

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

ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ИЗПОЛЗВАНЕ НА СТОМАНОБЕТОННИ СТЕНИ С ДЕБЕЛИНА 25 СМ СПОРЕД EUROCODE 8 ЗА DCM

Н. Ангелов¹

Ключови думи: стенна конструкция, стоманобетонна стена, локална дуктилност, ограничен бетон, Еврокод 8

Научна област: сеизмично осигуряване

РЕЗЮМЕ

Изследвана е възможността за използване на традиционни за българската практика стени с дебелина 25 см и дължина $l_w / b_w \geq 10$ за стенни конструкции, проектирани за ниво на дуктилност средно (DCM). Определени са граничната деформация на ограничения бетон и механичният обем на ограничаващата армировка като функция на нормализираната сила за получаване на крайни усилени зони с дължини между $0,15.l_w$ и $0,2.l_w$. За най-често срещаните конфигурации на стремената и вертикалните пръти са изследвани възможните стойности на нормализираната сила, необходими за оформяне на крайни усилени зони с размери между $0,15.l_w$ и $0,2.l_w$ в съответствие с изискванията на Еврокод 8. Представени са графики, доказващи диапазона на нормализираната сила, при който е възможно използването на стени с дебелина 25 см. Направени са и допълнителни анализи и за относително по-къси стени с $4 \leq l_w / b_w < 10$.

1. Въведение

Направените изследвания са насочени към несвързани стоманобетонни стени с дебелина $b_w = 250$ mm, проектирани за DCM. Работено е с бетон клас C25/30

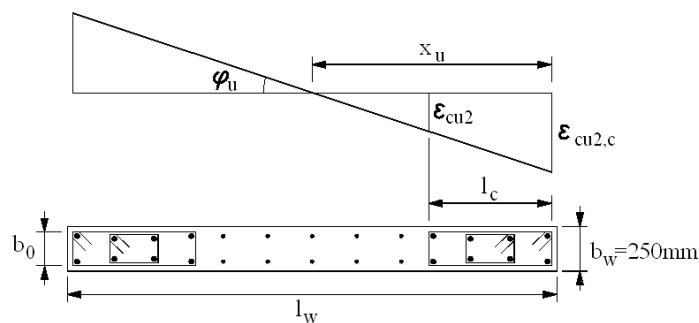
¹ Никола Ангелов, гл. ас. д-р инж., кат. „Масивни конструкции”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: niko_angel@abv.bg

($f_{ck} = 25 \text{ MPa}$) . Може да се отбележи, че резултатите и за други масови класове бетон са подобни на получените. Използваната армировка е клас B500 ($f_{yk} = 500 \text{ MPa}$) . Прието е минимално вертикално армиране в стеблото на стената (N8/200 с $\rho_v \approx \rho_{v,\min} = 0,2\%$ и $\omega_v = 0,0522$) . За бетонно покритие на стремената (с диаметър N8) в крайната усилената зона е прието $c_{nom,w} = 25 \text{ mm}$. Така се получава най-голямата дебелина на стеблото $b_0 = 192 \text{ mm}$, а отношението $(b_0 / b_w)_{\max} = 0,768$ води до по-либерални резултати.

2. Възможни стойности на граничните деформации на ограничен бетон $\varepsilon_{cu2,c}$

Според Еврокод 8 височината на натисковата зона x_u на стоманобетонна стена при гранична кривина може да се определи със следната зависимост (фиг. 1):

$$x_u = (v_d + \omega_v) l_w \frac{b_w}{b_0}. \quad (1)$$



Фиг. 1. Крайна усилената зона при стоманобетонна стена

При деформации в бетона, по-големи от $\varepsilon_{cu2} = 3,5\%$ трябва да се формира крайна усилената зона с дължина l_c (фиг. 1). Дължината на тази зона за стени с размери $l_w / b_w \geq 10$ се ограничава от:

$$l_c \geq 0,15 l_w, \quad (2)$$

$$l_c \leq 0,2 l_w. \quad (3)$$

Отново според Еврокод 8 за определяне на самата дължина на усилената зона l_c може да се разчита на

$$l_c = x_u \left(1 - \frac{\varepsilon_{cu2}}{\varepsilon_{cu2,c}} \right). \quad (4)$$

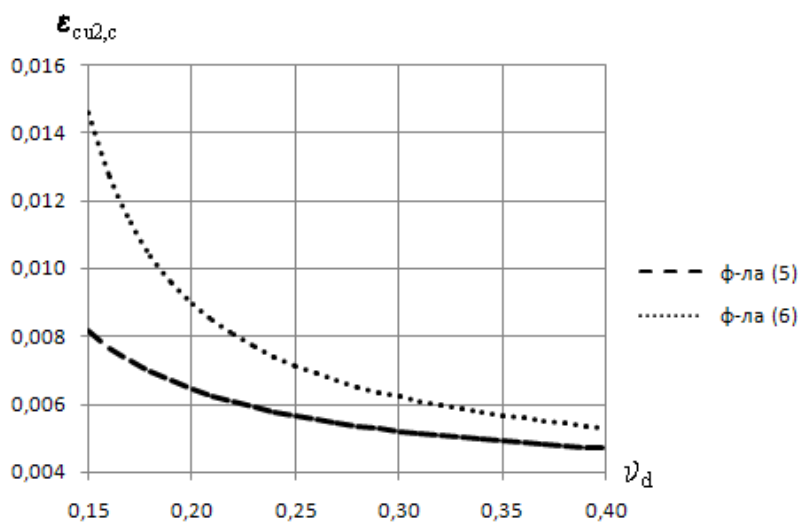
От съвместното решение на (1), (2) и (4) следва:

$$\varepsilon_{cu2,c} \geq \frac{0,0035}{1 - \frac{0,15}{v_d + 0,0522} \left(\frac{b_0}{b_w} \right)_{\max}} \quad (5)$$

От съвместното решение на (1), (3) и (4) следва:

$$\varepsilon_{cu2,c} \leq \frac{0,0035}{1 - \frac{0,2}{v_d + 0,0522} \left(\frac{b_0}{b_w} \right)_{\max}} \quad (6)$$

Така получените формули (5) и (6) са представени в графичен вид на фиг. 2, като $\varepsilon_{cu2,c}$ е във функция на нормализираната сила v_d . Тази графика показва какви трябва да бъдат стойностите на деформацията $\varepsilon_{cu2,c}$, за да се получи крайна усилена зона с дефинираните размери според (2) и (3).



Фиг. 2. Стойности на $\varepsilon_{cu2,c}$ за получаване на допустима дължина на усилената зона

3. Възможни стойности на механичния обемн коэффициент $\alpha\omega_{wd}$

За достигане на деформациите $\varepsilon_{cu2,c}$ в най-натиснатия ръб (фиг. 1) трябва да бъде подбрана подходяща степен на напречно армиране, т.е. подходящо ограничаване на бетона в крайната усилена зона със стремена и по-гъсто разположени вертикални пръти.

Получените зависимости (5) и (6) и съответно фиг. 2 може лесно да се преобразуват, като вместо гранични деформации на ограничен бетон $\varepsilon_{cu2,c}$ се стигне

до механичен обеман коефициент на ограничаващите стремена $\alpha\omega_{wd}$. Връзката между двата параметъра е известна:

$$\varepsilon_{cu2,c} = 0,0035 + 0,1\alpha\omega_{wd}, \quad (7)$$

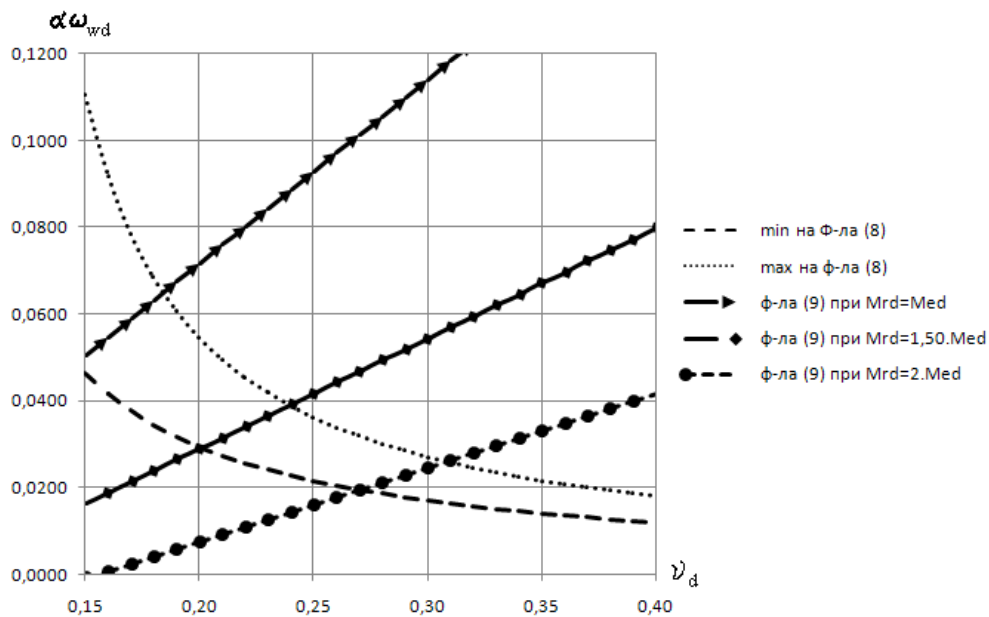
$$\alpha\omega_{wd} = 10(\varepsilon_{cu2,c} - 0,0035). \quad (8)$$

Това преобразование е показано на фиг. 3. Нанесени са и минималните изисквани стойности на механичния обеман коефициент $(\alpha\omega_{wd})_{lim}$, също във функция на v_d .

$$(\alpha\omega_{wd})_{lim} = 30\mu_\varphi(v_d + \omega_v)\varepsilon_{syd}\frac{b_w}{b_0} - 0,035, \quad (9)$$

където $\mu_\varphi = 2q_0\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} - 1$. (10)

За стенни конструкции с несвързани стени е приета базова стойност на коефициента на поведение $q_0 = 3$. На използваната стойност $(b_0/b_w)_{max} = 0,768$ съответства нейната реципрочна $(b_w/b_0)_{min} = 1,302$, с която е работено във формула (9).



Фиг. 3. Стойности на $\alpha\omega_{wd}$ за получаване на допустима дължина на усилената зона

Вижда се, че при най-икономичното проектиране ($M_{Rd} = M_{Ed}$), стените с дебелина $b_w = 250\text{mm}$ са възможни само при стойности на нормализираната сила $v_d \leq 0,18$. Тази сравнително малка стойност на v_d може да се увеличи при значи-

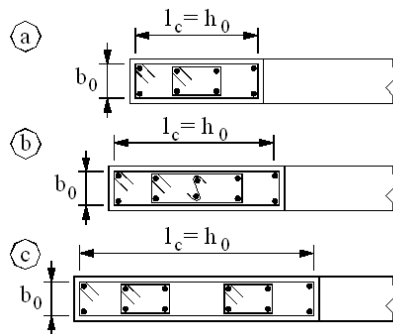
телно преобразмеряване и влагане на големи количества вертикална армировка (увеличаване на коефициента на дуктилност по кривина μ_φ).

Графиките на фиг. 2 и фиг. 3 започват от $v_d \geq 0,15$, защото при по-малки стойности Еврокод 8 позволява да не се търси изрично доказване на локалната дуктилност на стените.

4. Възможни конфигурации на армировката в крайните усиленни зони

За характерни конфигурации на крайните усиленни зони е определена стойността на механичен обемен коефициент на ограничаващите стремена $\alpha\omega_{wd}$.

При това изследване е прието разстояние между стремената в крайната усилена зона $s_w = b_0 / 2$. Направено е известно опростяващо приближение, като е приета еднаквост между осите на стремената и на вертикалните пръти.



Фиг. 4. Конфигурации на крайна усилена зона

За първия тип популярно аранжиране на стремената (фиг. 4a) може да се запишат следните зависимости за механичния обемен коефициент на ограничаващите стремена $\alpha\omega_{wd}$:

$$\alpha = \alpha_n \alpha_s = \left[1 - \frac{h_0}{3b_0} \left(\frac{1}{3} + \left(\frac{b_0}{h_0} \right)^2 \right) \right] \left[\frac{3}{4} \left(1 - \frac{b_0}{4h_0} \right) \right]. \quad (11)$$

$$\omega_{wd} = \frac{V_{sw}}{V_c} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{\frac{8}{3}h_0 + 4b_0}{h_0 \frac{b_0^2}{2}} a_{sw1} \frac{f_{yd}}{f_{cd}}. \quad (12)$$

С приемането на диаметър на стремената N8 формула (12) може да се представи във вида:

$$\omega_{wd} = \frac{V_{sw}}{V_c} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{\frac{8}{3} + \frac{4b_0}{h_0}}{366,44} \cdot \frac{435}{16,67}. \quad (13)$$

Стойности на $\alpha\omega_{wd}$ като функция на b_0/h_0 са представени в табл. 1:

Таблица 1. Стойности на $\alpha\omega_{wd}$

b_0/h_0	h_0 , mm	l_w , mm	$\alpha\omega_{wd}$
2,0	400	2650 – 2000	0,133
2,5	500	3350 – 2500	0,121
3,0	600	4000 – 3000	0,109

Аналогично за втория тип крайна усилена зона (фиг. 4b) е определен механичния обмен коефициент на ограничаващите стремени $\alpha\omega_{wd}$:

$$\alpha = \alpha_n \alpha_s = \left[1 - \frac{h_0}{3b_0} \left(\frac{1}{4} + \left(\frac{b_0}{h_0} \right)^2 \right) \right] \cdot \left[\frac{3}{4} \left(1 - \frac{b_0}{4h_0} \right) \right]. \quad (14)$$

$$\omega_{wd} = \frac{V_{sw}}{V_c} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{3 + \frac{5b_0}{h_0}}{366,44} \cdot \frac{435}{16,67}. \quad (15)$$

Стойности на $\alpha\omega_{wd}$ като функция на b_0/h_0 са представени в табл. 2:

Таблица 2. Стойности на $\alpha\omega_{wd}$

b_0/h_0	h_0 , mm	l_w , mm	$\alpha\omega_{wd}$
2,0	400	2650 – 2000	0,171
2,5	500	3350 – 2500	0,158
3,0	600	4000 – 3000	0,146
3,5	700	4650 – 3500	0,135
4,0	800	5350 – 4000	0,124

За третата конструирана крайна усилена зона (фиг. 4c) механичният обмен коефициент на ограничаващите стремени $\alpha\omega_{wd}$ е

$$\alpha = \alpha_n \alpha_s = \left[1 - \frac{h_0}{6b_0} \left(\frac{1}{2,5} + 2 \left(\frac{b_0}{h_0} \right)^2 \right) \right] \cdot \left[\frac{3}{4} \left(1 - \frac{b_0}{4h_0} \right) \right]. \quad (16)$$

$$\omega_{wd} = \frac{V_{sw}}{V_c} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{2,8 + \frac{6b_0}{h_0}}{366,44} \cdot \frac{435}{16,67}. \quad (17)$$

Стойности на $\alpha\omega_{wd}$ като функция на b_0/h_0 са представени в табл. 3:

Таблица 3. Стойности на $\alpha\omega_{wd}$

b_0/h_0	h_0 , mm	l_w , mm	$\alpha\omega_{wd}$
2,0	400	2650 – 2000	0,190
2,5	500	3350 – 2500	0,175
3,0	600	4000 – 3000	0,162
3,5	700	4650 – 3500	0,150
4,0	800	5350 – 4000	0,140
4,5	900	6000 – 4500	0,130
5,0	1000	6650 – 5000	0,122

От направените анализи с трите различни конфигурации на стремената в крайните усиленни зони може да се обобщи, че за бетон клас C25/30 и армировка N8 от клас B500 механичният обемен коефициент на ограничаващите стремена $\alpha\omega_{wd}$ се получава по-голям от максимално възможното $\alpha\omega_{wd} = 0,11$ от фиг. 3. Това означава, че получената усилена зона ще е с размери, по-големи от допустимото $0,2l_w$. Резултатите са почти идентични и за по-високите класове бетон. При използване на напречна армировка с по-малки диаметри има възможност да се попадне в допустимия диапазон от фиг. 3.

5. Случай на $4 \leq l_w/b_w < 10$

При отношение на размерите на стената $4 \leq l_w/b_w < 10$ дължината на крайната усилена зона подлежи на други ограничения:

$$l_c \geq 1,5b_w, \quad (18)$$

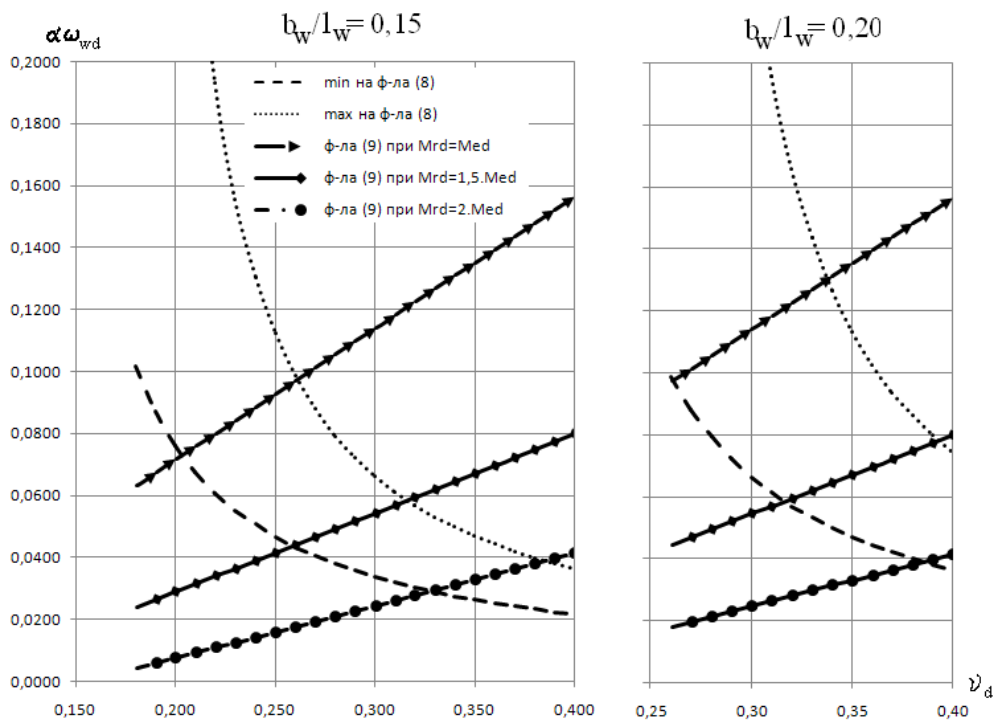
$$l_c \leq 2b_w. \quad (19)$$

Тогава формули (5) и (6) се модифицират както следва:

$$\varepsilon_{cu2,c} \geq \frac{0,0035}{1 - 1,5 \frac{b_w}{l_w} \frac{1}{v_d + 0,0522} \left(\frac{b_0}{b_w} \right)_{\max}}, \quad (20)$$

$$\varepsilon_{cu2,c} \leq \frac{0,0035}{1 - 2 \frac{b_w}{l_w} \frac{1}{v_d + 0,0522} \left(\frac{b_0}{b_w} \right)_{\max}}. \quad (21)$$

Аналогично на по-дългите стени е построена графиката на фиг. 5 между механичния обемен коефициент на ограничаващите стремена $\alpha\omega_{wd}$ и нормализираната сила v_d , като отново е използвана формула (8), заедно с новополучените зависимости (20) и (21). От показаните графики се вижда, че при по-къси стени се получават относително по-големи възможни стойности на v_d , за които може да се постигне ограничен бетон.



Фиг. 5. Стойности на $\alpha\omega_{wd}$ за получаване на допустима дължина на усилената зона при $b_w/l_w = 0,15$ и $b_w/l_w = 0,2$

6. Изводи и обобщения

Проектирането на стоманобетонни стени за DCM с дебелина $b_w = 250\text{ mm}$ и дължина $l_w/b_w \geq 10$ в критичната зона би трябвало да се избягва поради невъзможността от аранжиране на крайна усилената зона с допустими размери между $0,15l_w$ и $0,2l_w$.

Стремена през $s_w = 60\text{ mm}$ в зоната на снаждане са необходими според Еврокод 8, но са неприемливи, дори и от технологична гледна точка. Освен това при такива малки разстояния резултатите от т. 4 стават значително по-категорични ($\alpha\omega_{wd}$ се получава още по-голямо от максимално възможното $\alpha\omega_{wd} = 0,11$, тъй като във формули (15), (17) и (19) коефициентът 366,44 трябва да се замени с 229). В този случай категорично получената усилената зона ще е с размери, по-големи от допустимото $0,2l_w$.

При по-къси стени с $4 \leq l_w/b_w < 10$ се получават относително по-големи възможни стойности на v_d , при които е възможно формиране на крайна усилената зона с допустими размери.

Препоръчва се използването на стоманобетонни стени с дебелина $b_w = 250$ mm в случай на малка натискава сила, когато е допустимо да не се доказва локалната дуктилност.

ЛИТЕРАТУРА

1. БДС EN 1998 Еврокод 8: Проектиране на конструкции за сеизмични въздействия + Национално приложение.
2. Милев, Й. Еврокод 8. Сеизмично проектиране на стоманобетонни конструкции. Част първа. Практическо ръководство, София, 2012.
3. Милев, Й., Кърджиев, В., Еврокодове. Ръководство за проектиране на стоманобетонни конструкции. Част първа. Многоетажна офис сграда. София, 2012.

DESIGN OF 25CM THICK REINFORCED CONCRETE WALLS FOR DCM

N. Angelov¹

Keywords: wall structures, reinforced concrete wall, local ductility, confined concrete, Eurocode 8

Research area: seismic analysis

ABSTRACT

This paper examines the possible application of the traditionally used in Bulgaria 25-cm-thick shear walls with length/width ratio of $l_w/b_w \geq 10$ in structures designed in accordance with Ductility Class Medium (DCM) requirements. The ultimate strain and the mechanical ratio of the confinement reinforcement have been represented as a function of the normalised design axial force for walls with length of the flexural overstrength above plastic hinge region between $0,15l_w$ and $0,2l_w$. For the most common reinforcement configurations acceptable values of the normalised axial force have been determined. In order to present the admissible range of the axial load ratio for 25-cm-thick shear walls appropriate graphics have been provided. In addition, the case of shear walls with length/width ratio between $4 \leq l_w/b_w \leq 10$ has also been analysed. Based on the results of the paper, conclusions and practical advice have been propounded.

¹ Nikola Angelov, Chief Assist. Dr. Eng., Dept. "Reinforced Concrete Structures", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: niko_angel@abv.bg

