27 пъти в **E-2-L8,4-22-1-SH-U30**.

Анализ и **изводи** от сравнението на директното изчисляване на провисването и контрола на провисването, чрез отношението l/d , за примери **E-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 $\Delta p_{adm} = 1,27$ пъти съгласно [7];
- в **E-3-L8,4-22-1-SH-D30** при точно изчисляване на провисването (вж. табл. 7) е необходимо увеличение на опънната армировка в средата на полето с $\Delta p_{adm} = 1,44$ пъти;
- в **E-3-L8,4-22-1** при точно изчисляване на провисването увеличението на опънната армировка в средата на полето е $\Delta p_{adm} = 1,93$ пъти – вж. табл. 8 от [7];
- в **E-3-L8,4-22-1-SH-U30** при точно изчисляване на провисването (вж. табл. 9) 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 общи деформации от съсъхване

В резултатите е използвано следното означение: $\Delta f_{cr,\varphi,sh}$ е разликата в проценти на дълговременното провисване, с отчитане на пълзенето и съсъхването, между посочените примери.

Общата деформация от съсъхване и нейната точност влияят само върху дълговременното провисване $f_{cr,\varphi,sh}$. Това е причината кратковременните провисвания след пукна-тинообразуване f_{cr} и дълговременните провисвания с отчитане само на пълзенето без съсъхването $f_{cr,\varphi}$ за всички плочи от една серия да са еднакви.

Изводи: Разликите в провисванията между примери Е-1-Л8,4-38-1 и Е-1-Л8,4-38-1-SH-D30 са $\Delta f_{cr,\varphi,sh} = -5,30 \div -11,01\%$, а между Е-1-Л8,4-38-1 и Е-1-Л8,4-38-1-SH-U30 са $\Delta f_{cr,\varphi,sh} = 5,32 \div 11,01\%$.

Изводи: Разликите в провисванията между примери Е-2-Л8,4-28-1 и Е-2-Л8,4-28-1-SH-D30 са $\Delta f_{cr,\varphi,sh} = -5,18 \div -10,09\%$, а между Е-2-Л8,4-28-1 и Е-2-Л8,4-28-1-SH-U30 са $\Delta f_{cr,\varphi,sh} = 5,44 \div 11,88\%$.

Изводи: Разликите в провисванията между примери Е-3-Л8,4-22-1 и Е-3-Л8,4-22-1-SH-D30 са $\Delta f_{cr,\varphi,sh} = -5,71 \div -10,11\%$, а между Е-3-Л8,4-22-1 и Е-3-Л8,4-22-1-SH-U30 са $\Delta f_{cr,\varphi,sh} = 5,34 \div 10,27\%$.

Забележки за таблици 10 ÷ 15: Процентните разлики са определени спрямо примерите, завършващи с цифра 1, т.е. тези при които общата деформация от съсъхване 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. При положителна стойност на процентната разлика е обратното.

Таблица 10. Процентни разлики между примери Е-1-Л8,4-38-1 и Е-1-Л8,4-38-1-SH-D30		Таблица 11. Процентни разлики между примери Е-1-Л8,4-38-1 и Е-1-Л8,4-38-1-SH-U30		Таблица 12. Процентни разлики между примери Е-2-Л8,4-28-1 и Е-2-Л8,4-28-1-SH-D30		Таблица 13. Процентни разлики между примери Е-2-Л8,4-28-1 и Е-2-Л8,4-28-1-SH-U30		Таблица 14. Процентни разлики между примери Е-3-Л8,4-22-1 и Е-3-Л8,4-22-1-SH-D30		Таблица 15. Процентни разлики между примери Е-3-Л8,4-22-1 и Е-3-Л8,4-22-1-SH-U30	
ρ	$\Delta f_{cr,\varphi,sh}$ [%]	$\Delta f_{cr,\varphi,sh}$ [%]	ρ	$\Delta f_{cr,\varphi,sh}$ [%]	$\Delta f_{cr,\varphi,sh}$ [%]	ρ	$\Delta f_{cr,\varphi,sh}$ [%]	$\Delta f_{cr,\varphi,sh}$ [%]	ρ	$\Delta f_{cr,\varphi,sh}$ [%]	$\Delta f_{cr,\varphi,sh}$ [%]
0,0047	-5,30	5,32	0,0044	-5,18	5,44	0,00415	-5,71	5,34			
0,0060	-6,42	6,14	0,0060	-6,06	6,09	0,0060	-6,24	5,44			
0,0080	-7,24	7,24	0,0080	-6,50	6,70	0,0080	-6,35	5,62			
0,0100	-8,13	8,16	0,0100	-7,41	7,32	0,0100	-6,14	6,40			
0,0120	-8,87	8,89	0,0120	-7,25	8,25	0,0120	-7,05	6,32			
0,0140	-9,52	9,52	0,0140	-8,08	9,08	0,0140	-6,79	9,64			
0,0160	-10,13	10,09	0,0160	-8,54	10,01	0,0160	-7,78	8,36			
0,0180	-10,57	10,57	0,0180	-9,88	9,63	0,0179	-10,11	8,21			
0,0200	-11,01	11,01	0,0200	-10,09	11,88	0,0200	-9,95	10,27			

4. Заключение

Изводите за провисванията на еднопосочно армираните плочи са дадени в т. 2. Изводите за влиянието на точността на общата деформация от съсъхване върху провисванията на разгледаните еднопосочно армирани плочи са дадени в т. 3.

Заключенията от числените примери:

- с увеличаване на ε_{cs} , за всяка серия от плочи, се увеличават: необходимата армировка за контрол на провисванията, провисването $f_{cr,\varphi,sh}$, коефициентът $k_{cr,\varphi,sh}$ и влиянието на съсъхването Δ_{sh} върху провисването;
- във всички 9 разгледани примера контролът на провисванията, чрез отношението отвор/полезна височина l/d , е неприложим. Съгласно него се изисква значително по-малко количество армировка за изпълнение на проверката на провисване от това при директното му изчисляване. Отношението l/d не отчита точността на общата деформация от съсъхване. Необходими са допълнителни изследвания за приложимостта на метода l/d ;
- в пример **E-1-L8,4-38-1-SH-D30** проверката на провисване е изпълнена при $\rho = 0,012$ (табл. 1), в **E-1-L8,4-38-1** е изпълнена при $\rho = 0,014$ (табл. 2 от [7]), а в **E-1-L8,4-38-1-SH-U30** при $\rho = 0,020$ (табл. 3). Следователно при промяна на ε_{cs} с -30%, ρ се променя с -14,29%, а при промяна на ε_{cs} с +30%, ρ се променя с +42,86%;
- в пример **E-2-L8,4-28-1-SH-D30** проверката на провисване е изпълнена при $\rho = 0,008$ (табл. 4), в **E-2-L8,4-28-1** е изпълнена при $\rho = 0,010$ (табл. 5 от [7]), а в **E-2-L8,4-28-1-SH-U30** при $\rho = 0,014$ (табл. 6). Следователно при промяна на ε_{cs} с -30%, ρ се променя с -20%, а при промяна на ε_{cs} с +30%, ρ се променя с +40%;
- в пример **E-3-L8,4-22-1-SH-D30** проверката на провисване е изпълнена при $\rho = 0,006$ (табл. 7), в **E-3-L8,4-22-1** е изпълнена при $\rho = 0,008$ (табл. 8 от [7]), а в **E-3-L8,4-22-1-SH-U30** при $\rho = 0,010$ (табл. 9). Следователно при промяна на ε_{cs} с -30%, ρ се променя с -25%, а при промяна на ε_{cs} с +30%, ρ се променя с +25%;
- за серия плочи **E-1-L8,4-38** с увеличаване на ρ , се увеличава разликата $\Delta f_{cr,\varphi,sh}$.

Стойностите на всички коментирани по-горе провисвания, коефициенти и процентни разлики са дадени в таблици 1 ÷ 15 в 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.* 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. УАСГ, 2012. ISBN 978-954-724-049-0.
7. *Георгиев, Евг.* Провисване на стоманобетонни плочи. Дисертация за присъждане на образователната и научна степен „доктор“. София, 2014.
8. *CEB-FIP*. Model Code 1990, Design Code. Comite euro-International du beton. Thomas Telford, 1998.
9. *CEB-FIP-bulletin 65*. Model Code 2010, Final draft. Volume 1, March 2012.
10. Eurocode 2 – Commentary. European Concrete platform ASBL, June 2008.

THE INFLUENCE OF ACCURACY OF TOTAL SHRINKAGE STRAIN 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 have been presented. The static schemes of slabs are simple supported slabs, one-end fixed slabs and two-end fixed slabs. The effective span of slabs is 8.4 m. Deflection control is made with the general method and the simplified method (l/d) according to BDS EN 1992-1-1. The adopted accuracy of total shrinkage strain from mean value of total shrinkage strain determined according to Annex B of BDS EN 1992-1-1 is $\pm 30\%$. The influences of the accuracy of total shrinkage strain, rheological processes shrinkage and creep of concrete 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. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: evgeni_georgiev_fce@abv.bg

