

Получена: 15.09.2017 г.

Приета: 30.11.2017 г.

АНАЛИЗ ПРИ ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА СТЕННА СТОМАНОБЕТОННА КОНСТРУКЦИЯ СЪС И БЕЗ ОТЧИТАНЕ НА ОБЩАТА ДУКТИЛНОСТ НА СГРАДАТА

Н. Богданов¹, Н. Баракова²

Ключови думи: пластифициране, сеизмично изследване, стоманобетонни стени, огъващи моменти

РЕЗЮМЕ

Проведено е сеизмично изследване на девететажна сграда със стоманобетонна носеща конструкция. Направени са линейно-еластични динамични модели на сградата с програма PSCAD на база на спектрален метод с разпределение на реагирането по собствени форми на трептене съгласно изискванията на БДС EN 1998-1. Изготвен е детайлен анализ на база на получените резултати за въздействието от намаляването на коравината на стоманобетонните стени (шайби) в критичните зони върху преместванията, огъващите моменти и количеството на необходимата носеща армировка.

1. Въведение

От съществено значение при проектиране на стоманобетонни конструкции, подложени на сеизмични въздействия, е осигуряването на изпълнението на условие:

$$E_d \leq R_d,$$

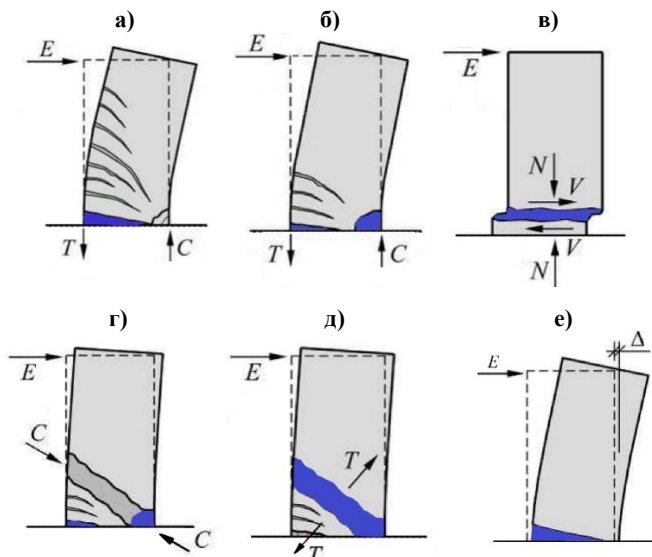
т.е. усилията, предизвикани от сеизмичните въздействия да не надвишават носимоспособността на конструкцията или в частност на стоманобетонния елемент, който следва да поеме това въздействие. Поради наличието на разнообразни носещи конструктивни сис-

¹ Николай Богданов, д-р инж., e-mail: niboengineering@gmail.com

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

теми, което от своя страна води до прекалено голяма широка обхватност в настоящата статия се разглежда само стенна система, а именно поемането на сеизмични усилия се осъществява посредством стоманобетонни стени (шайби), разположени в две взаимно-перпендикулярни направления.

2. Възможни механизми на разрушение на високи плътни стоманобетонни стени



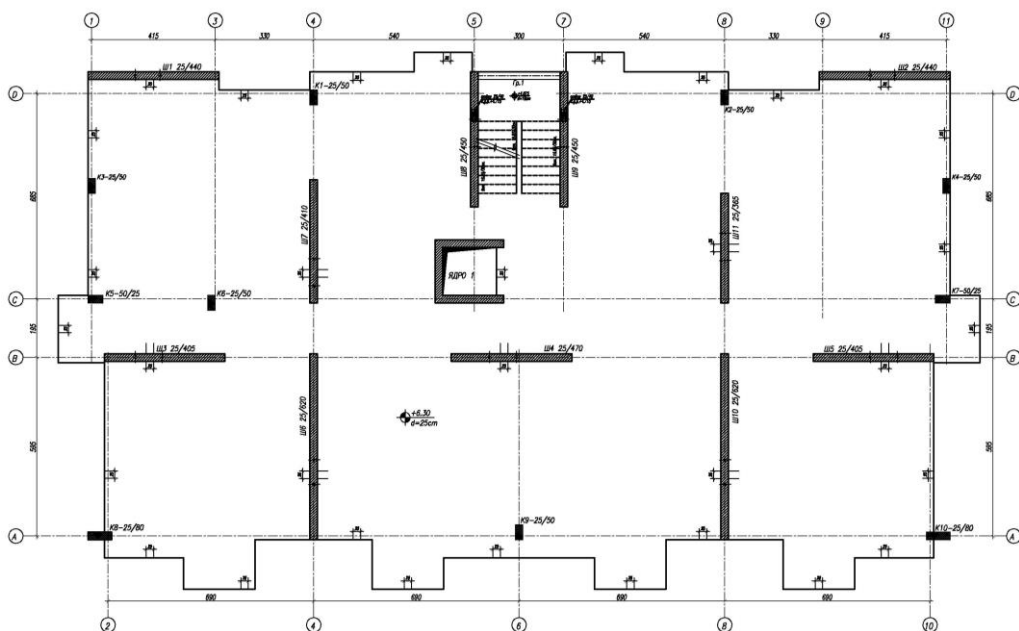
Фиг. 1. Механизми на разрушение на стоманобетонни стени

Основната концепция при проектирането на стоманобетонни стени е да се допусне възникването на нееластични деформации, като се запази възможността за дисипиране (разсейване) на сеизмичната енергия. За да се спази това изискване, е необходимо шайбите да се изчисляват и конструират така, че разрушаването да започне от провлачането на опънната надлъжна армировка в крайните зони на стената вследствие на нецентричен натиск (вж. фиг. 1а). Другите възможни форми на разрушение като: крехко разрушаване и изкълчване на натисковата армировка (фиг. 1б), срязване породено от приплъзване в основата на стената (фиг. 1в), диагонален натиск или диагонален опън вследствие на напречна сила (фиг. 1г, д) или нарушено сцепление между бетона и армировката (фиг. 1е) са нежелани и следва да се избягват.

3. Числен пример

3.1. Основни положения

Разгледана е среднотатистическа жилищна сграда – девететажна, със стенна стоманобетонна носеща конструкция (вж. фиг. 2).



Фиг. 2. Разпределение на типов етаж

3.2. Сеизмично поведение и междуетажни премествания на конструкцията

Проведено е сеизмично изследване на конструкцията, като са направени три линейно-еластични динамични модела на сградата с програма PSCAD на база спектрален метод. Трите модела се различават по големината на редуцирания еластичната коравина в критичната зона коефициент. Първият разглежда поведението на конструкцията като еластична, т.е с коефициент $\alpha = 1$. Вторият и третият отчитат пластифициране с големина на редуцирания коефициент съответно: $\alpha = 0,5$ и $\alpha = 0,2$.

Таблица 1. Етажни премествания, получени с еластична коравина на шайбите

Етаж	Етажни, нееласт.		Междуетажни		Общо	Относ.
	D_{xs}, mm	D_{ys}, mm	$D_{xr} * v, mm$	$D_{yr} * v, mm$		
1	0,36	0,65	0,18	0,32	0,37	0,0001
2	3,76	4,1	1,7	1,73	2,42	0,0009
3	9,56	9,67	2,9	2,78	4,02	0,0014
4	18,05	17,67	4,24	4	5,83	0,002
5	29,27	27,82	5,61	5,07	7,56	0,0027
6	42,11	39,59	6,42	5,89	8,71	0,0031
7	56,16	52,53	7,02	6,47	9,55	0,0034
8	71	66,21	7,42	6,84	10,09	0,0035
9	85,99	80,01	7,5	6,9	10,19	0,0036
10	99,69	93,91	6,85	6,95	9,76	0,0035

Таблица 2. Етажни премествания, получени с еластична коравина на шайбите, намалена с 0,5

Етаж	Етажни, нееласт.		Междуетажни		Общо	Относ.
	D_{xs}, mm	D_{ys}, mm	$D_{xг}^*v, \text{mm}$	$D_{yг}^*v, \text{mm}$		
1	0,61	1,04	0,3	0,52	0,6	0,0002
2	5,95	6,6	2,67	2,78	3,85	0,0014
3	14,18	15,02	4,12	4,21	5,88	0,0021
4	24,73	25,7	5,28	5,34	7,51	0,0026
5	37,66	38,18	6,47	6,24	8,98	0,0032
6	51,94	52,01	7,14	6,92	9,94	0,0035
7	67,26	66,8	7,66	7,4	10,65	0,0037
8	83,27	82,21	8	7,7	11,11	0,0039
9	99,37	97,65	8,05	7,72	11,15	0,004
10	114,42	113,17	7,52	7,76	10,81	0,0039

Таблица 3. Етажни премествания, получени с еластична коравина на шайбите, намалена с 0,2

Етаж	Етажни, нееласт.		Междуетажни		Общо	Относ.
	D_{xs}, mm	D_{ys}, mm	$D_{xг}^*v, \text{mm}$	$D_{yг}^*v, \text{mm}$		
1	1,48	1,95	0,74	0,97	1,22	0,0005
2	11,72	11,63	5,12	4,84	7,05	0,0025
3	25,96	25,4	7,12	6,88	9,9	0,0035
4	42,11	41,18	8,08	7,89	11,29	0,004
5	60,12	58,26	9	8,54	12,41	0,0044
6	79,33	76,33	9,6	9,03	13,18	0,0046
7	99,37	95,1	10,02	9,38	13,73	0,0048
8	119,97	114,32	10,3	9,61	14,09	0,0049
9	140,52	133,43	10,28	9,56	14,03	0,005
10	160,66	152,6	10,07	9,58	13,9	0,005

3.3. Разрезни усилия и оразмеряване на стоманобетонни стени (шайби)

3.3.1. Общи положения

Разгледани са две от стоманобетонните стени, показани на фиг. 2. Те са разположени във взаимно перпендикулярни направления – шайба 1 с размери на напречното сечение: 440/25 cm и шайба 6 – 25/620 cm.

3.3.2. Разрезни усилия

Резултатите от сеизмичния анализ, получени при различните стойности на редукция на еластичната коравина за двете шайби, са поместени съответно в табл. 4 за стоманобетонна стена – Ш1 и в табл. 5 за стоманобетонна стена – Ш6.

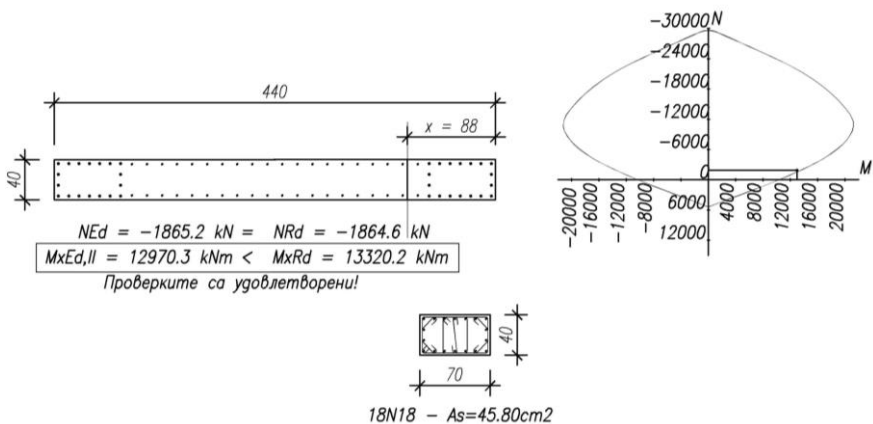
Таблица 4. Разрезни усилия в Ш1

ЭТАЖИ		УСИЛИЯ В ШАЙБА 1 - ЕЛАСТИЧНА КОРАВИНА			УСИЛИЯ В ШАЙБА 1 - ЕЛАСТИЧНА КОРАВИНА НАМАЛЕНА С 0.50			УСИЛИЯ В ШАЙБА 1 - ЕЛАСТИЧНА КОРАВИНА НАМАЛЕНА С 0.20		
Кота	Сечение	N	M	V	N	M	V	N	M	V
+0.60	долу	-1953,2	8761,4	3429,2	-1953,2	7691,9	2813,9	-1953,2	5859,2	1986,8
+0.60	горе	-1838,8	12325,8	3429,2	-1838,8	10787	2813,9	-1838,8	8056,1	1986,8
+3.45	долу	-1865,2	12396,9	-812,4	-1865,2	10858,1	-645,8	-1865,2	8127,2	-491,9
+3.45	горе	-1739,8	10529	-812,4	-1739,8	9597,9	-645,8	-1739,8	7618,2	-491,9
+6.30	долу	-1638,7	10436	-757,8	-1638,7	9504,9	-687	-1638,7	7525,2	-548,9
+6.30	горе	-1513,3	8819,8	-757,8	-1513,3	8246,5	-687	-1513,3	7263,4	-548,9
+9.15	долу	-1413,5	8722,9	-703,8	-1413,5	8149,5	-668,5	-1413,5	7166,5	-607,3
+9.15	горе	-1335,2	7233,7	-703,8	-1335,2	6771,5	-668,5	-1335,2	6025,6	-607,3
+12.00	долу	-1227,2	7137,9	-643,1	-1227,2	6675,8	-587,6	-1227,2	5929,9	-500,6
+12.00	горе	-1148,8	5756,5	-643,1	-1148,8	5447,9	-587,6	-1148,8	4967,2	-500,6
+14.85	долу	-1026,2	5606,5	-547,1	-1026,2	5299,7	-501,1	-1026,2	4821,7	-430,3
+14.85	горе	-947,9	4352,8	-547,1	-947,9	4163,1	-501,1	-947,9	3883,6	-430,3
+17.70	долу	-825	4233,7	-452,2	-825	4043,9	-422,1	-825	3764,4	-372
+17.70	горе	-746,7	3126,2	-452,2	-746,7	3011,5	-422,1	-746,7	2861,1	-372
+20.55	долу	-623,8	3007	-408	-623,8	2892,3	-388,1	-623,8	2742	-357,8
+20.55	горе	-545,4	1929,5	-408	-545,4	1866,3	-388,1	-545,4	1793,3	-357,8
+23.35	долу	-426,5	1813,6	-347	-426,5	1750,4	-333,4	-426,5	1677,4	-314,9
+23.35	горе	-349,5	870,3	-347	-349,5	845,5	-333,4	-349,5	817,8	-314,9
+26.15	долу	-230,6	754,3	-203,6	-230,6	729,5	-194,7	-230,6	701,8	-184,8
+26.15	горе	-153,6	184,3	-203,6	-153,6	184,3	-194,7	-153,6	184,3	-184,8

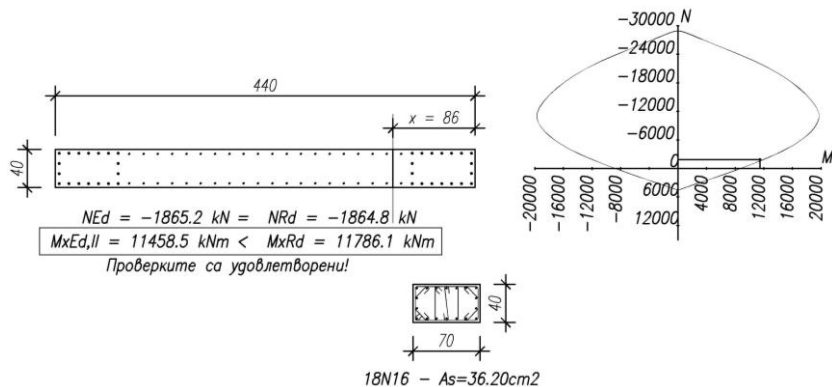
Таблица 5. Разрезни усилия в Ш6

ЭТАЖИ		УСИЛИЯ В ШАЙБА 6 - ЕЛАСТИЧНА КОРАВИНА			УСИЛИЯ В ШАЙБА 6 - ЕЛАСТИЧНА КОРАВИНА НАМАЛЕНА С 0.50			УСИЛИЯ В ШАЙБА 6 - ЕЛАСТИЧНА КОРАВИНА НАМАЛЕНА С 0.20		
Кота	Сечение	N	M	V	N	M	V	N	M	V
+0.60	долу	-7310	30757,8	-1909,1	-7310	24324,3	-1414,7	-7310	16178,7	-866,6
+0.60	горе	-7148,8	35360,6	-1909,1	-7148,8	27707,9	-1414,7	-7148,8	18180,9	-866,6
+3.45	долу	-6756,6	35641,6	-1852,1	-6756,6	27988,9	-1925,4	-6756,6	18461,8	-1583,7
+3.45	горе	-6579,9	31210,6	-1852,1	-6579,9	23257,9	-1925,4	-6579,9	14729,1	-1583,7
+6.30	долу	-6078,6	30877,8	-1993,6	-6078,6	22925	-1288,2	-6078,6	14396,3	-813,6
+6.30	горе	-5901,9	26204,3	-1993,6	-5901,9	20231,3	-1288,2	-5901,9	12719,7	-813,6
+9.15	долу	-5387,8	25867	-1904,3	-5387,8	19894,1	-1302,6	-5387,8	12382,5	-917,9
+9.15	горе	-5277,3	21352,2	-1904,3	-5277,3	17620,8	-1302,6	-5277,3	12987,6	-917,9
+12.00	долу	-4762,4	21020,6	-1653,7	-4762,4	17289,2	-1229,7	-4762,4	12656	-725,8
+12.00	горе	-4652	17154,5	-1653,7	-4652	14773,1	-1229,7	-4652	11929,6	-725,8
+14.85	долу	-3990,5	16518,6	-1431,5	-3990,5	14149,1	-1125,4	-3990,5	11319,5	-737,2
+14.85	горе	-3880,1	13020,4	-1431,5	-3880,1	11537,6	-1125,4	-3880,1	9834,3	-737,2
+17.70	долу	-3179,7	12298,1	-1229,9	-3179,7	10815,3	-1012,1	-3179,7	9112	-744,2
+17.70	горе	-3069,3	9122,6	-1229,9	-3069,3	8245,8	-1012,1	-3069,3	7270,7	-744,2
+20.55	долу	-2368,3	8403,9	-1072,2	-2368,3	7527,2	-920,2	-2368,3	6552	-744,7
+20.55	горе	-2257,9	5491,2	-1072,2	-2257,9	5036,3	-920,2	-2257,9	4538,6	-744,7
+23.35	долу	-1556	4817,4	-873,1	-1556	4362,5	-771,2	-1556	3864,9	-658,8
+23.35	горе	-1447,5	2409,2	-873,1	-1447,5	2236,5	-771,2	-1447,5	2045,3	-658,8
+26.15	долу	-747,7	1744,9	-566	-747,7	1572,2	-504,3	-747,7	1380,9	-436
+26.15	горе	-639,2	160,2	-566	-639,2	160,2	-504,3	-639,2	160,2	-436

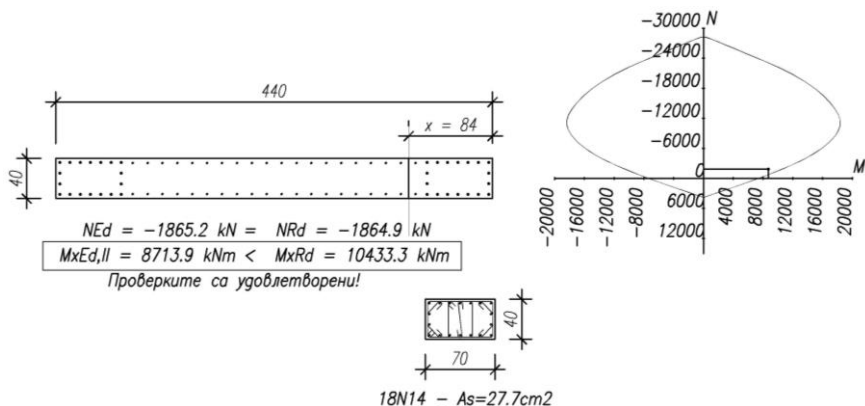
3.3.3. Оразмеряване и конструиране



Фиг. 3. Надлъжна армировка на Ш1 при горен ръб kota +0,60 при коефициент 1

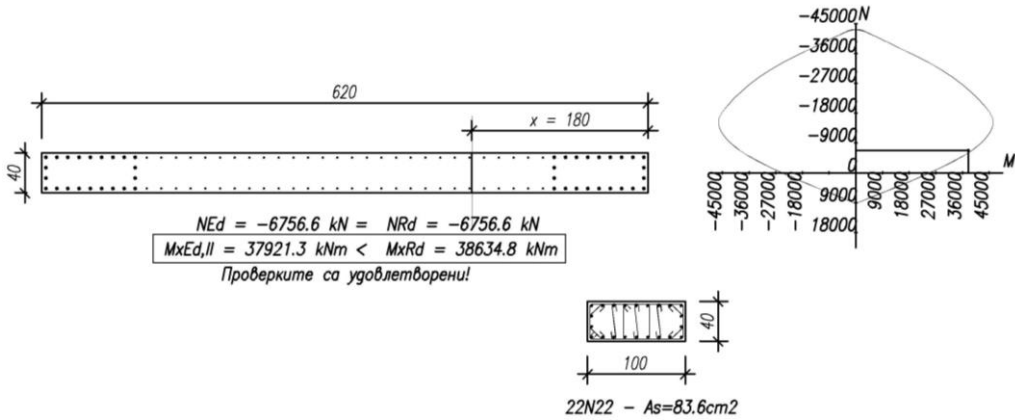


Фиг. 4. Надлъжна армировка на Ш1 при горен ръб kota +0,60 при коефициент 0,5

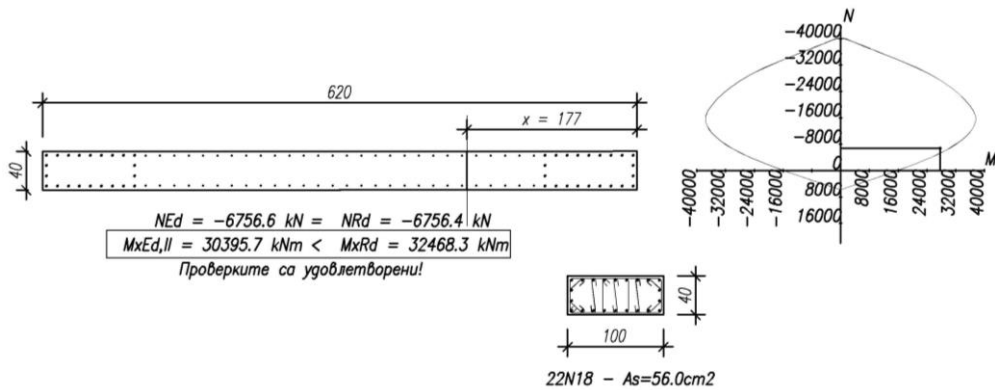


Фиг. 5. Надлъжна армировка на Ш1 при горен ръб kota +0,60 при коефициент 0,2

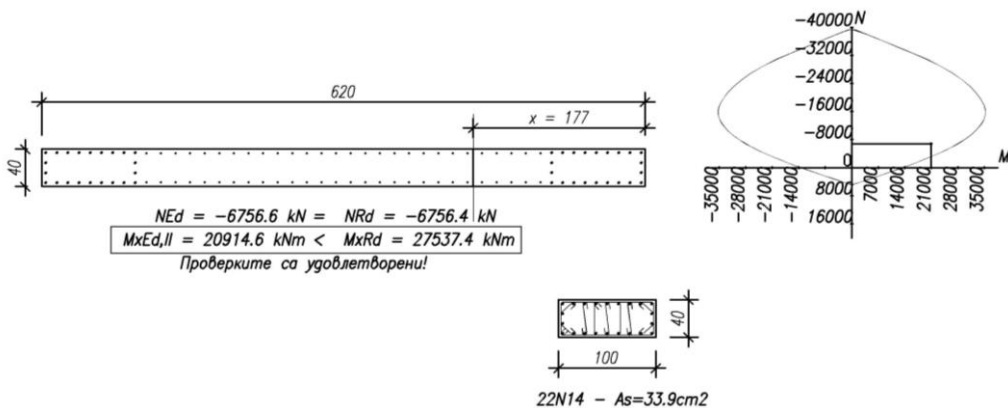
Стоманобетонна стена – Ш6, която е в перпендикулярна посока на разгледаната вече Ш1, също е оразмерена на нецентричен натиск и за трите случая.



Фиг. 6. Надлъжна армировка на Ш6 при горен ръб кота +0,60 при коефициент 1



Фиг. 7. Надлъжна армировка на Ш6 при горен ръб кота +0,60 при коефициент 0,5



Фиг. 8. Надлъжна армировка на Ш6 при горен ръб кота +0,60 при коефициент 0,2

4. Анализ на резултатите и препоръки

4.1. Анализ на резултатите

Приложеното числено изследване недвусмислено води до следните изводи:

- редукция в коравината на стоманобетонните стени в критичната зона може да се прави докато междуетажните премествания продължават да са равни или по-малки от граничните и са уточнени реалните коравини при елементи с пукнатини;
- отчитането на пластифицирането в различна степен, чрез намаляване на еластичната коравина в критичната зона на шайбите води до драстични разлики в огъващите моменти и в срязващите сили;
- ако при оразмеряването на срязване за средно ниво на дуктиленост има коефициент на завишаване от 1,5, което може да се разглежда и като коефициент на сигурност с цел да не се допусне разрушаване от срязване, то по отношение на оразмеряването на нецентричен натиск подобни коефициенти няма.

В [1] е написано следното: еластичните коравини на огъване и срязване **могат** да се приемат, че са равни на половината от съответната коравина на ненапукани елементи, освен ако е извършен **по-точен анализ** на елементите с пукнатини.

Прилагането на спектралния метод за изчисляване на строителните конструкции за сеизмични въздействия намира най-широко приложение в инженерната практика, но от него няма как да се направят ясни изводи за очакваното разрушение при дефинирано количество армировка в стоманобетонните стени. За тази цел следва да се прави по-прецизен анализ – така нареченият „time history analyze”, т.е. анализ на база регистрирани или симулирани акселерограми. Подобно решение е изключително трудоемко и когато става въпрос за масовото проектиране не е ефективно.

Поради изложените по-горе причини следва да се търсят допълнителни условия, въз основа на които да се установят по-ясни граници при отчитане на пластифицирането на стоманобетонните стени. Необходимо е те да бъдат заложили в Националните приложения на EC8 [1], за да може да се дефинират стойности на редуциращия коравината коефициент, индивидуални за всяка една конструктивна система. По този начин може да се избегне възможността да се манипулира с количествата на получената и отговаряща на всички нормативни наредби армировка, необходима за конструирането на стоманобетонни стени за поемането на сеизмични въздействия.

4.2. Препоръки

На база на разработения числен пример, анализ на получените резултати и приложената литература [1 ÷ 6] се предлага подход за определяне на редуциращия еластичната коравина в критичната зона коефициент α .

С цел улеснение при извършване на основни пресмятания е използвана програма GaLa Reinforcement 4.1e.

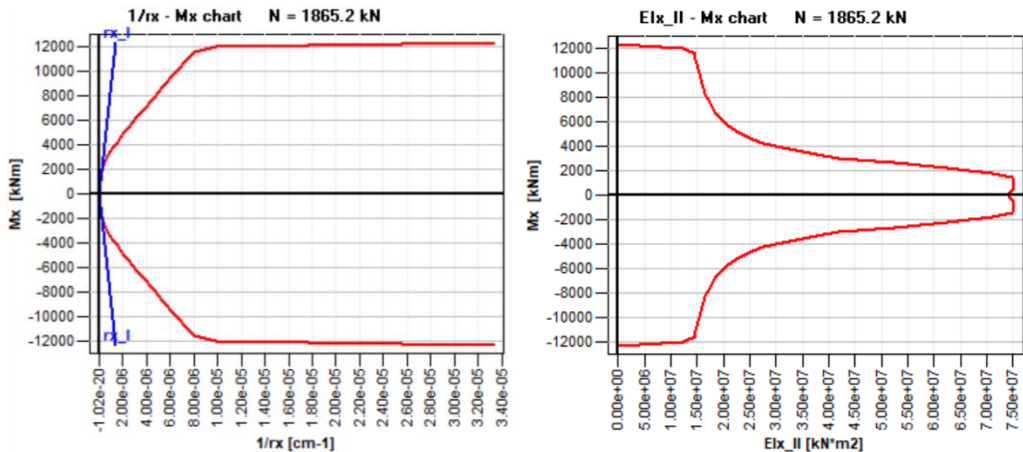
За стоманобетонна стена – Ш1:

Въз основа на геометричните характеристики, разрезните усилия, класа на бетона и полученото количество армировка при $\alpha = 1$ (вж. фиг. 3) са определени:

$$EI_{III1} = \frac{0,4 \cdot 4,4 \cdot 40^3}{12} \cdot 3,05 \cdot 10^7 = 8,66 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2 - \text{коравина на бетонното сечение на III1};$$

$$EI_{crc,III1} = 6,25 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2 - \text{коравина при начално пукнатинообразуване};$$

$$EI_{\Phi,III1} = 1,45 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2 - \text{коравина при начално провлачане на армировката}.$$



Фиг. 9. Графични зависимости момент – кривина и момент – коравина при константна големина на нормалната сила при кота +0,60 за III1

Намерена е усреднената разлика в коравините между момента на пукнатинообразуване и провлачане на армировката: $\Delta_{EI} = (EI_{crc} - EI_{\Phi}) / 2 = 2,4 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2$, от където и средната стойност на коравината между упоменатите по-горе две точки:

$$EI_{mid,III1} = EI_{\Phi,III1} + \Delta_{EI,III1} = 3,85 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2.$$

Стойността на редуцирания коефициент за III1 се получава от израза:

$$\alpha_{III1} = \frac{EI_{mid,III1}}{EI_{III1}} = \frac{3,85 \cdot 10^7}{8,66 \cdot 10^7} = 0,44.$$

Същият подход се прилага и по отношение на **стоманобетонна стена – Ш6**:

$$EI_{III6} = 2,42 \cdot 10^8 \text{ kN/m}^2 - \text{коравина на бетонното сечение на Ш6};$$

$$EI_{crc,III6} = 1,94 \cdot 10^8 \text{ kN/m}^2 - \text{коравина при начално пукнатинообразуване};$$

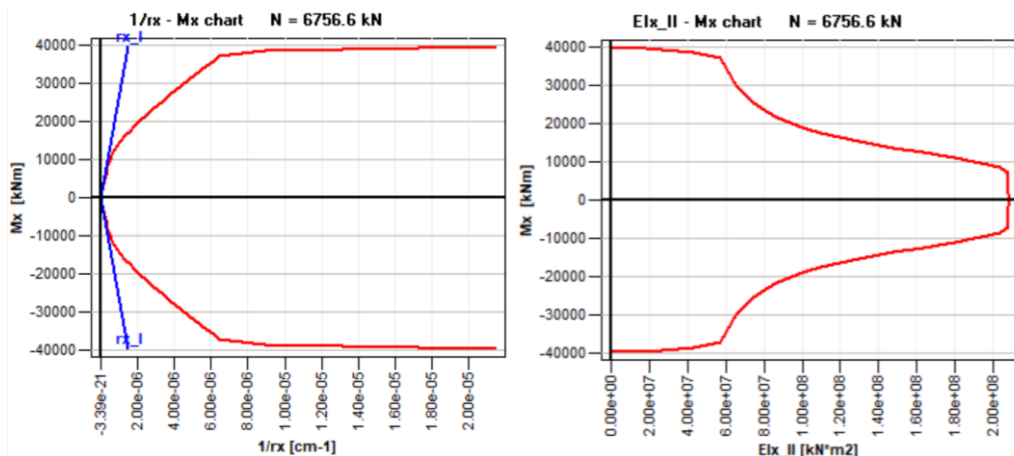
$$EI_{\Phi,III6} = 0,574 \cdot 10^8 \text{ kN/m}^2 - \text{коравина при начално провлачане на армировката}.$$

$$\Delta_{EI} = (EI_{crc} - EI_{\Phi}) / 2 = 0,683 \cdot 10^8 \text{ kN/m}^2.$$

$$EI_{mid,III6} = EI_{\Phi,III6} + \Delta_{EI,III1} = 1,257 \cdot 10^8 \text{ kN/m}^2.$$

Стойността на редуцирания коефициент за Ш6 се получава от израза:

$$\alpha_{III6} = \frac{EI_{mid,III6}}{EI_{III6}} = \frac{1,257 \cdot 10^8}{2,42 \cdot 10^8} = 0,52.$$



Фиг. 10. Графични зависимости момент – кривина и момент – коравина при константна големина на нормалната сила при kota +0,60 за Ш6

Стойността на коефициента α , с която следва да се работи при изготвянето на окончателния сеизмичен модел, се получава като средноаритметична стойност от коефициентите, изчислени по предложения начин за всяка от шайбите в сграда.

Разгледаната процедура дава възможност редуциращият еластичната коравина в критичната зона коефициент α да се определя в зависимост от индивидуалните характеристики на стоманобетонните стени самостоятелно за всяка една сграда.

ЛИТЕРАТУРА

1. БДС EN 1998 Еврокод 8.
2. Сотиров, П., Игнатиев, Н. и колектив. Практическо ръководство с решени примери по прилагането на Еврокод 8-1 – проектиране за сеизмични въздействия (нови сгради). КИИП, София, 2012.
3. Ганчева, Р. Проектиране на стоманобетонни конструкции за сеизмични въздействия. УАСГ – 2007.
4. Tang, T. O., Su, R. K. L. Shear and Flexural Stiffnesses of Reinforced Concrete Shear Walls Subjected to Cyclic Loading. The Open Construction and Building Technology Journal, 2014, 8, 104-121.
5. Bertero, V. Seismic behavior of R/C wall structural systems. University of California, Berkeley.
6. БДС EN 1992 Еврокод 2.

ANALYSIS OF THE VALUE OF THE REDUCING COEFFICIENT OF BENDING ON REINFORCED CONCRETE SHEAR WALL STRUCTURAL SYSTEMS SUBJECT TO SEISMIC IMPACTS

N. Bogdanov¹, N. Barakova²

Keywords: ductility, effective stiffness, flexural stiffness, seismic

ABSTRACT

A seismic study of a nine storey building with a reinforced concrete structure is carried out. The linear dynamic models of the structure have been made using PSCAD software and based on spectrum analysis with distribution of the response modes according to BDS EN 1998-1 requirements. Based on the obtained results, a detailed analysis is performed on the impact of the reduced stiffness of reinforced concrete walls in the critical regions on the displacements, bending moments and the amount of the required reinforcement bars.

¹ Nikolay Bogdanov, Dr. Eng., e-mail: niboengineering@gmail.com

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