

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.
fasc. 12 – II

ПРИЛОЖЕНИЕ НА ПАРАБОЛИЧНО-ЛИНЕЙНАТА И ЕКВИВАЛЕНТНАТА БИЛИНЕЙНА РАБОТНА ДИАГРАМА НА БЕТОНА ПРИ ОРАЗМЕРЯВАНЕ НА УСИЛВАНЕТО НА СТОМАНОБЕТОННИ ПЛОЧИ

Т. Чардакова¹

Ключови думи: работна диаграма на бетона, усилване, стоманобетон

Научна област: възстановяване и усилване на стоманобетонни конструкции

РЕЗЮМЕ

При оразмеряване на усилването на стоманобетонни плочи с отчитане на предварителното натоварване изборът на вида на работната диаграма има голямо значение за тежестта на изчислителния процес. Еврокод 2 дефинира два вида работни диаграми на бетона – параболично-линейна и еквивалентна билинейна. Първата по-точно отразява поведението на бетона, но нейното използване е възможно основно при автоматизирани изчисления. Втората е подходяща при ръчни изчисления.

В тази статия най-напред са сравнени двете диаграми при различни стойности на деформациите, достигнати в момента на усилване на плочите. След това са анализирани възможностите за прилагане на всяка от диаграмите за ръчни и за автоматизирани изчисления. Въз основата на анализа са направени някои заключения и препоръки по отношение на тяхното приложение при оразмеряване на усилването на стоманобетонни плочи.

1. Въведение

При оразмеряване на усилването на стоманобетонни елементи предварителното натоварване, приложено върху съществуващата конструкция преди усилването, в мно-

¹ Таня Чардакова, д-р инж., e-mail: tanq_chardakova@abv.bg

го случаи оказва съществено влияние върху ефективността на усилването. Поради това то трябва да се отчита в процеса на проектиране на усилването. Една възможност за отчитането на това влияние е да се приложи принципът на суперпозицията, при което деформациите на неусиленото сечение от предварително натоварване се суперпонира с деформациите на усиленото сечение от натоварване, приложено след усилване [2]. При това работните диаграми на материалите могат опростено да се "разделят" на две части: до точката, достигната от предварително натоварване и след нея със съответна трансляция на координатната система в тази точка.

2. Видове изчислителни работни диаграми на бетона според [1]

При проверки на напречни сечения в [1] е предложена следната параболично-линейна зависимост напрежения σ_c – деформации ε_c :

$$\sigma_c = \begin{cases} f_{cd} \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}} \right)^n \right], & \text{при } \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2}, \\ f_{cd}, & \text{при } \varepsilon_c > \varepsilon_{c2} \end{cases}, \quad (1)$$

където f_{cd} е изчислителната стойност на якостта на натиск на бетона;

ε_{c2} – деформацията при достигане на максималната якост. За бетон с клас, не по-висок от C50/60 $\varepsilon_{c2} = 0,002$;

n – степенен показател. За бетон с клас, не по-висок от C50/60 $n = 2$.

Деформацията в бетона при приемане на тази зависимост се ограничава до ε_{cu2} . За бетон с клас, не по-висок от C50/60 $\varepsilon_{cu2} = 0,0035$.

Допуска се също така да се използват други опростени зависимости напрежения–деформации, ако са ефективно еквивалентни на определената от зависимост (1) диаграма, например билинейна

$$\sigma_c = \begin{cases} f_{cd} \cdot \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c3}}, & \text{при } \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c3} \\ f_{cd}, & \text{при } \varepsilon_c > \varepsilon_{c3}, \end{cases} \quad (2)$$

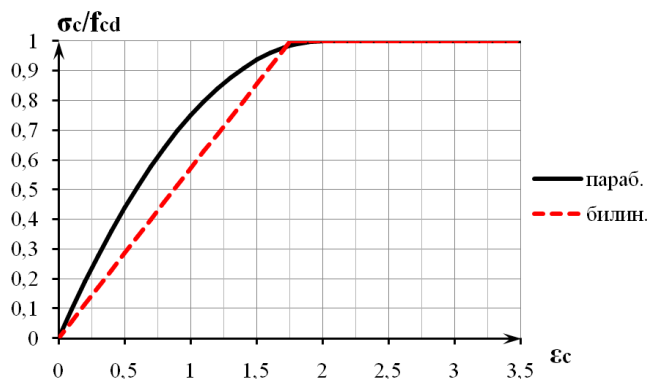
където ε_{c3} е деформацията, при която се приема, че се достига максималната якост. За бетон с клас, не по-висок от C50/60 $\varepsilon_{c3} = 0,00175$.

Деформацията в бетона при приемане на тази зависимост се ограничава до ε_{cu3} . За бетон с клас, не по-висок от C50/60 $\varepsilon_{cu3} = 0,0035$.

Всички изчисления в тази статия са проведени за бетон с клас, не по-висок от C50/60, но извеждането на конкретни зависимости за други класове бетон принципно не се различава от показаното тук. Диаграмите са показани на фиг. 1, а техните стойности – в табл. 1.

3. Сравнение на работните диаграми

По принцип при оразмеряване по нормални сечения на елементи с единична армировка, работещи на огъване, каквито обичайно са плочите, видът на работната диаграма може да повлияе основно на два важни параметъра: равнодействащата на напреженията в бетона и нейната приложна точка, от която зависи рамото на вътрешната двоица.



Фиг. 1. Параболно-линейна и билинейна работни диаграма на бетона

За произволна работна диаграма на бетона равнодействащата на напреженията в натисква зона в елемент с правоъгълно напречно сечение, каквито най-често са плочите, може да се определи по формулата

$$F_c = A_{(1)} \cdot x \cdot b \cdot f_{cd}, \quad (3)$$

където x е височината на натисквата зона в mm;

b – широчината на натисквата зона, обичайно приемана за плочи 1000 mm;

$A_{(1)}$ – единичната площ на работната диаграма, определена по формулата

$$A_{(1)} = \frac{A_{\epsilon}}{\epsilon_2 - \epsilon_1}, \quad (4)$$

където A_{ϵ} е площта, заключена между нормализираната към f_{cd} крива напрежения–деформации и права, успоредна на абсцисата, отговаряща на ϵ_1 , при деформации в границите от ϵ_1 до ϵ_2 (фиг. 2), определена по формулата

$$A_{\epsilon} = \int_{\epsilon_1}^{\epsilon_2} \frac{\sigma_c(\epsilon_c) - \sigma_c(\epsilon_1)}{f_{cd}} d\epsilon_c. \quad (5)$$

Съответно рамото на вътрешната двоица може да бъде определено по формулата

$$z = d - \beta \cdot x, \quad (6)$$

където z е рамото на вътрешната двоица в mm;

d – полезната височина на сечението в mm;

$\beta \cdot x$ – разстоянието от приложната точка на равнодействащата на натисковите напрежения в бетона, където бездимензионният параметър β се определя по формулата

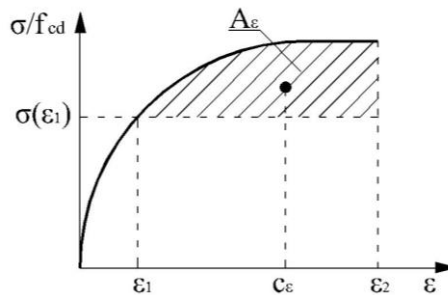
$$\beta = \frac{\varepsilon_2 - c_\varepsilon}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}, \quad (7)$$

където c_ε е абсцисата на центъра на тежестта на площта A_ε при деформации в границите от ε_1 до ε_2 (фиг. 2), определена по формулата

$$c_\varepsilon = \frac{\int_{\varepsilon_1}^{\varepsilon_2} \frac{\sigma_c(\varepsilon_c) - \sigma_c(\varepsilon_1)}{f_{cd}} \cdot \varepsilon_c \cdot d\varepsilon_c}{A_\varepsilon}. \quad (8)$$

При определяне на напрегнатото и деформирано състояние на неусиленото сечение от предварително натоварване границите обикновено са: $\varepsilon_1 = 0$ и $\varepsilon_2 = \varepsilon_{c,p1}$, където $\varepsilon_{c,p1}$ е търсената деформация от предварително натоварване.

При определяне на напрегнатото и деформирано състояние на усиленото сечение от натоварване, приложено след усиляването, границите обикновено са $\varepsilon_1 = \varepsilon_{c,p1}$ (вече определено) и $\varepsilon_2 = \varepsilon_{cu}$, където ε_{cu} е граничната деформация.



Фиг. 2. Определяне на A_ε и c_ε

3.1. За определяне на напрегнатото и деформирано състояние на сечението на неусиления елемент от предварително натоварване

3.1.1. Параболно-линейна диаграма

Площта, заключена между нормализираната към f_{cd} параболно-линейна крива и абсцисата при деформации в границите от 0 до деформация от предварително натоварване $\varepsilon_{c,p1}$, е

$$A_{\varepsilon,p1}^{nap} = \begin{cases} \int_0^{\varepsilon_{c,p1}} \frac{\sigma_c}{f_{cd}} \cdot d\varepsilon_c = \frac{\varepsilon_{c,p1}^2}{\varepsilon_{c2}} - \frac{\varepsilon_{c,p1}^3}{3 \cdot \varepsilon_{c2}^2} & \text{при } \varepsilon_{c,p1} \leq \varepsilon_{c2} \\ \int_0^{\varepsilon_{c2}} \frac{\sigma_c}{f_{cd}} \cdot d\varepsilon_c + 1 \cdot (\varepsilon_{c,p1} - \varepsilon_{c2}) = \varepsilon_{c,p1} - \frac{\varepsilon_{c2}}{3} & \text{при } \varepsilon_{c,p1} > \varepsilon_{c2} \end{cases} \quad (9)$$

Разстоянието от началото на диаграмата до центъра на тежестта на тази площ е:

$$c_{\varepsilon,p1}^{nap} = \begin{cases} \frac{\int_0^{\varepsilon_{c,p1}} \frac{\sigma_c}{f_{cd}} \cdot \varepsilon_c \cdot d\varepsilon_c}{A_{\varepsilon,p1}^{nap}} = \frac{\frac{2 \cdot \varepsilon_{c,p1}^3}{3 \cdot \varepsilon_{c2}} - \frac{\varepsilon_{c,p1}^4}{4 \cdot \varepsilon_{c2}^2}}{\frac{\varepsilon_{c,p1}^2}{\varepsilon_{c2}} - \frac{\varepsilon_{c,p1}^3}{3 \cdot \varepsilon_{c2}^2}} = \frac{8 \cdot \varepsilon_{c2} \cdot \varepsilon_{c,p1} - 3 \cdot \varepsilon_{c2}^2}{12 \cdot \varepsilon_{c2} - 4 \cdot \varepsilon_{c,p1}} & \text{при } \varepsilon_{c,p1} \leq \varepsilon_{c2} \\ \frac{\int_0^{\varepsilon_{c2}} \frac{\sigma_c}{f_{cd}} \cdot \varepsilon_c \cdot d\varepsilon_c + 1 \cdot \frac{\varepsilon_{c,p1} + \varepsilon_{c2}}{2} \cdot (\varepsilon_{c,p1} - \varepsilon_{c2})}{A_{\varepsilon,p1}^{nap}} = \frac{6 \cdot \varepsilon_{c,p1}^2 - \varepsilon_{c2}^2}{12 \cdot \varepsilon_{c,p1} - 4 \cdot \varepsilon_{c2}} & \text{при } \varepsilon_{c,p1} > \varepsilon_{c2} \end{cases} \quad (10)$$

3.1.2. Билинейна диаграма

Площта, заключена между нормализираната към f_{cd} билинейна диаграма и абсцисата, при деформации в границите от 0 до деформация от предварително натоварване $\varepsilon_{c,p1}$, е

$$A_{\varepsilon,p1}^{бил} = \begin{cases} \frac{\sigma_c \cdot \varepsilon_{c,p1}}{2 \cdot f_{cd}} = \frac{\varepsilon_{c,p1}^2}{2 \cdot \varepsilon_{c3}} & \text{при } \varepsilon_{c,p1} \leq \varepsilon_{c3} \\ 1 \cdot \left(\frac{\varepsilon_{c3}}{2} + \varepsilon_{c,p1} - \varepsilon_{c3} \right) = \varepsilon_{c,p1} - \frac{\varepsilon_{c3}}{2} & \text{при } \varepsilon_{c,p1} > \varepsilon_{c3} \end{cases} \quad (11)$$

Разстоянието от началото на диаграмата до центъра на тежестта на тази площ е:

$$c_{\varepsilon,p1}^{бил} = \begin{cases} 1 \cdot \left(\frac{2 \cdot \varepsilon_{c,p1}}{3} \right) & \text{при } \varepsilon_{c,p1} \leq \varepsilon_{c3} \\ 1 \cdot \left[\frac{\varepsilon_{c3}^2}{3} + (\varepsilon_{c,p1} - \varepsilon_{c3}) \cdot \frac{(\varepsilon_{c,p1} + \varepsilon_{c3})}{2} \right] & \text{при } \varepsilon_{c,p1} > \varepsilon_{c3} \end{cases} \quad (12)$$

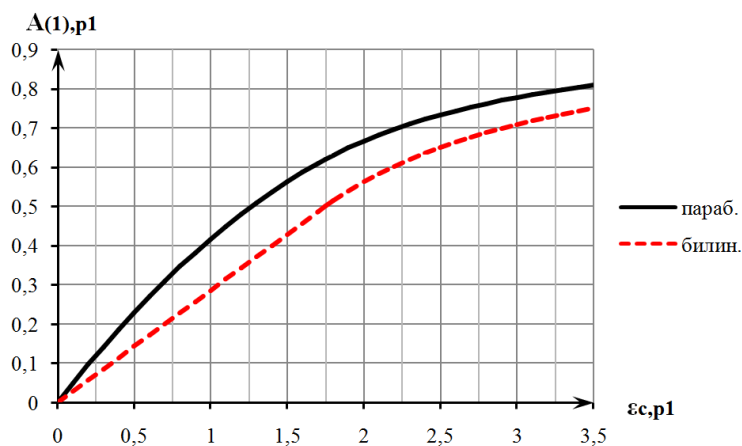
$$\frac{\left[\frac{\varepsilon_{c3}^2}{3} + (\varepsilon_{c,p1} - \varepsilon_{c3}) \cdot \frac{(\varepsilon_{c,p1} + \varepsilon_{c3})}{2} \right]}{A_{\varepsilon,p1}^{бил}} = \frac{3 \cdot \varepsilon_{c,p1}^2 - \varepsilon_{c3}^2}{6 \cdot \varepsilon_{c,p1} - 3 \cdot \varepsilon_{c3}} \quad \text{при } \varepsilon_{c,p1} > \varepsilon_{c3}$$

3.1.3. Сравнение на диаграмите и анализ на резултатите

Единични площи и параметрите β се пресметнати за различни стойности на $\varepsilon_{c,p1}$ по формули (4) и (7), в които са заместени изразите от (9) до (12). Процентните разлики Δ между отделните параметри за двата вида диаграми са приети положителни, когато са в посока на сигурността. Резултатите са показани в табл. 1 и на фиг. 3 и фиг. 4.

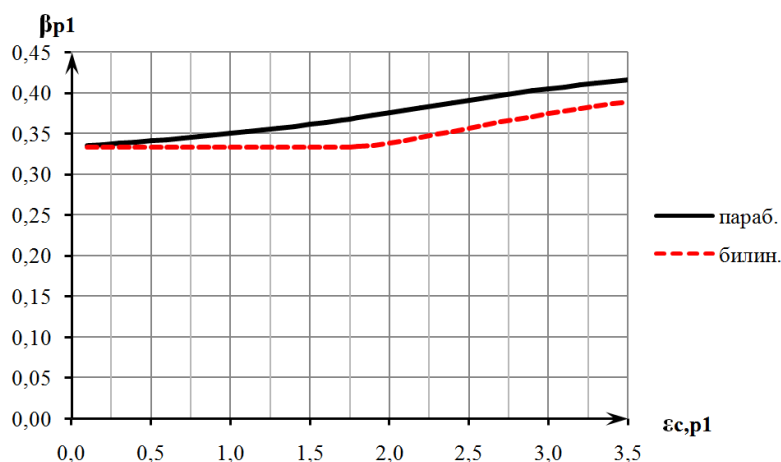
Таблица 1. Сравнение на параболично-линейната и билинейната работна диаграма при определяне на напрегнатото и деформирано състояние на сечението на усиления елемент от предварително натоварване

$\varepsilon_{c,pl}$	$\sigma_{c,pl}/f_{cd}$			$A_{(1),pl}$			β_{pl}		
	параб.	билин.	Δ	параб.	билин.	Δ	параб.	билин.	Δ
%			%	%	%	%	%	%	%
0,2	0,190	0,114	39,8	0,097	0,057	40,9	0,336	0,333	-0,9
0,4	0,360	0,229	36,5	0,187	0,114	38,8	0,339	0,333	-1,8
0,6	0,510	0,343	32,8	0,270	0,171	36,5	0,343	0,333	-2,8
0,8	0,640	0,457	28,6	0,347	0,229	34,1	0,346	0,333	-3,8
1,0	0,750	0,571	23,8	0,417	0,286	31,4	0,350	0,333	-5,0
1,2	0,840	0,686	18,4	0,480	0,343	28,6	0,354	0,333	-6,3
1,4	0,910	0,800	12,1	0,537	0,400	25,5	0,359	0,333	-7,6
1,6	0,960	0,914	4,8	0,587	0,457	22,1	0,364	0,333	-9,1
1,75	0,984	1,000	-1,6	0,620	0,500	19,3	0,368	0,333	-10,3
2,0	1,000	1	0	0,667	0,563	15,6	0,375	0,338	-11,0
2,5	1	1	0	0,733	0,650	11,4	0,391	0,356	-9,7
3,0	1	1	0	0,778	0,708	8,9	0,405	0,374	-8,2
3,5	1	1	0	0,810	0,750	7,4	0,416	0,389	-7,0



Фиг. 3. Зависимост на единичната площ $A_{(1),pl}$ за параболично-линейна и билинейна работна диаграма от деформацията от предварително натоварване

Вижда се, че единичните площи при използване на билинейна диаграма винаги са по-малки в сравнение с използването на параболично-линейна, като разликите са най-големи при малки стойности на деформациите (около 40%) и постепенно намаляват до 7%. Това на практика означава, че при използването на билинейна диаграма ще се получат по-големи деформации (и вероятно по-големи височини на натисковата зона) от предварително натоварване, което е в посока на сигурността.



Фиг. 4. Зависимост на бездимензионния параметър β_{p1} за параболично-линейна и билинейна работна диаграма от деформацията от предварително натоварване

Разликите в параметъра β са в рамките на до около 11%, като при билинейна диаграма се получават по-малки стойности. Това на практика означава, че при една и съща височина на натисквата зона, с използване на билинейна диаграма ще се получи по-голямо рамо на вътрешната двоица, което не е в посока на сигурността. Предвид много по-големите разлики при единичните диаграми обаче, както и като се вземе под внимание, че приносът на $\beta \cdot x$ към крайната стойност на рамото на вътрешната двоица е много по-малък от константната полезна височина, може да се заключи, че като цяло използването на билинейна диаграма вместо параболично-линейна е в посока на сигурността.

3.2. За определяне на напрегнатото и деформирано състояние на сечението на усиления елемент от натоварване, приложено след усиляването

3.2.1. Параболично-линейна диаграма

Площта, заключена между билинейната крива и линията, успоредна на абсцисата и минаваща през точката, достигната от предварително натоварване $A_{\epsilon_2}^{nap}$ при деформации в границите от деформацията от предварително натоварване $\epsilon_{c,p1}$ до граничната деформация $\epsilon_{cu2} = 0,0035$, се определя по формулата

$$\begin{aligned}
 A_{\epsilon,p2}^{nap} &= \epsilon_{cu2} - \frac{\epsilon_{c2}}{3} - A_{\epsilon,p1}^{nap} - \frac{\sigma_{c,p1}}{f_{cd}} \cdot (\epsilon_{cu2} - \epsilon_{c,p1}) = \\
 &= -\frac{2 \cdot \epsilon_{c,p1}^3}{3 \cdot \epsilon_{c2}^2} + \frac{\epsilon_{c,p1}^2}{\epsilon_{c2}} \cdot \left(1 + \frac{\epsilon_{cu2}}{\epsilon_{c2}}\right) - 2 \cdot \epsilon_{c,p1} \cdot \frac{\epsilon_{cu2}}{\epsilon_{c2}} + \epsilon_{cu2} - \frac{\epsilon_{c2}}{3}.
 \end{aligned} \tag{13}$$

Разстоянието от началото на диаграмата до центъра на тежестта на тази площ е

$$c_{\varepsilon,p2}^{nap} = \frac{\left(\varepsilon_{cu2} - \frac{\varepsilon_{c2}}{3} \right) \cdot \frac{6\varepsilon_{cu2}^2 - \varepsilon_{c2}^2}{12\varepsilon_{cu2} - 4\varepsilon_{c2}} - A_{\varepsilon,p1}^{nap} \cdot c_{\varepsilon,p1}^{nap} - \frac{\sigma_{c,p1}}{f_{cd}} \cdot (\varepsilon_{cu2} - \varepsilon_{c,p1}) \cdot \frac{(\varepsilon_{cu2} + \varepsilon_{c,p1})}{2}}{A_{\varepsilon,p2}^{nap}} =$$

$$= \frac{-\frac{\varepsilon_{c,p1}^4}{4\varepsilon_{c2}^2} + \frac{\varepsilon_{c,p1}^3}{\varepsilon_{c2}} + \frac{\varepsilon_{c,p1}^2 \cdot \varepsilon_{cu2}^2}{2\varepsilon_{c2}^2} - \frac{\varepsilon_{c,p1} \cdot \varepsilon_{cu2}^2}{\varepsilon_{c2}} + 5,7917 \cdot 10^{-6}}{A_{\varepsilon,p2}^{nap}}. \quad (14)$$

3.2.2. Билинейна диаграма

Площта, заключена между билинейната крива и линията, успоредна на абсцисата и минаваща през точката, достигната от предварително натоварване $A_{\varepsilon 2}^{nap}$, при деформации в границите от деформация от предварително натоварване $\varepsilon_{c,p1}$ до граничната деформация $\varepsilon_{cu3} = 0,0035$, се определя по формулата

$$A_{\varepsilon 2}^{бил} = 1 \cdot \frac{\varepsilon_{c3} - \varepsilon_{c,p1}}{\varepsilon_{c3}} \cdot \left(\frac{\varepsilon_{c3} - \varepsilon_{c,p1}}{2} + \varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{c3} \right) = \frac{\varepsilon_{c,p1}^2}{2\varepsilon_{c3}} - \frac{\varepsilon_{c,p1} \cdot \varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{c3}} + \varepsilon_{cu3} - \frac{\varepsilon_{c3}}{2}. \quad (15)$$

Разстоянието от началото на диаграмата до центъра на тежестта на тази площ е

$$c_{\varepsilon,p2}^{бил} = \frac{\frac{\varepsilon_{c3} - \varepsilon_{c,p1}}{\varepsilon_{c3}} \cdot \left[\frac{\varepsilon_{c3} - \varepsilon_{c,p1}}{2} \cdot \frac{2\varepsilon_{c3} + \varepsilon_{c,p1}}{3} + (\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{c3}) \cdot \frac{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{c3}}{2} \right]}{A_{\varepsilon,p2}^{бил}} =$$

$$= \frac{\varepsilon_{c,p1}^3 - 3\varepsilon_{c,p1} \cdot \varepsilon_{cu3}^2 - \varepsilon_{c3}^3 + 3\varepsilon_{cu3}^2 \cdot \varepsilon_{c3}}{6\varepsilon_{c3} \cdot A_{\varepsilon,p2}^{бил}}. \quad (16)$$

3.2.3. Сравнение на диаграмите и анализ на резултатите

За да е по-коректно сравнението на резултатите, трябва да се отчете, че с различните работни диаграми биха се получили различни деформации от предварително натоварване. Резултатите зависят от конкретните характеристики на сечението и усилията, поради което тук опростено е прието връзката между деформациите в бетона от предварително натоварване при използване на различните диаграми да се определи от равенството на единичните площи:

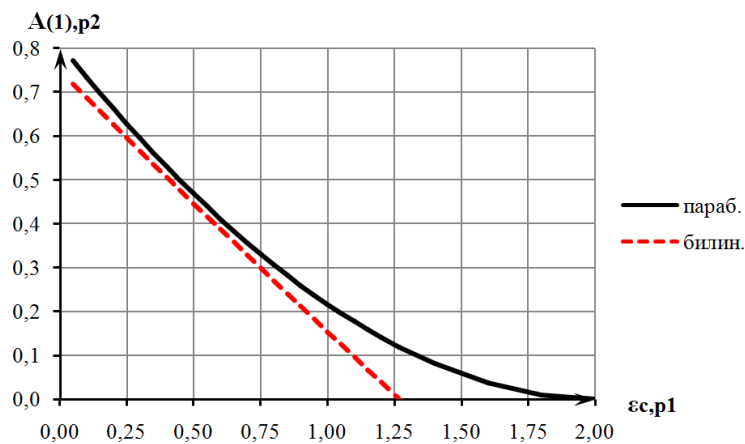
$$A_{(1),p1}^{nap} = A_{(1),p1}^{бил} \rightarrow \frac{\varepsilon_{c,p1}^{nap}}{\varepsilon_{c2}} \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon_{c,p1}^{nap}}{3\varepsilon_{c2}} \right) = \frac{\varepsilon_{c,p1}^{бил}}{2\varepsilon_{c3}} \rightarrow \varepsilon_{c,p1}^{бил} = 2\varepsilon_{c3} \cdot \frac{\varepsilon_{c,p1}^{nap}}{\varepsilon_{c2}} \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon_{c,p1}^{nap}}{3\varepsilon_{c2}} \right). \quad (17)$$

За съответните деформации са изчислени единичните площи и параметрите β по формули (4) и (7), в които са заместени изразите от (13) до (16). Процентните разлики

Δ между отделните параметри за двата вида диаграми са приети положителни, когато са в посока на сигурността. Резултатите са показани в табл. 2 и на фиг. 5 и фиг. 6. Вижда се, че отново единичните площи за билинейна диаграма са по-малки, т.е. в посока на сигурността, като тук обаче разликите, особено при неголеми деформации от предварително натоварване, са много по-малки.

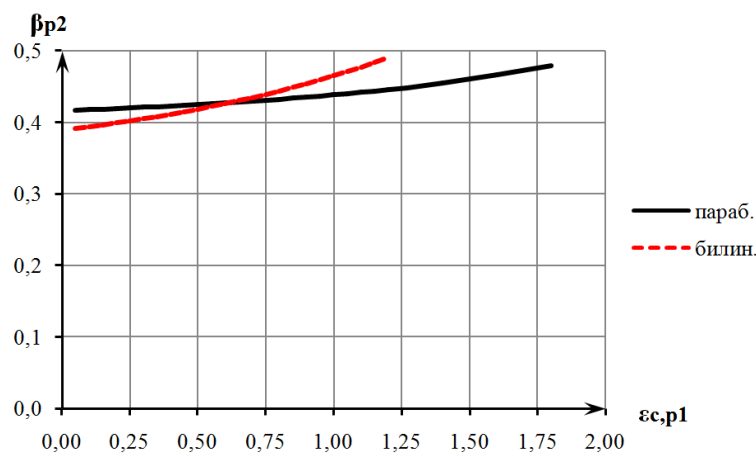
Таблица 2. Сравнение на параболично-линейната и билинейната работна диаграма при определяне на напрегнатото и деформирано състояние на сечението на усиления елемент от натоварване, приложено след усиляването

$\varepsilon_{с,р1}$			$A_{(1),р2}$			$\beta_{р2}$		
пар.	бил.	Δ	пар.	бил.	Δ	пар.	бил.	Δ
‰	‰	%			%			%
0,20	0,338	41	0,663	0,627	5,5	0,419	0,399	-5,0
0,40	0,653	39	0,530	0,506	4,5	0,423	0,411	-2,8
0,60	0,945	37	0,411	0,388	5,7	0,427	0,426	-0,3
0,80	1,213	34	0,307	0,271	11,7	0,432	0,444	2,6
1,00	1,458	31	0,217	0,155	28,6	0,438	0,465	5,8
1,268	1,750	28	0,119	0,000	-	0,449	-	-
1,60	-	-	0,037	-	-	0,466	-	-
2,00	-	-	0,000	-	-	-	-	-



Фиг. 5. Зависимост на единичната площ $A_{(1),р2}$ за параболично-линейна и билинейна работна диаграма от деформацията от предварително натоварване, получена с използване на параболично-линейна диаграма

Разликите в параметъра β са малки и биха оказали пренебрежимо влияние върху крайната стойност на рамото на вътрешната двоица, предвид на описаните в точка 3.1.3 съображения. Като цяло може да се заключи, че при използване на билинейна работна диаграма за оразмеряване на усиляването на стоманобетонни плочи със стоманобетон, биха се получили резултати с неголяма разлика в посока на сигурността спрямо резултатите, получени с използване на параболично-линейна диаграма.



Фиг. 6. Зависимост на бездименсияния параметър β_{p2} за параболично–линейна и билинейна работна диаграма от деформацията от предварително натоварване, получена с използване на параболично-линейна диаграма

4. Възможности за прилагане на диаграмите

На база на равновесните условия, уравненията на физиката и геометрията, теоретично могат да бъдат изведени дискретни формули за оразмеряване на усилването на стоманобетонни плочи с използването и на двата вида работни диаграми. Това е направено в [2] с използване на билинейната работна диаграма. Подобно извеждане с използване на параболично-линейната диаграма обаче води до много тежки изрази от висока степен, които на практика са неприложими в директни изчисления.

При автоматизирани изчисления по-рационално е да се използва итерационен подход, отколкото да се използва решение с дискретни формули, тъй като формулите варират в зависимост от случая на напрегнато и деформирано състояние на сечението. За определяне на напрегнатото и деформирано състояние от предварително натоварване най-удобно би било да се варира с ръбовата деформация на бетона, след което с използване на зависимостите, изведени в този доклад, лесно може да се определят височината на натисквата зона и останалите напрежения и деформации, с които да се провери равновесието на сечението. Процедурата за самото оразмеряване на усилването зависи от избрания метод за усилване, предварително избраните и търсените параметри.

5. Заключение

Резултатите от сравнението на работните диаграми на бетона, дефинирани в [1], показват, че с използването на еквивалентната билинейна диаграма при оразмеряване на усилването на стоманобетонни плочи с отчитане на предварителното натоварване, се получават резултати с неголяма разлика в посока на сигурността спрямо резултатите, получени с използване на параболично-линейна диаграма. Като се има предвид и значителното облекчение на изчислителния процес, билинейната диаграма може да бъде препоръчана за използване при ръчни изчисления, докато по-точната

параболично-линейна диаграма може да бъде използвана при автоматизирани итерационни изчисления, като се използват зависимостите, изведени в тази статия.

ЛИТЕРАТУРА

1. БДС EN 1992-1-1:2004 Еврокод 2: Проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции. Част 1-1: Общи правила и правила за сгради.
2. Чардакова, Т., К. Възгечев, М. Трайкова. Усилване на конструктивни елементи от монолитни стоманобетонни скелетно-гредови конструкции – Числени примери. „Нова Кампания“, С., 2015.

APPLICATION OF THE PARABOLIC-LINEAR AND THE EQUIVALENT BILINEAR STRESS-STRAIN DIAGRAM OF THE CONCRETE FOR THE DESIGN OF THE STRENGTHENING OF RC SLABS

T. Chardakova¹

Keywords: stress-strain diagram of the concrete, strengthening, reinforced concrete

Research area: retrofitting and strengthening of RC structures

ABSTRACT

When the preliminary loading is accounted for in the design of the strengthening of RC slabs, the choice of stress-strain diagram of the concrete is essential for the complexity of the calculations. Eurocode 2 defines two diagrams of the concrete: parabolic-linear and equivalent bilinear. The first corresponds to the actual behavior of the concrete better, but is applicable mainly for computer-aided design. The latter is applicable for manual design.

In this paper first the two diagrams are compared for different values of the deformation which is present at the moment of the strengthening of the slabs. After that the possible applications of the two diagrams for both manual and computer-aided design are analyzed. Based on this analysis, some conclusions and recommendations concerning their application for the design of the strengthening of RC slabs are given.

¹Tanya Chardakova, Dr. Eng., e-mail: tanq_chardakova@abv.bg

