

## ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ЗИДАНИ КОЛОНИ СЪГЛАСНО ЕВРОКОД 6

Н. Богданов<sup>1</sup>, Н. Баракова<sup>2</sup>

*Ключови думи:* зидани конструкции, носимоспособност, колони, коефициент на сигурност

*Научна област:* строителни конструкции

### РЕЗЮМЕ

Тухлените колони са съществен елемент на зиданите конструкции. Изчисляването им според предписанията на ЕС6 представлява комплексна задача, чиито основни положения са подробно изложени в настоящата статия. Получените аналитични резултати, касаещи определянето на носимоспособността на колоната, са сравнени и с тези, получени от натурно изпитване.

### 1. Общи положения

При крайно гранично състояние изчислителният вертикален товар, приложен към зидания елемент  $N_{Ed}$ , трябва да е по-малък или равен на изчислителната носимоспособност на елемента за вертикално натоварване  $N_{Rd}$

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} \quad (1)$$

В общия случай изчислителната носимоспособност на вертикално натоварване на еднослоен елемент за единица дължина  $N_{Rd}$  се определя по формулата

$$N_{Rd} = \Phi t k f_d \quad (2)$$

<sup>1</sup> Николай Богданов, ас. инж., кат. „Масивни конструкции”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: niboengineering@gmail.com

<sup>2</sup> Николета Баракова, доц. д-р инж., кат. „Масивни конструкции”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: n.barakova@mail.bg

където  $\Phi$  е редукиционният коефициент за носимоспособност  $\Phi_i$  при върха или основата на стената или  $\Phi_m$  в средата на височината на стената, както е подходящо, като се отчитат ефектите от слягане и ексцентрицитетът на натоварването;

$t$  – дебелината на елемента;

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} \text{ – изчислителната якост на натиск на зидарията;}$$

$$f_k = K f_b^{0,7} f_m^{0,3} \text{ е характеристична якост на натиск на зидарията;} \quad (3)$$

$\gamma_M$  – частен коефициент на материала, който се определя в зависимост от категорията по контрол на производство на елементите за зидария и от категорията на изпълнението;

$K$  – константа, която се определя таблично в зависимост от вида на блоковете за зидария и вида на разтвора;

$k = 0,7 + 3A$  е коефициент, с който се умножава изчислителната якост на натиск на зидарията при  $A < 0,1 \text{ m}^2$ . При  $A > 0,1 \text{ m}^2$  коефициентът  $k = 1$ .

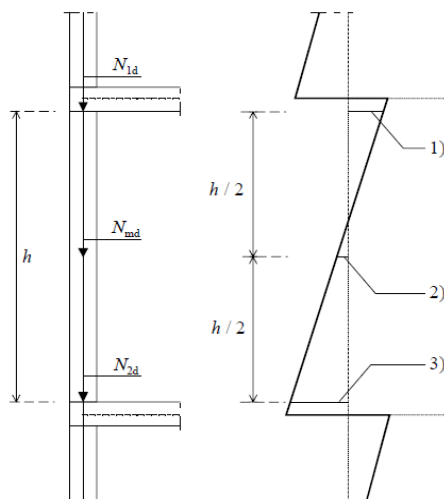
Стойността на редукиционния коефициент за стройност и ексцентрицитет  $\Phi$ , може да се получи както следва.

При върха или основата на елемента

$$\Phi_i = 1 - 2 \frac{e_i}{t}, \quad (4)$$

където  $e_i$  е ексцентрицитетът при върха или основата на елемента, който се получава по следната зависимост:

$$e_i = \frac{M_{id}}{N_{id}} + e_{hi} + e_{mit} \geq 0,05t, \quad (5)$$



1.  $M_{1d}$  (на ниво долен ръб на подовата плоча);
2.  $M_{md}$  (на средата по височината на елемента);
3.  $M_{2d}$  (на ниво горен ръб на подовата плоча)

Фиг. 1. Моменти за изчисление на ексцентрицитетите

където  $M_{id}$  е изчислителният огъващ момент при върха или основата на елемента в резултат от ексцентрицитета на подовото натоварване при опората;

$N_{id}$  е изчислителният вертикален товар при върха или основата на елемента;

$e_{hi} = h / 450$  е ексцентрицитетът при върха или основата на елемента в резултат от хоризонтални товари;

$e_{init}$  е началният ексцентрицитет.

Означенията във формула (5) са дадени на фиг. 1.

В средата на елемента

$$\Phi_m = A_t e^{\left(-\frac{u^2}{2}\right)}, \quad (6)$$

където:

$$A_t = 1 - 2 \frac{e_{mk}}{t}; \quad (7)$$

$$u = \frac{\lambda - 0,063}{0,73 - 1,17 \frac{e_{mk}}{t}}; \quad (8)$$

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \sqrt{\frac{f_k}{E}}; \quad (9)$$

$$E = K_E f_k = 1000 f_k \text{ – модул на еластичност}; \quad (10)$$

$$e_{mk} = e_m + e_k \leq 0,05t \text{ – ексцентрицитет в средата на височината на стената}; \quad (11)$$

$$e_m = \frac{M_{md}}{N_{md}} + e_{hm} \pm e_{init} \text{ – ексцентрицитет вследствие на натоварването}; \quad (12)$$

$$e_k = 0,002 \Phi_\infty \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \sqrt{t e_m} \text{ – ексцентрицитетът от пълзене}; \quad (13)$$

$$\Phi_\infty = 1 \text{ – коефициент на крайно пълзене}. \quad (14)$$

За изчисление на зидани колони на вертикален товар формула (2) може да се запише в следния вид:

$$N_{Rd} = \Phi b_c h_c \frac{f_k}{\gamma_M} k. \quad (15)$$

## 2. Числен пример

В настоящата статия се разглежда тухлена колона с размери на напречното сечение 250/250 mm и височина 2050 mm, изпълнена от единични плътни тухли и варов разтвор, чиито якостни характеристики са определени опитно:

–  $f_b = 13,2 \text{ N/mm}^2$  – нормализираната средна якост на натиск на блоковете за зидария в направлението на ефекта от приложеното въздействие получена от стандартно изпитване на 9 броя пробни тела;

–  $f_m = 0,31 \text{ N/mm}^2$  – якостта на натиск на разтвора, получена от стандартно изпитване на 9 броя пробни тела с размери  $70,7/70,7 \text{ mm}$ ;

– приет е коефициента  $K = 0,55$ .

По формула (3)

$$f_k = K f_b^{0,7} f_m^{0,3} = 0,55 \cdot 13,2^{0,7} \cdot 0,31^{0,3} = 2,356 \text{ N/mm}^2.$$

$$A = 0,25 \cdot 0,25 = 0,0625 < 0,1 \text{ m}^2 \rightarrow k = 0,7 + 0,3 \cdot A = 0,7 + 0,3 \cdot 0,25 \cdot 0,25 = 0,888.$$

Приет е частен коефициент за материала  $\gamma_M = 2,0$ .

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} = \frac{2,356}{2,0} = 1,18 \text{ N/mm}^2 = 0,118 \text{ kN/cm}^2.$$

По формула (5)

$$e_i = 0 + 0 + \frac{2050}{450} = 4,56 \text{ mm} \leq 12,5 \text{ mm} \Rightarrow e_i = 12,5 \text{ mm}.$$

По формула (4)

$$\Phi_i = 1 - 2 \frac{e_i}{t} = 1 - 2 \frac{12,5}{250} = 0,90.$$

По формула (15) за върха и основата на колоната се получава носимоспособност

$$N_{Rd} = \Phi_i b_c h_c f_d k = 0,9 \cdot 250 \cdot 250 \cdot 1,18 \cdot 0,89 = 58807,65 \text{ N} = 58,81 \text{ kN}.$$

По формула (13)

$$e_k = 0,002 \phi_\infty \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \sqrt{t e_m} = 0,002 \cdot 1 \cdot \frac{2050}{250} \sqrt{250 \cdot 4,56} = 0,554 \text{ mm}$$

По формула (11)

$$e_{mk} = e_m + e_k = 4,56 + 0,554 = 5,11 \text{ mm} \leq 12,5 \text{ mm} \Rightarrow e_{mk} = 12,5 \text{ mm}.$$

По формула (8)

$$u = \frac{\lambda - 0,063}{0,73 - 1,17 \frac{e_{mk}}{t}} = \frac{0,253 - 0,063}{0,73 - 1,17 \cdot \frac{12,5}{250}} = 0,283.$$

По формула (7)

$$A_t = 1 - 2 \frac{e_{mk}}{t} = 1 - 2 \frac{12,5}{250} = 0,9.$$

По формула (6)

$$\Phi_m = A_t e^{\left(-\frac{u^2}{2}\right)} = 0,92,73^{\left(-\frac{0,283^2}{2}\right)} = 0,86 .$$

По формула (15) за средата на колоната се получава носимоспособност

$$N_{Rd} = \Phi_m b_c h_c f_d k = 0,86 \cdot 250 \cdot 250 \cdot 1,18 \cdot 0,89 = 56337,29 \text{ N} = 56,37 \text{ kN} .$$

Съгласно предписанията на EN1996-3 се дава възможност за определяне на носимоспособността на зидани елементи по опростени зависимости, като

$$N_{Rd} = \Phi_s A f_d k , \quad (16)$$

където:  $\Phi_s$  е редукиционният коефициент за носимоспособност, който включва ефекта от изкълчване, началния ексцентрицитет, ексцентрицитета от натоварването и ефекта от пълзене;

$f_d$  – изчислителна якост на натиск н зидарията;

$A$  – натоварената хоризонтална площ на напречното сечение на стената;

$$\Phi_s = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,85 - 0,0011 \left( \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \right)^2 \\ 1,3 - l_{f,ef} / 8 \leq 0,85 \end{array} \right\} \quad (17)$$

$h_{ef}$  – ефективна височина на колоната (стената);

$t_{ef}$  – ефективна дебелина на колоната;

$l_{f,ef}$  – ефективен отвор на подовата плоча;

$$\Phi_s = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,85 - 0,0011 \left( \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \right)^2 = 0,85 - 0,0011 \left( \frac{2050}{250} \right)^2 = 0,780 \\ 0,85 \end{array} \right\} .$$

По формула (17)

$$N_{Rd} = \Phi_s b_c h_c f_d k = 0,78 \cdot 250 \cdot 250 \cdot 1,18 \cdot 0,89 = 50967,01 \text{ N} = 50,97 \text{ kN} .$$

Съгласно Нормите за проектиране на зидани конструкции носимоспособността на зидани елементи се извършва по следната зависимост:

$$N \leq m_g \phi A R , \quad (18)$$

където  $m_g = 1 - \eta \frac{N_g}{N}$  е коефициент, който отчита влиянието на продължително действащия товар;

$\eta$  – коефициент на зидарията (табл. 3.1 от [1]);

$\phi$  – коефициент на изкълчване;  
 $A$  – площта на сечението на елемента;  
 $R$  – изчислително съпротивление на натиск на зидарията;  
 За  $\lambda_h = \frac{2000}{250} = 8$  се отчита  $\eta = 0$ ;

$$m_g = 1.$$

От табл. 2.12 [1] за плътни тухли  $M12,5$  и  $R_p = 0,3$  МПа се отчита еластичната характеристика на зидарията  $\alpha = 425$ .

От табл. 3.2 [1] се отчита:  
 $\phi = 0,825$  – за средата на колоната;  
 $\phi = 1$  – за горен ръб на колоната;  
 $\gamma_c = 0,80$ .

От табл. 2.3 [1] при якост на натиск на тухлата  $R_T = 12,5$  МПа и якост на натиск на развора –  $R_p = 0,3$  МПа се отчита  $R = 1 \text{ МПа} = 0,10 \text{ kN/cm}^2$ .

При заместване във формула (18) се получава:

– за средата на колоната

$$N = 1.0.825.0.8.25.25.0.10 = 41,25 \text{ kN};$$

– за горния ръб на колоната

$$N = 1.1.0.8.25.25.0.10 = 50 \text{ kN}.$$

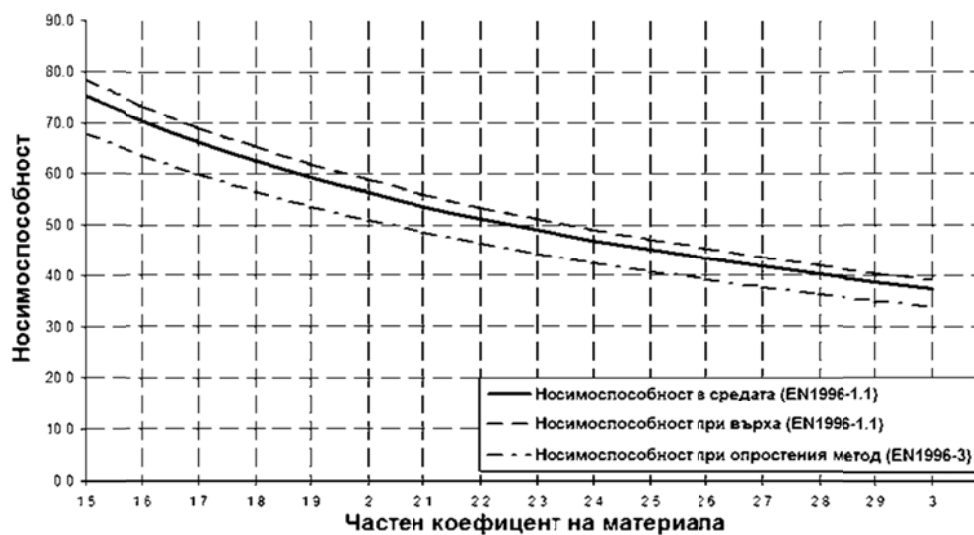
За разлика от Нормите за проектиране на зидани конструкции, където коефициентът на сигурност на материала  $k = 2,0$  за всички видове тухли, камъни, едроразмерни блокчета и бутобетон, в EN1996-1-1 този коефициент на сигурност ( $\gamma_M$ ) варира в границите от 1,5 до 3 – табл. 1.

**Таблица 1. Частен коефициент на материала**

Материал		$\gamma_M$				
		Клас				
		1	2	3	4	5
A	Зидария, изпълнена с: Блокове от категория I, проектен разтвор <sup>a</sup>	1,5	1,7	2,0	2,2	2,5
B	Блокове от категория I, предписан разтвор <sup>b</sup>	1,7	2,0	2,2	2,5	2,7
C	Блокове от категория II, всеки разтвор <sup>a,b,c</sup>	2,0	2,2	2,5	2,7	3,0
D	Закотвяне на армировъчна стомана	1,7	2,0	2,2	2,5	2,7
E	Армировъчна стомана и стомана за предварително налягане	1,15				
F	Допълнителни елементи <sup>c,d</sup>	1,7	2,0	2,2	2,5	2,7
G	Щурцове съгласно EN 845-2	1,5 до 2,5				
<sup>a</sup> Изисквания за проектирани разтвори са дадени в EN 998-2 и EN 1996-2. <sup>b</sup> Изисквания за предписани разтвори са дадени в EN 998-2 и EN 1996-2. <sup>c</sup> Декларираните стойности са средни стойности. <sup>d</sup> Приема се, че хидроизолационните слоеве са покрити със зидария $\gamma_M$ . <sup>e</sup> Когато коефициентът на вариация за блокове от категория II не е по-голям от 25%.						

В табл. 2 и на фиг. 2 е дадена носимоспособността на колоната при различни частни коефициенти на материала, изчислена по точния метод на EN1996-1-1.

В табл. 3 и на фиг. 2 е дадена носимоспособността на колоната при различни частни коефициенти на материала, изчислена по опростения метод на EN1996-3.



Фиг. 2. Носимоспособност на зидана колона

Таблица 2. Носимоспособност на зидана колона съгласно EN1996-1-1

$\gamma_M$	$N_{Rd}(\Phi_m)$	$N_{Rd}(\Phi_i)$
1,5	75,11	78,41
1,6	70,42	73,51
1,7	66,28	69,19
1,8	62,60	65,34
1,9	59,30	61,90
2,0	56,34	58,81
2,1	53,66	56,01
2,2	51,22	53,46
2,3	48,99	51,14
2,4	46,95	49,01
2,5	45,07	47,05
2,6	43,34	45,24
2,7	41,73	43,56
2,8	40,24	42,01
2,9	38,85	40,56
3,0	37,56	39,21

**Таблица 3. Носимоспособност на зидана колона съгласно EN1996-3**

$\gamma_M$	$N_{Rd}(\Phi_s)$
1,5	67,96
1,6	63,71
1,7	59,96
1,8	56,63
1,9	53,65
2,0	50,97
2,1	48,54
2,2	46,33
2,3	44,32
2,4	42,47
2,5	40,77
2,6	39,21
2,7	37,75
2,8	36,41
2,9	35,15
3,0	33,98

Направените изчисления могат да се систематизират в табл. 4.

**Таблица 4. Носимоспособности на зидани колони**

Носимоспособност	Точен метод съгласно EN1996-1-1	Опростен метод съгласно EN1996-3	Съгласно Норми за проектиране на зидани конструкции	Получена носимоспособност от натурни изпитвания	
				Модел 1	Модел 2
Горен и долен ръб	39,21 kN – 78,41 kN	33,98 kN – 67,96 kN	50,00 kN	92 kN	84 kN
Среда	37,56 kN – 75,12 kN		41,25 kN		

От табл. 4 се вижда, че получените резултати съгласно EN1996-1-1 и EN1996-3 варират в доста широки граници, докато съгласно действащите Норми за проектиране на зидани конструкции носимоспособността на елемента е еднозначно определена.

От табл. 2 и табл. 3 се вижда, че ако се приеме коефициент на сигурност на материала в границите (2,2 – 2,7), се получават близки резултати до тези, получени съгласно Норми за проектиране на зидани конструкции.

Опитните образци показват завишена носимоспособност, като частният коефициент на материала е в границите на 1,20. Тази завишена носимоспособност се дължи на:

- опитно установените в лабораторни условия широки граници на нормализираната якост на натиск на блоковете за зидария – от 8,4 МПа до 33,5 МПа. По данни на производителя елементите за зидария притежават характеристична якост на натиск не по-малка от 7,5 МПа;
- високата квалификация и опит на наетата работна ръка, изпълнила елементите;
- упражняване на строг контрол по време на изпълнението на елементите.

### 3. Изводи и препоръки при изчисляване на зидани колони

1) Изчислението на зидани колони, подложени на вертикален товар по опростения метод, води до намаляване на носещата способност на елементите около 10% в сравнение с тази, изчислена по точния метод (табл. 2), Препоръчва се използване на опростения метод като първо приближение за определяне на носимоспособността на зидани колони.

2) Подготвени проектантите, които да познават в детайли нормативната база, свързана със зиданите конструкции, качествено изпълнение и строгия контрол, съпътстващ процеса на изграждане, оказват съществено влияние върху поведението на зиданите елементи, подложени на вертикален товар, При наличие на тези критерии се препоръчва при определяне на изчислителната якост на зидарията да се приема стойност на частния коефициент на сигурност на материала ( $\gamma_M$ ) в границите 2,0 – 2,2 (клас I и II), (табл. 1).

Липсата на данни за изпълнителя и упражнявания съпътстващ контрол по време на строителството води до завишаване на стойности на коефициента на сигурност на материала ( $\gamma_M$ ), В тези случаи се препоръчва използване на стойности в границите 2,2 – 2,7, което води до носимоспособност, близка до тази, определена по Нормите за проектиране на зидани конструкции, Приемане на коефициенти в тези граници обаче води до елементи със значително по-големи напречни сечения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Бараков, Т.* Зидани конструкции. УАСГ. 2003.
2. *Баракова, Н., Бараков, Т.* Зидани конструкции Еврокод 6. УАСГ, 2014.
3. *Нисимов, Х.* Зидани конструкции. С., 1986.
4. Еврокод 6. Част 1-1 и 1-3. 1996.
5. БДС EN 206-1/NA-2008.
6. Норми за проектиране на зидани конструкции. БСА кн. 12, С., 1985.
7. БДС EN 1990: Еврокод – Основи на проектирането на строителни конструкции. 2003.
8. *Hendry, A., Sinha, B., Davies, S.* Design of masonry structures. Third edition.

Постъпила: март 2015 г.

# CALCULATION OF MASONRY COLUMNS ACCORDING TO EUROCODE 6

N. Bogdanov<sup>1</sup>, N. Barakova<sup>2</sup>

**Keywords:** *masonry structures, bearing capacity, columns, safety factor*

**Research area:** *masonry*

## ABSTRACT

Brick columns are an essential element of masonry structures, Their calculation according to EC6 is a complex task whose basic principles are detailed in this article, Analytical results concerning the determination of the bearing capacity of the column are compared with those obtained from experimental testing of full-scale models,

---

<sup>1</sup> Nikolay Bogdanov, Senior Assist. Eng., Dept. "Reinforced Concrete Structures", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd, Sofia 1046, e-mail: niboengineering@gmail.com

<sup>2</sup> Nikoleta Barakova, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. "Reinforced Concrete Structures", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd, Sofia 1046, e-mail: n.barakova@mail.bg