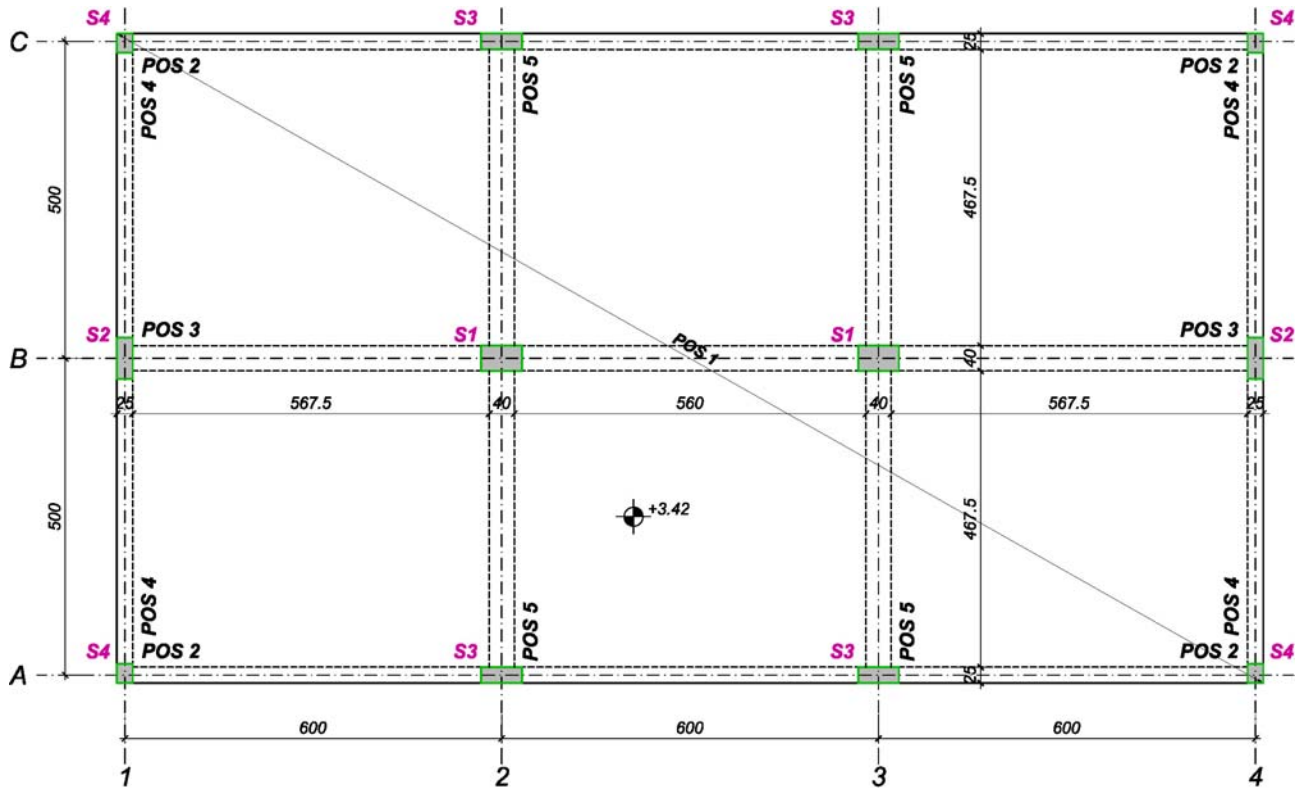


# 1 PRORAČUN PLOČE POS 1

- varijanta: krstasta ploča, q po čitavoj ploči -

## 1.1 STATIČKI SISTEM



Ploča POS 1 je gredama izdijeljena na šest polja. Svako polje je oslonjeno na sve četiri strane, a odnos dimenzija u osnovi je:

$$\frac{L_{\max}}{L_{\min}} = \frac{L_1}{L_2} = \frac{6.0}{5.0} = 1.2 < 2$$

pa se ploča proračunava kao krstasta. Grede POS 2 i POS 3 su postavljene u dužem, a POS 4 i POS 5 u kraćem pravcu.

## 1.2 ANALIZA OPTEREĆENJA

S obzirom da se radi o varijantnom rešenju konstrukcije obrađene u primeru P1, usvojena su ista opterećenja kao u tom primeru:

ukupno dodatno stalno opterećenje:	$\Delta g$	= 2.25 kN/m <sup>2</sup>
povremeno opterećenje:	q	= 4.00 kN/m <sup>2</sup>

Usvojena je debljina ploče kao u primeru P1 – iste minimalne dimenzije ploče, bilo da se radi o ploči u jednom pravcu ili krstasto armiranoj ploči, preporučuju kako EC2, tako i doskora važeći PBAB 87.

Ukupno stalno, odnosno povremeno opterećenje:

- sopstvena težina ploče	0.15×25	= 3.75 kN/m <sup>2</sup>
- <u>dodatno stalno opterećenje</u>	$\Delta g$	= 2.25 kN/m <sup>2</sup>
ukupno, stalno opterećenje	g	= 6.00 kN/m <sup>2</sup>
povremeno opterećenje:	q	= 4.00 kN/m <sup>2</sup>

### 1.3 STATIČKI UTICAJI

Momenti savijanja se proračunavaju za svako od razmatranih polja, usvajajući sledeće konturne uslove:

- na spoju dve ploče (postoji kontinuitet) – uklještena ivica;
- na kraju ploče – slobodno oslonjena ivica.

Vrednosti momenata savijanja za svako pojedinačno opterećenje (G,P) sračunate su pomoću tabele za određivanje uticaja u krstastim pločama. Za utvrđeni odnos strana (po usvojenoj notaciji u tabeli,  $L_y \geq L_x$ ) i tip oslanjanja, iz tabele se čitaju koeficijenti  $k_i$  i momenti usled opterećenja  $q$  (stalno, povremeno, granično) sračunavaju kao:

$$M_i = k_i \times Q \quad ; \quad Q = q \times L_x \times L_y$$

Nije pogošno, ali ni potrebno, raditi interpolaciju tabulisanih vrednosti koeficijenata  $k_i$ .

Sračunate vrednosti momenata savijanja su prikazane tabelarno. Ukoliko nije neophodno sprovesti kontrolu graničnih stanja u eksploataciji (naponi, prsline, ugibi), dovoljno je sračunati samo momente savijanja usled graničnog opterećenja (osenceno u tabelama).

Na delovima gde se susište krstaste ploče različitih dimenzija i/ili konturnih uslova (ili krstasta i statički neodređena ploča u jednom pravcu), javljaju se i različite vrednosti osloničkih momenata savijanja. S obzirom na relativno malu torzionu krutost greda i učinjene aproksimacije (usvajanje punog uklještenja kao konturnog uslova), ove vrednosti se, po pravilu, osrednjavaju. Na delovima gde se krstasta ploča susište sa konzolnim prepustom, zadržavaju se vrednosti momenata savijanja sa konzole, nezavisno od veličine momenata.

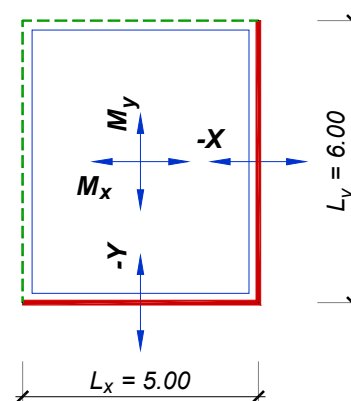
#### 1.3.1 Ploča "A"

$$L_y / L_x = 6.0 / 5.0 = 1.2$$

$$G = g \times L_x \times L_y = 6.0 \times 5.0 \times 6.0 = 180.0 \text{ kN}$$

$$Q = q \times L_x \times L_y = 4.0 \times 5.0 \times 6.0 = 120.0 \text{ kN}$$

			G	Q	Ed
		k	kNm/m	kNm/m	kNm/m
kraći pravac, polje	0.032	$M_x$	5.8	3.8	13.5
duži pravac, polje	0.023	$M_y$	4.1	2.8	9.7
kraći pravac, oslonac	0.071	-X	12.8	8.5	30.0
duži pravac, oslonac	0.062	-Y	11.2	7.4	26.2



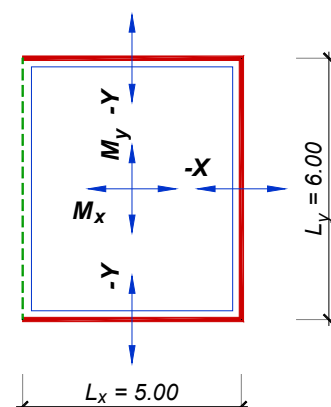
#### 1.3.2 Ploča "B"

$$L_y / L_x = 6.0 / 5.0 = 1.2$$

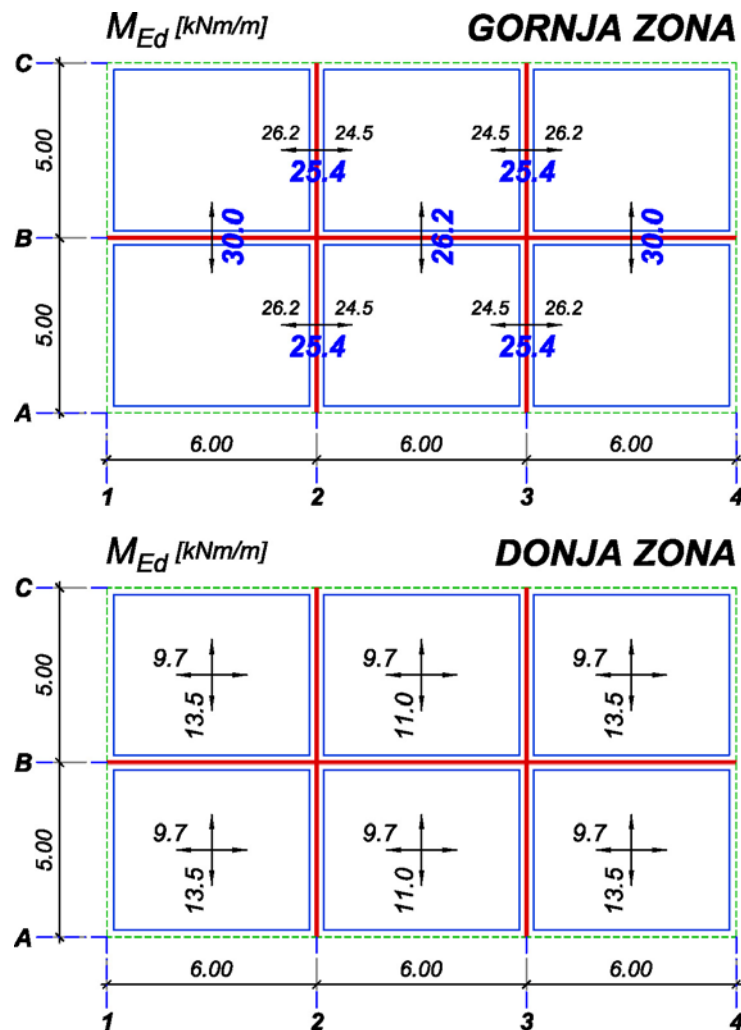
$$G = g \times L_x \times L_y = 6.0 \times 5.0 \times 6.0 = 180.0 \text{ kN}$$

$$Q = q \times L_x \times L_y = 4.0 \times 5.0 \times 6.0 = 120.0 \text{ kN}$$

			G	Q	Ed
		k	kNm/m	kNm/m	kNm/m
kraći pravac, polje	0.026	$M_x$	4.7	3.1	11.0
duži pravac, polje	0.023	$M_y$	4.1	2.8	9.7
kraći pravac, oslonac	0.062	-X	11.2	7.4	26.2
duži pravac, oslonac	0.058	-Y	10.4	7.0	24.5



Granični momenti savijanja u ploči, posebno za donju, odnosno gornju zonu, su prikazani na narednim šemama. Posebno se naglašava da momenti savijanja  $M_x$  i  $M_y$  nisu momenti savijanja u pravcu nekakvih globalnih koordinatnih osa, već momenti određeni prema notaciji primenjenoj u tablicama ( $M_x$  je moment u kraćem, a  $M_y$  u dužem pravcu).



## 2 PRORAČUN GREDA

Grede POS 2 i POS 3 su kontinualni nosači raspona  $3 \times 6,0$  m a grede POS 4 i POS 5 raspona  $2 \times 5,0$  m. Usvojene su dimenzije greda iz primera P1: ivične grede POS 2 i POS 4 su dimenzija 25/50 cm, a srednje grede POS 3 i POS 5 dimenzija 40/50 cm.

### 2.1 ANALIZA OPTEREĆENJA

Pored sopstvene težine i težine fasade (ivične grede POS 2 i POS 4), grede su opterećene opterećenjem od POS 1, koje se sračunava pomoću tabele za proračun krstastih ploča.

Slično proračunu momenata savijanja, za utvrđeni odnos strana i tip oslanjanja, iz tabele se čitaju koeficijenti  $k_i$  i ukupne sile  $Q_i$  koje se prenose na jednu oslonačku gredu (zid) usled opterećenja  $q$  (stalno, povremeno) sračunavaju kao:

$$Q_i = k_i \times Q \quad ; \quad Q = q \times L_x \times L_y$$

Mada je stvarna raspodela neznatno drugačija, uobičajeno se usvaja da je opterećenje oslonačkih greda (zidova) jednako raspodeljeno, pa se odgovarajuće vrednosti dobijaju deljenjem sračunatih sila  $Q_i$  sa odgovarajućim rasponima  $L_y$  ili  $L_x$ . Vrednosti ukupnih oslonačkih reakcija  $G_i$ ,  $Q_i$  (za stalno, odnosno povremeno opterećenje), kao i opterećenja  $g_i$ ,  $q_i$  su prikazane tabelarno.

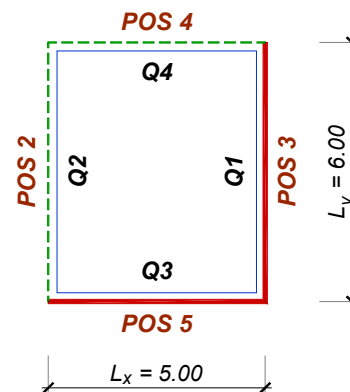
### 2.1.1 Ploča "A"

$$L_y / L_x = 6.0 / 5.0 = 1.2$$

$$G = g \times L_x \times L_y = 6.0 \times 5.0 \times 6.0 = 180.0 \text{ kN}$$

$$Q = q \times L_x \times L_y = 4.0 \times 5.0 \times 6.0 = 120.0 \text{ kN}$$

k			G	Q	L	g	q
			kN	kN	m	kN/m	kN/m
0.331	Q <sub>1</sub>		59.6	39.7	6.0	9.93	6.62
0.226	Q <sub>2</sub>		40.7	27.1	6.0	6.78	4.52
0.257	Q <sub>3</sub>		46.3	30.8	5.0	9.25	6.17
0.186	Q <sub>4</sub>		33.5	22.3	5.0	6.70	4.46



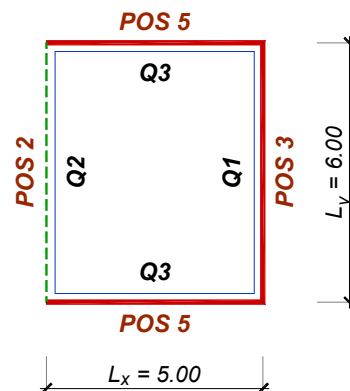
### 2.1.2 Ploča "B"

$$L_y / L_x = 6.0 / 5.0 = 1.2$$

$$G = g \times L_x \times L_y = 6.0 \times 5.0 \times 6.0 = 180.0 \text{ kN}$$

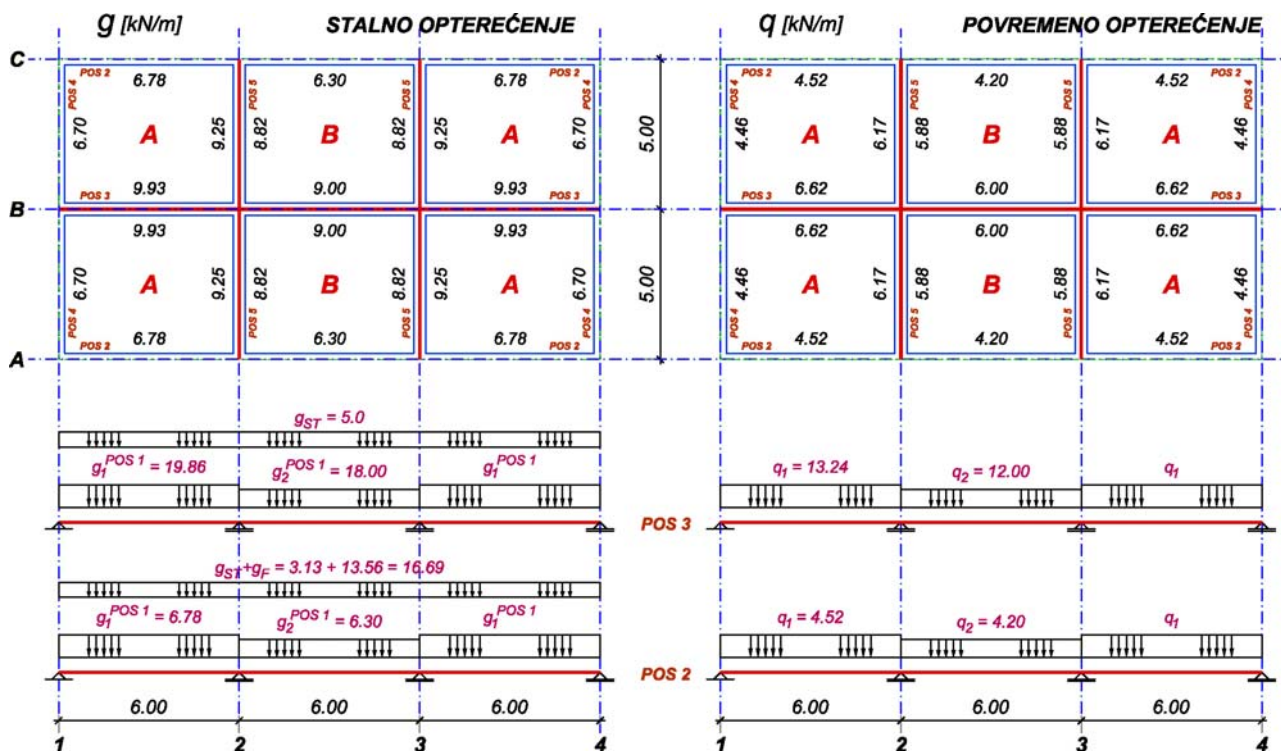
$$Q = q \times L_x \times L_y = 4.0 \times 5.0 \times 6.0 = 120.0 \text{ kN}$$

k			G	Q	L	g	q
			kN	kN	m	kN/m	kN/m
0.300	Q <sub>1</sub>		54.0	36.0	6.0	9.00	6.00
0.210	Q <sub>2</sub>		37.8	25.2	6.0	6.30	4.20
0.245	Q <sub>3</sub>		44.1	29.4	5.0	8.82	5.88



Jednako raspodeljeno opterećenje koje se sa ploče prenosi na pojedine grede, posebno za stalno, odnosno povremeno opterećenje, prikazano je na donjoj šemi. Stalnom opterećenju potrebno je dodati sopstvenu težinu greda, odnosno težinu fasade za ivične grede POS 2 i POS 4. Usvojena je težina fasade sračunata u primeru P1:

$$g_f = 13.56 \text{ kN/m}$$



## 2.2 PRORAČUN GREDE POS 3

### 2.2.1 Analiza opterećenja

#### krajnja polja:

- sopstvena težina  $0.4 \times 0.5 \times 25 = 5.00 \text{ kN/m}$
- stalno opterećenje od POS 1  $2 \times 9.93 = 19.86 \text{ kN/m}$
- ukupno, stalno opterećenje  $g_1 = 24.86 \text{ kN/m}$
- povremeno opterećenje  $2 \times 6.62 = q_1 = 13.24 \text{ kN/m}$

#### srednje polje:

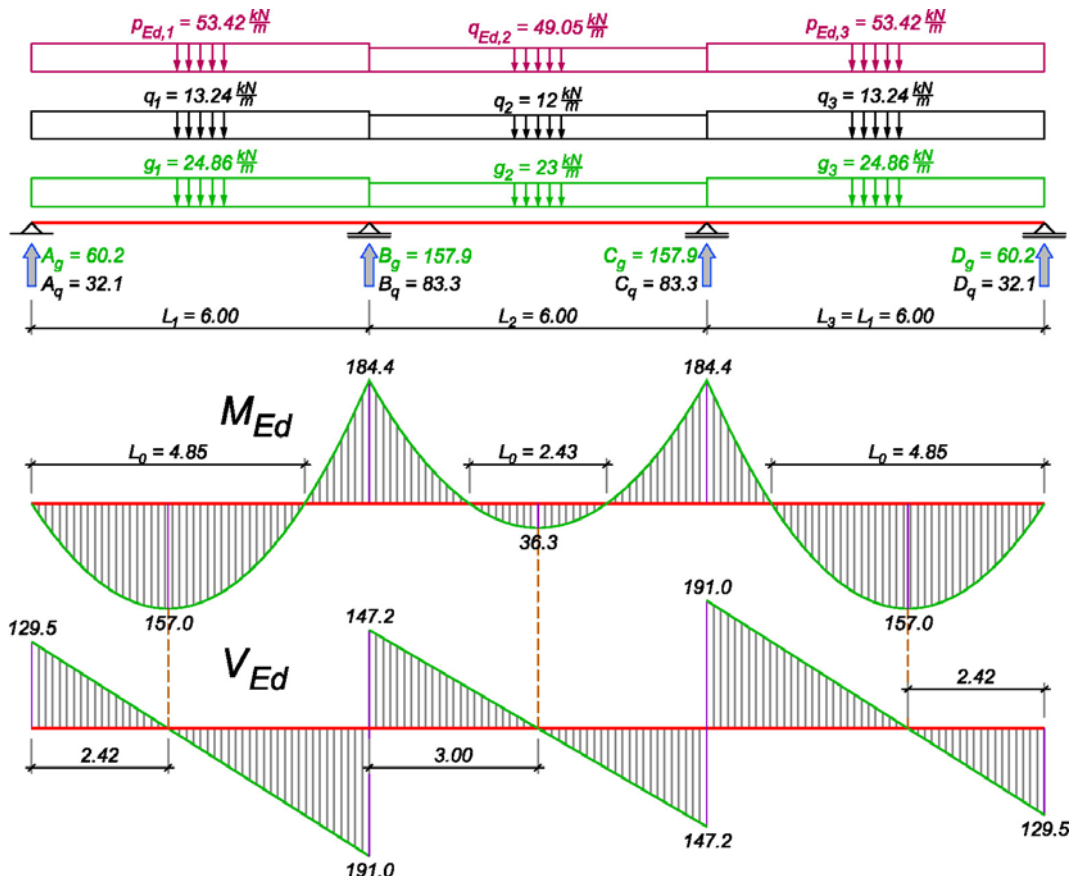
- sopstvena težina  $0.4 \times 0.5 \times 25 = 5.00 \text{ kN/m}$
- stalno opterećenje od POS 1  $2 \times 9.00 = 18.00 \text{ kN/m}$
- ukupno, stalno opterećenje  $g_2 = 23.00 \text{ kN/m}$
- povremeno opterećenje  $2 \times 6.00 = q_2 = 12.00 \text{ kN/m}$

### 2.2.2 Proračun presečnih sila

Proračun statičkih uticaja se vrši pomoću tabela za kontinualne nosače konstantnog preseka sa jednakim krajnjim rasponima. Proračunavaju se reakcije oslonaca za stalno i povremeno opterećenje, kao i granične vrednosti momenata savijanja i transverzalnih sila. Lako je pokazati za simetrično opterećenje ( $q_1=q_3$ ) i jednake raspone  $L_1=L_2=L_3=L$ :

$$M_{1q} = -\left(\frac{q_1}{15} + \frac{q_2}{20} - \frac{q_3}{60}\right) \times L^2 = -\left(\frac{q_1}{15} + \frac{q_2}{20} - \frac{q_1}{60}\right) \times L^2 = -\frac{q_1 + q_2}{2} \times \frac{L^2}{10} = M_{2q}$$

$$M_{1g} = -\frac{24.86 + 23}{2} \times \frac{6.0^2}{10} = -86.1 \text{ kNm} = M_{2g} \text{ (zategnuta gornja ivica preseka)}$$



$$A_g = \frac{24.86 \times 6.0}{2} - \frac{86.1}{6.0} = 60.2 \text{ kN} ; B_g = \frac{(2 \times 24.86 + 23) \times 6.0}{2} - 60.2 = 157.9 \text{ kN}$$

$$M_{1q} = -\frac{13.24 + 12}{2} \times \frac{6.0^2}{10} = -45.4 \text{ kNm} = M_{2q} \text{ (zategnuta gornja ivica preseka)}$$

$$A_q = \frac{13.24 \times 6.0}{2} - \frac{45.4}{6.0} = 32.1 \text{ kN} ; B_q = \frac{(2 \times 13.24 + 12) \times 6.0}{2} - 32.1 = 83.3 \text{ kN}$$

$$q_{Ed,1} = 1.35 \times 24.86 + 1.5 \times 13.24 = 53.42 \text{ kN/m}$$

$$q_{Ed,2} = 1.35 \times 23 + 1.5 \times 12 = 49.05 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed,1} = M_{Ed,2} = 1.35 \times 86.1 + 1.5 \times 45.4 = 184.4 \text{ kNm}$$

$$A_{Ed} = 1.35 \times 60.2 + 1.5 \times 32.1 = 129.5 \text{ kN} \Rightarrow V_{Ed}^{B,l} = 53.42 \times 6.0 - 129.5 = 191.0 \text{ kN}$$

$$B_{Ed} = 1.35 \times 157.9 + 1.5 \times 83.3 = 338.2 \text{ kN} \Rightarrow V_{Ed}^{B,d} = 338.2 - 191.0 = 147.2 \text{ kN}$$

## 2.3 PRORAČUN GREDE POS 2

### 2.3.1 Analiza opterećenja za POS 2

#### krainja polja:

- sopstvena težina	$0.25 \times 0.5 \times 25$	=	3.13 kN/m
- težina fasade	$g_f$	=	13.56 kN/m
- <u>stalno opterećenje od POS 1</u>		=	6.78 kN/m
ukupno, stalno opterećenje	$g_1$	=	23.47 kN/m
povremeno opterećenje	$q_1$	=	4.52 kN/m

#### srednje polje:

- sopstvena težina	$0.25 \times 0.5 \times 25$	=	3.13 kN/m
- težina fasade	$g_f$	=	13.56 kN/m
- <u>stalno opterećenje od POS 1</u>		=	6.30 kN/m
ukupno, stalno opterećenje	$g_2$	=	22.99 kN/m
povremeno opterećenje	$q_2$	=	4.20 kN/m

### 2.3.2 Proračun presečnih sila

$$M_{1g} = -\frac{23.47 + 22.99}{2} \times \frac{6.0^2}{10} = -83.6 \text{ kNm} = M_{2g} \text{ (zategnuta gornja ivica preseka)}$$

$$A_g = \frac{23.47 \times 6.0}{2} - \frac{83.6}{6.0} = 56.5 \text{ kN} ; B_g = \frac{(2 \times 23.47 + 22.99) \times 6.0}{2} - 56.5 = 153.3 \text{ kN}$$

$$M_{1q} = -\frac{4.52 + 4.2}{2} \times \frac{6.0^2}{10} = -15.7 \text{ kNm} = M_{2q} \text{ (zategnuta gornja ivica preseka)}$$

$$A_q = \frac{4.52 \times 6.0}{2} - \frac{15.7}{6.0} = 10.9 \text{ kN} ; B_q = \frac{(2 \times 4.52 + 4.2) \times 6.0}{2} - 10.9 = 28.8 \text{ kN}$$

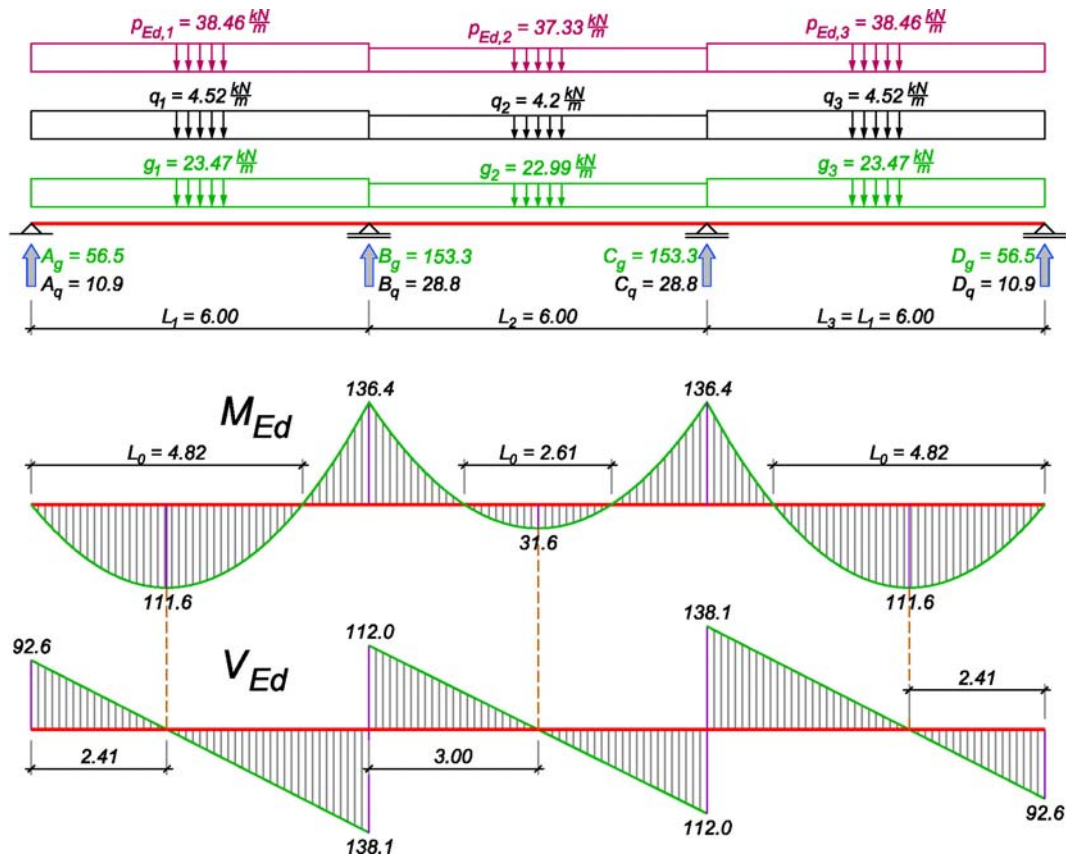
$$q_{Ed1} = 1.35 \times 23.47 + 1.5 \times 4.52 = 38.46 \text{ kN/m}$$

$$q_{Ed2} = 1.35 \times 22.99 + 1.5 \times 4.2 = 37.33 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed1} = M_{Ed2} = 1.35 \times 83.6 + 1.5 \times 15.7 = 136.4 \text{ kNm}$$

$$A_{Ed} = 1.35 \times 64.6 + 1.5 \times 10.9 = 92.6 \text{ kN} \quad \Rightarrow \quad V_{Ed}^{B,l} = 38.46 \times 6.0 - 92.6 = 138.1 \text{ kN}$$

$$B_{Ed} = 1.35 \times 175.7 + 1.5 \times 28.8 = 250.1 \text{ kN} \quad \Rightarrow \quad V_{Ed}^{B,d} = 250.1 - 138.1 = 112.0 \text{ kN}$$



## 2.4 PRORAČUN GREDE POS 5

Grede POS 5 su kontinualni nosači raspona  $2 \times 5,0$  m, dimenzija 40/50 cm. Kako su opterećenja u oba polja jednaka, proračun statičkih uticaja je elementarno tablični.

### 2.4.1 Analiza opterećenja

- sopstvena težina	$0.4 \times 0.5 \times 25$	=	5.00 kN/m
- stalno opterećenje od POS 1	$9.25 + 8.82$	=	18.07 kN/m
ukupno, stalno opterećenje		$g =$	23.07 kN/m
povremeno opterećenje	$6.17 + 5.88$	=	$q =$ 12.05 kN/m

### 2.4.2 Proračun presečnih sila

$$A_g = 0.375 \times 23.07 \times 5.0 = 43.3 \text{ kN} \quad ; \quad B_g = 1.25 \times 23.07 \times 5.0 = 144.2 \text{ kN}$$

$$A_q = 0.375 \times 12.05 \times 5.0 = 22.6 \text{ kN} \quad ; \quad B_q = 1.25 \times 12.05 \times 5.0 = 75.3 \text{ kN}$$

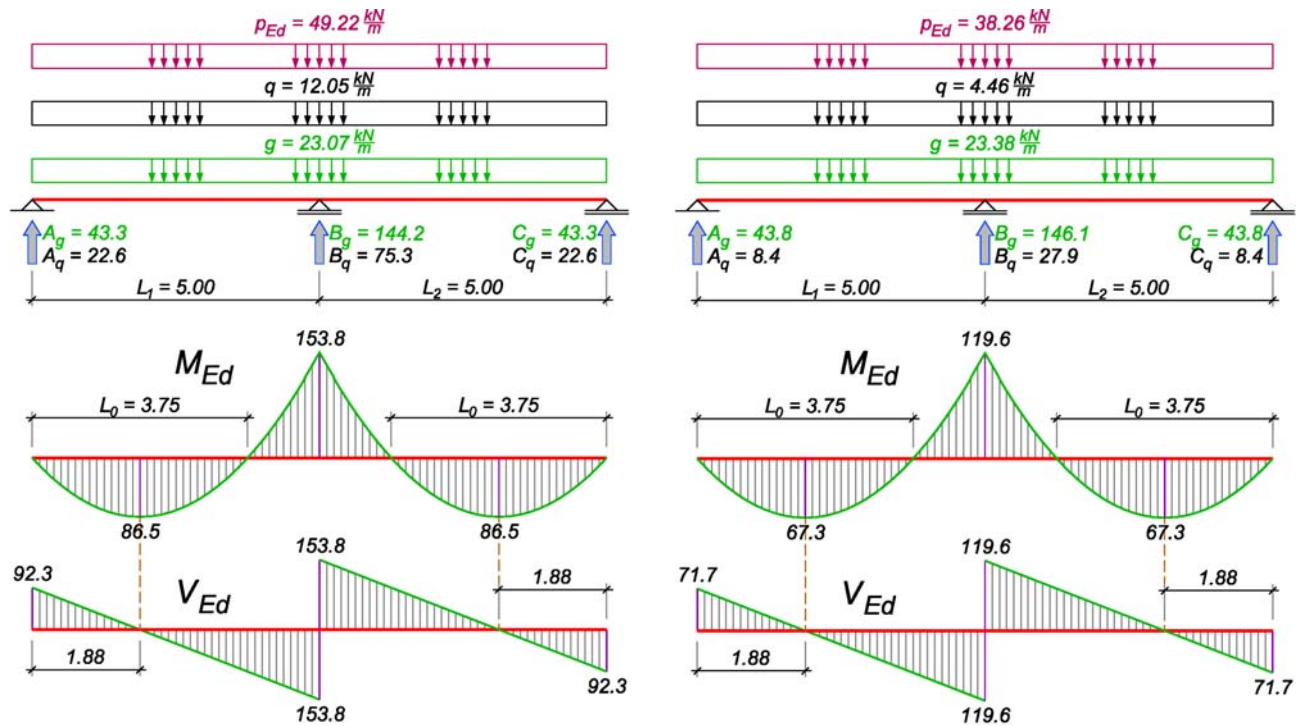
$$q_{Ed} = 1.35 \times 23.07 + 1.5 \times 12.05 = 49.22 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed}^{osl} = \frac{49.22 \times 5.0^2}{8} = 153.8 \text{ kNm} \quad ;$$

$$M_u^{polje} = \frac{9 \times 49.22 \times 5.0^2}{128} = 86.5 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed}^{B,l} = \frac{5 \times 49.22 \times 5.0}{8} = 153.8 \text{ kN} \quad ;$$

$$V_{Ed}^A = \frac{3 \times 49.22 \times 5.0}{8} = 92.3 \text{ kN}$$



## 2.5 PRORAČUN GREDE POS 4

Grede POS 4 su kontinualni nosači raspona  $2 \times 5,0$  m, dimenzija 25/50 cm.

### 2.5.1 Analiza opterećenja

- sopstvena težina  $0.25 \times 0.5 \times 25 = 3.13$  kN/m
- težina fasade  $g_f = 13.56$  kN/m
- stalno opterećenje od POS 1  $= 6.70$  kN/m
- ukupno, stalno opterećenje  $g = 23.38$  kN/m
- povremeno opterećenje  $q = 4.46$  kN/m

### 2.5.2 Proračun presečnih sila

$$A_g = 0.375 \times 23.38 \times 5.0 = 43.8 \text{ kN} ; \quad B_g = 1.25 \times 23.38 \times 5.0 = 146.1 \text{ kN}$$

$$A_q = 0.375 \times 4.46 \times 5.0 = 8.4 \text{ kN} ; \quad B_q = 1.25 \times 4.46 \times 5.0 = 27.9 \text{ kN}$$

$$q_{Ed} = 1.35 \times 23.38 + 1.5 \times 4.46 = 38.26 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed}^{osl} = \frac{38.26 \times 5.0^2}{8} = 119.6 \text{ kNm} ; \quad M_{Ed}^{polje} = \frac{9 \times 38.26 \times 5.0^2}{128} = 67.3 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed}^{B,l} = \frac{5 \times 38.26 \times 5.0}{8} = 119.6 \text{ kN} ; \quad V_{Ed}^A = \frac{3 \times 38.26 \times 5.0}{8} = 71.7 \text{ kN}$$

## 2.6 KOMENTAR

Poređenjem uticaja sa odgovarajućim iz primera P1, jasno je da je dimenzije greda moguće smanjiti, što se naročito odnosi na srednje grede POS 3 i POS 5. Naime, ako je visina greda usvojena iz deformacijskih uslova i ne treba je smanjivati, a širina greda POS 2 i POS 4 uzrokovana dimenzijom opekarskog proizvoda u fasadi, širina srednjih greda se bez problema može smanjiti (recimo, da sve grede budu dimenzija 25/50 cm). Ovo bi dovelo do neznatnog povećanja potrebne površine zategnute armature, odnosno znatnog povećanja napona smicanja, koji ionako jedva prelaze granicu  $V_{Rdc}$  u najopterećenijim



delovima nosača. Čak i u ovom slučaju se potrebna podužna i poprečna armatura može bez problema smestiti u presek. Ipak, radi poređenja rezultata, zadržane su dimenzije greda iz primera P1.

### 3 PRORAČUN SILA U STUBOVIMA

#### 3.1 STUBOVI POS S1

Dva središnja stuba, nazvani po osama u kojima se nalaze: 2B i 3B. Prihvataju srednje reakcije greda POS 3 i POS 5:

$$G^{S1} = B_g^{POS3} + B_g^{POS5} = 157.9 + 144.2 = 302.1 \text{ kN}$$

$$Q^{S1} = B_q^{POS3} + B_q^{POS5} = 83.3 + 75.3 = 158.6 \text{ kN}$$

#### 3.2 STUBOVI POS S2

Dva ivična stuba, nazvani po osama u kojima se nalaze: 1B i 4B. Prihvataju krajnje reakcije greda POS 3 i srednje reakcije greda POS 4:

$$G^{S2} = A_g^{POS3} + B_g^{POS4} = 60.2 + 146.1 = 206.4 \text{ kN}$$

$$Q^{S2} = A_q^{POS3} + B_q^{POS4} = 32.1 + 27.9 = 60.0 \text{ kN}$$

#### 3.3 STUBOVI POS S3

Četiri ivična stuba, nazvani po osama u kojima se nalaze: 2A, 2C, 3A i 3C. Prihvataju srednje reakcije greda POS 2 i krajnje reakcije greda POS 5:

$$G^{S3} = B_g^{POS2} + A_g^{POS5} = 153.3 + 43.3 = 196.5 \text{ kN}$$

$$Q^{S3} = B_q^{POS2} + A_q^{POS5} = 28.8 + 22.6 = 51.4 \text{ kN}$$

#### 3.4 STUBOVI POS S4

Četiri ugaona stuba, nazvani po osama u kojima se nalaze: 1A, 1C, 4A i 4C. Prihvataju krajnje reakcije greda POS 2 i POS 4:

$$G^{S4} = A_g^{POS2} + A_g^{POS4} = 56.5 + 43.8 = 100.3 \text{ kN}$$

$$Q^{S4} = A_q^{POS2} + A_q^{POS4} = 10.9 + 8.4 = 19.3 \text{ kN}$$

Dimenzionisanje stubova će biti sprovedeno nakon sračunavanja uticaja od horizontalnih dejstava (vetar, seizmika).