

ГОДИШНИК НА УНИВЕРСИТЕТА ПО АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛСТВО И ГЕОДЕЗИЯ – СОФИЯ

Първа научно-приложна конференция с международно участие
„СТОМАНОБЕТОННИ И ЗИДАНИ КОНСТРУКЦИИ – ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА“

22 – 23 октомври 2015

22 – 23 October 2015

First Scientific-Applied Conference with International Participation

“REINFORCED CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES – THEORY AND PRACTICE”

ANNUAL OF THE UNIVERSITY OF ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING AND GEODESY – SOFIA

48 ^{ТОМ}
vol.

2015

св. 12 – I
fasc.

ВЛИЯНИЕ НА СТОЙНОСТТА НА ВРЕМЕННИТЕ ВЪЗДЕЙСТВИЯ ВЪРХУ ПРОВИСВАНЕТО НА ЕДНОПОСОЧНО АРМИРАНИ СТОМАНОБЕТОННИ ПЛОЧИ СЪГЛАСНО ЕВРОКОД 2

Е. Георгиев¹

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

Научна област: стоманобетон и стоманобетонни конструкции

РЕЗЮМЕ

Представени са резултатите от числени изследвания на провисването на еднопосочно армирани стоманобетонни плочи съгласно БДС EN1992-1-1. Разгледаните плочи са с отвор 8,4 m. Статическите схеми са ставно подпряна плоча, едностранно запъната плоча и двустранно запъната плоча. Приетите кратковременни характеристични въздействия са $q_k = 3,0 \text{ kN/m}^2$, $5,0 \text{ kN/m}^2$ и $7,5 \text{ kN/m}^2$. Коефициентите ψ_2 , съответстващи на q_k , са $\psi_2 = 0,3$, $\psi_2 = 0,6$ и $\psi_2 = 0,6$. Провисването е контролирано съгласно директния метод и опростения метод (l/d) на БДС EN1992-1-1. Анализирани са влиянията на стойностите на приложените временни въздействия, на дълговременните ефекти съсъхване и пълзене на бетона и количеството вложена армировка върху провисванията на изследваните плочи.

1. Въведение

Разгледани са числени примери на еднопосочно армирани плочи със следните статически схеми: 1 – ставно подпряна плоча, 2 – едностранно запъната плоча и 3 –

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

двустранно запъната плоча. Изчислителният отвор на плочите е $L = 8,4$ m и дебелините им h_f е както следва: статическа схема 1 – $h_f = 38$ cm, статическа схема 2 – $h_f = 28$ cm и статическа схема 3 – $h_f = 22$ cm.

За всички плочи са използвани следните характеристични въздействия: g_{1k} е характеристичното собствено тегло на конструкцията, $g_{2k} = 3,00$ kN/m² е останалата част от характеристичните постоянни въздействия, q_k е временното характеристично въздействие, а ψ_2 е коефициентът, отчитащ частта от временното въздействие, участващо в квазипостоянна комбинацията.

Еднопосочно армираните плочи са означени с **E-1-L8,4-38**, което означава: **E** е еднопосочно армирана плоча, **1** съответства на статическа схема, **L** е изчислителен отвор, а **8,4** е самият отвор в метри, **38** е дебелината на плочата в cm. За разграничаване на отделните параметри, които се променят в числените примери, към означението, описано по-горе, след дебелината на плочата са добавени цифра **1** или **1-Q3(Q7,5)**. В примерите със завършек **1-Q3** – $q_k = 3,00$ kN/m², а $\psi_2 = 0,3$. В примерите със завършек **1** от [6] – $q_k = 5,00$ kN/m², а $\psi_2 = 0,6$. В примерите със завършек – **1-Q7,5** – $q_k = 7,50$ kN/m², а $\psi_2 = 0,6$. Въздействията q_k са според [2], а коефициентите ψ_2 са според [1].

За всички плочи са приети следните възрасти на бетона, на които се прилагат въздействията: 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 $\varphi(\infty, t_0)$ при влажност на околната среда $RH = 50\%$ съгласно Еврокод 2 [3] и [4], където за $t = \infty$ се приема 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 [9] $\varphi_{eq} = [g_{1k}\varphi_1(\infty, t_1) + g_{2k}\varphi_2(\infty, t_2) + \psi_2 q_k \varphi_3(\infty, t_3)] / [g_{1k} + g_{2k} + \psi_2 q_k]$.

Общата деформация от съсъхване ε_{cs} се определя при влажност на околната среда $RH = 50\%$ съгласно Еврокод 2 [3] и [4], където за $t = \infty$ се приема период от 70 години, т.е. 25 550 дни. Подробности за определяне на $\varphi(\infty, t_0)$ и ε_{cs} в [7] и [8].

Използваните материали за числените примери са съгласно Еврокод 2 [3], т.е. за всички плочи е използвана армировъчна стомана клас B500C и бетон клас C30/37. Оразмеряването на армировката за крайно гранично състояние е според Еврокод 2 [3].

Първоначално е извършено оразмеряване на армировката за крайно гранично състояние (ULS). С тази армировка е определено провисването с директното му изчисляване според [3] и подробно разгледано в [5] и [6]. 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. Определя се отношението между еластичните и реалните дълговременни провисвания при стоманобетонни плочи. Определено е влиянието на кратковременните въздействия q_k и на коефициента ψ_2 . Контролът на провисването е извършен и без директното му изчисляване, т.е. чрез отношението отвор/полезна височина (l/d) съгласно [3].

2. Резултати и анализ от числените примери на еднопосочно армирани плочи

В резултатите от числените примери и техния анализ, които са представени в табличен вид, са използвани следните допълнителни означения: d е полезната височина на напречното сечение на плочата; p_{qua}/p_{uls} е отношението в проценти на въздействието от квазипостоянната 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.

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

В резултатите, на базата на така определените провисвания, са изчислени и представени следните коефициенти: k_{cr} показва колко пъти е разликата между кратковременното провисване след пукнатинообразуване и кратковременното еластично провисване, $k_{cr,\phi}$ показва колко пъти е разликата между дълговременното провисване, с отчитане само на пълзенето и кратковременното еластично провисване и $k_{cr,\phi,sh}$ показва колко пъти е разликата между дълговременното провисване, с отчитане на пълзенето и съсъхването и кратковременното еластично провисване. Промяната в коравината на елемента се оценява с коефициентите k_{cr} , $k_{cr,\phi}$ и $k_{cr,\phi,sh}$. Влиянието на пълзенето в проценти върху провисването е Δ_{ϕ} , а влиянието на съсъхването в проценти върху провисването е Δ_{sh} .

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

Таблица 1. Резултати от числен пример E-1-L8,4-38-1-Q3 с вариране на опънната армировка в полето и без горна армировка в полето

	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	1,9761	4,020E-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} [%]
0,0041	5,81	21,54	39,52	48,02	3,71	6,80	8,27	83,5	21,5
0,0060	5,81	16,09	30,98	39,94	2,77	5,33	6,87	92,5	28,9
0,0080	5,81	12,94	25,96	35,08	2,23	4,47	6,04	100,6	35,1
0,0100	5,81	11,09	22,97	32,41	1,91	3,95	5,58	107,1	41,1
0,0120	5,81	9,80	20,80	30,44	1,69	3,58	5,24	112,2	46,3
0,0140	5,81	8,91	19,30	29,20	1,53	3,32	5,03	116,6	51,3
0,0160	5,81	8,18	18,05	28,12	1,41	3,11	4,84	120,7	55,8
0,0180	5,81	7,65	17,13	27,41	1,32	2,95	4,72	123,9	60,0
0,0200	5,81	7,23	16,35	26,75	1,24	2,81	4,60	126,1	63,6

Анализ на примери E-1-L8,4-38. Влиянието на съсъхването е $\Delta_{sh} = 21,5 \div 63,6\%$, а на пълзенето е $\Delta_{\phi} = 58,2 \div 126,1\%$. Коефициентите за отношенията между различните провисвания се изменят както следва: $k_{cr} = 3,71 \div 1,24$, $k_{cr,\phi} = 6,80 \div 2,81$ и $k_{cr,\phi,sh} = 8,27 \div 4,60$.

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:

– в пример E-1-L8,4-38-1-Q3 отношение на товарите е $p_{qua}/p_{uls} = 62,69\%$. За изпълнение на проверката на провисване без изчисление е необходимо опънната арми-

ровка в средата на полето да се увеличи $\Delta p_{adm} = 1,05$ пъти, а при директното изчисляване на провисването съгласно табл. 1 увеличението е $\Delta p_{adm} = 2,44$ пъти;

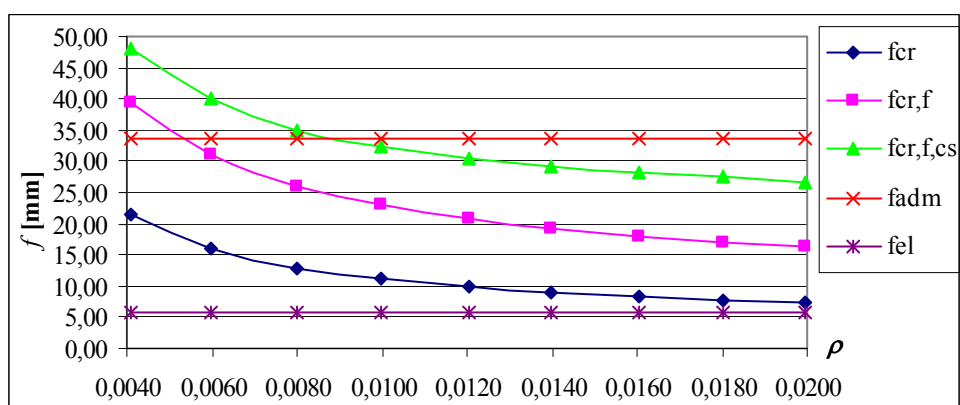
– в пример **E-1-L8,4-38-1** от [6] отношение на товарите е $p_{qual}/p_{uls} = 63,59\%$. За изпълнение на проверката на провисване без изчисление е необходимо опънната армировка в средата на полето да се увеличи $\Delta p_{adm} = 1,25$ пъти, а при директното изчисляване на провисването съгласно табл. 2 увеличението е $\Delta p_{adm} = 2,97$ пъти;

– в пример **E-1-L8,4-38-1-Q7,5** отношение на товарите е $p_{qual}/p_{uls} = 60,43\%$. За изпълнение на проверката на провисване без изчисление е необходимо опънната армировка в средата на полето да се увеличи $\Delta p_{adm} = 1,34$ пъти, а при директното изчисляване на провисването съгласно табл. 3 увеличението е $\Delta p_{adm} = 3,28$ пъти;

– проверката на провисванията с l/d от [3] е неприложима за тези примери.

Таблица 2. Резултати от числен пример E-1-L8,4-38-1 с вариране на опънната армировка в полето и без горна армировка в полето от [6]

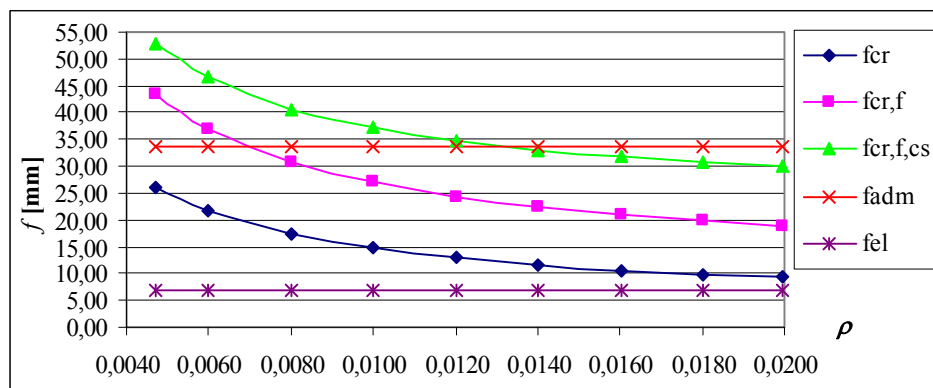
	h_f [mm]	d [mm]	g_{1k} [kN/m ²]	f_{adm} [mm]	φ_{eq} (∞, t_0)	ε_{cs}	E_{cm} [MPa]		
	380	332,5	9,50	33,6	1,8720	4,020E-04	32837		
ρ	f_{el} [mm]	f_{cr} [mm]	$f_{cr,\varphi}$ [mm]	$f_{cr,\varphi,sh}$ [mm]	k_{cr}	$k_{cr,\varphi}$	$k_{cr,\varphi,sh}$	Δ_φ [%]	Δ_{sh} [%]
0,0047	6,72	26,17	43,35	52,83	3,89	6,45	7,86	65,6	21,9
0,0060	6,72	21,69	36,96	46,56	3,23	5,50	6,93	70,4	26,0
0,0080	6,72	17,29	30,82	40,60	2,57	4,59	6,04	78,3	31,7
0,0100	6,72	14,71	27,09	37,13	2,19	4,03	5,53	84,2	37,1
0,0120	6,72	12,91	24,40	34,63	1,92	3,63	5,15	89,0	41,9
0,0140	6,72	11,65	22,53	32,99	1,73	3,35	4,91	93,4	46,4
0,0160	6,72	10,65	21,01	31,70	1,58	3,13	4,72	97,3	50,9
0,0180	6,72	9,88	19,86	30,65	1,47	2,96	4,56	101,0	54,3
0,0200	6,72	9,28	18,94	29,89	1,38	2,82	4,45	104,1	57,8



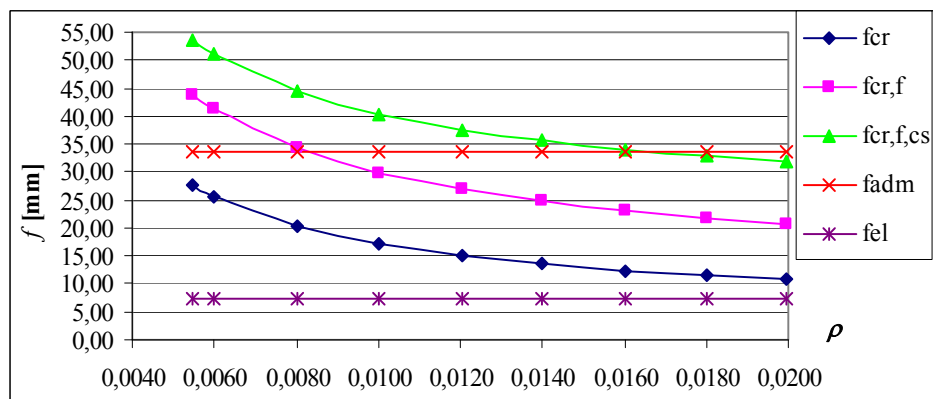
Фиг. 1. Провисванията – функция на коефициента на армиране в пример E-1-L8,4-38-1-Q3

Таблица 3. Резултати от числен пример Е-1-Л8,4-38-1-Q7,5 с вариране на опънатата армировка в полето и без горна армировка в полето

	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	1,8133	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} [%]
0,0055	7,37	27,60	43,65	53,58	3,74	5,92	7,27	58,2	22,7
0,0060	7,37	25,58	41,26	51,26	3,47	5,60	6,96	61,3	24,2
0,0080	7,37	20,38	34,25	44,39	2,77	4,65	6,02	68,1	29,6
0,0100	7,37	17,23	29,94	40,28	2,34	4,06	5,47	73,8	34,5
0,0120	7,37	15,08	26,95	37,52	2,05	3,66	5,09	78,7	39,2
0,0140	7,37	13,57	24,83	35,60	1,84	3,37	4,83	83,0	43,4
0,0160	7,37	12,38	23,10	34,01	1,68	3,13	4,61	86,6	47,2
0,0180	7,37	11,48	21,81	32,89	1,56	2,96	4,46	90,0	50,8
0,0200	7,37	10,73	20,77	32,00	1,46	2,82	4,34	93,6	54,1



Фиг. 2. Провисванията – функция на коефициента на армиране в пример Е-1-Л8,4-38-1 от [6]



Фиг. 3. Провисванията – функция на коефициента на армиране в пример Е-1-Л8,4-38-1-Q7,5

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

Таблица 4. Резултати от числен пример E-2-L8,4-28-1-Q3 с вариране на опънната армировка в полето и без горна армировка в полето

ρ_{sup}	h_f [mm]	d [mm]	g_{1k} [kN/m ²]	f_{adm} [mm]	φ_{eq} (∞, t_0)	ε_{cs}	E_{cm} [MPa]		
0,00689	280	240,0	7,00	33,6	2,0233	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} [%]
0,00372	4,92	15,38	30,28	37,07	3,13	6,15	7,53	96,9	22,4
0,004	4,92	14,90	29,40	36,15	3,03	5,98	7,35	97,3	23,0
0,006	4,92	12,49	25,07	31,81	2,54	5,10	6,47	100,7	26,9
0,008	4,92	10,95	22,40	29,23	2,23	4,55	5,94	104,6	30,5
0,010	4,92	9,93	20,64	27,73	2,02	4,20	5,64	107,9	34,4
0,012	4,92	9,20	19,30	26,61	1,87	3,92	5,41	109,8	37,9
0,014	4,92	8,58	18,25	25,97	1,74	3,71	5,28	112,7	42,3
0,016	4,92	8,11	17,41	25,48	1,65	3,54	5,18	114,7	46,4
0,018	4,92	7,74	16,77	25,14	1,57	3,41	5,11	116,7	49,9
0,020	4,92	7,41	16,10	24,65	1,51	3,27	5,01	117,3	53,1

Таблица 5. Резултати от числен пример E-2-L8,4-28-1 с вариране на опънната армировка в полето и без горна армировка в полето от [6]

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	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} [%]
0,00440	5,87	20,11	34,66	42,30	3,43	5,90	7,21	72,4	22,0
0,006	5,87	17,43	30,49	38,10	2,97	5,19	6,49	74,9	25,0
0,008	5,87	15,20	27,00	34,78	2,59	4,60	5,93	77,6	28,8
0,010	5,87	13,66	24,71	32,65	2,33	4,21	5,56	80,9	32,1
0,012	5,87	12,60	23,05	31,17	2,15	3,93	5,31	82,9	35,2
0,014	5,87	11,69	21,71	29,94	1,99	3,70	5,10	85,7	37,9
0,016	5,87	10,99	20,60	29,16	1,87	3,51	4,97	87,4	41,6
0,018	5,87	10,44	19,78	28,65	1,78	3,37	4,88	89,5	44,8
0,020	5,87	9,95	19,03	28,04	1,70	3,24	4,78	91,3	47,3

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**:

– в пример **E-2-L8,4-28-1-Q3** отношение на товарите е $p_{qual}/p_{uls} = 60,56\%$. Проверката на провисване без изчисление е изпълнена с опънната армировка в средата на полето, изчислена за ULS, а при директното изчисляване на провисването съгласно табл. 4 е необходимо увеличение от $\Delta p_{adm} = 1,62$ пъти;

– в пример **E-2-L8,4-28-1** от [6] отношение на товарите е $p_{qual}/p_{uls} = 61,90\%$. За изпълнение на проверката на провисване без изчисление е необходимо опънната армировка в средата на полето да се увеличи $\Delta p_{adm} = 1,19$ пъти, а при директното изчисляване на провисването съгласно табл. 5 увеличението е $\Delta p_{adm} = 2,29$ пъти;

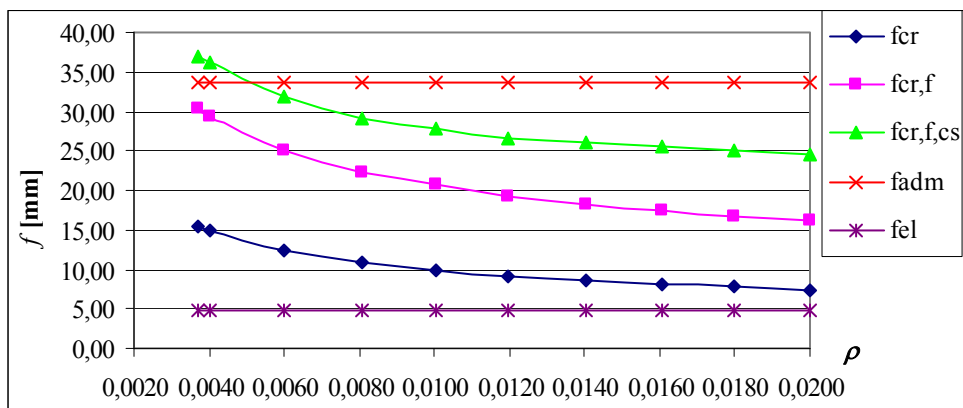
– в пример **E-2-L8,4-28-1-Q7,5** отношение на товарите е $p_{qual}/p_{uls} = 58,59\%$. За изпълнение на проверката на провисване без изчисление е необходимо опънната армировка в средата на полето да се увеличи $\Delta p_{adm} = 1,34$ пъти, а при директното изчисляване на провисването съгласно табл. 6 увеличението е $\Delta p_{adm} = 2,31$ пъти.

Следователно проверката на провисванията с l/d съгласно [3] е неприложима за примери **E-2-L8,4-28-1-Q3**, **E-2-L8,4-28-1** и **E-2-L8,4-28-1-Q7,5**.

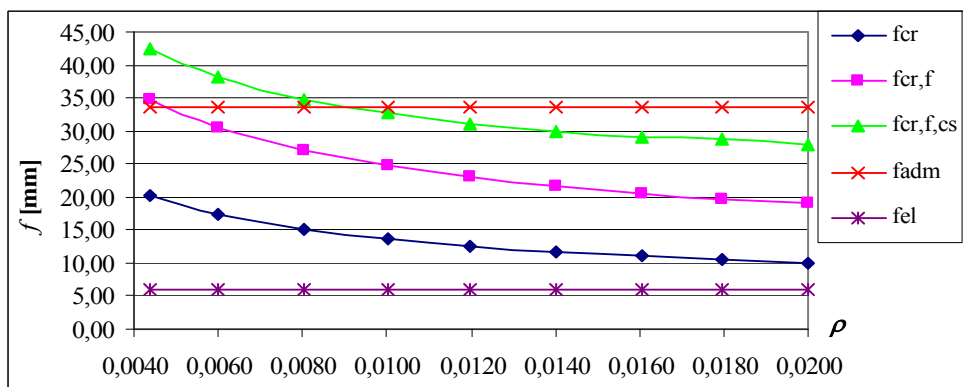
Анализ на примери **E-2-L8,4-28**. Влиянието на съсъхването е $\Delta_{sh} = 22,0 \div 53,1\%$, а на пълзенето е $\Delta_{\phi} = 64,4 \div 117,3\%$. Коэффициентите за отношенията между различните провисвания се изменят както следва: $k_{cr} = 3,43 \div 1,70$, $k_{cr,\phi} = 6,15 \div 3,13$ и $k_{cr,\phi,sh} = 7,53 \div 4,53$.

Таблица 6. Резултати от числен пример E-2-L8,4-28-1-Q7,5 с вариране на опънната армировка в полето и без горна армировка в полето

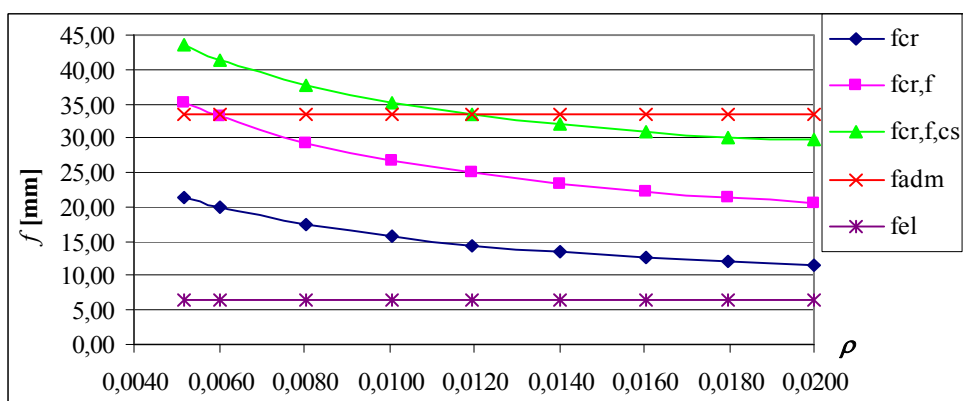
ρ_{sup}	h_f [mm]	d [mm]	g_{1k} [kN/m ²]	f_{adm} [mm]	ϕ_{eq} (∞, t_0)	ε_{cs}	E_{cm} [MPa]		
0,00980	280	240,0	7,00	33,6	1,8340	4,213E-04	32837		
ρ	f_{el} [mm]	f_{cr} [mm]	$f_{cr,\phi}$ [mm]	$f_{cr,\phi,sh}$ [mm]	k_{cr}	$k_{cr,\phi}$	$k_{cr,\phi,sh}$	Δ_{ϕ} [%]	Δ_{sh} [%]
0,00518	6,55	21,46	35,27	43,49	3,28	5,38	6,64	64,4	23,3
0,006	6,55	20,03	33,08	41,42	3,06	5,05	6,32	65,2	25,2
0,008	6,55	17,48	29,34	37,57	2,67	4,48	5,74	67,8	28,1
0,010	6,55	15,71	26,80	35,11	2,40	4,09	5,36	70,6	31,0
0,012	6,55	14,47	25,01	33,34	2,21	3,82	5,09	72,8	33,3
0,014	6,55	13,43	23,46	32,00	2,05	3,58	4,89	74,7	36,4
0,016	6,55	12,61	22,28	31,02	1,93	3,40	4,74	76,7	39,2
0,018	6,55	11,98	21,38	30,20	1,83	3,26	4,61	78,5	41,3
0,020	6,55	11,40	20,51	29,70	1,74	3,13	4,53	79,9	44,8



Фиг. 4. Провисванията – функция на коефициента на армиране в пример E-2-L8,4-28-1-Q3

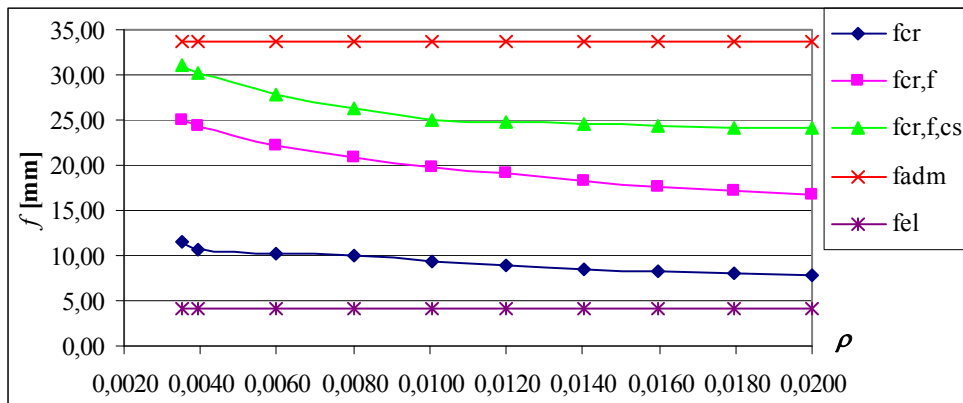


Фиг. 5. Провисванията – функция на коефициента на армиране в пример E-2-L8,4-28-1 от [6]

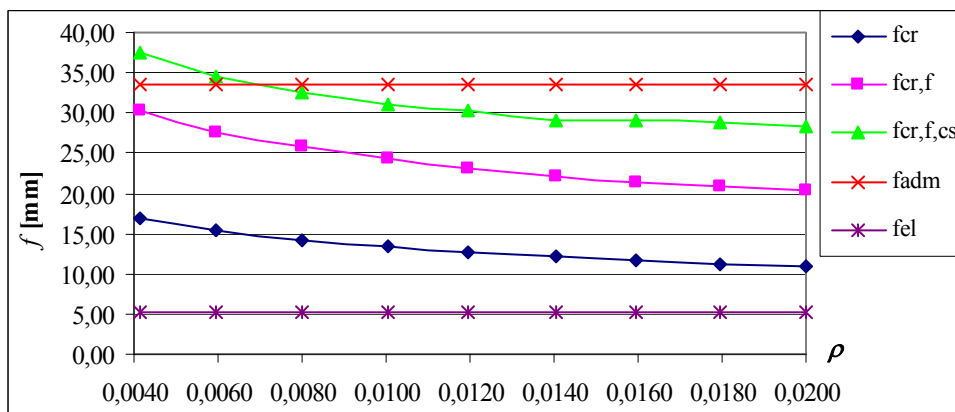


Фиг. 6. Провисванията – функция на коефициента на армиране в E-2-L8,4-28-1-Q7,5

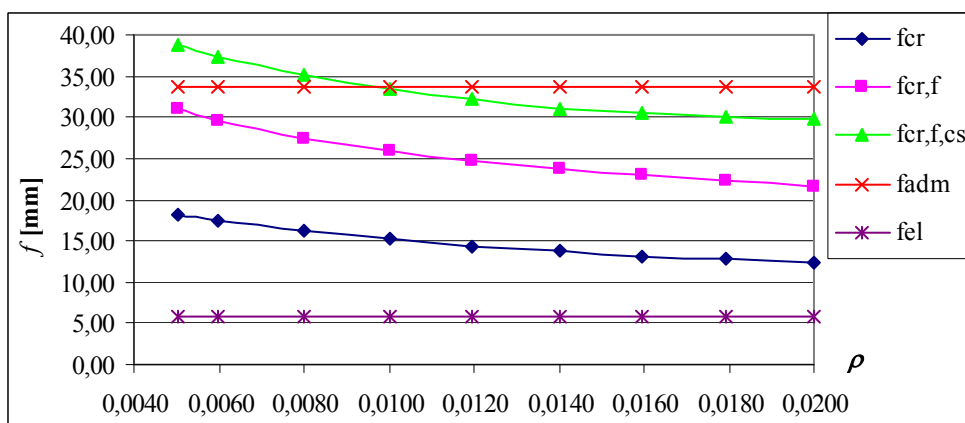
2.3. Числени примери серия E-3-L8,4-22



Фиг. 7. Провисванията – функция на коефициента на армиране в пример E-3-L8,4-22-1-Q3



Фиг. 8. Провисванията – функция на коефициента на армиране в пример E-3-L8,4-22-1 от [6]



Фиг. 9. Провисванията – функция на коефициента на армиране в пример E-3-L8,4-22-1-Q7,5

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**:

– в пример **E-3-L8,4-22-1-Q3** отношение на товарите е $p_{quad}/p_{uls} = 58,84\%$. Проверката на провисване чрез l/d и при директното изчисляване на провисването, табл. 7, е изпълнена с опънната армировка в средата на полето, изчислена за ULS;

– в пример **E-3-L8,4-22-1** от [6] отношение на товарите е $p_{quad}/p_{uls} = 60,61\%$. За изпълнение на проверката на провисване без изчисление е необходимо опънната армировка в средата на полето да се увеличи $\Delta p_{adm} = 1,27$ пъти, а при директното изчисляване на провисването съгласно табл. 8 увеличението е $\Delta p_{adm} = 1,93$ пъти;

– в пример **E-3-L8,4-22-1-Q7,5** отношение на товарите е $p_{quad}/p_{uls} = 57,21\%$. За изпълнение на проверката на провисване без изчисление е необходимо опънната армировка в средата на полето да се увеличи $\Delta p_{adm} = 1,46$ пъти, а при директното изчисляване на провисването съгласно табл. 9 увеличението е $\Delta p_{adm} = 2,00$ пъти.

Следователно проверката на провисванията с l/d съгласно [3] е приложима само за пример **E-3-L8,4-22-1-Q3**, а за примери **E-3-L8,4-22-1** и **E-3-L8,4-22-1-Q7,5** е неприложима.

Таблица 7. Резултати от числен пример E-3-L8,4-22-1-Q3 с вариране на опънната армировка в полето и без горна армировка в полето

ρ_{sup}	h_f [mm]	d [mm]	g_{1k} [kN/m ²]	f_{adm} [mm]	φ_{eq} (∞, t_0)	ε_{CS}	E_{cm} [MPa]		
0,00731	220	180,0	5,50	33,6	2,0612	4,503E-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} [%]
0,00351	4,21	11,58	25,10	31,04	2,75	5,96	7,37	116,8	23,7
0,004	4,21	10,65	24,43	30,21	2,53	5,80	7,18	129,4	23,7
0,006	4,21	10,28	22,27	27,74	2,44	5,29	6,59	116,6	24,6
0,008	4,21	9,97	20,96	26,29	2,37	4,98	6,24	110,2	25,4
0,010	4,21	9,39	19,88	25,02	2,23	4,72	5,94	111,7	25,9
0,012	4,21	8,95	19,07	24,85	2,13	4,53	5,90	113,1	30,3
0,014	4,21	8,54	18,19	24,48	2,03	4,32	5,81	113,0	34,6
0,016	4,21	8,25	17,66	24,34	1,96	4,19	5,78	114,1	37,8
0,018	4,21	7,99	17,20	24,20	1,90	4,09	5,75	115,3	40,7
0,020	4,21	7,76	16,78	24,10	1,84	3,99	5,72	116,2	43,6

Таблица 8. Резултати от числен пример Е-3-Л8,4-22-1 с вариране на опънатата армировка в полето и без горна армировка в полето от [6]

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	4,503E-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} [%]
0,00415	5,15	16,85	30,24	37,46	3,27	5,87	7,27	79,5	23,9
0,006	5,15	15,41	27,64	34,59	2,99	5,37	6,72	79,4	25,1
0,008	5,15	14,26	25,75	32,59	2,77	5,00	6,33	80,6	26,6
0,010	5,15	13,37	24,24	30,96	2,60	4,71	6,01	81,3	27,7
0,012	5,15	12,70	23,06	30,21	2,47	4,48	5,87	81,6	31,0
0,014	5,15	12,12	22,21	29,15	2,35	4,31	5,66	83,3	31,2
0,016	5,15	11,63	21,49	29,06	2,26	4,17	5,64	84,8	35,2
0,018	5,15	11,21	20,86	28,88	2,18	4,05	5,61	86,1	38,4
0,020	5,15	10,85	20,31	28,23	2,11	3,94	5,48	87,2	39,0

Забележка за табл. 1 ÷ 9: *Сивият ред показва ρ при изпълнено провисване.*

Анализ на примери Е-3-Л8,4-22. Влиянието на съсъхването е $\Delta_{sh} = 23,7 \div 43,6\%$, а на пълзенето е $\Delta_\varphi = 70,2 \div 116,8\%$. Коэффициентите за отношенията между различните провисвания се изменят както следва: $k_{cr} = 3,27 \div 1,84$, $k_{cr,\varphi} = 5,96 \div 3,72$ и $k_{cr,\varphi,sh} = 7,37 \div 5,12$.

Таблица 9. Резултати от числен пример Е-3-Л8,4-22-1-Q7,5 с вариране на опънатата армировка в полето и без горна армировка в полето

ρ_{sup}	h_f [mm]	d [mm]	g_{1k} [kN/m ²]	f_{adm} [mm]	φ_{eq} (∞, t_0)	ε_{cs}	E_{cm} [MPa]		
0,01073	220	180,0	5,50	33,6	1,8521	4,503E-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} [%]
0,00503	5,82	18,21	31,00	38,77	3,13	5,33	6,66	70,2	25,1
0,006	5,82	17,45	29,66	37,39	3,00	5,10	6,42	70,0	26,1
0,008	5,82	16,16	27,50	35,07	2,78	4,73	6,03	70,2	27,5
0,010	5,82	15,18	25,99	33,39	2,61	4,47	5,74	71,2	28,5
0,012	5,82	14,38	24,68	32,16	2,47	4,24	5,53	71,6	30,3
0,014	5,82	13,73	23,68	31,00	2,36	4,07	5,33	72,5	30,9
0,016	5,82	13,21	22,93	30,62	2,27	3,94	5,26	73,6	33,5
0,018	5,82	12,75	22,24	30,00	2,19	3,82	5,15	74,4	34,9
0,020	5,82	12,33	21,63	29,79	2,12	3,72	5,12	75,4	37,7

3. Сравнение на провисванията на различните временни товари

В таблиците с резултати са използвани следните означения: Δf_{cr} е разликата в проценти на кратковременното провисване след пукнатинообразуване на посочените примери; $\Delta f_{cr,\varphi}$ е разликата в проценти на дълговременното провисване с отчитане само на пълзенето без съсъхването на посочените примери; $\Delta f_{cr,\varphi,sh}$ е разликата в проценти на дълговременното провисване с отчитане на пълзенето и съсъхването на посочените примери.

3.1. Сравнение на числени примери серия E-1-L8,4-38

Таблица 10. Процентни разлики в провисването между примери E-1-L8,4-38-1-Q3 и E-1-L8,4-38-1

ρ	Δf_{cr} [%]	$\Delta f_{cr,\varphi}$ [%]	$\Delta f_{cr,\varphi,sh}$ [%]
ULS	21,49	9,69	10,02
0,0060	34,80	19,30	16,57
0,0080	33,62	18,72	15,74
0,0100	32,64	17,94	14,56
0,0120	31,73	17,31	13,76
0,0140	30,75	16,74	12,98
0,0160	30,20	16,40	12,73
0,0180	29,15	15,94	11,82
0,0200	28,35	15,84	11,74

Таблица 11. Процентни разлики в провисването между примери E-1-L8,4-38-1-Q3 и E-1-L8,4-38-1-Q7,5

Δf_{cr} [%]	$\Delta f_{cr,\varphi}$ [%]	$\Delta f_{cr,\varphi,sh}$ [%]
28,13	10,45	11,58
58,98	33,18	28,34
57,50	31,93	26,54
55,37	30,34	24,28
53,88	29,57	23,26
52,30	28,65	21,92
51,34	27,98	20,95
50,07	27,32	19,99
48,41	27,03	19,63

Изводи: Разликите в провисванията между E-1-L8,4-38-1-Q3 и E-1-L8,4-38-1 са: $\Delta f_{cr} = 21,49 \div 34,80\%$, $\Delta f_{cr,\varphi} = 9,69 \div 15,84\%$ и $\Delta f_{cr,\varphi,sh} = 10,02 \div 16,57\%$. Разликите в провисванията между E-1-L8,4-38-1-Q3 и E-1-L8,4-38-1-Q7,5 са: $\Delta f_{cr} = 28,13 \div 58,98\%$, $\Delta f_{cr,\varphi} = 10,45 \div 33,13\%$ и $\Delta f_{cr,\varphi,sh} = 11,58 \div 28,34\%$.

3.2. Сравнение на числени примери серия E-2-L8,4-28

Таблица 12. Процентни разлики в провисването между примери E-2-L8,4-28-1-Q3 и E-2-L8,4-28-1

ρ	Δf_{cr} [%]	$\Delta f_{cr,\varphi}$ [%]	$\Delta f_{cr,\varphi,sh}$ [%]
ULS	30,75	14,46	14,11
0,006	39,55	21,62	19,77
0,008	38,81	20,54	18,99
0,010	37,56	19,72	17,74
0,012	36,96	19,43	17,14
0,014	36,25	18,96	15,29
0,016	35,51	18,32	14,44
0,018	34,88	17,95	13,96
0,020	34,28	18,20	13,75

Таблица 13. Процентни разлики в провисването между примери E-2-L8,4-28-1-Q3 и E-2-L8,4-28-1-Q7,5

Δf_{cr} [%]	$\Delta f_{cr,\varphi}$ [%]	$\Delta f_{cr,\varphi,sh}$ [%]
39,53	16,48	17,32
60,37	31,95	30,21
59,63	30,98	28,53
58,21	29,84	26,61
57,28	29,59	25,29
56,53	28,55	23,22
55,49	27,97	21,74
54,78	27,49	20,13
53,85	27,39	20,49

Изводи: Разликите в провисванията между **E-2-L8,4-28-1-Q3** и **E-2-L8,4-28-1** са: $\Delta f_{cr} = 30,75 \div 39,55\%$, $\Delta f_{cr,\varphi} = 14,46 \div 21,62\%$ и $\Delta f_{cr,\varphi,sh} = 14,11 \div 19,77\%$. Разликите в провисванията между **E-2-L8,4-28-1-Q3** и **E-2-L8,4-28-1-Q7,5** са: $\Delta f_{cr} = 39,53 \div 60,37\%$, $\Delta f_{cr,\varphi} = 16,48 \div 31,95\%$ и $\Delta f_{cr,\varphi,sh} = 17,32 \div 30,21\%$.

3.3. Сравнение на числени примери серия E-3-L8,4-22

Таблица 14. Процентни разлики в провисването между примери E-3-L8,4-22-1-Q3 и E-3-L8,4-22-1

ρ	Δf_{cr} [%]	$\Delta f_{cr,\varphi}$ [%]	$\Delta f_{cr,\varphi,sh}$ [%]
ULS	45,51	20,48	20,68
0,006	49,90	24,11	24,69
0,008	43,03	22,85	23,96
0,010	42,39	21,93	23,74
0,012	41,90	20,92	21,57
0,014	41,92	22,10	19,08
0,016	40,97	21,69	19,39
0,018	40,30	21,28	19,34
0,020	39,82	21,04	17,14

Таблица 15. Процентни разлики в провисването между примери E-3-L8,4-22-1-Q3 и E-3-L8,4-22-1-Q7,5

Δf_{cr} [%]	$\Delta f_{cr,\varphi}$ [%]	$\Delta f_{cr,\varphi,sh}$ [%]
57,25	23,51	24,90
69,75	33,18	34,79
62,09	31,20	33,40
61,66	30,73	33,45
60,67	29,42	29,42
60,77	30,18	26,63
60,12	29,84	25,80
59,57	29,30	23,97
58,89	28,90	23,61

Изводи: Разликите в провисванията между **E-3-L8,4-22-1-Q3** и **E-3-L8,4-22-1** са: $\Delta f_{cr} = 39,82 \div 49,90\%$, $\Delta f_{cr,\varphi} = 20,48 \div 24,11\%$ и $\Delta f_{cr,\varphi,sh} = 17,14 \div 24,69\%$. Разликите в провисванията между **E-3-L8,4-22-1-Q3** и **E-3-L8,4-22-1-Q7,5** са: $\Delta f_{cr} = 57,25 \div 69,75\%$, $\Delta f_{cr,\varphi} = 23,51 \div 33,18\%$ и $\Delta f_{cr,\varphi,sh} = 23,61 \div 34,79\%$.

4. Заключение

Изводи за провисванията на еднопосочно армираните плочи са дадени в т. 2.

Направените изводи за влиянието на стойността на кратковременните въздействия върху провисванията на разгледаните еднопосочно армирани плочи са дадени в т. 3.

Заклучения от числените примери:

- с увеличаване на ρ всички изследвани провисвания $f_{el}, f_{cr}, f_{cr,\varphi}, f_{cr,\varphi,sh}$ намаляват;
- с увеличаване на ρ намаляват следните коефициенти: $k_{cr}, k_{cr,\varphi}$ и $k_{cr,\varphi,sh}$;
- с увеличаване на ρ се увеличава влиянието на пълзенето Δ_φ и съсъхването Δ_{sh} върху провисването на изследваните плочи;
- с увеличаване на q_k всички изследвани провисвания $f_{el}, f_{cr}, f_{cr,\varphi}, f_{cr,\varphi,sh}$ нарастват;
- с увеличаване на q_k намалява φ_{eq} . Това е причината за намаляване на влиянието на пълзенето Δ_φ върху провисването на разгледаните плочи;

- при ρ_{uls} и с увеличаване на q_k намаляват $k_{cr,\varphi}$ и $k_{cr,\varphi,sh}$ за всяка серия от плочи;
- при ρ_{uls} коефициентът k_{cr} е min при $q_k = 3,00 \text{ kN/m}^2$ и max при $q_k = 5,00 \text{ kN/m}^2$ за всяка серия от плочи;
- с увеличаване на q_k се увеличава необходимото количество армировка за изпълнение на проверката на провисване за всяка серия от плочи;
- минимумът на отношението в проценти на въздействията p_{quad}/p_{uls} е при $q_k = 7,50 \text{ kN/m}^2$ и $\psi_2 = 0,6$, и максимумът е при $q_k = 5,00 \text{ kN/m}^2$ и $\psi_2 = 0,6$;
- в 8 от 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. Методът l/d е приложим само за 1 от 9 разгледани примера. Необходими са допълнителни изследвания за приложимостта на метода l/d ;
- с увеличаване на $\rho = 0,006 \div 0,02$ намаляват всички разлики Δf_{cr} , $\Delta f_{cr,\varphi}$ и $\Delta f_{cr,\varphi,sh}$;
- с увеличаване на q_k се увеличават Δf_{cr} , $\Delta f_{cr,\varphi}$ и $\Delta f_{cr,\varphi,sh}$ за дадена серия примери;
- стойностите на процентните разлики Δf_{cr} , $\Delta f_{cr,\varphi}$ и $\Delta f_{cr,\varphi,sh}$ са най-малки при статическа схема ставно подпряна плоча и най-големи при двустранно запъната плоча.

Стойностите на всички коментирани по-горе провисвания, коефициенти и процентни разлики са дадени в таблици 1 ÷ 15 – т. 2 и 3.

ЛИТЕРАТУРА

1. БДС EN1990:2003/NA:2012. Национално приложение към БДС EN1990:2003. Български институт за стандартизация, БИС, 2012.
2. БДС EN1991-1-1:2004/NA:2011. Национално приложение към БДС EN1991-1-1:2004. Българския институт за стандартизация, БИС, 2011.
3. БДС EN1992-1-1 Проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции. Общи правила и правила за сгради. БИС, 2010.
4. БДС EN1992-1-1:2005/NA:2011. Национално приложение към БДС EN1992-1-1:2005. Български институт за стандартизация, БИС, 2011.
5. *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.
6. *Георгиев, Евг.* Провисване на стоманобетонни плочи. Дисертация за присъждане на образователната и научна степен "доктор". София, 2014.
7. *Димитров, Д., Георгиев, Евг.* Върху коефициента на пълзене според Еврокод 2. Доклади – Том 2 – 70 години УАСГ. Международна юбилейна научно-приложна конференция УАСГ 2012. УАСГ, 2012. ISBN 978-954-724-049-0.

8. *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 2014. ISSN 1310-814X.

9. Eurocode 2 – Commentary. European Concrete platform ASBL, June 2008.

THE INFLUENCE OF VALUE OF LIVE LOADS ON DEFLECTION OF ONE-WAY REINFORCED CONCRETE SLABS ACCORDING TO EUROCODE 2

E. Georgiev¹

Keywords: *reinforced concrete slabs, deflection, live loads, shrinkage, creep, Eurocode 2*

Research area: *reinforced concrete and reinforced concrete structures*

ABSTRACT

The results of numerical examples of deflection of one way reinforced concrete slabs on beams according to BDS EN1992-1-1 have been presented. The effective span of slabs is 8.4 m. Static schemes of slabs are simple supported slabs, one-end fixed slabs and two-end fixed slabs. Adopted characteristic live loads q_k are 3.0 kN/m², 5.0 kN/m² and 7.5 kN/m². Coefficients ψ_2 corresponding to q_k are $\psi_2 = 0.3$, $\psi_2 = 0.6$, and $\psi_2 = 0.6$. Deflection control is made with the general method and the simplified method (l/d) according to BDS EN1992-1-1. The influences of values of live loads, creep coefficient, shrinkage strain 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

