

## ЗИДАНИ КОЛОНИ, УСИЛЕНИ С МЕТАЛНИ КОЖУСИ

Н. Богданов<sup>1</sup>

*Ключови думи:* зидани конструкции, колони, усилване

*Научна област:* строителни конструкции

### РЕЗЮМЕ

Усилването на тухлени колони с метални кожуси води до значително увеличаване на носещата им способност. Представена е методика за изчисляване на такива комбинирани елементи, отчитаща реалния принос на усилващия компонент. Аналитичните изчисления са съпоставени с експериментално получените от изпитването резултати.

### 1. Изчисляване на зидани конструкции, подложени главно на вертикален товар съгласно EN1996-1-1

Зиданите конструкции се изчисляват по носеща способност (I група гранични състояния) и по пригодност за нормална експлоатация (II група гранични състояния). Изчисляването по I група гранични състояния е задължително за всички видове конструкции, а изчисляването по II група гранични състояния се прави за конструкции, в които не се допуска образуването на пукнатини или се ограничават тяхната широчина и деформациите на конструкцията.

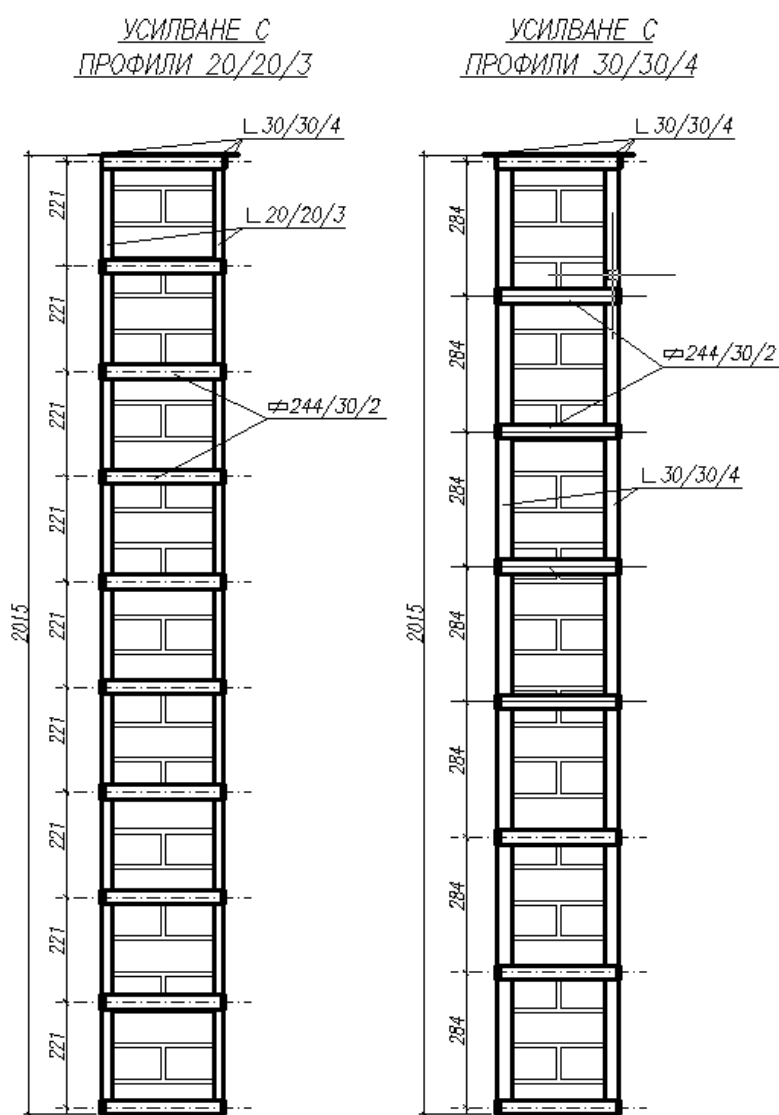
Носимоспособността на стени и колони от зидария, подложени на вертикално натоварване, се базира на геометрията на елемента, на положението на вертикалния товар спрямо центъра на тежестта на елемента и на свойствата на материалите, от които е изпълнена зидарията.

---

<sup>1</sup> Николай Богданов, ас. инж., кат. „Масивни конструкции”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски” 1, 1046 София, e-mail:niboengineering@gmail.com

## 2. Зидани колони, усилен с метални кожуси

Реализирано е усиление на две зидани колони с размери на напречното сечение 250/250 mm и височина 2050 mm, иззидани с единични плътни тухли и варов разтвор, изпълнено от ъглови профили, поставени вертикално по четирите ръба на изпитваните елементи – колони. Горизонталните укрепващи ребра са поставени през разстояние  $l_{ef} < 40i$  [8]. Ребрата са изпълнени от плоска стомана и са заварени към ъгловите профили. За по-добро притягане на ъгловите профили в надлъжно направление ръбовете на колоната са изравнени с високоякостен циментов разтвор.



Фиг. 1. Геометрични характеристики на изпитвани образци



Сн. 1. Изпитвани образци

При реализираното стъпалообразно натоварване първите видими пукнатини в елементите се забелязват в средната третина на тухлената колона. В металния кожух видими деформации има само при елемента, усилен с профили L20/20/3 – Модел 1. При следващите стъпки на натоварване деформациите в профилите се увеличават, като се забеляза и възникване на нови пукнатини в тухлената колона и увеличаване на вече появилите се. Разрушението настъпва вследствие от загуба на устойчивост на елементите.

При определяне на носещата способност на комбинирано сечение, подложено на условен нецентричен натиск, се изхожда от носимоспособността на двата материала.

Съгласно [8] носимоспособността на съставена стоманена колона се определя по следната зависимост:

$$N_{Sd} \leq N_{b,Rd}, \quad (1)$$

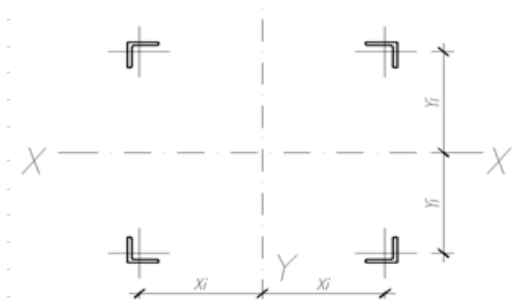
където

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \frac{f_y}{\gamma_{M_1}}; \quad (2)$$

$\chi$  – коефициент на изкълчване за съответната форма на загуба на устойчивост на елемента;

$\gamma_{M_1}$  – частен коефициент на сигурност на материала;  
 $f_y$  – характеристикната якост на стоманата на натиск;  
 $A$  – площ на напречното сечение на ъгловите профили.

Съгласно [8] стройността на един дял на колоната се ограничава до 40.



$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1; \quad (3)$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}; \quad (4)$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{L_{cr}^2}; \quad L_{cr} = \mu \cdot l; \quad (5)$$

$$\Phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right]. \quad (6)$$

\* Определяне на носещата способност на стоманена колона от ъглови профили L20/20/3 – Модел 1

$$E = 200000 \text{ МПа}, \quad I_{x1} = 0,4 \text{ cm}^4, \quad I_x = 4(I_{x1} + A_1 \cdot y_i^2) = 663,37 \text{ cm}^4,$$

$$A_1 = 1,13 \text{ cm}^2, \quad L_{cr} = 200 \text{ cm}.$$

$$\text{По формула (5)} \quad N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 200000 \cdot 0,4}{200^2} = 3270,28 \text{ kN}.$$

$$\text{По формула (4)} \quad \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,13 \cdot 23,5}{3270,28}} = 0,180.$$

За крива на изкълчване „в“ според БДС ENV 1993-1-1 се отчита  $\alpha = 0,34$ .

$$\text{По формула (6)} \quad \Phi = 0,5 \left[ 1 + 0,34(0,180 - 0,2) + 0,180^2 \right] = 0,513.$$

$$\text{По формула (3)} \quad \chi = \frac{1}{0,513 + \sqrt{0,513^2 - 0,180^2}} = 1.$$

$$\text{По формула (2)} \quad N_{b,Rd} = 1,4 \cdot 1,13 \cdot \frac{23,5}{1,10} = 96,56 \text{ kN}.$$

\* Определяне на носещата способност на стоманена колона от ъглови профили L30/30/4 – Модел 2

$$E = 200000 \text{ МПа}, \quad I_{x1} = 1,84 \text{ cm}^4, \quad I_x = 4(I_{x1} + A_1 \cdot y_i^2) = 1317,06 \text{ cm}^4,$$

$$A_1 = 2,27 \text{ cm}^2, \quad L_{cr} = 200 \text{ cm}.$$

$$\text{По формула (5) } N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 1317,06}{200^2} = 6492,84 \text{ kN}.$$

$$\text{По формула (4) } \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{4,2 \cdot 27 \cdot 23,5}{6499,05}} = 0,181.$$

За крива на изкълчване „в“ според БДС ENV 1993-1-1 се отчита  $\alpha = 0,34$ .

$$\text{По формула (6) } \Phi = 0,5 \left[ 1 + 0,34(0,180 - 0,2) + 0,180^2 \right] = 0,513.$$

$$\text{По формула (3) } \chi = \frac{1}{0,513 + \sqrt{0,513^2 - 0,181^2}} = 1.$$

$$\text{По формула (2) } N_{b,Rd} = 1,4 \cdot 2,27 \frac{23,5}{1,10} = 193,98 \text{ kN}.$$

Теоретично носимоспособността на усиленото сечение би се получила, като се съберат носещите способности на тухлената колона и стоманените профили (2):

$$N_{Rd} = N_{Rd}^{brick} + N_{b,Rd}^{steel} = \Phi_m \cdot b_c \cdot h_c \cdot \frac{f_k}{\gamma_M} \cdot k + \chi \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}, \quad (7)$$

където  $b_c$  и  $h_c$  са размерите на напречното сечение на тухлената колона;

$\Phi_m$  – редукиционният коефициент за стройност и ексцентрицитет за средата на елемента;

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

$\gamma_M$  – 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;

$k = 0,7 + 3 \cdot A$  – 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  $k = 1$ .

Таблично е взет коефициентът  $\gamma_M = 2,0$ . Замествайки в (7), получаваме следните резултати за носимоспособност на усилената колона:

$$\text{при усилване с профили L20/20/3 – Модел 1 – } N_{Rd} = 152,90 \text{ kN};$$

$$\text{при усилване с профили L30/30/4 – Модел 2 – } N_{Rd} = 250,32 \text{ kN}.$$

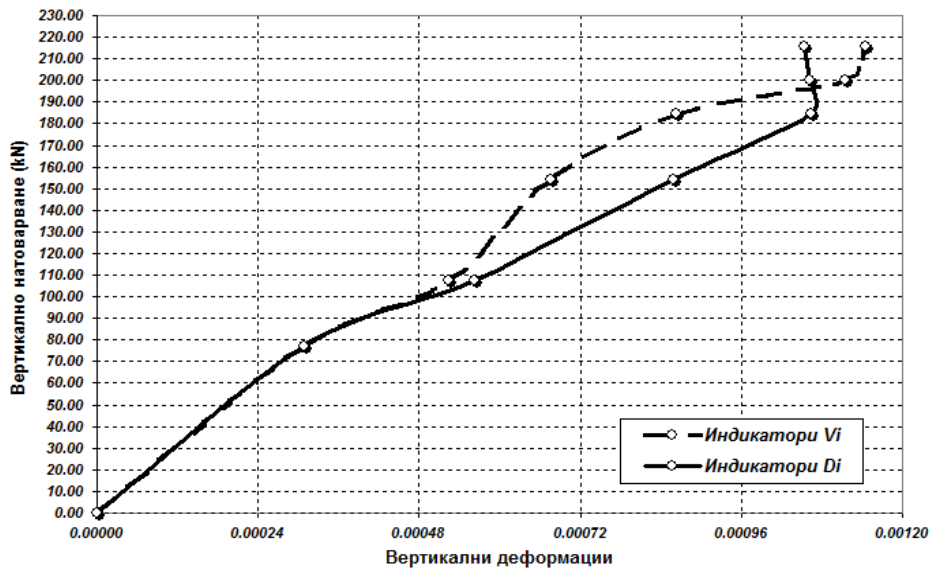
От проведените натурни експерименти в лабораторията на УАСГ на Модел 1 и Модел 2 се установиха следните носимоспособности на усилените тухлени колони:

$$\text{при усилване с профили L20/20/3 – Модел 1 – } N_{Rd} = 200 \text{ kN};$$

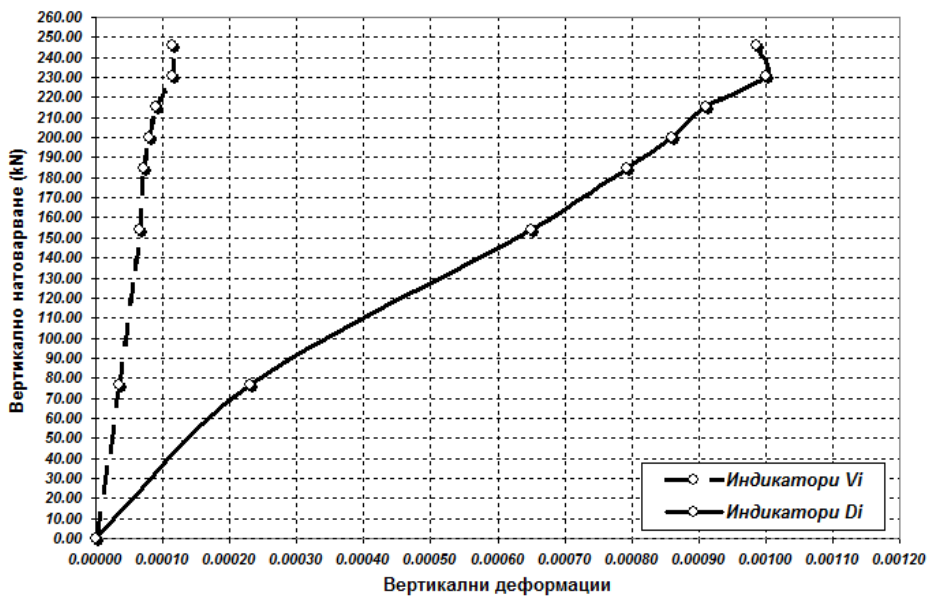
$$\text{при усилване с профили L30/30/4 – Модел 2 – } N_{Rd} = 230 \text{ kN}.$$

**При сравняване на резултатите, получени по формула (7) и натурните експерименти, може да се направи заключение, че използването на двата материала с пълните им носимоспособности не отразява реалната работа на елемента, подложен на натиск.**

При натоварване на колоните се забелязва, че при увеличаване на площта на надлъжните профили вертикалните деформации в зидарията намаляват. От тук може да се направи заключение, че носимоспособността на зидарията зависи от деформативността на стоманените профили и не можем изцяло да я използваме.



Фиг. 2. Зависимост вертикална сила – вертикални деформации в тухлите (Vi) и металния кожух от профили L20/20/3 (Di)



Фиг. 3. Зависимост вертикална сила – вертикални деформации в тухлите (Vi) и металния кожух от профили L30/30/4 (Di)

**В Еврокод 6 липсва информация за изчисление на армирани тухлени колони.**

Въз основа на база проведените експерименти и анализ на резултатите се предлага за изчисление на тухлени колони, усилен с метални профили, подложени на условен нецентричен натиск, да се използва следната зависимост

$$N_{Rd} \leq \Phi_m \left[ \Delta_{EA} \cdot k \cdot A_{brick} \cdot f_d + A_{steel} \cdot f_{yd} + 100 \frac{V_{steel}}{V_{brick}} \cdot k \cdot A_{brick} \cdot f_d \right], \quad (8)$$

където  $\Phi_m$  е редукиционният коефициент за стройност и ексцентрицитет за средата на елемента;

$$\Delta_{EA} = \frac{(EA)_{brick}}{(EA)_{steel}} - \text{отношение на линейната коравина на тухлената колона към}$$

линейната коравина на стоманените профили;

$$A_{brick} = b_c \cdot h_c - \text{площта на напречното сечение на тухлената колона};$$

$$A_{steel} = 4 \cdot A_{s1} - \text{площта на напречното сечение на стоманените профили};$$

$$f_d = f_k / \gamma_m - \text{изчислителна якост на натиск на зидарията};$$

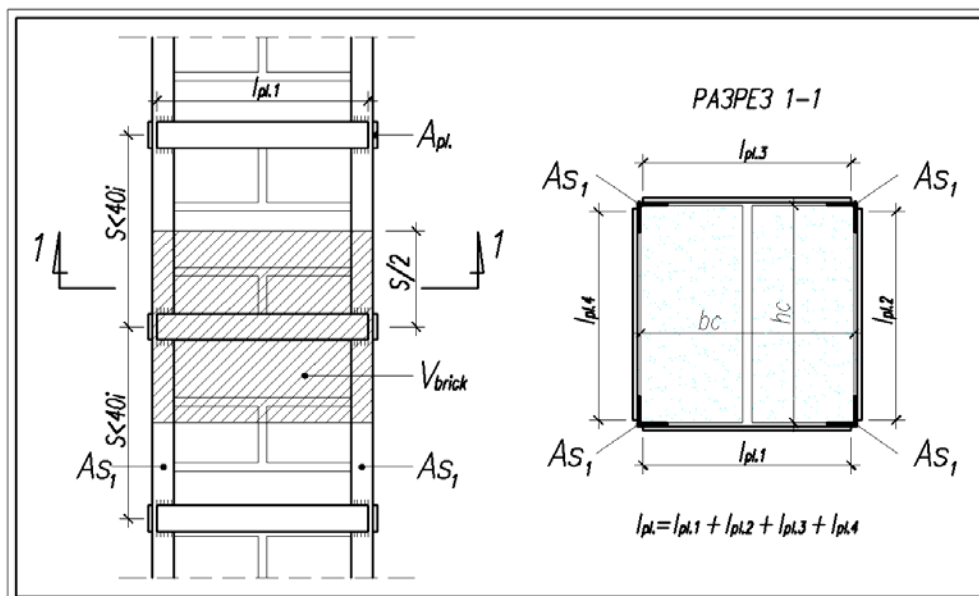
$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1} - \text{изчислителна якост на натиск на стоманата};$$

$$V_{brick} = b_c \cdot h_c \cdot s - \text{обем на ограничената тухлена зидария};$$

$$V_{steel} = A_{pl} \cdot l_{pl} - \text{обем на ограничаващите хоризонтални връзки};$$

$$s \leq 40i - \text{разстоянието между хоризонталните укрепващи връзки}.$$

Всички означения във формула (8) са дадени на фиг. 4.



Фиг. 4. Означения към формула (8)

Във формула (8) първият и вторият член отразяват носимоспособността на тухлената колона и стоманените профили ( $A_{s_v}$ ), а третият – приноса на хоризонталните укрепващи връзки ( $A_{s_h}$ ).

Изчисление на носещата способност на усилена с метален кожух тухлена колона по формула (8):

**Усилване с профили L20/20/3 – Модел 1**

$$\begin{aligned}
 E_{brick} &= 1000f_k = 2355,99 \text{ MPa} & \Delta_{EA}^{20/20/3} &= 1,629; \\
 A_{brick} &= b.h = 62500 \text{ mm}^2 & s &= 22,1 \text{ cm} \quad (\text{фиг. 1}); \\
 (EA)_{brick} &= 1,472E + 0,8N & A_{pl.} &= 60 \text{ mm}^2; \\
 (EA)_{steel}^{20/20/3} &= 9,040E + 0,7N & l_{pl.} &= 1000 \text{ mm}.
 \end{aligned}$$

$$N_{Rd} \leq 0,86 \left[ 1,629 \cdot 0,888 \cdot 62500 \cdot 1,18 + 4,1 \cdot 13,21 \cdot 36 + 100 \frac{60 \cdot 1000}{250 \cdot 250 \cdot 221} \cdot 0,888 \cdot 62500 \cdot 1,18 \right]$$

$$N_{Rd} \leq 91,77 \cdot 10^3 + 83,24 \cdot 10^3 + 24,41 \cdot 10^3$$

$$N_{Rd} \leq 199,42 \cdot 10^3 \text{ N}.$$

**Усилване с профили L30/30/4 – Модел 2**

$$\begin{aligned}
 E_{brick} &= 1000f_k = 2355,99 \text{ MPa} & \Delta_{EA}^{20/20/3} &= 0,811; \\
 A_{brick} &= b.h = 62500 \text{ mm}^2 & s &= 28,4 \text{ cm} \quad (\text{фиг. 1}); \\
 (EA)_{brick} &= 1,472E + 0,8N & A_{pl.} &= 60 \text{ mm}^2; \\
 (EA)_{steel}^{30/30/4} &= 1,816E + 0,7N & l_{pl.} &= 1000 \text{ mm}.
 \end{aligned}$$

$$N_{Rd} \leq 0,86 \left[ 0,811 \cdot 0,888 \cdot 62500 \cdot 1,18 + 4,2 \cdot 27,21 \cdot 36 + 100 \frac{60 \cdot 1000}{250 \cdot 250 \cdot 284} \cdot 0,888 \cdot 62500 \cdot 1,18 \right]$$

$$N_{Rd} \leq 45,68 \cdot 10^3 + 167,22 \cdot 10^3 + 19,00 \cdot 10^3$$

$$N_{Rd} \leq 231,90 \cdot 10^3 \text{ N}.$$

Съпоставката на получените резултати по експериментален път и по формула 4.25 са обобщени в табл. 1.

**Таблица 1. Съпоставка на резултатите**

Образец	Резултати от експеримента	Резултати по формула (8)	Разлика в [%]
Усилен с профили L20/20/3	200 x10 <sup>3</sup> N	199,42x10 <sup>3</sup> N	-1,01
Усилен с профили L30/30/4	230x10 <sup>3</sup> N	231,90x10 <sup>3</sup> N	+1.01

### 3. Обобщение на резултатите

Таблица 2. Обобщени резултати

	Не усиленни модели		Усилване със стоманен кожух	
	Модел 1	Модел 2	Вертикални профили 4xL20/20/3	Вертикални профили 4xL30/30/4
$F_{crc}$ [kN]	92	84	200	230
Увеличение на носещата способност в [%]	-	-	138	173
$F_{max}$ [kN]	-	-	216	246
Коеф. на сигурност К	-	-	1,08	1,07

Легенда към табл. 2:

$F_{crc}$  е натоварване при образуване на първа пукнатина;

$F_{max}$  – натоварване при настъпване на разрушение;

Коефициент на сигурност  $K = F_{max} / F_{min}$ .

### 4. Изводи и препоръки

- Усилването на тухлени колони с метални кожуси води до значително увеличаване на носещата им способност. Носимоспособността на неусилената колона от зидария е 84 kN. При усилване на колоната с профили L20/20/3 увеличаването на носещата способност е 138%, а при тази, усилена с профили L30/30/4 – 173%.
- Влиянието на зидарията върху носещата способност на усилените колони намалява с увеличаване на линейната коравина на надлъжните профили. Това води до непълноценно използване на усиления елемент като цяло.

- Хоризонталните деформации в зидарията, предизвикани от вертикалния товар, намаляват с около 60%, което се дължи на обрамчващото влияние на стоманения скелет.
- Влиянието на хоризонталното укрепване върху носещата способност на колоната е между 10 – 15%, като в полза на сигурността при проектиране на усиленни колони може да не се отчита.
- Запасът на носеща способност на колоната след поява на първата пукнатина е около 8%. Разрушението в колоните се дължи на загуба на устойчивост.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Бараков, Т.* Зидани конструкции. УАСГ, 2003.
2. *Баракова, Н., Т. Бараков.* Зидани конструкции Еврокод 6. УАСГ, 2014.
3. *Нусимов, 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. *БДС EN 1993:* Еврокод 3 – Проектиране на стоманени конструкции, 2005.
9. *Hendry, A., B. Sinha, S. Davies.* Design of masonry structures, Third edition.

Постъпила: февруари 2015 г.

## MASONRY COLUMNS REINFORCED WITH STEEL JACKETING

**N. Bogdanov<sup>1</sup>**

**Keywords:** *masonry structures, columns, reinforcement*

**Research area:** *masonry*

#### ABSTRACT

The use of metal profiles as a housing for reinforcement of brick columns leads to a significant increase in bearing capacity. This article shows a method of calculation for such elements by taking into account the real contribution of the reinforcing component. Analytical calculations are compared with the experimentally obtained test results.

---

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