

АНАЛИЗИ НА СТОМАНОБЕТОННИ БЕЗГРЕДОВИ ПЛОЧИ

Дамян ДАЧЕВ¹, Георги ЯНЧЕВ²

ABSTRACT

Beamless slabs are widely used in the construction of buildings with different functional purpose. There are different ways of analyzing the plates. The report shows solutions of beamless slab using manual and computational methods (with software) and models. The aim is to compare the values of the efforts. Decisions are according to Eurocode 2. The report contains: diagrams, formulas and graphs.

Key words: Beamless slab; method of analysis with replacement beams/frames; SAP2000/Tower; Eurocode 2

¹Студент, Висше строително училище „Любен Каравелов“-София, България, специалност „Строителство и архитектура на сгради и съоръжения“

²Студент, Висше строително училище „Любен Каравелов“-София, България, специалност „Строителство и архитектура на сгради и съоръжения“

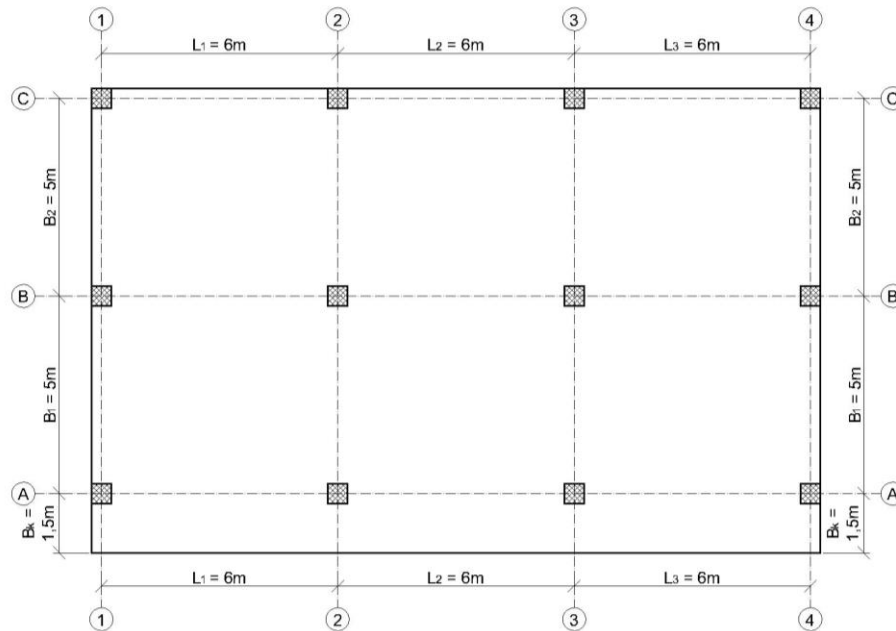
1. Общи сведения

В настоящия доклад са разгледани ръчни и компютърни методи за анализ на безгредови плочи. Ръчните методи включват: метод на заместващите греди и метод на заместващите рамки [2]. Компютърните методи, базирани на метод на крайните елементи, представляват изчислителни модели в среди на програмни продукти SAP2000 и Tower [2].

Параметричните решения са съставени на база схемата от фиг.1. Дебелината на плочата е приета 20 см, а етажната височина - 3,00 м. Колоните са с размери на напречното сечение 50/50 см. Както се вижда, разликата в отворите не надвишава 20%.

Приети въздействия:

$$\begin{array}{lll} \text{постоянни:} & \text{променливи:} & \text{пълно натоварване:} \\ G_d = 13,5 \text{ kN/m}^2 & Q_d = 4,5 \text{ kN/m}^2 & q_{\text{tot.}} = G_d + Q_d = 18 \text{ kN/m}^2 \end{array}$$



Фиг.1. Котражна схема

Съдействащи широчини/товарни площи, съгл. [6]:

$$\text{Обща формула: } b_b = \frac{L_i}{2} + \frac{L_j}{2}$$

$$\text{за греда по ос } 1 \equiv 4 \quad b_{1,4} = 0,25 + \frac{6}{2} = 3,25 \text{ m}$$

$$\text{за греда по ос } 2 \equiv 3 \quad b_{2,3} = 6,00 \text{ m}$$

$$\text{за греда по ос } A \quad b_A = 1,50 + \frac{5}{2} = 4,00 \text{ m}$$

$$\text{за греда по ос } B \quad b_B = 5,00 \text{ m}$$

$$\text{за греда по ос } C \quad b_C = 0,25 + \frac{5}{2} = 2,75 \text{ m}$$

Общо за гредите:

по оси 1 и 4:

$$q = q_{\text{tot.}} \cdot b_{1,4} = 18 \cdot 3,25 = 58,5 \text{ kN/m'}$$

$$G_d = G \cdot b_{1,4} = 13,5 \cdot 3,25 = 43,88 \text{ kN/m'}$$

$$Q_d = Q \cdot b_{1,4} = 4,5 \cdot 3,25 = 14,63 \text{ kN/m'}$$

$$G_{k-d} = G_d / 1,35 = 43,88 / 1,35 = 32,50 \text{ kN/m'}$$

по оси 2 и 3:

$$q = q_{\text{tot.}} \cdot b_{2,3} = 18 \cdot 6 = 108 \text{ kN/m'}$$

$$G_d = G \cdot b_{2,3} = 13,5 \cdot 6 = 81 \text{ kN/m'}$$

$$Q_d = Q \cdot b_{2,3} = 4,5 \cdot 6 = 27 \text{ kN/m'}$$

$$G_{k-d} = G_d / 1,35 = 81 / 1,35 = 60 \text{ kN/m'}$$

$$\text{по ос } A: \quad q = q_{\text{tot.}} \cdot b_A = 18 \cdot 4 = 72 \text{ kN/m'}$$

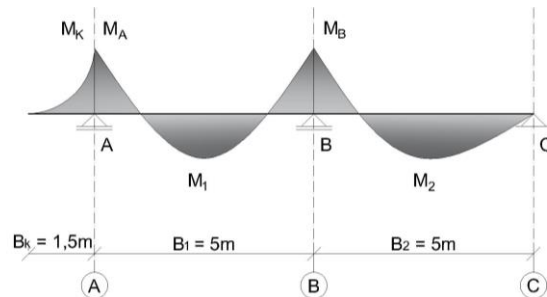
$$\text{по ос } B: \quad q = q_{\text{tot.}} \cdot b_B = 18 \cdot 5 = 90 \text{ kN/m'}$$

$$\text{по ос } C: \quad q = q_{\text{tot.}} \cdot b_C = 18 \cdot 2,75 = 49,5 \text{ kN/m'}$$

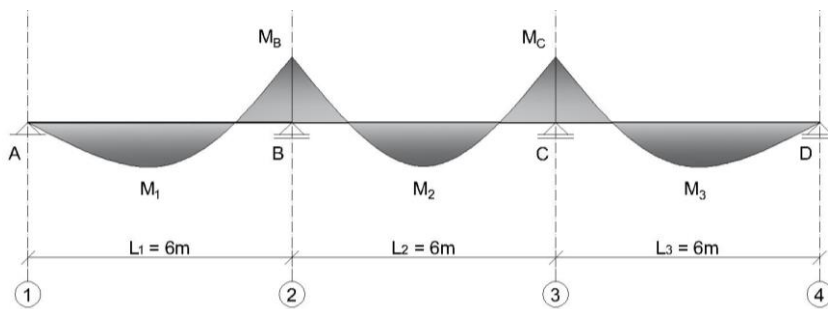
Общи формули за ръчни методи (за фиг. 2 до фиг. 5) [2]:

$$M_{\text{field}} = \frac{1}{16} \cdot q_{\text{tot}} \cdot \ell_{\text{field}}^2, [\text{kN.m/m}']$$

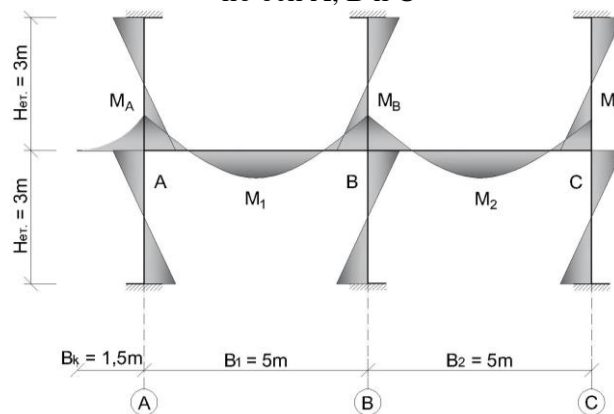
$$M_{\text{console}} = \frac{1}{2} \cdot G_{\text{k-d}} \cdot \ell_{\text{console}}^2, [\text{kN.m/m}']$$



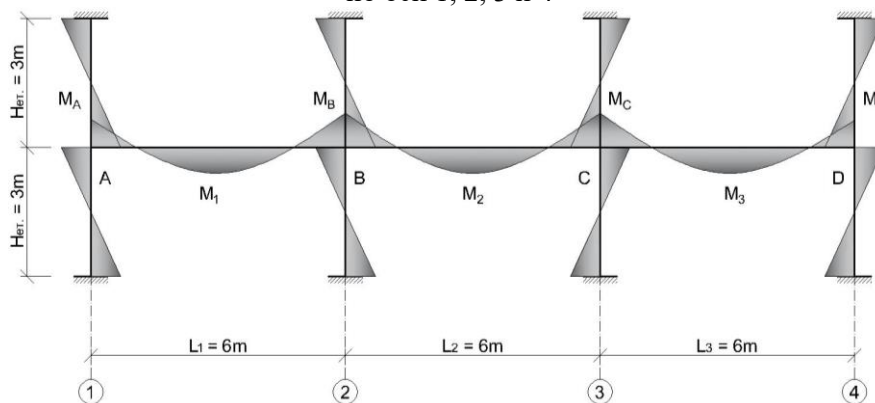
Фиг.2. Статически схеми и моменти диаграми (по вид) на заместващи греди по оси 1, 2, 3 и 4



Фиг.3. Статически схеми и моменти диаграми (по вид) на заместващи греди по оси А, В и С



Фиг.4. Статически схеми и моменти диаграми (по вид) на заместващи рамки по оси 1, 2, 3 и 4



Фиг.5. Статически схеми и моменти диаграми (по вид) на заместващи рамки по оси А, В и С

2. **Получени резултати** (в таблици от 1 до 10 са показани всички максимални стойности на усилията) [2]

Група I: Ръчни методи (решения на ръка)

1. Метод на заместващите греди

Табл. 1. Огъващи моменти от пълно натоварване

ГРЕДА по ос	Постоянни (G) и променливи (Q) възд-я	kN/m'	Огъващи моменти	kN.m/m'
А	$G_{\text{поле}}=$	54	$M_1=M_2=M_3=$	162,00
	$Q_{\text{поле}}=$	18	$M_B=M_C=$	162,00
В	$G_{\text{поле}}=$	67,5	$M_1=M_2=M_3=$	202,50
	$Q_{\text{поле}}=$	22,5	$M_B=M_C=$	202,50
С	$G_{\text{поле}}=$	37,125	$M_1=M_2=M_3=$	111,38
	$Q_{\text{поле}}=$	12,375	$M_B=M_C=$	111,38
1 и 4	$G_{\text{конзола}}=$	43,875	$M_K=$	49,36
	$G_{\text{поле}}=$	43,875	$M_1=M_2=$	131,63
	$Q_{\text{поле}}=$	14,625	$M_A=M_B=$	131,63
2 и 3	$G_{\text{конзола}}=$	81	$M_K=$	91,13
	$G_{\text{поле}}=$	81	$M_1=M_2=$	243,00
	$Q_{\text{поле}}=$	27	$M_A=M_B=$	243,00

Табл. 2. Огъващи моменти при квазистатична комбинация

ГРЕДА по ос	Постоянни (G) и променливи (Q) възд-я	kN/m'	Огъващи моменти	kN.m/m'
1 и 4	$G_{\text{конзола}}=$	32,5	$M_K=$	36,56
	$G_{\text{поле}}=$	43,875	$M_1=M_2=$	131,63
	$Q_{\text{поле}}=$	14,625	$M_A=M_B=$	131,63
2 и 3	$G_{\text{конзола}}=$	60	$M_K=$	67,50
	$G_{\text{поле}}=$	81	$M_1=M_2=$	243,00
	$Q_{\text{поле}}=$	27	$M_A=M_B=$	243,00

2. Метод на заместващите рамки

Табл. 3. Огъващи моменти от пълно натоварване

РАМКА по ос	Постоянни (G) и променливи (Q) възд-я	kN/m'	Огъващи моменти	kN.m/m'
А	$G_{\text{поле}}=$	54	$M_A=M_D=$	172,95
			$M_1=M_3=$	120,78
	$Q_{\text{поле}}=$	18	$M_B=M_C=$	233,49
			$M_2=$	105,91
В	$G_{\text{поле}}=$	67,5	$M_A=M_D=$	216,18
			$M_1=M_3=$	150,98
	$Q_{\text{поле}}=$	22,5	$M_B=M_C=$	291,86
			$M_2=$	132,39

РАМКА по ос	Постоянни (G) и променливи (Q) възд-я	kN/m'	Огъващи моменти	kN.m/m'
С	$G_{\text{поле}}=$	37,125	$M_A=M_D=$	118,9
			$M_1=M_3=$	83,04
	$Q_{\text{поле}}=$	12,375	$M_B=M_C=$	160,53
			$M_2=$	72,81
1 и 4	$G_{\text{поле}}=$	43,875	$M_C=$	92,93
			$M_2=$	68,95
			$M_{B,R}=$	132,9
	$Q_{\text{поле}}=$	14,625	$M_{B,L}=$	129,39
			$M_1=$	64,02
			$M_A=$	108,2
$G_{\text{конзола}}=$	32,5	$M_K=$	65,81	
2 и 3	$G_{\text{поле}}=$	81	$M_C=$	173,21
			$M_2=$	127,29
			$M_{B,R}=$	247,22
	$Q_{\text{поле}}=$	27	$M_{B,L}=$	238,87
			$M_1=$	118,19
			$M_A=$	199,75
	$G_{\text{конзола}}=$	60	$M_K=$	121,5

Табл. 4. Огъващи моменти при квазистатична комбинация

РАМКА по ос	Постоянни (G) и променливи (Q) възд-я	kN/m'	Огъващи моменти	kN.m/m'
1 и 4	$G_{\text{поле}}=$	43,875	$M_C=$	93,62
			$M_2=$	68,78
			$M_{B,R}=$	134,52
	$Q_{\text{поле}}=$	14,625	$M_{B,L}=$	132,01
			$M_1=$	66,04
			$M_A=$	101,6
$G_{\text{конзола}}=$	32,5	$M_K=$	36,57	
2 и 3	$G_{\text{поле}}=$	81	$M_C=$	172,8
			$M_2=$	126,95
			$M_{B,R}=$	248,3
	$Q_{\text{поле}}=$	27	$M_{B,L}=$	243,67
			$M_1=$	121,9
			$M_A=$	187,54
$G_{\text{конзола}}=$	60	$M_K=$	67,5	

Група II: Анализи на компютър - статическо решение на гредите от група I

1. Метод на заместващите греди

Табл. 5. Огъващи моменти от пълно натоварване

ГРЕДА по ос	Постоянни (G) и променливи (Q) възд-я	kN/m'	Огъващи моменти	kN.m/m'
А	$G_{\text{поле}}=$	54	$M_1=M_3=$	207,32
			$M_2=$	65,56
	$Q_{\text{поле}}=$	18	$M_B=M_C=$	258,44

В	$G_{\text{поле}}=$	67,5	$M_1=M_3=$	259,15
			$M_2=$	81,95
С	$Q_{\text{поле}}=$	22,5	$M_B=M_C=$	323,05
	$G_{\text{поле}}=$	37,125	$M_1=M_3=$	142,53
1 и 4			$M_2=$	45,07
	$Q_{\text{поле}}=$	12,375	$M_B=M_C=$	177,68
	$G_{\text{конзола}}=$	43,875	$M_K=M_A=$	65,81
2 и 3			$M_1=$	70,03
	$G_{\text{поле}}=$	43,875	$M_2=$	109,52
	$Q_{\text{поле}}=$	14,625	$M_B=$	164,96
2 и 3	$G_{\text{конзола}}=$	81	$M_K=M_A=$	121,50
			$M_1=$	129,28
	$G_{\text{поле}}=$	81	$M_2=$	202,18
2 и 3			$M_B=$	304,54
	$Q_{\text{поле}}=$	27		

Табл. 6. Огъващи моменти при квазистатична комбинация

ГРЕДА по ос	Постоянни (G) и променливи (Q) възд-я	kN/m'	Огъващи моменти	kN.m/m'
1 и 4	$G_{\text{конзола}}=$	32,5	$M_K=M_A=$	36,57
			$M_1=$	84,76
	$G_{\text{поле}}=$	43,875	$M_2=$	106,72
2 и 3	$Q_{\text{поле}}=$	14,625	$M_B=$	172,07
	$G_{\text{конзола}}=$	60	$M_K=M_A=$	67,50
			$M_1=$	156,42
2 и 3	$G_{\text{поле}}=$	81	$M_2=$	196,95
			$M_B=$	317,62
	$Q_{\text{поле}}=$	27		

Група III: Компютърни модели - приет клас на бетона: C25/30 [1, 2, 3, 4, 5]

1. Анализ с програмен продукт SAP2000

Табл. 7. Огъващи моменти от пълно натоварване

Ос	Постоянни (G) и променливи (Q) възд-я	kN/m'	Огъващи моменти	kN.m/m	
				2D модел	3D модел
А	$G_{\text{поле}}=$	54	$M_1=M_3=$	48,89	37,29
			$M_2=$	16,01	22,85
	$Q_{\text{поле}}=$	18	$M_B=M_C=$	130,81	131,29
			$M_A=M_D=$	0	257,98
В	$G_{\text{поле}}=$	67,5	$M_1=M_3=$	58,37	45,78
			$M_2=$	25,02	29,83
	$Q_{\text{поле}}=$	22,5	$M_B=M_C=$	229,38	205,74
			$M_A=M_D=$	0	355,44
С	$G_{\text{поле}}=$	37,125	$M_1=M_3=$	60,10	47,00
			$M_2=$	27,72	31,42
	$Q_{\text{поле}}=$	12,375	$M_B=M_C=$	167,78	130,11
			$M_A=M_D=$	0	297,41

Ос	Постоянни (G) и променливи (Q) възд-я	kN/m'	Огъващи моменти	kN.m/m	
				2D модел	3D модел
1 и 4	$G_{\text{конзола}}=$	43,875	$M_K=M_A=$	89,35	58,89
	$G_{\text{поле}}=$	43,875	$M_1=$	39,59	32,51
	$Q_{\text{поле}}=$	14,625	$M_2=$	48,62	37,45
2 и 3	$G_{\text{конзола}}=$	81	$M_B=$	169,17	111,73
	$G_{\text{поле}}=$	81	$M_C=$	0	199,41
	$Q_{\text{поле}}=$	27	$M_K=M_A=$	106,69	112,91
	$Q_{\text{поле}}=$	27	$M_1=$	31,94	29,75
2 и 3	$G_{\text{конзола}}=$	81	$M_2=$	44,50	35,25
	$G_{\text{поле}}=$	81	$M_B=$	221,46	197,13
	$Q_{\text{поле}}=$	27	$M_C=$	0	268,80
	$Q_{\text{поле}}=$	27	$M_C=$	0	268,80

Табл. 8. Огъващи моменти при квазистатична комбинация

Ос	Постоянни (G) и променливи (Q) възд-я	kN/m'	Огъващи моменти	kN.m/m	
				2D модел	3D модел
1 и 4	$G_{\text{конзола}}=$	32,5	$M_K=M_A=$	76,01	51,61
	$G_{\text{поле}}=$	43,875	$M_1=$	41,19	33,35
	$Q_{\text{поле}}=$	14,625	$M_2=$	48,40	31,44
2 и 3	$G_{\text{конзола}}=$	60	$M_B=$	171,27	113,03
	$G_{\text{поле}}=$	81	$M_C=$	0	204,76
	$Q_{\text{поле}}=$	27	$M_K=M_A=$	92,88	100,48
	$Q_{\text{поле}}=$	27	$M_1=$	33,80	30,61
2 и 3	$G_{\text{конзола}}=$	60	$M_2=$	44,26	35,15
	$G_{\text{поле}}=$	81	$M_B=$	223,75	198,46
	$Q_{\text{поле}}=$	27	$M_C=$	0	273,97
	$Q_{\text{поле}}=$	27	$M_C=$	0	273,97

2. Анализ с програмен продукт Tower

Табл. 9. Огъващи моменти от пълно натоварване

Ос	Постоянни (G) и променливи (Q) въздействия	kN/m'	Огъващи моменти	kN.m/m	
				2D модел	3D модел
А	$G_{\text{поле}}=$	54	$M_1=M_3=$	48,86	34,89
	$G_{\text{поле}}=$	54	$M_2=$	15,81	23,62
	$Q_{\text{поле}}=$	18	$M_B=M_C=$	102,57	102,11
В	$G_{\text{поле}}=$	67,5	$M_A=M_D=$	0	136,85
	$G_{\text{поле}}=$	67,5	$M_1=M_3=$	58,40	43,19
	$Q_{\text{поле}}=$	22,5	$M_2=$	24,83	30,26
С	$G_{\text{поле}}=$	37,125	$M_B=M_C=$	177,96	155,23
	$G_{\text{поле}}=$	37,125	$M_A=M_D=$	0	189,48
	$Q_{\text{поле}}=$	12,375	$M_1=M_3=$	59,32	43,50
1 и 4	$G_{\text{поле}}=$	43,875	$M_2=$	26,59	30,87
	$G_{\text{конзола}}=$	43,875	$M_B=M_C=$	125,02	114,03
	$Q_{\text{поле}}=$	14,625	$M_A=M_D=$	0	169,19
2 и 3	$G_{\text{конзола}}=$	43,875	$M_K=M_A=$	60,04	58,99
	$G_{\text{поле}}=$	43,875	$M_1=$	38,39	30,10
	$Q_{\text{поле}}=$	14,625	$M_2=$	47,48	34,67
2 и 3	$G_{\text{конзола}}=$	81	$M_B=$	123,33	102,93
	$G_{\text{поле}}=$	81	$M_C=$	0	122,58
	$Q_{\text{поле}}=$	27	$M_K=M_A=$	77,86	84,50

	$G_{\text{поле}}=$	81	$M_1=$	31,90	29,22
			$M_2=$	44,39	34,43
	$Q_{\text{поле}}=$	27	$M_B=$	170,07	146,54
			$M_C=$	0	144,74

Табл. 10. Огъващи моменти при квазистатична комбинация

Ос	Постоянни (G) и променливи (Q) въздействия	kN/m'	Огъващи моменти	kN.m/m	
				2D модел	3D модел
1 и 4	$G_{\text{конзола}}=$	32,5	$M_K=M_A=$	51,43	52,04
	$G_{\text{поле}}=$	43,875	$M_1=$	40,10	30,85
			$M_2=$	47,25	34,51
	$Q_{\text{поле}}=$	14,625	$M_B=$	124,95	103,85
$M_C=$			0	125,53	
2 и 3	$G_{\text{конзола}}=$	60	$M_K=M_A=$	67,09	75,15
	$G_{\text{поле}}=$	81	$M_1=$	33,75	29,97
			$M_2=$	44,15	34,28
	$Q_{\text{поле}}=$	27	$M_B=$	171,91	147,45
$M_C=$			0	147,50	

3. Изводи и заключение

1. От проведените анализи се вижда, че стойностите на M_K (за конзола) са различни при разглежданите методи за анализ и различните товарни комбинации. Особено опасно е, ако $M_K = 0$ (това води до липса на изчислена горна армировка);

2. Сравними по своята същност са: метод на заместващите греди от ръчно и компютърно решение – статика; 2D моделите (без колони, само с точкови опори) от SAP2000 и Tower; метод на заместващите рамки и 3D модели на плочи (с едноетажни колони, $H=H_{\text{ет.}}$) с SAP2000 и Tower.

3. При разглеждане на огъващите моменти по ос В, се установи, че моментите M_2 и M_B са най-големи при решаването по метод на заместващите греди. Конзолните огъващи моменти по ос 2 отново са най-големи при решаване по метод на заместващите греди. Подобни изводи могат да бъдат направени и за стойностите на другите огъващи моменти;

4. Предвид нееднаквите методики за анализи (на гредови и плочести елементи/конструкции), разликите в посочените огъващи моменти са резонни.

При анализ на армировките, проектантът - конструктор трябва да подхожда с изключително внимание, както при избора на метод за анализ, така и при комбинациите на приложените въздействия. От особена важност са крайните резултати за брой и диаметър армировъчни пръти, които служат за поемане на огъващите моменти. Препоръчително е винаги съпоставянето на минимум два изчислителни метода, за да може да бъде избран меродавния за конкретния случай.

ПРЕПРАТКИ

- [1] Георгиев Г., Ст. Цветков, Методическо ръководство за разработване на курсов проект по Стоманобетон по Еврокод 2, ВСУ, С., 2012
- [2] Георгиев Г., Ст. Цветков, Методическо ръководство за разработване на курсов проект по Стоманобетонни конструкции по Еврокод, част Първа, глава Първа, ВСУ, С., 2013
- [3] Казаков К., Теория на еластичността, устойчивост и динамика на строителните конструкции, Акад. Изд-во "Проф. Марин Дринов", С., 2012
- [4] Ръководства с инструкции за работа с Tower, [5] Help SAP2000
- [6] Цветков Ст., Определяне на товарни площи на стоманобетонни вертикални носещи елементи, XIV, МНК, ВСУ, С., 2014, т. IV стр. 82-86