

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 ВЪЗРАСТТА НА ПРИЛАГАНЕ НА НАТОВАР- ВАНЕТО ВЪРХУ ПРОВИСВАНЕТО НА ЕДНОПОСОЧНО АРМИРАНИ СТОМАНОБЕТОННИ ПЛОЧИ СЪГЛАСНО ЕВРОКОД 2

Е. Георгиев¹

Ключови думи: стоманобетонни плочи, провисване, възраст на прилагане на въздействията, съсъхване, пълзене, Еврокод 2

Научна област: стоманобетон и стоманобетонни конструкции

РЕЗЮМЕ

В статията са представени резултати от числени изследвания на провисването на еднопосочно армирани стоманобетонни плочи съгласно Еврокод 2. Плочите са с отвор 8,4 m. Статическите схеми са ставно подпряна плоча, едностранно запъната плоча и двустранно запъната плоча. Характеристичните натоварвания върху плочите са g_{1k} , g_{2k} и q_k . Товари се прилагат в следните моменти: g_{1k} в t_1 , g_{2k} в t_2 и $\psi_2 q_k$ в t_3 . Възрастите за прилагане на товарите са, $t_1/ t_2/ t_3=28/730/910$ дни, $t_1/ t_2/ t_3=28/100/550$ дни и $t_1/ t_2/ t_3=10/40/365$ дни. Контролът на провисването е проведен с директни изчисления и с опростения метод (l/d) на Еврокод 2. Анализирани са влиянията на възрастта на прилагане на въздействията, реологичните процеси съсъхване и пълзене на бетона и количеството вложена армировка върху провисването на изследваните плочи.

1. Въведение

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

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

Приети са следните характеристични въздействия върху плочите: g_{1k} е характеристичното собственото тегло на плочата, $g_{2k} = 3,00 \text{ kN/m}^2$ е останалата част от характеристичните постоянни въздействия, $q_k = 5,00 \text{ kN/m}^2$ е временното характеристично въздействие, а $\psi_2 = 0,6$ е коефициентът, отчитащ частта от временното въздействие, участващо в квазипостоянната комбинация. Въздействията q_k е според [2], а коефициентът ψ_2 е според [1].

Реално натоварване върху конструкцията става постепенно – първо собственото тегло на конструкцията g_{1k} в t_1 (10 ÷ 28 ден), следват останалите постоянни въздействия g_{2k} в t_2 (1 ÷ 12 месеца) и накрая е частта от временния товар $\psi_2 q_k$ в t_3 (1 ÷ 3 години). Приети са следните три варианта на възраст на бетона за прилагане на въздействията $t_1/t_2/t_3 = 28/730/910$ дни, $t_1/t_2/t_3 = 28/100/550$ дни и $t_1/t_2/t_3 = 10/40/365$ дни. За всяка от тези възрасти е определен съответният ѝ коефициент на пълзене $\varphi(\infty, t_0)$. Времето на прилагане на товарите се отчита с еквивалентния 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} и коефициентите на пълзене $\varphi(\infty, t_0)$ са определени съгласно Еврокод 2 [3] и [4] при влажност на околната среда $RH = 50\%$ и за $t = \infty$ е приет период от 70 години, т.е. 25 550 дни. Подробности за определянето на $\varphi(\infty, t_0)$ и ε_{cs} са дадени в [6], [7] и [8].

Използваните материали за числените примери са армировъчна стомана клас B500C и бетон клас C30/37 съгласно Еврокод 2 [3].

Означението на серия от еднопосочно армираните плочи е **E-1-L8,4-38**, което се тълкува: **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 см. За разграничаване на отделните параметри, които се променят в различните примери, към означението, описано по-горе след дебелината на плочата, са добавени цифра **1** или **1-T910(T365)**. В примерите с окончание **1-T910** приетите възрасти са: $t_1/t_2/t_3 = 28/730/910$ дни. В примерите с окончание **1** от [6] за използвани възрасти $t_1/t_2/t_3 = 28/100/550$ дни. В примерите със завършек **-1-T365** приетите възрасти са: $t_1/t_2/t_3 = 10/40/365$ дни.

Извършено е оразмеряване на армировката за крайно гранично състояние (ULS). С тази армировка е изчислено провисването с директното му определяне според [3] и подробно разгледано в [5] и [6]. След това е променено количеството вложена опънна (долна) армировка в полето и е проследено влиянието ѝ върху провисването. Проследено е влиянието на пълзенето и на съсъхването върху провисването при промяната на армировката. Определени са отношенията между еластичните и реалните дълговременни провисвания при тези плочи. Определено е влиянието на възрастта на прилагане на въздействията върху провисванията. Контролът на провисването е извършен и чрез отношението отвор/полезна височина (l/d) съгласно [3], т.е. без директното му изчисляване.

2. Резултати от числени примери на еднопосочно армираните плочи

В резултатите от примерите и техния анализ, представен в табличен вид, са използвани следните означения: d е полезната височина на напречното сечение на плочата; p_{quad}/p_{uls} е отношението в проценти на въздействията от квазипостоянната комбинация към общото изчислително въздействие в крайно гранично състояние; E_{cm} е средният (секуцият) модул на еластичност на бетона от Еврокод 2 [3]; ρ е необходимият

коэффициент на армиране с опънна армировка в средата на отвора за поемане на огъващия момент от изчислителните товари или коэффициент на армиране с опънна армировка в средата на полето; ρ_{sup} е коэффициент на армиране с опънна армировка над опората, при непрекъсната еднопосочно армирана плоча.

Изчислените провисвания са както следва: 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 $f_{cr,\varphi,sh}$.

На базата на определените провисвания са изчислени и представени следните коефициенти: k_{cr} е отношението на кратковременното провисване след пукнатинообразуване към кратковременното еластично провисване, $k_{cr,\varphi}$ е отношението на дълговременното провисване, с отчитане само на пълзенето към кратковременното еластично провисване и $k_{cr,\varphi,sh}$ е отношението между дълговременното провисване, с отчитане на пълзенето и съсъхването към кратковременното еластично провисване. Промяната в коравината на елемента се оценява също с k_{cr} , $k_{cr,\varphi}$ и $k_{cr,\varphi,sh}$.

Влиянието на пълзенето в проценти върху провисването е Δ_{φ} , а влиянието на съсъхването в проценти е Δ_{sh} .

2.1. Резултати от числени примери серия Е-1-Л8,4-38

Таблица 1. Резултати от числен пример Е-1-Л8,4-38-1-Т910 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	2,0287	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	42,74	52,17	3,89	6,36	7,76	63,3	22,1
0,0060	6,72	21,69	36,38	45,92	3,23	5,41	6,83	67,7	26,2
0,0080	6,72	17,29	30,27	39,99	2,57	4,50	5,95	75,1	32,1
0,0100	6,72	14,71	26,55	36,54	2,19	3,95	5,44	80,5	37,6
0,0120	6,72	12,91	23,88	34,05	1,92	3,55	5,07	85,0	42,6
0,0140	6,72	11,65	22,03	32,41	1,73	3,28	4,82	89,1	47,1
0,0160	6,72	10,65	20,54	31,12	1,58	3,06	4,63	92,9	51,5
0,0180	6,72	9,88	19,38	30,08	1,47	2,88	4,48	96,2	55,2
0,0200	6,72	9,28	18,41	29,33	1,38	2,74	4,36	98,4	59,3

Анализ на примери Е-1-Л8,4-38. Влиянието на съсъхването е $\Delta_{sh} = 21,3 \div 59,3\%$, а на пълзенето е $\Delta_{\varphi} = 63,3 \div 118,5\%$. Коравината на плочата се променя както следва: $k_{cr} = 3,89 \div 1,38$, $k_{cr,\varphi} = 6,70 \div 2,74$ и $k_{cr,\varphi,sh} = 8,13 \div 4,36$.

Анализ и **изводи** от сравнението на директното изчисляване на провисването и контрола на провисването чрез отношението l/d за примери Е-1-Л8,4-38:

– в примери Е-1-Л8,4-38-1-Т910, Е-1-Л8,4-38-1 от [6] и Е-1-Л8,4-38-1-Т365 отношение на товарите е $p_{qua}/p_{uls} = 63,59\%$. За изпълнение на проверката на провисване без изчисление във всички примери е необходимо опънната армировка в средата на полето да се увеличи $\Delta p_{adm} = 1,25$ пъти;

- при директно определяне на провисването в примери **E-1-L8,4-38-1-T910** и **E-1-L8,4-38-1** от [6] съгласно табл. 1 и 2 необходимото увеличение е $\Delta p_{adm} = 2,97$ пъти;
- при директно определяне на провисването в пример **E-1-L8,4-38-1-T365** съгласно табл. 3 необходимото увеличение е $\Delta p_{adm} = 3,40$ пъти;
- проверката на провисванията с l/d от [3] не отчита възможността за различни възрасти на прилагане на въздействията и е неприложима за тези примери.

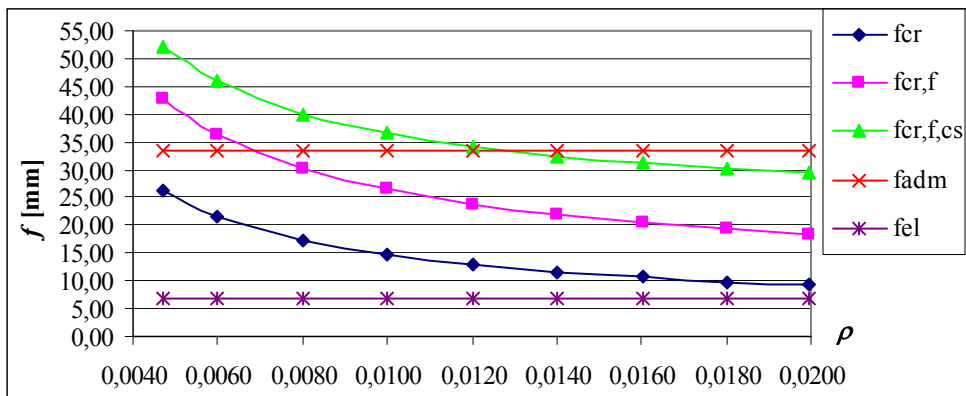
Таблица 2. Резултати от числен пример E-1-L8,4-38-1 с вариране на опънната армировка в полето и без горна армировка в полето от [6]

	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

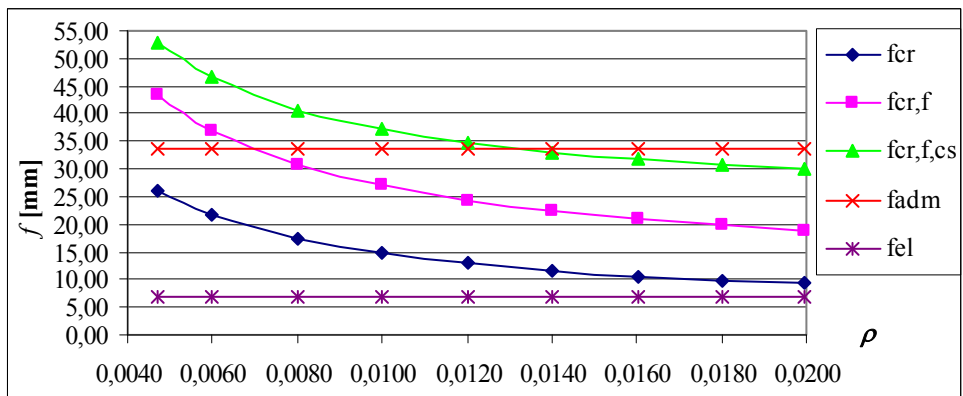
Таблица 3. Резултати от числен пример E-1-L8,4-38-1-T365 с вариране на опънната армировка в полето и без горна армировка в полето

	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	2,2363	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	45,03	54,64	3,89	6,70	8,13	72,1	21,3
0,0060	6,72	21,69	38,58	48,33	3,23	5,74	7,19	77,9	25,3
0,0080	6,72	17,29	32,36	42,30	2,57	4,82	6,29	87,2	30,7
0,0100	6,72	14,71	28,57	38,80	2,19	4,25	5,77	94,2	35,8
0,0120	6,72	12,91	25,84	36,27	1,92	3,85	5,40	100,2	40,4
0,0140	6,72	11,65	23,94	34,61	1,73	3,56	5,15	105,5	44,6
0,0160	6,72	10,65	22,42	33,30	1,58	3,34	4,96	110,5	48,5
0,0180	6,72	9,88	21,23	32,24	1,47	3,16	4,80	114,9	51,9
0,0200	6,72	9,28	20,28	31,47	1,38	3,02	4,68	118,5	55,2

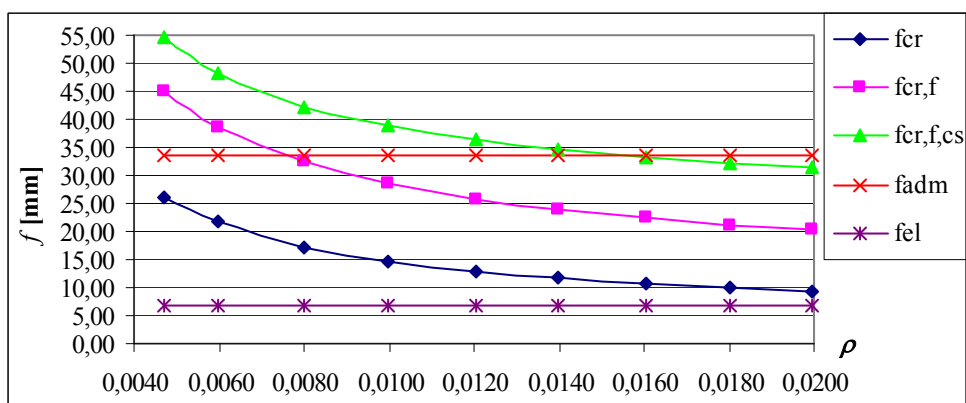
Забележка за табл. 1 ÷ 9: Сивият ред показва ρ при изпълнено провисване.



Фиг. 1. Провисванията – функция на коефициента на армиране за E-1-L8,4-38-1-T910



Фиг. 2. Провисванията – функция на коефициента на армиране за E-1-L8,4-38-1 от [6]



Фиг. 3. Провисванията – функция на коефициента на армиране за E-1-L8,4-38-1-T365

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

Таблица 4. Резултати от числен пример E-2-L8,4-28-1-T910 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]		
0,00805	280	240,0	7,00	33,6	1,7436	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	34,04	41,77	3,43	5,80	7,12	69,3	22,7
0,006	5,87	17,43	29,91	37,48	2,97	5,10	6,39	71,6	25,3
0,008	5,87	15,20	26,47	34,20	2,59	4,51	5,83	74,1	29,2
0,010	5,87	13,66	24,13	32,06	2,33	4,11	5,46	76,6	32,9
0,012	5,87	12,60	22,53	30,66	2,15	3,84	5,22	78,8	36,1
0,014	5,87	11,69	21,19	29,69	1,99	3,61	5,06	81,3	40,1
0,016	5,87	10,99	20,08	28,61	1,87	3,42	4,87	82,7	42,5
0,018	5,87	10,44	19,29	28,13	1,78	3,29	4,79	84,8	45,8
0,020	5,87	9,95	18,55	27,78	1,70	3,16	4,73	86,4	49,8

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

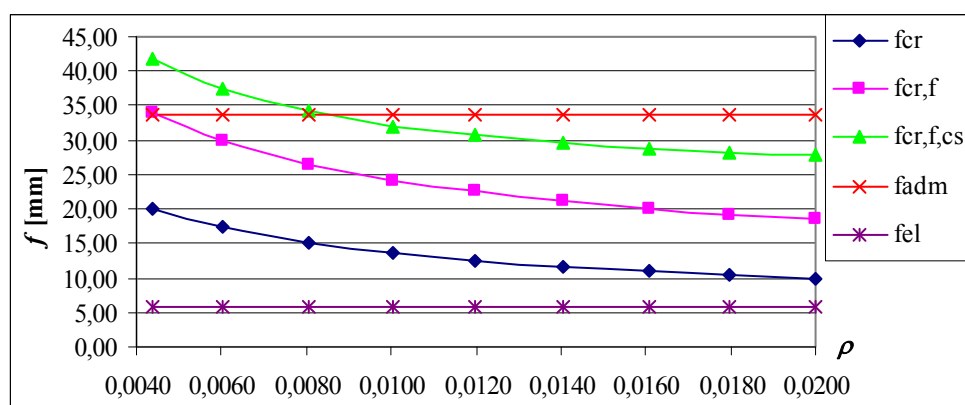
Анализ на примери E-2-L8,4-28. Влиянието на съсъхването е $\Delta_{sh} = 22,0 \div 49,8\%$, а на пълзенето е $\Delta_\varphi = 69,3 \div 102,1\%$. Коравината на плочата се променя както следва: $k_{cr} = 3,43 \div 1,70$, $k_{cr,\varphi} = 6,13 \div 3,16$ и $k_{cr,\varphi,sh} = 7,47 \div 4,73$.

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:

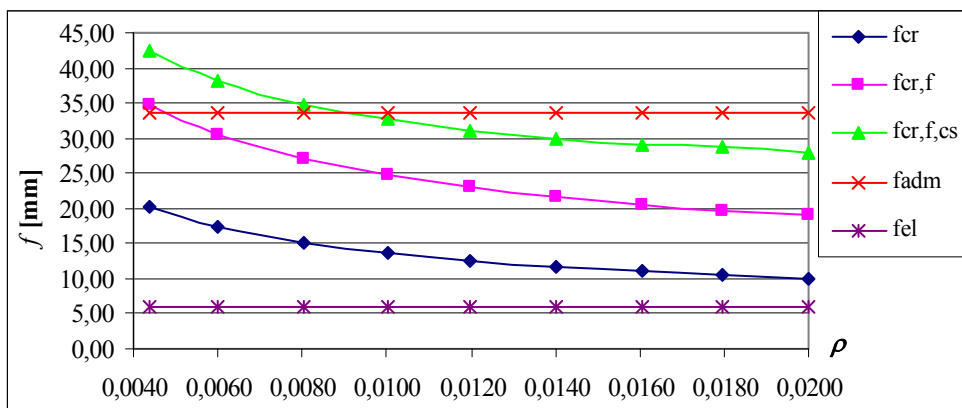
- в примери **E-2-L8,4-28-1-T910**, **E-2-L8,4-28-1** от [6] и **E-2-L8,4-28-1-T365** отношение на товарите е $p_{qua}/p_{uls} = 61,90\%$. За изпълнение на проверката на провисване без изчисление във всички примери е необходимо опънатата армировка в средата на полето да се увеличи $\Delta p_{adm} = 1,19$ пъти;
- при директно определяне на провисването в примери **E-2-L8,4-28-1-T910** и **E-2-L8,4-28-1** от [6] съгласно табл. 4 и 5 необходимото увеличение е $\Delta p_{adm} = 2,29$ пъти;
- при директно определяне на провисването в пример **E-2-L8,4-28-1-T365** съгласно табл. 6 необходимото увеличение е $\Delta p_{adm} = 2,72$ пъти;
- проверката на провисванията с l/d от [3] не отчита възможността за различни възрасти на прилагане на въздействията и е неприложима за тези примери.

Таблица 6. Резултати от числен пример E-2-L8,4-28-1-T365 с вариране на опънатата армировка в полето и без горна армировка в полето

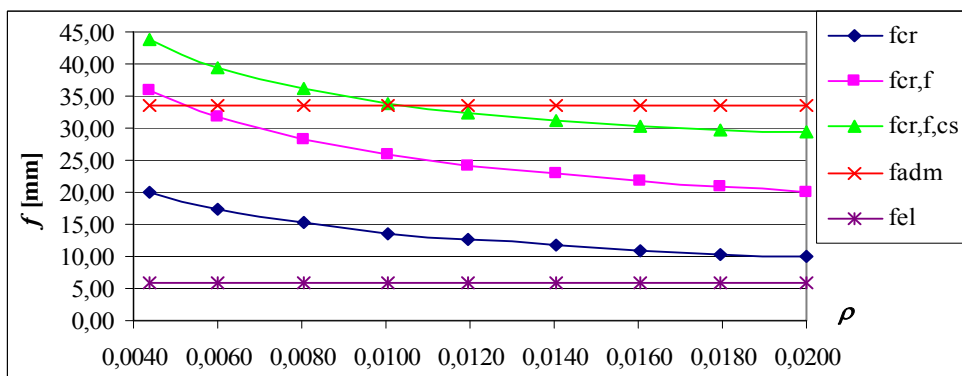
ρ_{sup}	h_f [mm]	d [mm]	g_{1k} [kN/m ²]	f_{adm} [mm]	φ_{eq} (∞, t_0)	ε_{cs}	E_{cm} [MPa]			
0,00805	280	240,0	7,00	33,6	2,2611	4,213E-04	32837			
ρ	f_{el} [mm]	f_{cr} [mm]	$f_{cr,\varphi}$ [mm]	$f_{cr,\varphi,sh}$ [mm]	k_{cr}	$k_{cr,\varphi}$	$k_{cr,\varphi,sh}$	$\Delta\varphi$ [%]	Δ_{sh} [%]	
0,00440	5,87	20,11	35,96	43,86	3,43	6,13	7,47	78,8	22,0	
0,006	5,87	17,43	31,74	39,44	2,97	5,41	6,72	82,1	24,3	
0,008	5,87	15,20	28,18	36,06	2,59	4,80	6,14	85,4	28,0	
0,010	5,87	13,66	25,91	33,92	2,33	4,41	5,78	89,7	30,9	
0,012	5,87	12,60	24,20	32,44	2,15	4,12	5,53	92,1	34,0	
0,014	5,87	11,69	22,84	31,13	1,99	3,89	5,30	95,4	36,3	
0,016	5,87	10,99	21,77	30,40	1,87	3,71	5,18	98,1	39,6	
0,018	5,87	10,44	20,88	29,72	1,78	3,56	5,06	100,0	42,3	
0,020	5,87	9,95	20,11	29,33	1,70	3,43	5,00	102,1	45,8	



Фиг. 4. Провисванията – функция на коефициента на армиране за E-2-L8,4-28-1-T910

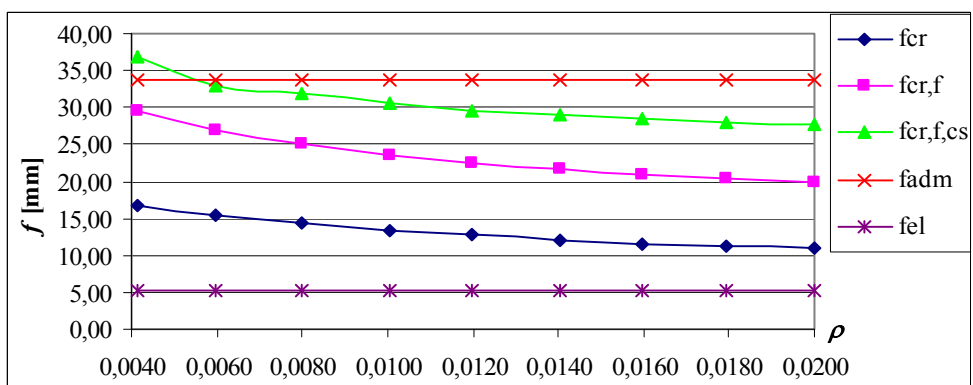


Фиг. 5. Провисванията – функция на коефициента на армиране за E-2-L8,4-28-1 от [6]

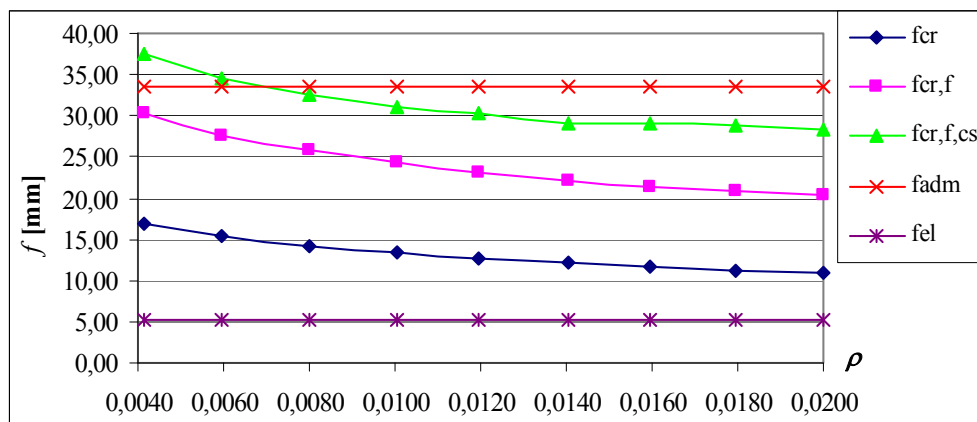


Фиг. 6. Провисванията – функция на коефициента на армиране за E-2-L8,4-28-1-T365

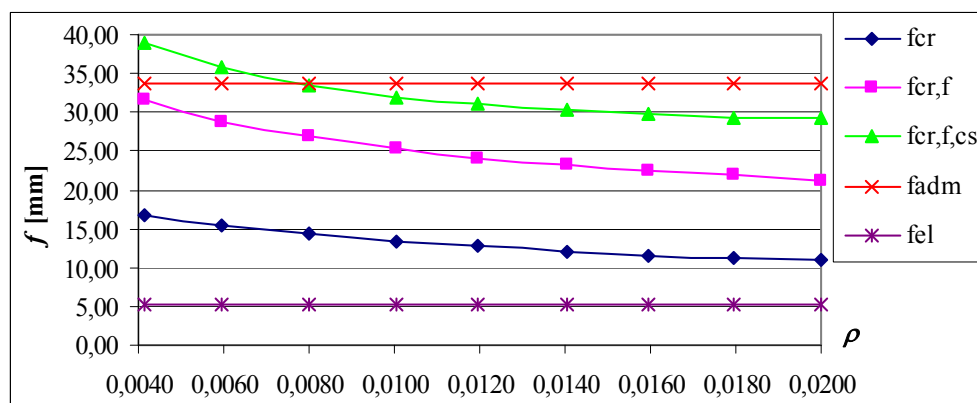
2.3. Резултати от числени примери серия E-3-L8,4-22



Фиг. 7. Провисванията – функция на коефициента на армиране за E-3-L8,4-22-1-T910



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



Фиг. 9. Провисванията – функция на коефициента на армиране за E-3-L8,4-22-1-T365

Анализ на примери E-3-L8,4-22. Влиянието на съсъхването е $\Delta_{sh} = 23,2 \div 40,7\%$, а на пълзенето е $\Delta_{\varphi} = 75,4 \div 96,3\%$. Коравината на плочата се променя както следва: $k_{cr} = 3,27 \div 2,11$, $k_{cr,\varphi} = 6,12 \div 3,84$ и $k_{cr,\varphi,sh} = 7,54 \div 5,40$.

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 примери E-3-L8,4-22-1-T910, E-3-L8,4-22-1 от [6] и E-3-L8,4-22-1-T365 отношение на товарите е $p_{qua}/p_{uls} = 60,61\%$. За изпълнение на проверката на провисване без изчисление във всички примери е необходимо опънатата армировка в средата на полето да се увеличи $\Delta p_{adm} = 1,27$ пъти;

– при директно определяне на провисването в пример E-3-L8,4-22-1-T910 съгласно табл. 7 необходимото увеличение е $\Delta p_{adm} = 1,44$ пъти;

– при директно определяне на провисването в примери E-3-L8,4-22-1 от [6] и E-3-L8,4-22-1-T365 съгласно табл. 8 и 9 необходимото увеличение е $\Delta p_{adm} = 1,93$ пъти;

– проверката на провисванията с l/d от [3] не отчита възможността за различни възрасти на прилагане на въздействията и е неприложима за тези примери.

Таблица 7. Резултати от числен пример Е-3-Л8,4-22-1-Т910 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]		
0,00873	220	180,0	5,50	33,6	1,7400	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	29,55	36,74	3,27	5,74	7,13	75,4	24,3
0,006	5,15	15,41	26,99	32,93	2,99	5,24	6,39	75,1	22,0
0,008	5,15	14,26	25,13	31,98	2,77	4,88	6,21	76,2	27,3
0,010	5,15	13,37	23,53	30,53	2,60	4,57	5,93	76,0	29,7
0,012	5,15	12,70	22,49	29,63	2,47	4,37	5,75	77,1	31,7
0,014	5,15	12,12	21,64	29,05	2,35	4,20	5,64	78,5	34,2
0,016	5,15	11,63	20,94	28,37	2,26	4,07	5,51	80,1	35,5
0,018	5,15	11,21	20,32	28,06	2,18	3,95	5,45	81,3	38,1
0,020	5,15	10,85	19,77	27,81	2,11	3,84	5,40	82,2	40,7

Таблица 8. Резултати от числен пример Е-3-Л8,4-22-1 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]		
0,00873	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

Таблица 9. Резултати от числен пример Е-3-Л8,4-22-1-Т365 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]		
0,00873	220	180,0	5,50	33,6	2,2810	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	31,51	38,83	3,27	6,12	7,54	87,0	23,2
0,006	5,15	15,41	28,83	35,79	2,99	5,60	6,95	87,1	24,1
0,008	5,15	14,26	26,88	33,54	2,77	5,22	6,51	88,5	24,8
0,010	5,15	13,37	25,39	32,02	2,60	4,93	6,22	89,9	26,1
0,012	5,15	12,70	24,13	31,13	2,47	4,69	6,04	90,0	29,0
0,014	5,15	12,12	23,20	30,23	2,35	4,50	5,87	91,4	30,3
0,016	5,15	11,63	22,47	29,92	2,26	4,36	5,81	93,2	33,2
0,018	5,15	11,21	21,84	29,33	2,18	4,24	5,70	94,8	34,3
0,020	5,15	10,85	21,30	29,28	2,11	4,14	5,69	96,3	37,5

3. Сравнение на резултатите

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

3.1. Сравнение на числени примери серия Е-1-Л8,4-38

Таблица 10. Процентни разлики в провисването между примери Е-1-Л8,4-38-1-Т910 и Е-1-Л8,4-38-1

ρ	Δf_{cr} [%]	$\Delta f_{cr,\varphi}$ [%]	$\Delta f_{cr,\varphi,sh}$ [%]
0,0047	0,00	1,43	1,27
0,0060	0,00	1,59	1,39
0,0080	0,00	1,82	1,53
0,0100	0,00	2,03	1,61

Таблица 11. Процентни разлики в провисването между примери Е-1-Л8,4-38-1-Т910 и Е-1-Л8,4-38-1-Т365

Δf_{cr} [%]	$\Delta f_{cr,\varphi}$ [%]	$\Delta f_{cr,\varphi,sh}$ [%]
0,00	5,36	4,73
0,00	6,05	5,25
0,00	6,90	5,78
0,00	7,61	6,19

ρ	Δf_{cr} [%]	$\Delta f_{cr,\varphi}$ [%]	$\Delta f_{cr,\varphi,sh}$ [%]
0,0120	0,00	2,18	1,70
0,0140	0,00	2,27	1,79
0,0160	0,00	2,29	1,86
0,0180	0,00	2,48	1,89
0,0200	0,00	2,88	1,91

Δf_{cr} [%]	$\Delta f_{cr,\varphi}$ [%]	$\Delta f_{cr,\varphi,sh}$ [%]
0,00	8,21	6,52
0,00	8,67	6,79
0,00	9,15	7,01
0,00	9,55	7,18
0,00	10,16	7,30

Изводи: Разликите в провисванията между **E-1-L8,4-38-1-T910** и **E-1-L8,4-38-1** са: $\Delta f_{cr} = 0\%$, $\Delta f_{cr,\varphi} = 1,43 \div 2,88\%$ и $\Delta f_{cr,\varphi,sh} = 1,27 \div 1,91\%$. Разликите в провисванията между **E-1-L8,4-38-1-T910** и **E-1-L8,4-38-1-T365** са: $\Delta f_{cr} = 0\%$, $\Delta f_{cr,\varphi} = 5,36 \div 10,16\%$ и $\Delta f_{cr,\varphi,sh} = 4,73 \div 7,30\%$.

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-T910 и E-2-L8,4-28-1

ρ	Δf_{cr} [%]	$\Delta f_{cr,\varphi}$ [%]	$\Delta f_{cr,\varphi,sh}$ [%]
0,00440	0,00	1,82	1,27
0,006	0,00	1,94	1,65
0,008	0,00	2,00	1,70
0,010	0,00	2,40	1,84
0,012	0,00	2,31	1,66
0,014	0,00	2,45	0,84
0,016	0,00	2,59	1,92
0,018	0,00	2,54	1,85
0,020	0,00	2,59	0,94

Таблица 13. Процентни разлики в провисването между примери E-2-L8,4-28-1-T910 и E-2-L8,4-28-1-T365

Δf_{cr} [%]	$\Delta f_{cr,\varphi}$ [%]	$\Delta f_{cr,\varphi,sh}$ [%]
0,00	5,64	5,00
0,00	6,12	5,23
0,00	6,46	5,44
0,00	7,38	5,80
0,00	7,41	5,81
0,00	7,79	4,85
0,00	8,42	6,26
0,00	8,24	5,65
0,00	8,41	5,58

Изводи: Разликите в провисванията между **E-2-L8,4-28-1-T910** и **E-2-L8,4-28-1** са: $\Delta f_{cr} = 0\%$, $\Delta f_{cr,\varphi} = 1,82 \div 2,59\%$ и $\Delta f_{cr,\varphi,sh} = 0,84 \div 1,92\%$. Разликите в провисванията между **E-2-L8,4-28-1-T910** и **E-2-L8,4-28-1-T365** са: $\Delta f_{cr} = 0\%$, $\Delta f_{cr,\varphi} = 5,64 \div 8,41\%$ и $\Delta f_{cr,\varphi,sh} = 4,85 \div 6,26\%$.

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-T910 и E-3-L8,4-22-1

ρ	Δf_{cr} [%]	$\Delta f_{cr,\varphi}$ [%]	$\Delta f_{cr,\varphi,sh}$ [%]
0,00415	0,00	2,34	1,96
0,006	0,00	2,41	5,04
0,008	0,00	2,47	1,91
0,010	0,00	3,02	1,41
0,012	0,00	2,53	1,96
0,014	0,00	2,63	0,34
0,016	0,00	2,63	2,43
0,018	0,00	2,66	2,92
0,020	0,00	2,73	1,51

Таблица 15. Процентни разлики в провисването между примери E-3-L8,4-22-1-T910 и E-3-L8,4-22-1-T365

Δf_{cr} [%]	$\Delta f_{cr,\varphi}$ [%]	$\Delta f_{cr,\varphi,sh}$ [%]
0,00	6,63	5,69
0,00	6,82	8,69
0,00	6,96	4,88
0,00	7,90	4,88
0,00	7,29	5,06
0,00	7,21	4,06
0,00	7,31	5,46
0,00	7,48	4,53
0,00	7,74	5,29

Изводи: Разликите в провисванията между E-3-L8,4-22-1-T910 и E-3-L8,4-22-1 са: $\Delta f_{cr} = 0\%$, $\Delta f_{cr,\varphi} = 2,34 \div 3,02\%$ и $\Delta f_{cr,\varphi,sh} = 0,34 \div 5,04\%$. Разликите в провисванията между E-3-L8,4-22-1-T910 и E-3-L8,4-22-1-T365 са $\Delta f_{cr} = 0\%$, $\Delta f_{cr,\varphi} = 6,63 \div 7,90\%$ и $\Delta f_{cr,\varphi,sh} = 4,06 \div 8,69\%$.

4. Заключение

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

Направените изводи за влиянието на възрастта на прилагане на въздействията върху провисванията на разгледаните еднопосочно армирани плочи са дадени в т. 3. Стойностите на всички коментирани по-долу провисвания, коефициенти и процентни разлики са дадени в таблици 1 ÷ 15 – т. 2 и 3.

Заключения от числените примери:

– с увеличаване на ρ провисванията $f_{cr}, f_{cr,\varphi}, f_{cr,\varphi,sh}$ и коефициентите $k_{cr}, k_{cr,\varphi}, k_{cr,\varphi,sh}$ намаляват;

– с увеличаване на ρ се увеличава влиянието на пълзенето Δ_φ и съсъхването Δ_{sh} върху провисването на изследваните плочи;

– с намаляване на $t_1/t_2/t_3$ дълговременните провисванията $f_{cr,\varphi}, f_{cr,\varphi,sh}$ нарастват, а кратковременните f_{el}, f_{cr} не се променят;

– с намаляване на $t_1/t_2/t_3$, φ_{eq} нараства. Това е причината за увеличаване на влиянието на пълзенето Δ_φ върху провисването и на дълговременните провисвания;

– с намаляване на $t_1/t_2/t_3$ влиянието на съсъхването Δ_{qsh} намалява;

- с намаляване на $t_1/t_2/t_3$ се увеличават $k_{cr,\varphi}$ и $k_{cr,\varphi,sh}$, а k_{cr} не се променя за всяка серия от плочи;
- коефициентите k_{cr} , $k_{cr,\varphi}$ и $k_{cr,\varphi,sh}$ са min при най-бавните темпове на изпълнение;
- с намаляване на $t_1/t_2/t_3$ се увеличава необходимото количество армировка за изпълнение на проверката на провисване за всяка серия от плочи и това е видно от фиг. 1 ÷ 9. В таблиците с резултатите се вижда, че в половината от случаите с намаляване на $t_1/t_2/t_3$, коефициентът на армиране ρ е един и същ за изпълнение на провисването. Това е така, тъй като за ρ е приета стъпка от 0,002 при числените примери;
- във всички 9 разгледани примера контролът на провисванията чрез отношението отвор/полезна височина l/d е неприложим. Съгласно него се изисква по-малко количество армировка за удовлетворяване на проверката на провисване от това при директното му изчисляване. Методът l/d не отчита различните темпове на строителство и е предпоставка за грешки и неточности в хода на проектиране и изпълнение на конструкциите;
- с намаляване на $t_1/t_2/t_3$ се увеличават Δf_{cr} , $\Delta f_{cr,\varphi}$ и $\Delta f_{cr,\varphi,sh}$ за дадена серия примери.

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. Българския 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 EFFECT OF AGE OF LOADING ON DEFLECTION OF ONE-WAY REINFORCED CONCRETE SLABS ACCORDING TO EUROCODE 2

E. Georgiev¹

Keywords: reinforced concrete slabs, deflection, age of loading, shrinkage, creep, Eurocode 2

Research area: reinforced concrete and reinforced concrete structures

ABSTRACT

The article presents results of numerical examples of deflection of one way reinforced concrete slabs on beams according to Eurocode 2. 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. Characteristic loads on the slabs are g_{1k} , g_{2k} and q_k . Applications of loads at time are: g_{1k} at time t_1 , g_{2k} at time t_2 and $\psi_2 q_k$ at time t_3 . Ages of loading are as follows $t_1/t_2/t_3=28/730/910$ days, $t_1/t_2/t_3=28/100/550$ days and $t_1/t_2/t_3=10/40/365$ days. Deflection control is carried out with the direct calculations of deflection and the simplified method (l/d) according to Eurocode 2. The influences of age of loading, 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. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: evgeni_georgiev_fce@abv.bg

