

## РАЗРЕЗНИ УСИЛИЯ В СТОМАНОБЕТОННИ СТЕНИ С РАЗЛИЧНИ КОРАВИНИ – ЧАСТ ВТОРА

Станислав Цветков<sup>1</sup>, Георги Янчев<sup>2</sup>

## INTERNAL FORCES IN R.C. SHEAR WALLS WITH DIFFERENT STIFFNESS – PART TWO

Stanislav Tsvetkov, Georgi Yanchev

### Abstract:

*To implement the idea, wall lengths (in plan) of 3 and 6 m were used, height of 6 and 12 floors for the building. All analyzed models have the same: materials (concrete grade), thicknesses and seismic forces. Specialized software for the solutions is used. The internal forces values for the models with central holes (regular, in one column) and asymmetric (one-sided, regular, in one column) are compared. The values of shear forces in the coupling beams are shown. Scientific and applied guidance for analysis of such walls is given, given the difference in the values of the internal forces.*

### Keywords:

*R.C. shear walls, rectangular cross section (with holes), internal forces*

### 1. ВЪВЕДЕНИЕ

Докладът представлява продължение на изследванията от [5], като показва компютърни анализи на допълнителни видове стени, а именно – с несиметрично конструирани отвори (от едната страна), но регулярни по височина. Отворите в стените представляват необходима архитектурно-функционална „част“ от конструкциите, осигуряващи осветление и приток на въздух, както и евентуален проход за инсталации. От инженерна гледна точка, начините за анализ и конструиране трябва да осигуряват постигането на „хомогенна“ структура със стабилност и допустима деформативност. Някои от изследванията, например [4] – показва съпоставка на деформираното и напрегнато състояние на противоземетръсна шайба с отвори, получени при различни

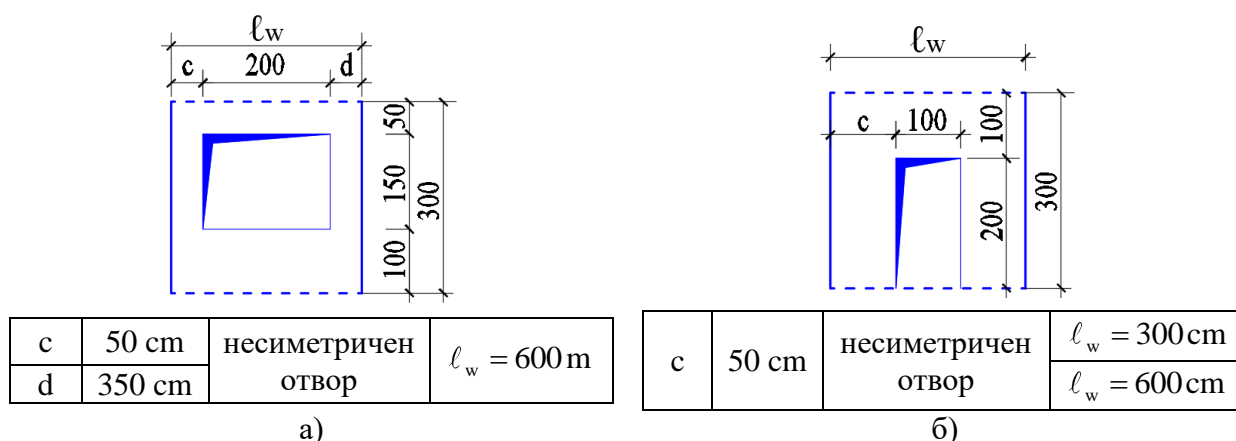
<sup>1</sup> Станислав Цветков, гл. ас. д-р инж., катедра „Строителни конструкции“, Строителен факултет, Висше строително училище „Любен Каравелов“, София, ул. „Суходолска“ № 175, e-mail: [st.cvetkov@vsu.bg](mailto:st.cvetkov@vsu.bg) ; Stanislav Tsvetkov, Chief Assistant Eng., PhD, Department “Building Structures”, Faculty of Construction, University of Structural Engineering & Architecture (VSU) “Lyuben Karavelov” Sofia, 175 Suhodolska str., e-mail: [st.cvetkov@vsu.bg](mailto:st.cvetkov@vsu.bg)

<sup>2</sup> Георги Янчев, студент IV курс, специалност „Строителство и архитектура на сгради и съоръжения“, Висше строително училище „Любен Каравелов“, София, ул. „Суходолска“ № 175, e-mail: [g.n.yanchev@abv.bg](mailto:g.n.yanchev@abv.bg) ; Georgi Yanchev, student, 4 course, specialty Construction and architecture of buildings and facilities, University of Structural Engineering & Architecture (VSU) “Lyuben Karavelov” Sofia, 175 Suhodolska str., e-mail: [g.n.yanchev@abv.bg](mailto:g.n.yanchev@abv.bg)

подходи на моделиране, чрез сравняване на два типа изчислителни модели, основани съответно на дискретизация с гредови и равнинни крайни елементи. При задълбочен анализ чрез теорията на разрушението, се използват макромоделите, каквато информация може да се намери в [3]. Това показва разностранните направления, в които се работи в страната, а в световен план – са проучени и разработките [6], [7], описващи различни теоретико-експериментални постановки, касаещи стените с отвори. Освен това, често пъти заради концентрацията на напрежения и необходимо усилване, при отворите се конструират системи от стоманени елементи. При необходимост от оразмеряване на стоманените елементи на голямо „обрамчване“, може да се ползва специализираната литература [2]. *Идеята за представените анализи е за „бърза“ проверка при начало на проектирането, чрез различен по вид анализ, на съществуващата научна база.* Резултатите са систематизирани в табл. 1 до табл. 6 (стойности на: огъващите моменти  $M$ , нормалните сили  $N$  и напречните (срязващи) сили  $V$ ) за стените с различни дължини в план и височини (етажности), при несиметрично разположение на отворите за прозорци и врати. съставени са четири групи изчислителни модели за щурцове, резултатите са показани в табл. 7 до табл. 20. Използваните материали и програмен продукт, са както в [5]. Стените за всички модели са с ширина 25 см. Направени са сравнения на стойностите от получените резултати (разрезни усилия в характерни хоризонтални и вертикални сечения по височина на конструктивните стоманобетонни стени). *В настоящия доклад стойностите са показани директно като резултат от програмния продукт. За последващи анализи, е необходимо (допълнително) капацитивно коригиране на разрезните усилия!* [1]

## 2. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ ЗА АНАЛИЗИРАНИТЕ КОНСТРУКТИВНИ ЕЛЕМЕНТИ

Прието е стените да са запънати в основите си. Показаните изчислителни модели са разработени за 6 и 12 – етажни стени, с височина на етажите 3 m, т.е. 18 и 36 – метрови стени. Стените са с дължина в план 3 и 6 m, с отвори за прозорци и врати: разгледани са решенията на централно разположени и несиметрични (едностранни) отвори – регулярни по височина, в една вертикална колона. Отворите за прозорци са приети с размери  $b/h = 2/1,5$  m (подпрозоречена кофа от ниво – 1 m), а отворите за врати -  $b/h = 1/2$  m (фиг. 1).



Фигура 1. Размери на отворите за един етаж: а). за прозорци; б). за врати

### Модели стени:

Модел 1. Модел с (чисто) еластична коравина, без критични зони по височина.

Използва се  $E = 3,1 \times 10^7$  kN/m<sup>2</sup> и Коефициент на Poisson  $\nu = 0,2$ .

Модел 2. Модел с коригирана коравина само за:

- второ ниво (за стените с дължина в план – 3 m, 6 етажни);
- второ и трето нива (за стените с дължина в план – 3 m, 12 етажни);
- второ ниво (за стените с дължина в план – 6 m, 6 етажни);
- второ и трето нива (за стените с дължина в план – 6 m, 12 етажни).

Модел 3. Модел с коригирана коравина по цялата височина (за всички нива).

Модел 4. Модел с коригирана коравина само за второ и трето нива (за стените с дължина в план – 6 m, 6 етажни).

Корекцията на коравината се изразява в 50% - но намаляване на  $E$  – модула на материала и нулиране на Коефициента на Poisson.

Групи за резултати при щурцове:

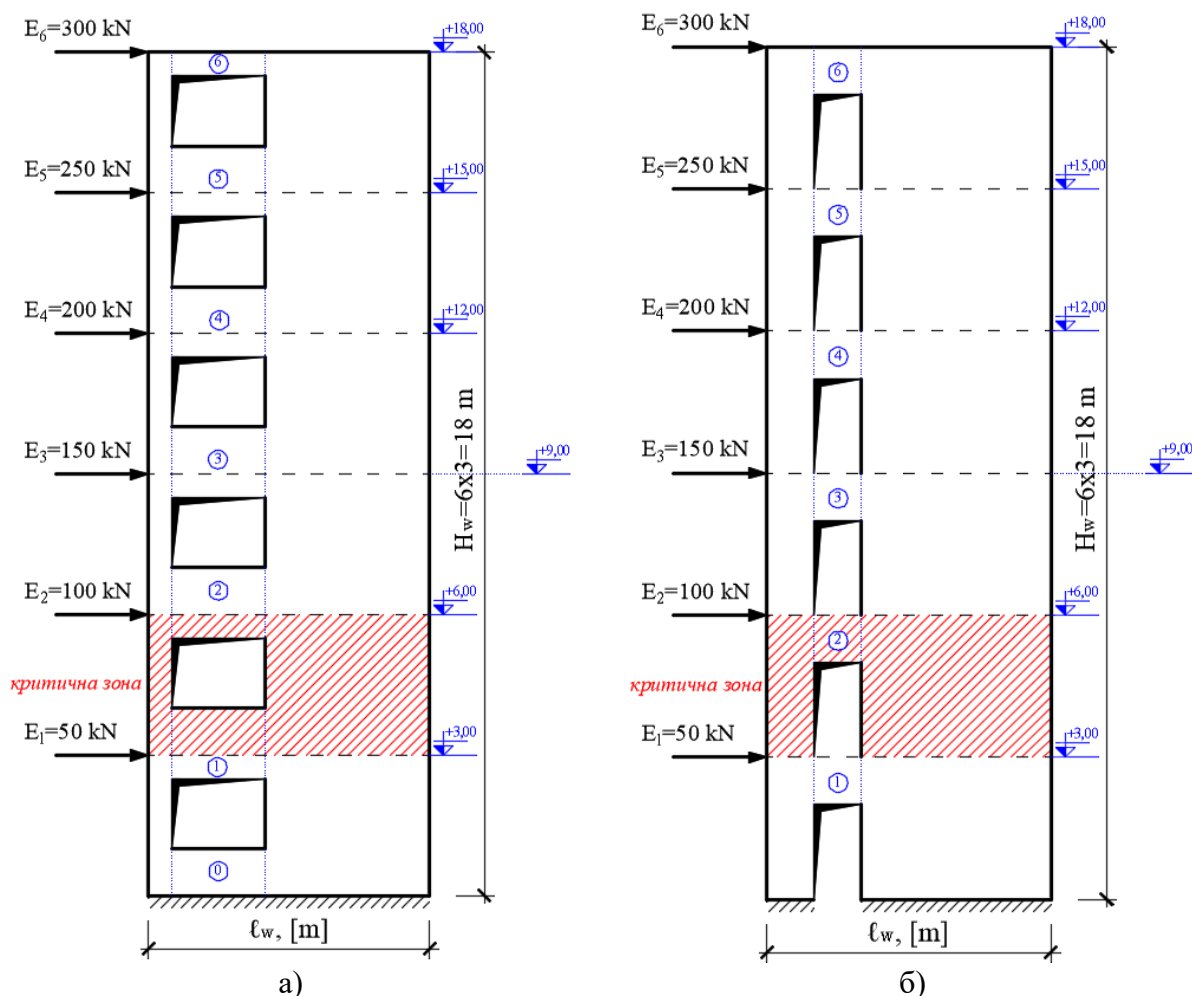
Група А. Стени с дължини в план 3 m, с отвори за прозорци (централно);

Група Б. Стени с дължини в план 6 m, с отвори за прозорци (централно и несиметрично);

Група В. Стени с дължини в план 3 m, с отвори за врати (централно и несиметрично);

Група Г. Стени с дължини в план 6 m, с отвори за врати (централно и несиметрично);

Анализът е линеен (статичен), с нарастващи по стойност хоризонтални сили от  $E_1 = 50$  kN (за първо ниво) до  $E_6 = 300$  kN (за последно, шесто ниво за 6 – етажните стени) или  $E_{12} = 600$  kN (за последно, дванадесето ниво за 12 – етажните стени), през 50 kN (фиг. 2).



Фигура 2. Геометрия и приложени въздействия на стени с отвори за:

а). прозорци; б). врати

(схемите важат за всички разгледани решения, описани по-горе)

Размерността на крайните елементи 10/10 см. Такава гъстота на дискретизационната мрежа предполага висока точност на резултатите.

### 3. СТОЙНОСТИ НА РАЗРЕЗНИТЕ УСИЛИЯ ЗА СТЕНИТЕ, ПРИ НЕСИМЕТРИЧНО РАЗПОЛОЖЕНИ ОТВОРИ ЗА ВРАТИ И ПРОЗОРЦИ

Таблица 1. Стени с дължини в план 3 m, с отвори за врати (несиметрично) – 6 етажни

кота, [m]	Модел 1			Модел 2			Модел 3		
	M, [kN.m]	N, [kN]	V, [kN]	M, [kN.m]	N, [kN]	V, [kN]	M, [kN.m]	N, [kN]	V, [kN]
18,00	301,31	<b>65,11**</b>	80,97	80,96	<b>65,12**</b>	<b>301,32</b>	<b>447,67</b>	<b>302,54**</b>	300,05
15,00	842,87	<b>19,79</b>	567,03	842,78	19,73	<b>567,30</b>	<b>886,22</b>	19,73	563,37
12,00	2474,95	21,89	870,72	2474,10	21,33	<b>873,29</b>	<b>2537,50</b>	<b>24,97</b>	865,11
9,00	4721,15	<b>17,28</b>	1110,72	4714,49	13,09	<b>1128,22</b>	<b>4807,27</b>	13,08	1103,31
6,00	7433,29	9,12	<b>1279,99</b>	<b>7575,15</b>	<b>6,25**</b>	1242,48	7544,72	<b>11,93**</b>	1271,13
3,00	10470,10	6,10	<b>1351,79</b>	10476,19	12,37	1323,40	<b>10607,04</b>	<b>55,64**</b>	1342,26
0,1*	14087,31	154,18	1068,17	<b>14088,18</b>	<b>154,74</b>	1068,52	14017,57	148,57	<b>1077,96</b>
запъване	13844,42	235,83	1049,33	13844,75	<b>235,98</b>	1049,32	<b>14065,45</b>	157,03	<b>1059,03</b>

Таблица 2. Стени с дължини в план 3 m, с отвори за врати (несиметрично) – 12 етажни

кота, [m]	Модел 1			Модел 2			Модел 3		
	M, [kN.m]	N, [kN]	V, [kN]	M, [kN.m]	N, [kN]	V, [kN]	M, [kN.m]	N, [kN]	V, [kN]
36,00	162,02	<b>131,66**</b>	602,67	162,02	<b>131,66**</b>	<b>602,68</b>	<b>895,35</b>	<b>605,43**</b>	600,16
33,00	1674,27	<b>3,25**</b>	<b>1169,94</b>	1674,28	<b>3,26**</b>	<b>1169,94</b>	<b>1766,62</b>	<b>6,04**</b>	1162,29
30,00	5071,69	<b>47,78**</b>	1877,39	5071,70	<b>47,77**</b>	<b>1877,40</b>	<b>5210,87</b>	<b>45,32**</b>	1865,18
27,00	9990,75	<b>113,61**</b>	<b>2526,24</b>	9990,75	<b>113,61**</b>	<b>2526,24</b>	<b>10190,37</b>	<b>126,12**</b>	2509,32
24,00	16284,20	<b>198,65**</b>	3110,61	16284,20	<b>198,65**</b>	<b>3110,63</b>	<b>16555,65</b>	<b>244,79**</b>	3088,94
21,00	23801,01	<b>300,65**</b>	3629,54	23800,96	<b>300,68**</b>	<b>3629,70</b>	<b>24154,09</b>	<b>397,34**</b>	3603,08
18,00	32389,52	<b>417,15**</b>	4082,70	32389,06	<b>417,45**</b>	<b>4084,05</b>	<b>32832,59</b>	<b>579,67**</b>	4051,49
15,00	41898,05	<b>545,69**</b>	4469,83	41893,63	<b>548,60**</b>	<b>4483,14</b>	<b>42437,99</b>	<b>787,66**</b>	4433,94
12,00	52174,94	<b>683,75**</b>	4790,49	52140,84	<b>705,18**</b>	<b>4879,66</b>	<b>52817,16</b>	<b>1017,18**</b>	4750,04
9,00	63069,06	<b>828,48**</b>	<b>5042,78</b>	<b>64013,62</b>	<b>1269,87**</b>	4835,98	63817,27	<b>1264,29**</b>	4997,97
6,00	74434,39	<b>973,66**</b>	<b>5209,04</b>	<b>75335,01</b>	<b>1553,50**</b>	5070,01	75286,87	<b>1523,78**</b>	5160,81
3,00	86159,28	<b>1092,31**</b>	5192,90	86107,12	<b>890,45**</b>	<b>5225,76</b>	<b>87123,96</b>	<b>1848,00**</b>	5143,47
0,1*	100628,86	<b>328,08**</b>	4001,56	<b>100631,38</b>	<b>326,34**</b>	4002,53	100134,45	<b>363,55**</b>	<b>4056,42</b>
запъване	98697,64	309,95	3897,99	98698,62	<b>310,46</b>	3897,97	<b>100213,80</b>	<b>303,39**</b>	<b>3953,12</b>

Таблица 3. Стени с дължини в план 6 m, с отвори за прозорци (несиметрично) – 6 етажни

кота, [m]	Модел 1			Модел 2		
	M, [kN.m]	N, [kN]	V, [kN]	M, [kN.m]	N, [kN]	V, [kN]
18,00	68,22	<b>33,51**</b>	301,35	67,51	<b>33,60**</b>	301,35
15,00	906,05	102,72	425,07	905,92	102,76	425,07
12,00	2590,12	194,18	650,08	2589,79	194,25	650,09
9,00	4875,28	285,48	825,09	4874,70	285,51	825,10
6,00	7612,23	376,30	950,08	7614,26	<b>401,18</b>	943,46
3,00	10652,28	<b>466,28</b>	1025,04	<b>10682,49</b>	444,35	1023,55
0,1*	13981,35	572,64	1054,70	<b>13981,83</b>	573,40	<b>1054,71</b>
запъване	13902,69	570,37	1049,87	13902,98	570,65	1049,87

Таблица 3. Стени с дължини в план 6 m, с отвори за прозорци (несиметрично) – 6 етажни - продължение

кота, [m]	Модел 3			Модел 4		
	M, [kN.m]	N, [kN]	V, [kN]	M, [kN.m]	N, [kN]	V, [kN]
18,00	<b>903,78</b>	<b>302,96**</b>	300,11	65,70	<b>33,82**</b>	<b>301,36</b>
15,00	<b>927,97</b>	95,25	<b>425,12</b>	905,58	<b>102,85</b>	425,07
12,00	<b>2607,40</b>	188,28	<b>650,15</b>	2589,34	<b>194,26</b>	650,09
9,00	<b>4887,71</b>	281,18	<b>825,15</b>	4875,86	<b>309,00</b>	819,30
6,00	7619,47	373,70	<b>950,14</b>	<b>7620,59</b>	373,32	950,11
3,00	10653,83	465,56	<b>1025,07</b>	10681,97	443,95	1023,55
0,1*	13907,72	568,37	1056,52	13981,74	<b>573,93</b>	<b>1054,71</b>
запъване	<b>13988,79</b>	568,21	<b>1052,61</b>	13902,93	<b>570,85</b>	1049,87

Таблица 4. Стени с дължини в план 6 m, с отвори за прозорци (несиметрично) – 12 етажни

кота, [m]	Модел 1			Модел 2			Модел 3		
	M, [kN.m]	N, [kN]	V, [kN]	M, [kN.m]	N, [kN]	V, [kN]	M, [kN.m]	N, [kN]	V, [kN]
36,00	132,27	<b>69,40**</b>	602,78	132,25	<b>69,41**</b>	<b>602,79</b>	<b>1807,80</b>	<b>606,71**</b>	600,33
33,00	1779,78	<b>113,34</b>	875,14	1779,80	113,33	875,14	<b>1827,96</b>	96,93	<b>875,27</b>
30,00	5265,81	<b>204,02</b>	1400,19	5265,82	204,01	1400,19	<b>5309,01</b>	189,32	<b>1400,34</b>
27,00	10253,67	<b>294,51</b>	1875,22	10253,66	294,50	1875,22	<b>10291,58</b>	281,54	<b>1875,40</b>
24,00	16594,44	384,17	2300,26	16594,38	<b>384,18</b>	2300,26	<b>16626,51</b>	373,09	<b>2300,46</b>
21,00	24138,06	472,29	2675,29	24137,86	<b>473,01</b>	2675,29	<b>24163,76</b>	463,92	<b>2675,51</b>
18,00	32734,33	560,93	3000,31	32733,73	<b>561,06</b>	3000,32	<b>32753,17</b>	554,09	<b>3000,56</b>
15,00	42233,03	648,14	3275,33	42231,26	<b>648,53</b>	3275,35	<b>42244,54</b>	643,63	<b>3275,58</b>
12,00	52484,03	734,63	3500,34	52480,57	<b>735,00</b>	3500,39	<b>52487,78</b>	732,60	<b>3500,59</b>
9,00	63337,53	820,40	3675,33	<b>63337,77</b>	<b>944,16</b>	3642,88	63333,02	820,98	<b>3675,57</b>
6,00	<b>74644,55</b>	905,24	3800,28	74635,75	907,00	3800,32	74631,03	<b>908,64</b>	<b>3800,49</b>
3,00	86262,95	987,23	3875,11	<b>86551,41</b>	861,07	<b>3880,03</b>	86238,87	<b>993,81</b>	3875,16
0,1*	99264,86	1128,99	3932,95	<b>99270,38</b>	<b>1131,87</b>	3933,03	98750,77	1117,34	<b>3945,72</b>
запъване	98470,32	1141,27	3899,55	98473,34	<b>1142,12</b>	3899,55	<b>99038,27</b>	1104,15	<b>3918,95</b>

Таблица 5. Стени с дължини в план 6 m, с отвори за врати (несиметрично) – 6 етажни

кота, [m]	Модел 1			Модел 2		
	M, [kN.m]	N, [kN]	V, [kN]	M, [kN.m]	N, [kN]	V, [kN]
18,00	152,41	<b>45,74**</b>	301,32	152,69	<b>46,00**</b>	<b>301,33</b>
15,00	897,14	<b>104,63</b>	466,02	897,18	104,30	467,12
12,00	2596,02	<b>186,01</b>	711,32	2596,39	185,09	713,98
9,00	4904,60	<b>263,83</b>	902,55	4905,40	261,80	<b>908,05</b>
6,00	7670,15	<b>340,75</b>	<b>1035,46</b>	<b>7772,24</b>	314,27	1022,01
3,00	10740,24	419,78	<b>1103,84</b>	10720,47	<b>432,51</b>	1086,60
0,1*	<b>14034,89</b>	558,99	1055,45	14033,81	559,57	1055,48
запъване	13905,35	588,94	1049,58	13905,10	589,08	1049,57

Таблица 5. Стени с дължини в план 6 m, с отвори за врати (несиметрично) – 6 етажни – продължение

кота, [m]	Модел 3			Модел 4		
	M, [kN.m]	N, [kN]	V, [kN]	M, [kN.m]	N, [kN]	V, [kN]
18,00	<b>901,82</b>	<b>302,29**</b>	300,06	153,30	<b>46,55**</b>	<b>301,33</b>
15,00	<b>959,30</b>	82,29	464,79	897,28	103,59	<b>469,45</b>
12,00	<b>2657,32</b>	165,88	709,60	2596,84	183,61	<b>718,07</b>
9,00	4971,78	242,13	900,43	<b>4981,98</b>	245,37	892,21
6,00	7749,42	313,44	1033,07	7755,91	312,50	1022,58
3,00	<b>10841,03</b>	380,38	1101,26	10718,73	432,33	1088,93
0,1*	13962,98	558,62	<b>1057,61</b>	14033,17	<b>559,89</b>	1055,52
запъване	<b>14031,53</b>	563,79	<b>1052,49</b>	13904,94	<b>589,16</b>	1049,57

Таблица 6. Стени с дължини в план 6 m, с отвори за врати (несиметрично) – 12 етажни

кота, [m]	Модел 1			Модел 2			Модел 3		
	M, [kN.m]	N, [kN]	V, [kN]	M, [kN.m]	N, [kN]	V, [kN]	M, [kN.m]	N, [kN]	V, [kN]
36,00	306,52	<b>93,46**</b>	602,72	306,53	<b>93,47**</b>	<b>602,73</b>	<b>1803,63</b>	<b>605,29**</b>	600,22
33,00	1762,64	<b>111,12</b>	963,85	1762,66	111,10	<b>963,90</b>	<b>1898,67</b>	62,12	961,22
30,00	5281,63	<b>173,45</b>	1539,30	5281,66	173,41	<b>1539,40</b>	<b>5429,30</b>	124,15	1535,43
27,00	10324,03	<b>224,32</b>	2064,76	10324,09	224,21	<b>2065,05</b>	<b>10498,32</b>	167,49	2059,66
24,00	16737,32	<b>265,85</b>	2537,93	16737,46	265,57	<b>2538,73</b>	<b>16953,03</b>	194,16	2531,61
21,00	24370,17	<b>299,09</b>	2957,65	24370,51	298,32	<b>2959,83</b>	<b>24640,67</b>	205,75	2950,13
18,00	33070,52	<b>325,23</b>	3323,23	33071,45	323,13	<b>3329,21</b>	<b>33407,76</b>	204,09	3314,55
15,00	42686,08	<b>345,63</b>	3633,83	42688,75	339,79	<b>3650,35</b>	<b>43100,58</b>	191,10	3624,05
12,00	53064,34	<b>361,98</b>	3887,71	53069,88	348,56	<b>3924,06</b>	<b>53565,31</b>	168,85	3876,92
9,00	64052,33	<b>376,93</b>	<b>4080,43</b>	<b>64833,35</b>	121,89	4030,05	64648,16	139,74	4068,85
6,00	75495,82	<b>395,71</b>	<b>4199,71</b>	<b>76229,79</b>	101,77	4137,92	76194,23	107,76	4188,01
3,00	87241,73	425,58	<b>4229,51</b>	87051,34	<b>554,11</b>	4168,94	<b>88078,85</b>	63,43	4217,24
0,1*	<b>99801,98</b>	863,82	3934,00	99795,05	867,43	3934,13	99303,52	<b>872,87</b>	<b>3947,01</b>
запъване	98595,53	1104,53	3897,65	98594,11	<b>1105,42</b>	3897,63	<b>99493,84</b>	897,07	<b>3916,08</b>

Забележки, отнасящи се за всички таблици с данни за разрезните усилия в стените (по т.3 от доклада):

1. Ред втори (отдолу нагоре), отбелязан със \*, се отнася за хоризонтално сечение/разрез през стената или операция с опция „Редуктор“ – за височина 10 cm (0,1 m), колкото е размерността на един краен елемент, т.е. за 0,1 m над запъването.
2. Колоните от таблиците със стойности за N – силите на етажи 6 и 12, отбелязани с \*\* и с червен цвят, означават ОПЪН. Всички неотбелязани по този начин N – сили, т.е. въведени с черен цвят, означават НАТИСК.
3. Предвид знакопроменливия характер на сеизмичното въздействие, усилията: M и V, са показани без знаци.
4. Оцветените (със сив фон) клетки в таблиците и с удебелен текст (**Bold**), показват максималните стойности за даденото разрезно усилие, от разглежданите модели.

#### 4. ИЗВОДИ ОТ РЕЗУЛТАТИТЕ ЗА СТЕНИТЕ С ЦЕНТРАЛНО И НЕСИМЕТРИЧНО КОНСТРУИРАНИ ОТВОРИ

От получените резултати, може да се състави следния извод, че при съпоставяне стойностите на усилията в стените с отвори за врати (несиметрични) с тези в стените с централно разположени отвори, се наблюдава нарастване на M и V, и намаляване на N при запъването. Когато става въпрос за върха на стените, е обратното. Също така се наблюдава намаляване на стойностите на разрезните усилия при централно разположените отвори, а стойностите са високи при несиметричните отвори.

Максималните стойности на V (и за 12 – етажните стени), се получават за ниво 1 (кота + 3,00 m – съвпада с началото на критичната зона от Модел 2), независимо от модела. Всички разрезни усилия са по-малки при централно разположените отвори за прозорци, в сравнение с несиметричните отвори. Наблюдават се високи стойности на усилията при върха – за централно конструираните отвори и ниски стойности – при несиметричните отвори (освен при Модел 3, където е обратното). При несиметричните отвори, стойностите на M и V са високи, докато при централно разположените отвори – усилията са с ниски стойности при запъването. Нормалната сила N при централно конструираните отвори е по-голяма, отколкото при стените с несиметрични отвори. Най-високите стойности на разрезните усилия се получават при несиметричните отвори, освен при Модел 3.

## 5. СТОЙНОСТИ НА НАПРЕЧНИТЕ СИЛИ В ЩУРЦОВЕТЕ

**ГРУПА А.** Стени с дължини в план 3 m, с отвори за прозорци (централно)

Таблица 7. Стени 6 етажни

щурц №	V, [kN]		
6	245,16	245,16	<b>302,57</b>
5	63,79	63,79	<b>64,19</b>
4	96,51	96,51	<b>96,82</b>
3	129,36	129,38	<b>129,55</b>
2	163,39	168,47	<b>168,95</b>
1	202,10	201,71	<b>209,36</b>
0	227,12	227,18	<b>227,59</b>
	Модел 1	Модел 2	Модел 3

Таблица 8. Стени 12 етажни

щурц №	V, [kN]		
12	492,21	492,22	<b>605,53</b>
11	92,89	92,89	<b>93,80</b>
10	125,49	125,49	<b>126,33</b>
9	158,33	158,33	<b>159,05</b>
8	191,16	191,15	<b>191,76</b>
7	223,98	233,98	<b>224,46</b>
6	256,80	256,79	<b>257,15</b>
5	289,62	289,60	<b>289,84</b>
4	322,44	322,45	<b>327,21</b>
3	356,16	367,24	<b>368,17</b>
2	395,79	<b>409,22</b>	409,17
1	433,83	433,18	<b>449,11</b>
0	455,95	455,98	<b>463,02</b>
	Модел 1	Модел 2	Модел 3

**ГРУПА Б.** Стени с дължини в план 6 m, с отвори за прозорци

Таблица 9. Стени с отвори (централно) – 6 етажни

щурц №	V, [kN]			
6	243,17	243,17	<b>302,30</b>	243,17
5	121,58	121,58	<b>122,06</b>	121,59
4	210,66	210,66	<b>211,01</b>	210,86
3	305,31	305,57	<b>306,50</b>	306,41
2	400,01	401,94	<b>402,37</b>	401,98
1	494,97	495,21	<b>498,32</b>	495,36
0	563,83	563,78	<b>564,23</b>	563,81
	Модел 1	Модел 2	Модел 3	Модел 4

Таблица 10. Стени с отвори (централно) – 12 етажни

щурц №	V, [kN]		
12	490,11	490,12	<b>605,32</b>
11	150,53	150,54	<b>151,57</b>
10	239,77	239,78	<b>240,65</b>
9	328,65	328,65	<b>329,45</b>
8	417,55	417,55	<b>418,25</b>
7	506,45	506,45	<b>507,07</b>
6	595,36	595,36	<b>595,88</b>
5	686,35	686,29	<b>689,37</b>
4	781,08	781,52	<b>785,22</b>
3	875,80	880,58	<b>881,06</b>
2	970,44	976,35	<b>976,82</b>
1	1065,74	1066,40	<b>1072,81</b>
0	<b>1130,30</b>	1130,17	1129,38
	Модел 1	Модел 2	Модел 3

Таблица 11. Стени с отвори (несиметрично) – 6 етажни

шурц №	V, [kN]			
6	243,39	243,39	<b>302,96</b>	243,40
5	124,41	124,48	124,32	<b>124,66</b>
4	212,82	212,99	212,73	<b>213,12</b>
3	306,48	307,43	304,81	<b>309,00</b>
2	400,08	<b>401,18</b>	398,45	396,72
1	490,09	491,41	488,94	<b>491,85</b>
0	572,64	573,40	568,37	<b>573,93</b>
	Модел 1	Модел 2	Модел 3	Модел 4

Таблица 12. Стени с отвори (несиметрично) – 12 етажни

шурц №	V, [kN]		
12	490,58	490,58	<b>606,71</b>
11	<b>156,64</b>	<b>156,64</b>	156,46
10	<b>244,83</b>	<b>244,83</b>	244,67
9	332,82	<b>332,84</b>	332,70
8	420,70	<b>420,82</b>	420,01
7	518,56	<b>518,90</b>	512,86
6	615,46	<b>616,45</b>	609,25
5	711,32	<b>714,20</b>	704,75
4	805,85	<b>811,56</b>	799,16
3	898,28	<b>944,16</b>	891,83
2	<b>986,38</b>	973,63	980,94
1	1060,33	<b>1073,09</b>	1057,49
0	1141,27	<b>1142,12</b>	1117,34
	Модел 1	Модел 2	Модел 3

**ГРУПА В. Стени с дължини в план 3 m, с отвори за врати**

Таблица 13. Стени с отвори (централно) – 6 етажни

шурц №	V, [kN]		
6	245,03	243,03	<b>302,63</b>
5	69,99	69,99	<b>70,41</b>
4	112,27	112,13	<b>114,30</b>
3	155,94	156,99	<b>158,34</b>
2	199,52	202,09	<b>202,49</b>
1	243,91	243,86	<b>246,87</b>
	Модел 1	Модел 2	Модел 3

Таблица 14. Стени с отвори (централно) – 12 етажни

шурц №	V, [kN]		
12	491,66	491,97	<b>605,63</b>
11	99,09	99,09	<b>100,03</b>
10	137,68	137,67	<b>138,58</b>
9	176,64	176,63	<b>177,43</b>
8	215,54	215,53	<b>216,24</b>
7	254,46	254,44	<b>255,06</b>
6	293,47	293,46	<b>297,65</b>
5	337,12	336,89	<b>341,79</b>
4	380,76	382,17	<b>385,92</b>
3	424,43	430,00	<b>430,06</b>
2	467,89	474,03	<b>474,14</b>
1	513,11	512,90	<b>518,77</b>
	Модел 1	Модел 2	Модел 3



Таблица 15. Стени с отвори (несиметрично) – 6 етажни

щурц №	V, [kN]		
	Модел 1	Модел 2	Модел 3
6	244,83	244,83	<b>302,54</b>
5	70,13	<b>70,20</b>	68,61
4	118,38	<b>119,29</b>	116,13
3	164,89	<b>165,39</b>	162,20
2	<b>208,24</b>	202,74	205,64
1	249,01	<b>251,04</b>	246,44
	Модел 1	Модел 2	Модел 3

Таблица 16. Стени с отвори (несиметрично) – 12 етажни

щурц №	V, [kN]		
	Модел 1	Модел 2	Модел 3
12	491,55	491,56	<b>605,43</b>
11	<b>80,20</b>	<b>80,20</b>	81,28
10	<b>134,61</b>	<b>134,61</b>	129,76
9	186,82	186,82	<b>195,44</b>
8	236,77	236,78	<b>344,39</b>
7	300,65	300,68	<b>524,08</b>
6	417,15	417,45	<b>730,37</b>
5	545,69	548,60	<b>959,12</b>
4	683,75	705,18	<b>1206,11</b>
3	828,48	1451,09	<b>1466,62</b>
2	973,66	<b>1768,97</b>	1720,19
1	1092,31	943,11	<b>2116,90</b>
	Модел 1	Модел 2	Модел 3

**ГРУПА Г. Стени с дължини в план 6 m, с отвори за врати**

Таблица 17. Стени с отвори (централно) – 6 етажни

щурц №	V, [kN]			
	Модел 1	Модел 2	Модел 3	Модел 4
6	243,15	243,16	<b>302,29</b>	243,16
5	<b>144,38</b>	144,34	143,43	<b>144,38</b>
4	243,98	244,00	243,50	<b>245,61</b>
3	343,87	<b>344,94</b>	344,40	344,23
2	443,76	445,01	<b>445,30</b>	444,97
1	544,43	544,31	<b>546,35</b>	544,37
	Модел 1	Модел 2	Модел 3	Модел 4

Таблица 18. Стени с отвори (централно) – 12 етажни

щурц №	V, [kN]		
	Модел 1	Модел 2	Модел 3
12	490,09	490,09	<b>605,30</b>
11	157,06	157,06	<b>158,04</b>
10	252,27	252,27	<b>253,15</b>
9	<b>351,07</b>	351,06	348,30
8	<b>450,92</b>	450,91	449,22
7	<b>550,74</b>	550,71	550,07
6	650,56	650,46	<b>650,92</b>
5	750,38	750,35	<b>751,77</b>
4	850,18	852,08	<b>852,62</b>
3	949,95	<b>953,63</b>	953,46
2	1049,94	1053,92	<b>1054,35</b>
1	1151,45	1151,14	<b>1155,48</b>
	Модел 1	Модел 2	Модел 3

Таблица 19. Стени с отвори (несиметрично) – 6 етажни

щурц №	V, [kN]			
6	243,15	243,15	<b>302,29</b>	243,16
5	<b>140,87</b>	140,79	134,38	140,38
4	236,18	<b>236,57</b>	235,81	236,00
3	<b>337,23</b>	336,87	336,69	335,80
2	<b>437,09</b>	435,92	436,58	436,21
1	537,19	537,23	536,32	<b>537,43</b>
	Модел 1	Модел 2	Модел 3	Модел 4

Таблица 20. Стени с отвори (несиметрично) – 12 етажни

щурц №	V, [kN]		
12	490,09	490,09	<b>605,29</b>
11	150,31	150,31	<b>152,27</b>
10	240,57	240,56	<b>243,27</b>
9	341,89	<b>341,93</b>	340,65
8	444,42	<b>444,54</b>	442,78
7	546,27	<b>546,58</b>	544,35
6	647,42	<b>648,28</b>	645,34
5	747,82	<b>750,28</b>	745,70
4	<b>847,28</b>	846,47	845,27
3	<b>945,24</b>	939,52	943,58
2	<b>1039,46</b>	1038,18	1038,92
1	<b>1143,88</b>	1143,38	1140,07
	Модел 1	Модел 2	Модел 3

Забележки, отнасящи се за всички таблици с данни за разрезните усилия в щурцове (по т.5 от доклада):

1. За стените с отвори за прозорци (съгл. фиг. 2 а): ред първи (отдолу нагоре), отбелязан със 0, се отнася за частта между запъването и първия отвор за прозорец – по височина; отбелязаните с №№ 1 – 6 – са щурцове между разглежданите долно и горно съответни нива (успоредни на направлението на хоризонталната сила) – между два прозореца по височина.
2. За стените с отвори за врати (съгл. фиг. 2 б): отбелязаните с №№ 1 – 6 – са щурцове над отворите за врати (успоредни на направлението на хоризонталната сила).
3. Предвид знакопроменливия характер на сеизмичното въздействие, V-силите са показани без знаци.
4. Оцветените (със сив фон) клетки в таблиците и с удебелен текст (**Bold**), показват максималните стойности за разрезното усилие, от разглежданите модели.

## 6. ИЗВОДИ ЗА УСИЛИЯТА В ЩУРЦОВЕТЕ

Стените с централно разположени отвори за прозорци (3 и 6 m – дължини в план, 6 и 12 - етажни), по категоричен начин доказват, че възникващите максимални срязващи усилия в щурцове са при Модел 3. При всички резултати за стените с отвори, може да се види, че за разрезите на предпоследните нива от (щурц № 5 за 6 – етажните стени и щурц № 11 за 12 – етажните стени), се наблюдава рязко (обратно) намаляване на усилието, разглеждайки стените по височина – отгоре-надолу или отдолу-нагоре. След това е налице „плавно“ нарастване от горе на долу, като максимумът е в основата. За останалите стени е налице „изместване“ на максималните стойности по височина на стените, за различните модели (т.е. от различните модели, на различни места са пиковите стойности). Максималната стойност за върха, при изследваните модели, се получава винаги при Модел 3, която осезаемо се различава от другите разгледани модели.

## 7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение от направените анализи и обобщение на резултатите, може да се каже, че: от особена важност са видът и геометрията на отворите в стените, тъй като това определя „картината“ за концентрацията на напрежения в ъглите на конструираните отвори, както и разпространението на усилията в плътните им части. Разгледаните примери, с двойно нарастващи дължини в план и височини на стените, имат за цел да покажат промяната на усилията и работата на стените – от плътно напречно сечение до такова с отвори (различни като форма и ситуиране). Така приетите видове стени, представляват по-широко прилагани случаи, приблизително гранични от строителната

практика, като получените резултати могат да послужат на практикуващи инженери за решаването на различни проблеми. За съставените изчислителни модели се установи, че не се наблюдава промяна на усилията при отчитане на фактора „Дебели плочи“ (Thick plate) по теорията на Reissner-Mindlin. Опасността от опънни усилия в стените, трябва да бъде внимателно проверявана и конструктивните елементи да бъдат осигурявани за това напрегнато състояние, чрез подходящо армиране. Наблюдава се опънна нормална сила в тялото на конструктивната стена по цялата ѝ височина – най-вече при стените с дължина в план 3 m, с несиметрични отвори за врати и 12 – етажни. Това е предпоставка за задължителна проверка на нецентричен опън.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] БДС EN 1998-1, Еврокод 8: Проектиране на конструкциите за сеизмични въздействия + Национално приложение
- [2] Георгиев Т., Учебен справочник по стоманени конструкции, e-book, С., 2020
- [3] Стойнова Ил., Иванов Р., Казаков К., Върху някои крайни елементи за моделиране на пукнатини в бетона, XIV Международна Научна Конференция, ВСУ 2014, С., 2014 (стр. 93-98)
- [4] Хандрулева Ан., Казаков К., Янакиева А., Съпоставка на изчислителни модели на вертикални носещи елементи с отвори генерирани посредством МКЕ, DCB'2010 МНК „Проектиране и строителство на сгради и съоръжения и приложение на Еврокодовете“, 9-11 септември 2010, Варна, България (стр. 305-310)
- [5] Цветков Ст., Янчев Г., Разрезни усилия в стоманобетонни стени с различни коравини – част Първа, DCB'2020, XI Международна научна конференция „Проектиране и строителство на сгради и съоръжения“ 10-12 септември 2020 г., Варна
- [6] Abhija Mohan, Arathi S, Comparison of RC Shear Wall with Openings in Regular and Irregular Building, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) Vol. 6 Issue 06, June - 2017
- [7] Chopra A., Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, Forth Edition, Prentice Hall