

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 <sup>ТОМ</sup>  
vol.

2015

св. 12 – I  
fasc.

## НОСИМОСПОСОБНОСТ ПРИ РАВНИНЕН НЕЦЕНТРИЧЕН НАТИСК НА ИЗЦЯЛО ВБЕТОНИРАНИ СТОМАНЕНИ СЕЧЕНИЯ НА КОМБИНИРАНИ КОЛОНИ, ИЗГОТВЕНИ ОТ РАЗЛИЧНИ КЛАСОВЕ БЕТОН И РАЗЛИЧНИ КЛАСОВЕ КОНСТРУКЦИОННА СТОМАНА

Ц. Колев<sup>1</sup>

*Ключови думи:* комбинирани стомано-стоманобетонни колони, равнинен нецентричен натиск

*Научна област:* стоманобетон и стоманобетонни конструкции

### РЕЗЮМЕ

В настоящата статия е разгледан метод за определяне на носимоспособността на напречните сечения на комбинирани стомано-стоманобетонни колони с изцяло вбетонирано стоманено сечение, подложени на равнинен нецентричен натиск. Разгледани са правоъгълни напречни сечения на комбинирани стомано-стоманобетонни колони. Използвани са армировъчна стомана клас B500 и различни класове бетон и конструкционна стомана. За работни диаграми на бетона са приети: правоъгълната и билинейната диаграма от Еврокод 2 и правоъгълната диаграма, разпростираща се до нулевата линия, регламентирана в Еврокод 4. Направени са изводи въз основа на получените резултати за напречните сечения на колоните при различните класове бетон и конструкционна стомана и при различните приети работни диаграми на бетона. Целта на статията е чрез представения метод да се разшири обхватът на приложение на Еврокод 4.

---

<sup>1</sup> Цанко Колев, инж., докторант, кат. „Масивни конструкции”, УАСГ, бул. „Христо Смирненски” № 1, София 1046, e-mail: outlook@abv.bg

## 1. Въведение

През последните десетилетия все повече се разширява прилагането на комбинирани стомано-стоманобетонни колони в многоетажните сгради по света. Комбинираните колони с изцяло вбетонирани стоманени сечения се характеризират с повишена носимоспособност на напречните сечения в сравнение със стоманобетонните колони, намален риск от загуба на устойчивост в сравнение със стоманените колони, повишена коравина, повишена огнеустойчивост и др. Те представляват едно икономично решение по отношение на разходите за материали, при тежко натоварени конструкции.

БДС EN 1994-1-1:2005 – Еврокод 4 [2] допуска използването на бетони с класове по якост на натиск от C20/25 до C50/60 включително и конструкционна стомана с класове от S235 до S460 в комбинирани стомано-стоманобетонни колони. Този стандарт не разглежда проектирането на стомано-стоманобетонни колони от високоякостен бетон. Причините са, че приетите в евростандарта предпоставки за изчисляване на комбинирани колони не позволяват да се отчете изменението на характеристиките на бетона при прехода от обикновени към високоякостни бетони, както и недостатъчният брой теоретични и експериментални изследвания на комбинирани стомано-стоманобетонни колони изпълнени с високоякостен бетон.

Прилагането на високоякостни бетони в комбинираните стомано-стоманобетонни колони води до още по-голямо увеличаване на носимоспособността на напречните сечения на колоните, до увеличаване на коравината им, до значително редуциране на размерите на напречните сечения на колоните, в сравнение с използването на бетони с нормална якост.

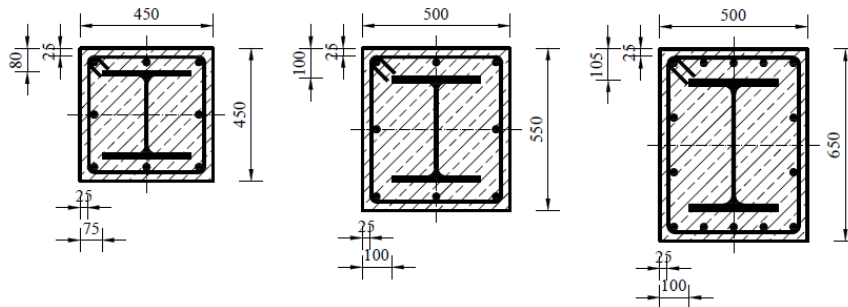
В настоящата статия е представен метод за изчисляване на носимоспособността на напречните сечения на комбинирани стомано-стоманобетонни колони с изцяло вбетонирани стоманени сечения, изготвени от високоякостен бетон, подложени на равнинен нецентричен натиск (натиск, комбиниран с просто огъване). Този метод се основава на опростения изчислителен метод, регламентиран в БДС EN 1994-1-1:2005 [2], и чрез него се цели да се разшири обхватът на приложение на Еврокод 4 [2]. Той отчита изменението на характеристиките на бетона при прехода от обикновени към високоякостни бетони, отразени в БДС EN 1992-1-1:2005 – Еврокод 2 [1] – използвани са аналитичните изрази за описване на работните диаграми на бетона при натоварване на натиск.

## 2. Аналитично определяне на стойностите на коефициента $\alpha_M$ за различни класове бетон и различни класове конструкционна стомана

Методът за определяне на носимоспособността на комбинираните стомано-стоманобетонни колони, подложени на равнинен нецентричен натиск (натиск, комбиниран с просто огъване), е представен в [2] и [4]. Съгласно Еврокод 4 [2] коефициентът  $\alpha_M$  се приема равен на 0,9 за стомани класове от S235 до S355 включително и 0,8 за стомани класове S420 и S460. Този коефициент отчита факта, че при изчисляване на комбинирани колони в пластичен стадий действителните работни диаграми на бетона и стоманата се заменят с правоъгълни диаграми на напреженията, което довежда до надценяване на носимоспособността на комбинираните напречни сечения на огъване [3].

За определяне на стойностите на коефициента  $\alpha_M$  са използвани три вида напречни сечения на комбинирани колони с изцяло вбетонирано стоманено сечение с размери: 45/45 cm, 50/55 cm, 50/65 cm – фиг. 1. При конструирането на сеченията са спазени изискванията за минимално  $c_{\min,y(z)}$  и максимално бетонно покритие  $c_{\max,y(z)}$  на конструкционната стомана. Характеристиките на напречните сечения са представени в таблица 1.

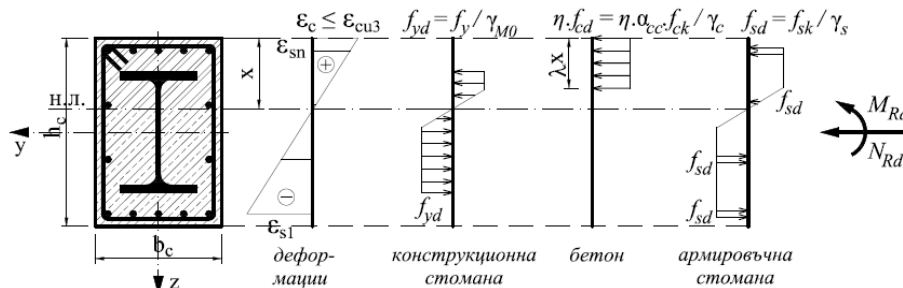
Използвани са класове бетон C20/25, C25/30, C50/60, C55/67, C60/75, C70/85, C80/95 и C90/105, армировъчна стомана клас B500 и конструкционна стомана с класове S235, S355 и S460. За определяне на носимоспособността на напречните сечения на комбинирани колони са използвани правоъгълната (фиг. 2) и билинейната работна диаграма на бетона (фиг. 4) от Еврокод 2 [1] и правоъгълната работна диаграма на бетона, разпростираща се до нулевата линия (фиг. 3), регламентирана в Еврокод 4 [2]. Приети са идеализирани работни диаграми „напрежения–деформации“ на армировъчната и конструкционната стомана с хоризонтален горен клон. Изчислителната стойност на модула на еластичност на армировъчната стомана  $E_s$  се приема 200 000 МПа, а на конструкционната  $E_a$  се приема 210 000 МПа.



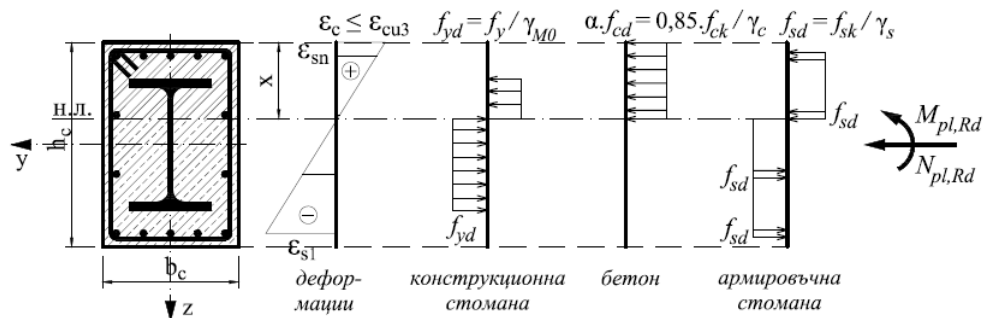
Фиг. 1. Видове напречни сечения

Таблица 1. Характеристики на напречните сечения

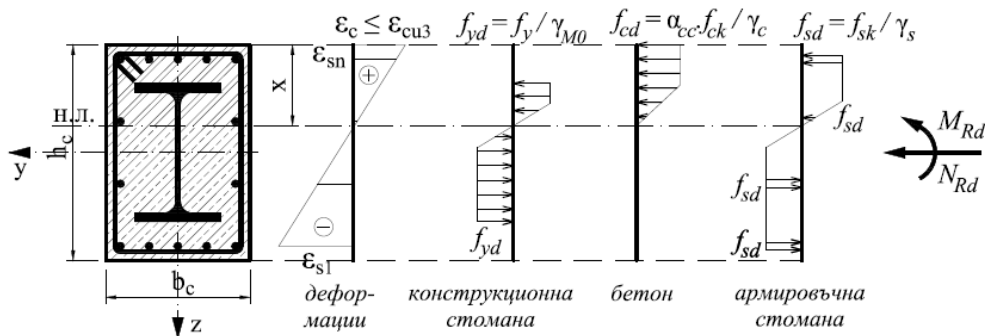
№	Напречно сечение			Стоманен профил		Надлъжна армировка			
	$b_c$ (mm)	$h_c$ (mm)	$A$ (cm <sup>2</sup> )	-	$A_a$ (cm <sup>2</sup> )	$n_s$	$\varphi_s$ (mm)	$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	$\rho_s$ (%)
1	450	450	2025	НЕВ 300	149	8	25	39.272	2.138
2	500	550	2750	НЕВ 360	181	8	25	39.272	1.552
3	500	650	3250	НЕВ 450	218	14	25	68.726	1.312



Фиг. 2. Правоъгълна работна диаграма на бетона и идеализирани работни диаграми на конструкционната и армировъчната стомана – Еврокод 2 [1],  $\alpha_{cc} = 0,85$



Фиг. 3. Правоъгълна работна диаграма на бетона от натиснатия ръб на сечението до нулевата линия и правоъгълни работни диаграми на конструкционната и армировъчната стомана (работа в пластичен стадий – Еврокод 4 [2])

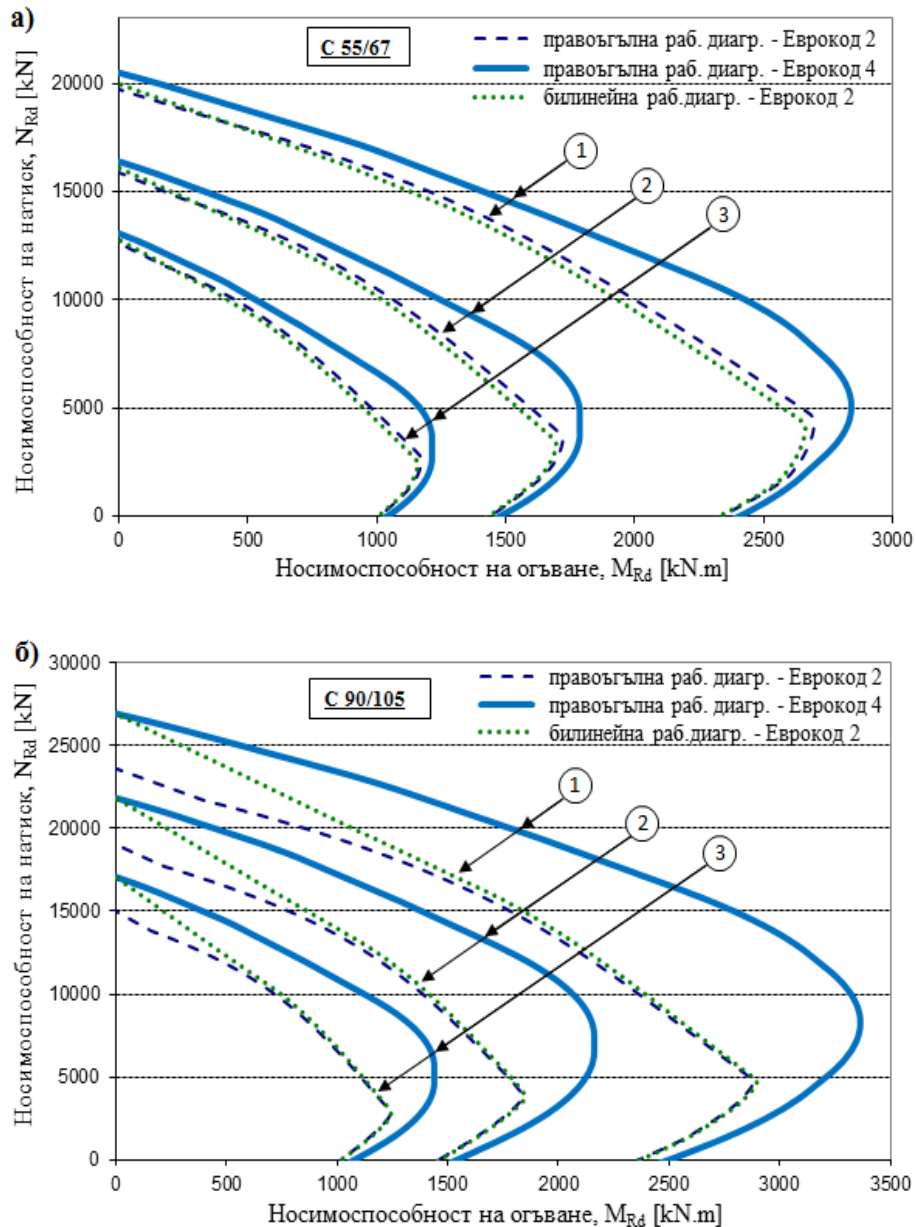


Фиг. 4. Билинейна работна диаграма на бетона и идеализирани работни диаграми на конструкционната и армировъчната стомана – Еврокод 2 [1]],  $\alpha_{cc} = 0,85$



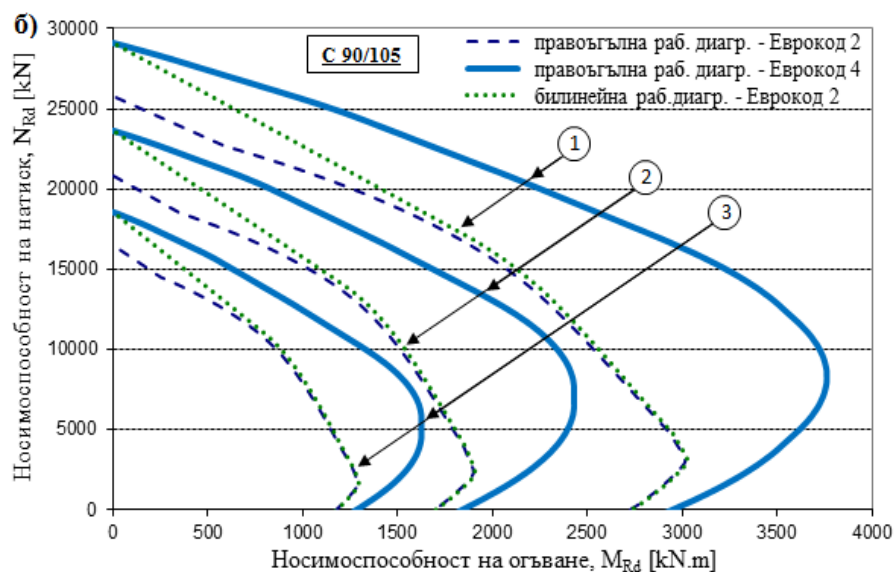
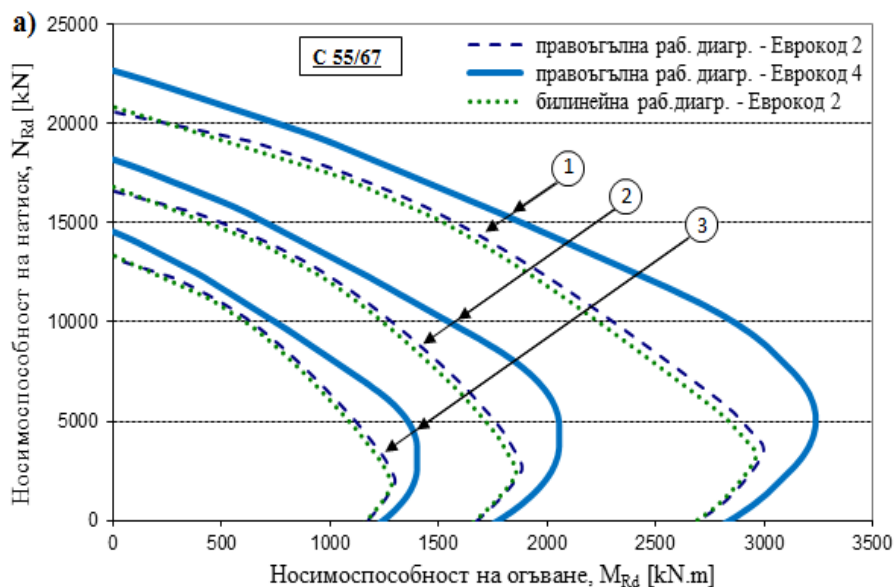
Фиг. 5. Определяне на носимоспособността на огъване  $M_{N,Rd,i}$  при правоъгълна или билинейна работна диаграма на бетона съгласно БДС EN 1992-1-1:2005 [1] и на носимоспособността на огъване  $M_{pl,N,Rd,i}$  в пластичен стадий съгласно БДС EN 1994-1-1:2005 [2]

На фиг. 5 е показано съотношението между кривата на взаимодействие в пластичен стадий (Еврокод 4 [2]) и кривите на взаимодействие при правоъгълна или билинейна работна диаграма на бетона и идеализирани работни диаграми на конструкционната и армивъчната стомана, регламентирани в Еврокод 2 [1].



1) напречно сечение 65/50 cm; 2) напречно сечение 55/50 cm; 3) напречно сечение 45/45 cm

**Фиг. 6 а), б).** Сравнение на кривите на взаимодействие на три вида напречни сечения на комбинирани колони при различни работни диаграми на бетона, различни класове бетон и конструкционна стомана клас S355



1) напречно сечение 65/50 cm; 2) напречно сечение 55/50 cm; 3) напречно сечение 45/45 cm

**Фиг. 7 а), б).** Сравнение на кривите на взаимодействие на три вида напречни сечения на комбинирани колони при различни работни диаграми на бетона, различни класове бетон и конструкционна стомана клас S460

От кривите на взаимодействие на фиг. 6 и фиг. 7 се вижда, че максималната носимоспособност на централен натиск  $N_{Rd}$  за класове бетон C55/67 и C90/105 се получава в пластичен стадий (това се наблюдава и при останалите разглеждани класове бетон и при конструкционна стомана клас S235, чиито криви на взаимодействие не са показани в настоящата статия). Основните причини са следните:

– при използване на правоъгълната и билинейната работна диаграма на бетона и идеализираните работни диаграми на конструкционната и армировъчната стомана за класове бетон от C20/25 до C70/85 включително и конструкционна стомана класове S235 и S355 не може да се достигне изчислителната стойност на границата на провлачване на армировъчната стомана  $f_{sd}$ . Това се дължи на факта, че съгласно правилото на „трите точки“, дефинирано в БДС EN 1992-1-1:2005 [1], при центричен натиск деформациите на натиснатия бетон в цялото напречно сечение на колоната достигат стойността  $\epsilon_{c3}$ , по-малка от стойността на деформацията на армировъчната стомана  $\epsilon_{s,yd} = f_{sd} / E_s$ , при която се достига изчислителната стойност на границата на провлачване на армировката  $f_{sd}$ . В резултат при центричен натиск армировъчната стомана работи с напрежения  $\sigma_s = E_s \cdot \epsilon_{c3}$ , по-малки от изчислителната стойност на границата ѝ на провлачване  $f_{sd}$ ;

– при използване на правоъгълната и билинейната работна диаграма на бетона и идеализираните работни диаграми на конструкционната и армировъчната стомана за класове бетон от C20/25 до C70/85 включително и конструкционна стомана клас S460 не може да се достигнат изчислителните стойности на границите на провлачване на конструкционната  $f_{yd}$  и армировъчната стомана  $f_{sd}$ . Това се дължи на факта, че съгласно правилото на „трите точки“, дефинирано в Еврокод 2 [1], при центричен натиск деформациите на натиснатия бетон в цялото напречно сечение на колоната достигат стойността  $\epsilon_{c3}$ , по-малка от стойностите на деформациите на конструкционната  $\epsilon_{a,yd} = f_{yd} / E_a$  и армировъчната стомана  $\epsilon_{s,yd}$ , при които се достигат съответните изчислителни стойности на границите на провлачване  $f_{yd}$  и  $f_{sd}$ . В резултат при центричен натиск конструкционната и армировъчната стомана работят с напрежения, съответно  $\sigma_a = E_a \cdot \epsilon_{c3}$  и  $\sigma_s = E_s \cdot \epsilon_{c3}$ , по-малки от изчислителните стойности на границите им на провлачване  $f_{yd}$  и  $f_{sd}$ ;

– при класове бетон от C55/67 до C90/105 и конструкционна стомана класове S235, S355 и S460 носимоспособността на центричен натиск  $N_{Rd}$  при използване на правоъгълната работна диаграма, регламентирана в Еврокод 2 [1], е по-малка от носимоспособността на центричен натиск при използване на билинейната работна диаграма на бетона. Това се дължи на факта, че при използване на правоъгълната работна диаграма на бетона от БДС EN 1992-1-1:2005 [1], стойността на изчислителната якост на натиск на бетона  $f_{cd}$  се умножава с коефициента  $\eta$ , който има стойности по-малки от 1 за класове бетон над C50/60.

При класове бетон C80/95 и C90/105 и конструкционна стомана класове S235, S355 и S460 се достигат изчислителните стойности на границите на провлачване на конструкционната  $f_{yd}$  и армировъчната стомана  $f_{sd}$ , защото деформациите на натиснатия бетон при центричен натиск имат стойност  $\epsilon_{c3}$ , по-голяма от стойностите на деформациите на конструкционната  $\epsilon_{a,yd}$  и армировъчната стомана  $\epsilon_{s,yd}$ . В резултат носимоспособностите на центричен натиск  $N_{Rd}$  на напречните сечения при използване на билинейната работна диаграма от Еврокод 2 [1] и правоъгълната работна диаграма от Еврокод 4 [2] са равни.

От тук може да се направи изводът, че при използване на класове бетон от C20/25 до C70/85 включително и конструкционна стомана класове S235, S355 няма пълноценно използване на армировъчна стомана, а при конструкционна стомана клас S460 няма пълноценно използване на конструкционна и армировъчна стомана. При

класове бетон С80/95 и С90/105 и конструкционна стомана класове S235, S355 и S460 има пълноценно използване на конструкционна и армировъчна стомана.

Коефициентът  $\alpha_M$  се получава като средноаритметична стойност от стойностите на коефициентите  $\alpha_{M,j}$  за трите напречни сечения. От своя страна коефициентите  $\alpha_{M,j}$  се получават като средноаритметична стойност от стойностите на коефициентите  $\alpha_{M,i}$ . Всеки коефициент  $\alpha_{M,i}$  представлява отношението на носимоспособността на огъване  $M_{N,Rd,i}$ , получена от кривата на взаимодействие при правоъгълна или билинейна работна диаграма на бетона и идеализирани работни диаграми на конструкционната и армировъчната стомана, към носимоспособността на огъване  $M_{pl,N,Rd,i}$  в пластичен стадий, получена от кривата на взаимодействие съгласно Еврокод 4 [2]. Стойностите на  $M_{N,Rd,i}$  и  $M_{pl,N,Rd,i}$  са отчетени от кривите на взаимодействие чрез използване на стойности на носимоспособността на натиск  $N_{Rd,i}$  през стъпка 100 kN, както е показано на фиг. 5. Стойността на коефициента  $\alpha_M$  се получава по формулата:

$$\alpha_M = \frac{\sum_{j=1}^N \alpha_{M,j}}{N} = \frac{\sum_{j=1}^N \left[ \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_{M,i}}{n} \right]}{N} = \frac{\sum_{j=1}^N \left[ \frac{\sum_{i=1}^n \frac{M_{N,Rd,i}}{M_{pl,N,Rd,i}}}{n} \right]}{N}, \quad (1)$$

$$\alpha_{M,j} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_{M,i}}{n}, \quad \alpha_{M,i} = \frac{M_{N,Rd,i}}{M_{pl,N,Rd,i}}, \quad (2)$$

където  $N = 3$  е броят напречни сечения;

$n$  е броят ординати от кривата на взаимодействие през стъпка 100 kN – фиг. 5.

**Таблица 2. Усреднени стойности на коефициента  $\alpha_M$  за трите напречни сечения**

Вид работна диаграма на бетона	Клас бетон	S235	S355	S460
правоъгълна	C20/25	0.89	0.85	0.84
<b>билинейна</b>		<b>0.85</b>	<b>0.83</b>	<b>0.82</b>
правоъгълна	C25/30	0.90	0.86	0.84
<b>билинейна</b>		<b>0.85</b>	<b>0.84</b>	<b>0.81</b>
правоъгълна	C50/60	0.91	0.88	0.86
<b>билинейна</b>		<b>0.85</b>	<b>0.84</b>	<b>0.82</b>
правоъгълна	C55/67	0.87	0.84	0.82
<b>билинейна</b>		<b>0.82</b>	<b>0.81</b>	<b>0.78</b>
правоъгълна	C60/75	0.83	0.81	0.77
<b>билинейна</b>		<b>0.80</b>	<b>0.79</b>	<b>0.74</b>
правоъгълна	C70/85	0.77	0.75	0.71
<b>билинейна</b>		<b>0.76</b>	<b>0.76</b>	<b>0.72</b>
правоъгълна	C80/95	0.72	0.70	0.66
<b>билинейна</b>		<b>0.72</b>	<b>0.72</b>	<b>0.69</b>
правоъгълна	C90/105	0.68	0.67	0.63
<b>билинейна</b>		<b>0.70</b>	<b>0.70</b>	<b>0.68</b>

От таблица 2 се вижда, че получените стойности на коефициента  $\alpha_M$  спрямо правоъгълната и билинейната работна диаграма на бетона, дефинирани в Еврокод 2 [1] при класове бетон от C20/25 до C50/60 включително и конструкционна стомана класове S235 и S355, са по-малки от стойността на коефициента  $\alpha_M = 0,9$ , регламентирана в Еврокод 4 [2]. А при конструкционна стомана клас S460 са по-големи от стойността на коефициента  $\alpha_M = 0,8$ . Стойностите на коефициентите са близки до стойностите на дефинирания в БДС EN 1994-1-1:2005 [2] коефициент, от което може да се направи изводът, че използваният метод е верен.

От таблица 2 се вижда, че стойностите на коефициента  $\alpha_M$  при класове бетон от C55/67 до C90/105 намаляват с нарастването на класа на бетона. Препоръчителни стойности на коефициента  $\alpha_M$  са дадени в таблица 3.

**Таблица 3. Препоръчителни стойности на коефициента  $\alpha_M$**

	C20/25	C25/30	C50/60	C55/67	C60/75	C70/85	C80/95	C90/105
S235	0.85	0.85	0.85	0.82	0.80	0.76	0.72	0.70
S355	0.83	0.84	0.84	0.81	0.79	0.76	0.72	0.70
S460	0.8 (EC4)	0.8 (EC4)	0.8 (EC4)	0.78	0.74	0.72	0.69	0.68

### 3. Заключение

В настоящата статия е представен метод, чрез който да се отчете изменението на характеристиките на бетона при прехода от обикновени към високоякостни бетони при определяне на носимоспособността на напречните сечения на комбинирани колони, чрез прилагане на изчислителните работни диаграми на бетона, регламентирани в БДС EN 1992-1-1:2005 – Еврокод 2 [1].

Аналитичното изследване показва, че за класове бетон от C20/25 до C70/85 включително и конструкционна стомана клас S235 и S355, армировъчната стомана клас B500 не се използва пълноценно, тъй като не се достига изчислителната стойност на границата ѝ на провлачване  $f_{sd}$ . А при конструкционна стомана клас S460 няма пълноценно използване на конструкционна и армировъчна стомана. При класове бетон C80/95 и C90/105 и конструкционна стомана класове S235, S355 и S460 има пълноценно използване на конструкционна и армировъчна стомана. Препоръчителни стойности на коефициента  $\alpha_M$  са дадени в таблица 3.

Резултатите от анализа показват, че представеният метод може да се използва за изчисляване на носимоспособността на напречните сечения на комбинирани колони с изцяло вбетонирани стоманени сечения, изпълнени с високоякостен бетон. Получените стойности на коефициента  $\alpha_M$  могат да се използват за разглежданите напречни сечения. За други видове напречни сечения са необходими допълнителни изследвания чрез по-горе изложения метод.

Включването на високоякостните бетони за изготвяне на комбинирани стоманостоманобетонни колони с изцяло вбетонирани стоманени сечения в обхвата на БДС EN 1994-1-1:2005 – Еврокод 4 би разширило приложението на тези колони в строителството на сгради и инженерни съоръжения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. БДС EN 1992-1-1:2005 и БДС EN 1992-1-1:2005/NA – Еврокод 2: Проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции. Част 1-1: Общи правила и правила за сгради.

2. БДС EN 1994-1-1:2005 и БДС EN 1994-1-1:2005/NA – Еврокод 4: Проектиране на комбинирани стомано-стоманобетонни конструкции. Част 1-1: Общи правила и правила за сгради.

3. Венков, Л., Б. Захариева-Георгиева. Еврокод 4: Проектиране на комбинирани стомано-стоманобетонни конструкции в сгради. София, 2013.

4. Колев, Ц. Носимоспособност при равнинен нецентричен натиск на изцяло вбетонирани стоманени сечения на комбинирани колони, изготвени от различни класове бетон. Първа научно-приложна конференция с международно участие “Стоманобетонни и зидани конструкции – теория и практика“, София, 2015.

## RESISTANCE OF CONCRETE ENCASED STEEL SECTIONS OF COMPOSITE COLUMNS MADE OF DIFFERENT CONCRETE STRENGTH CLASSES AND DIFFERENT STRUCTURAL STEEL GRADES SUBJECTED TO COMBINED COMPRESSION AND UNI-AXIAL BENDING

Ts. Kolev<sup>1</sup>

*Keywords: composite steel-concrete columns, compression and uni-axial bending*

*Research area: reinforced concrete and reinforced concrete structures*

### ABSTRACT

This report considers a method for determining the resistance of eccentrically loaded concrete encased steel composite column cross-sections. Rectangular cross-sections of composite steel-concrete columns are considered. Reinforcing steel grade B500, different strength classes of concrete and different structural steel grades are used. The rectangular and the bilinear diagram from Eurocode 2 and the rectangular concrete diagram extending up to the neutral axis regulated in Eurocode 4 are used. Conclusions are made based on the obtained results of cross-sections of the columns for the different concrete strength classes, the different structural steel grades and for the accepted different concrete stress-strain diagrams. The purpose of the report is to expand the scope of Eurocode 4 by the presented method.

---

<sup>1</sup> Tsanko Kolev, Eng. PhD student, Dept. “Reinforced Concrete Structures”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: outlook@abv.bg