

2 PRORAČUN GREDA

2.1 PRELIMINARNO ODREĐIVANJE DIMENZIJA

Iz arhitektonskih razloga je usvojeno da sve grede budu iste visine. Greda POS 3 prihvata opterećenje sa ploče POS 1, dok POS 2 pored ovoga prihvata i opterećenje od fasade.

Greda POS 3 u osi B je kontinualni nosač, raspona 3×6,0 m. Pored sopstvene težine, opterećena je i srednjom reakcijom ploče POS 1. Grede POS 2 u osama A i C su istog statičkog sistema i raspona, a pored opterećenja sa ploče (krajnje reakcije) prihvataju i opterećenje od fasade.

2.2 ANALIZA OPTEREĆENJA ZA POS 3

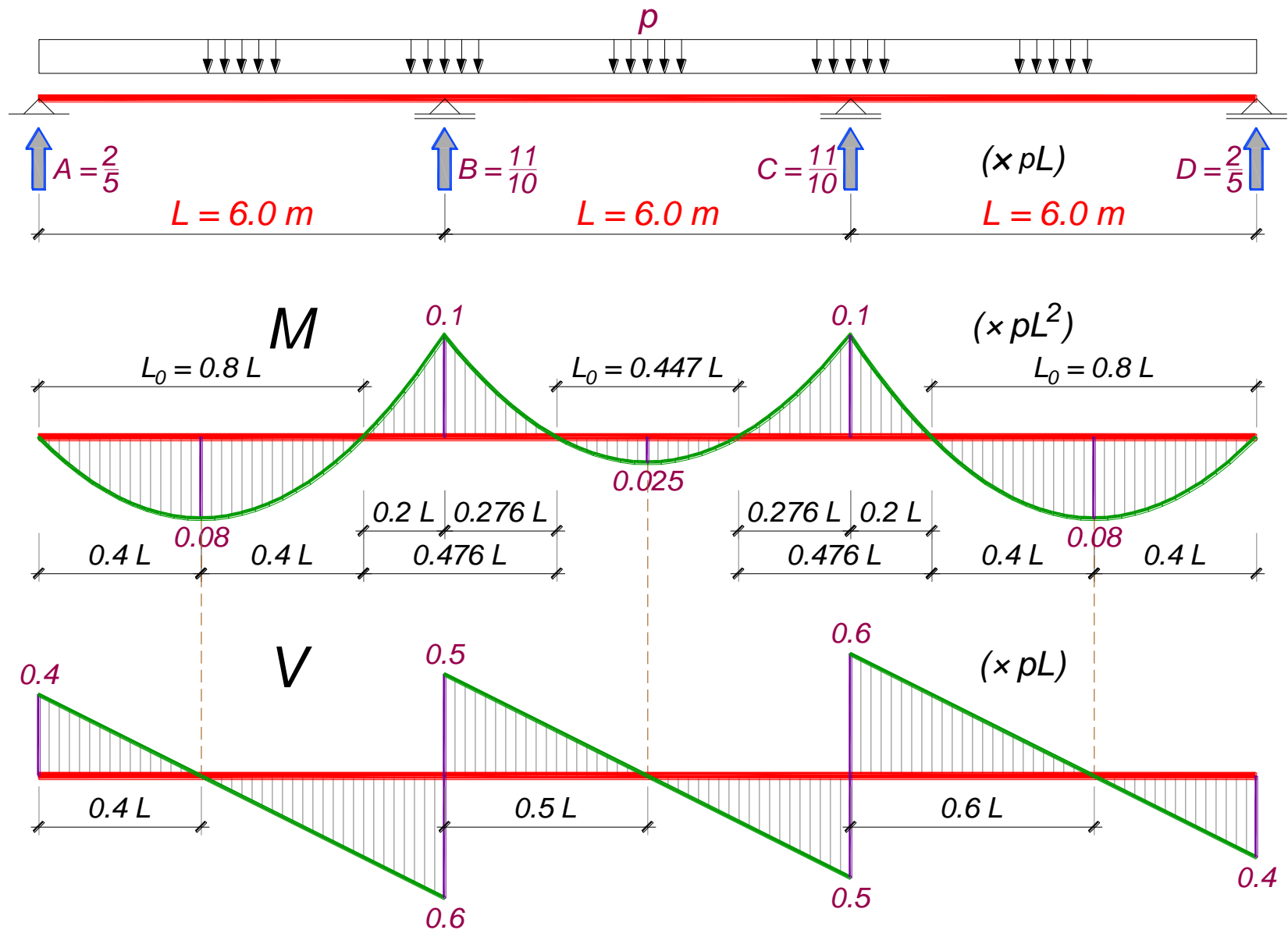
Uobičajena visina greda je:

$$h \approx \frac{L}{10} \div \frac{L}{12} = \frac{600}{10} \div \frac{600}{12} = 60 \div 50 \text{ cm} \Rightarrow \text{pretp. } h = 50 \text{ cm}$$

Sa pretpostavljenom širinom grede POS 3 od $b = 40 \text{ cm}$, sledi:

- | | | |
|--------------------------------------|----------------------------|-------------|
| - sopstvena težina POS 3 | $0.4 \times 0.5 \times 25$ | = 5.0 kN/m |
| - <u>stalno opterećenje od POS 1</u> | B_g | = 37.5 kN/m |
| ukupno, stalno opterećenje | g | = 42.5 kN/m |
| povremeno opterećenje od POS 1: | $B_q = q$ | = 25.0 kN/m |

Dijagrami presečnih sila



PRELIMINARNO DIMENZIONISANJE POS 3

Dimenzionisanje prema momentu savijanja

$$p_{Ed} = 1.35 \times 42.5 + 1.5 \times 25.0 = 94.88 \text{ kN/m}$$

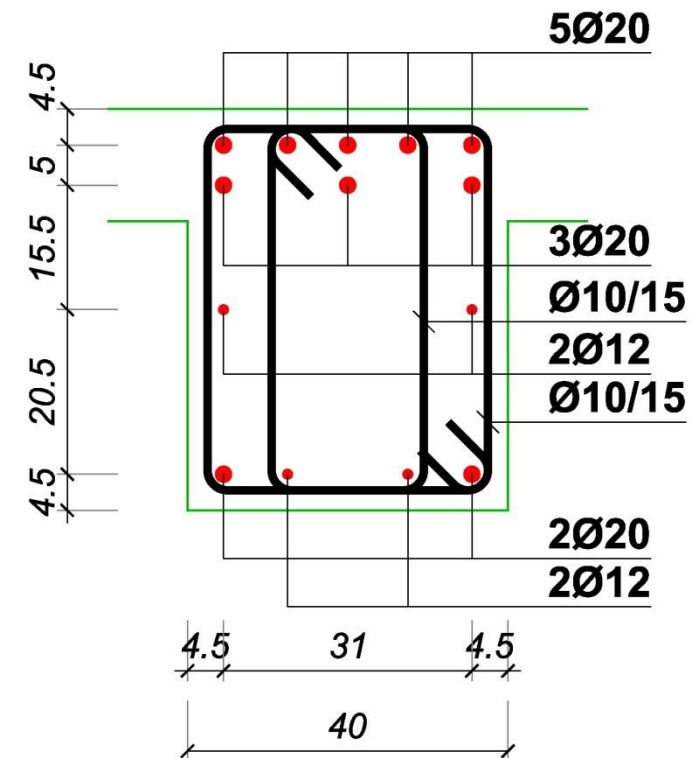
$$M_{Ed,1} = 94.88 \times 6.0^2 / 10 = 341.6 \text{ kNm} \quad - \text{ gornja zona, oslonac}$$

$$\text{pretp. } d_1 = 7 \text{ cm} \Rightarrow b/h/d = 40/50/43 \text{ cm}$$

$$k = \frac{43}{\sqrt{\frac{341.6 \times 10^2}{40 \times 1.42}}} = 1.751 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon_c / \varepsilon_s = 3.5 / 3.342\text{‰} \\ \omega = 41.409\% \end{cases}$$

$$A_s = 41.409 \times \frac{40 \times 43}{100} \times \frac{1.42}{43.5} = 23.21 \text{ cm}^2$$

$$\text{usvojeno: } 8\text{Ø}20 \text{ (} 25.13 \text{ cm}^2 \text{)}$$



Kontrola glavnih napona zatezanja

$$d_1 = 7 \text{ cm} \Rightarrow d = 50 - 7 = 43 \text{ cm} ; z \approx 0.9d = 0.9 \times 43 = 38.7 \text{ cm}$$

$$f_{cd} = \frac{0.85 \times 25}{1.5} = 14.2 \text{ MPa} \quad ; \quad v_1 = v = 0.6 \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0.6 \times \left(1 - \frac{25}{250} \right) = 0.54$$

$$V_{Rd,c} = \left(C_{Rd,c} k \sqrt[3]{100 \rho_l f_{ck}} + k_1 \sigma_{cp} \right) b_w d$$

$$A_s = 25.13 \text{ cm}^2 (8\emptyset 20) \Rightarrow \rho_l = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{25.13}{40 \times 43} = 1.46\% < 2\% = \rho_{l,max}$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0.18}{\gamma_c} = \frac{0.18}{1.5} = 0.12 \quad ; \quad k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2 \Rightarrow k = 1 + \sqrt{\frac{200}{430}} = 1.682$$

$$v_{min} = 0.035 k^2 \sqrt[3]{f_{ck}} = 0.035 \times 1.682^2 \times \sqrt[3]{25} = 0.382 \text{ MPa}$$

$$C_{Rd,c} k \sqrt[3]{100 \rho_l f_{ck}} = 0.12 \times 1.682 \times \sqrt[3]{1.46 \times 25} = 0.67 \text{ MPa} > v_{min} = 0.382 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cp} = 0 \Rightarrow V_{Rd,c} = \left(v_{Rd,c} + k_1 \sigma_{cp} \right) b_w d = (0.67 + 0) \times 40 \times 43 = 115.2 \text{ kN}$$

$$\sigma_{cp} = 0 \Rightarrow \alpha_{cw} = 1 ; \theta = 45^\circ \Rightarrow \tan \theta = \cot \theta = 1$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} v_1 f_{cd} b_w z}{\cot \theta + \tan \theta} = \frac{1 \times 0.54 \times 14.2 \times 40 \times 38.7}{1 + 1} = 592.1 \text{ kN}$$

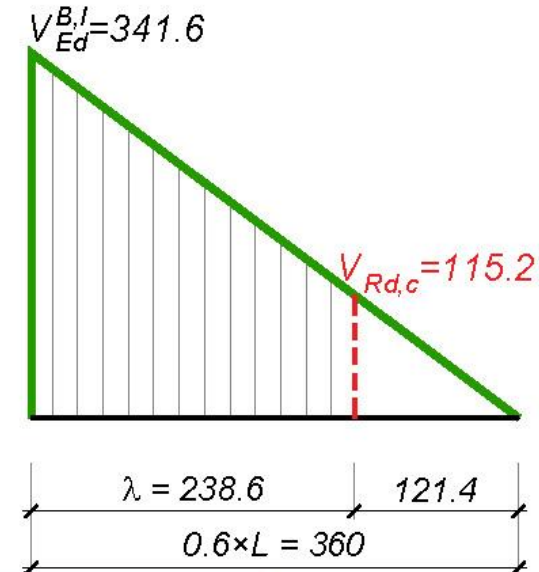
Kontrola glavnih napona zatezanja će, do konačnog usvajanja dimenzija greda i kvaliteta materijala, biti sprovedena samo u preseku sa maksimalnom silom V_{Ed} (presek B^{levo}):

$$p_{Ed} = 1.35 \times 42.5 + 1.5 \times 25 = 94.9 \frac{kN}{m} \Rightarrow V_{Ed}^{B,levo} = 0.6 \times 94.9 \times 6.0 = 341.6 \text{ kN} \begin{cases} > V_{Rd,c} \\ < V_{Rd,max} \end{cases}$$

Kako je V_{Ed} manje od maksimalno dopuštene vrednosti, nije neophodno menjati pretpostavljene dimenzije ili kvalitet materijala. Kako je prekoračena vrednost $V_{Rd,c}$ potrebno je izvršiti osiguranje armaturom na dužini osiguranja λ :

$$\lambda = \left(1 - \frac{V_{Rdc}}{V_{Ed}}\right) L_{0,V} = \left(1 - \frac{115.2}{341.6}\right) \times 360 = 238.6 \text{ cm}$$

Maksimalno podužno i poprečno rastojanje armature za smicanje, u zavisnosti od veličine V_{Ed} , dato je u tabeli:



Proračunska vrednost sile smicanja		Klasa čvrstoće betona $\leq C50/60$
$V_{Ed} \leq 0.3V_{Rd,max}$	$s_{l,max}$	$0,75d \leq 30 \text{ cm}$
	$s_{t,max}$	$0,75d \leq 60 \text{ cm}$
$0.3V_{Rd,max} \leq V_{Ed} \leq 0.6V_{Rd,max}$	$s_{l,max}$	$0,55d \leq 30 \text{ cm}$
	$s_{t,max}$	$0,75d \leq 60 \text{ cm}$
$V_{Ed} > 0.6V_{Rd,max}$	$s_{l,max}$	$0,3d \leq 20 \text{ cm}$
	$s_{t,max}$	$0,3d \leq 30 \text{ cm}$

Kako je maksimalna vrednost sile V_{Ed} u granicama

$$0.3 < \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} = \frac{341.6}{592.1} = 0.58 < 0.6$$

na čitavoj dužini osiguranja potrebno je da maksimalno rastojanje uzengija u poprečnom preseku bude:

$$s_{t,max} = 0.75 \times 43 = 32.2 \text{ cm}$$

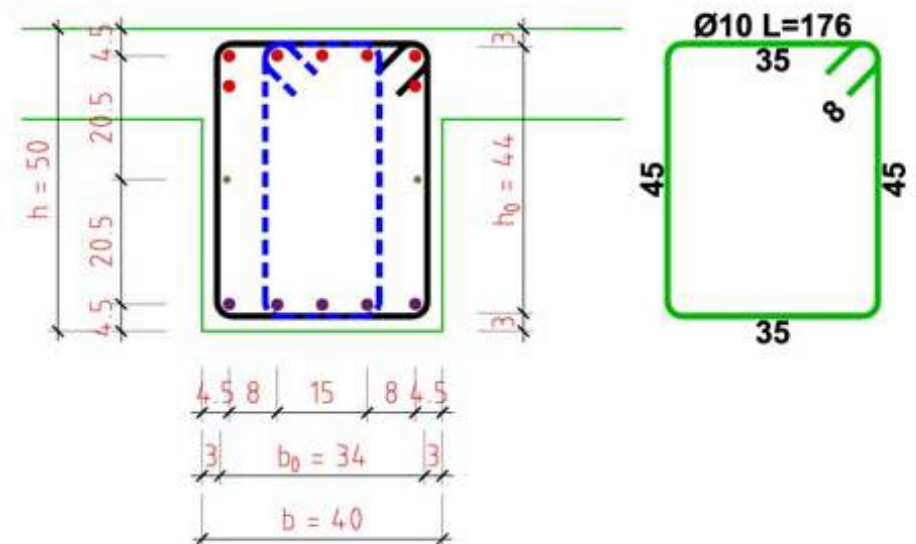
Kako je usvojena debljina zaštitnog sloja $c = 2.5 \text{ cm}$ (XC1), spoljašnja i osovinska širina uzengije su respektivno:

$$b - 2c = 40 - 2 \times 2.5 = 35 \text{ cm} \quad ; \quad b_0 = 35 - 2 \frac{\varnothing_u}{2} = 35 - 2 \times \frac{1.0}{2} = 34 \text{ cm} > s_{t,max} = 32.2 \text{ cm}$$

što znači da samo spoljašnja uzengija u preseku nije dovoljna i da se MORA usvojiti minimalno trosečna uzengija na čitavoj dužini osiguranja.

Potrebna površina armature za smicanje se određuje iz izraza:

$$\frac{m \times a_{sw}^{(1)}}{s} \geq \frac{V_{Ed}}{z f_{yd} \cot \theta}$$



$$\frac{m \times a_{sw}^{(1)}}{s} = \frac{341.6}{38.7 \times 43.5 \times \cot 45^\circ} = 0.203 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Usvajajući $m=4$ i uzengiju prečnika 10 mm, sledi:

$$s \leq \frac{m \times a_{sw}^{(1)}}{0.203} = \frac{4 \times 0.785}{0.203} = 15.5 \text{ cm} \Rightarrow \text{usvojeno } U\emptyset 10/15 (m=4)$$

Kako je ovde unutrašnja uzengija usvojena radi zadovoljenja maksimalnog razmaka uzengija u poprečnom pravcu, nema mnogo prostora za uštedu prilagođavanjem razmaka ili prečnika šipki veličini transverzalne sile. Naime, mogle bi se na delu dužine osiguranja postaviti uzengije prečnika 8 mm ili "C" šipke (praktično, trosečne uzengije), ali takva racionalizacija na ovako maloj dužini ne bi bila opravdana.

Dodatnu zategnutu armaturu u razmatranom preseku B^{levo} (kao ni u susednom, B^{desno}) nije potrebno sračunati i dodati armaturi sračunatoj iz oslonačkog momenta savijanja, jer se ovde radi o "špicu momenta". Podužna armatura za prihvatanje transverzalnih sila se usvaja posredno, obezbeđivanjem dodatne dužine

$$a_l = \frac{z}{2} (\cot \theta - \cot \alpha) = \frac{z}{2} \approx 0.45d = 19.35 \approx 20 \text{ cm}$$

u odnosu na dužinu šipki neophodnu za prihvatanje momenta M_{Ed} . O ovome voditi računa naročito u situaciji kada se, radi smanjenja količine uzengija, odabere ugao θ manji od 45° .

ANALIZA OPTEREĆENJA ZA POS 2

Greda je iste visine kao POS 3, a širina je usvojena tako da odgovara dimenziji opekar-skog proizvoda koji se koristi za fasadu (puna opeka širine 25 cm). Za datu spratnu visinu od $H_{sp} = 3.50$ m i datu fasadu (puna opeka + termoizolacija + kamen 3 cm na potkonstrukciji), težina fasade se dobija kao:

$$g_f = (H_{sp} - h) \times g_{25} + H_{sp} \times g_{kp} = (3.50 - 0.50) \times 4.60 + 3.50 \times 0.90 = 16.95 \text{ kN/m}$$

gde je: $g_{25} = 4.60 \text{ kN/m}^2$ – težina obostrano omalterisanog zida od pune opeke, a

$g_{kp} = 0.90 \text{ kN/m}^2$ – težina kamenih ploča debljine 3 cm na potkonstrukciji

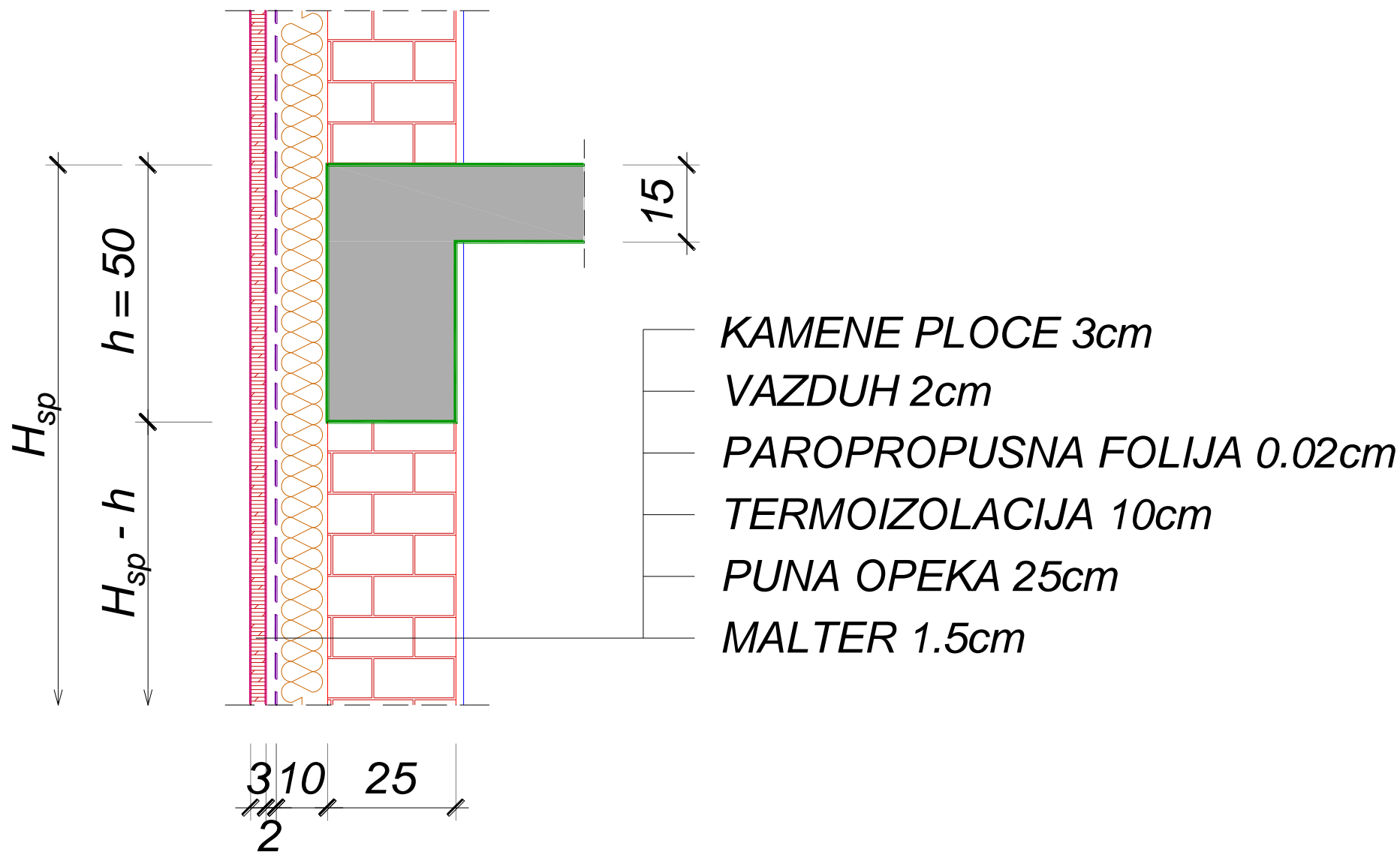
S obzirom na znatnu površinu otvora u fasadi (prozori, balkonska vrata), sračunata težina se umanjuje za 20%, što je smisljeno raditi kod ovako teških fasadnih obloga:

$$g_f = (1 - 0.2) \times 16.95 = 13.56 \text{ kN/m}$$

Za datu fasadu i usvojene dimenzije grede $b/h = 25/50$ cm sledi:

- sopstvena težina POS 2	$0.25 \times 0.5 \times 25$	= 3.13 kN/m
- težina fasade	g_f	= 13.56 kN/m
- <u>stalno opterećenje od POS 1</u>	A_g	= 11.25 kN/m
ukupno, stalno opterećenje	g	= 27.94 kN/m
povremeno opterećenje od POS 1:	$A_q = q$	= 7.50 kN/m

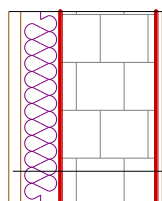
Detalj fasade



Opterećenje od fasadnih zidova

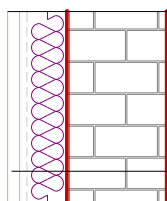
10

SZ-1



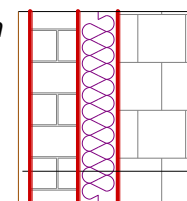
MALTER+RABIC 3cm
TERMOIZOLACIJA 10cm
GITER BLOK 24cm
MALTER 1.5cm

SZ-2



KAMENE PLOCE 3cm
VAZDUH 2cm
PAROPROPUSNA FOLIJA 0.02cm
TERMOIZOLACIJA 10cm
PUNA OPEKA 25cm
MALTER 1.5cm

SZ-3



MALTER+RABIC 3cm
PUNA OPEKA 12cm
TERMOIZOLACIJA 10cm
GITER BLOK 19cm
MALTER 1.5cm

Linjska opterećenja

Kao opšteprihvaćeni podaci se usvajaju jedinične težine OBOSTRANO OMALTERISANIH zidova:

a. zidovi od pune opeke

zid od opeke »na kant«	d=7 cm:	$g_7 = 1.70 \text{ kN/m}^2$
zid od pola opeke	d=12 cm:	$g_{12} = 2.60 \text{ kN/m}^2$
zid od cele opeke	d=25 cm:	$g_{25} = 4.60 \text{ kN/m}^2$

b. zidovi od šupljeg »giter« bloka

zid od bloka	d=20 cm:	$g_{20} = 3.0 \text{ kN/m}^2$
zid od bloka	d=25 cm:	$g_{25} = 3.7 \text{ kN/m}^2$

Linjska opterećenja se dobijaju množenjem navedenih jediničnih težina sa spratnom visinom H

PRELIMINARNO DIMENZIONISANJE POS 2

Dimenzionisanje prema momentu savijanja

$$p_{Ed} = 1.35 \times 27.94 + 1.5 \times 7.5 = 48.96 \text{ kN/m}$$

- gornja zona, oslonac:

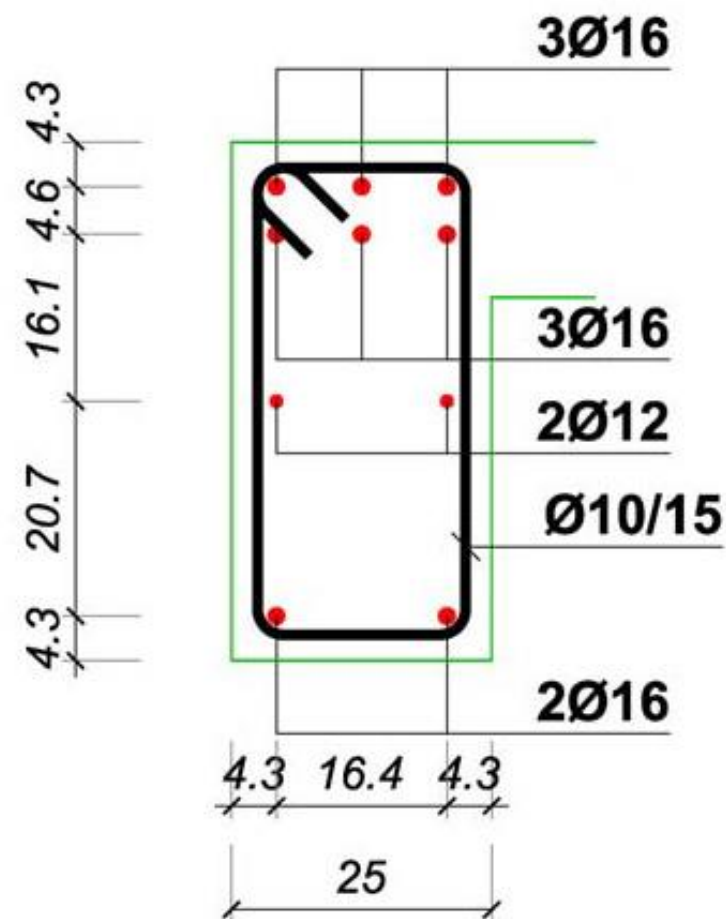
$$M_{Ed,1} = 48.96 \times 6.0^2 / 10 = 176.3 \text{ kNm}$$

$$\text{pretp. } d_1 = 7 \text{ cm} \Rightarrow b/h/d = 25/50/43 \text{ cm}$$

$$k = \frac{43}{\sqrt{\frac{176.3 \times 10^2}{25 \times 1.42}}} = 1.927 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon_c / \varepsilon_s = 3.5 / 5.281\text{‰} \\ \omega = 32.266\% \end{cases}$$

$$A_s = 32.266 \times \frac{25 \times 43}{100} \times \frac{1.42}{43.5} = 11.30 \text{ cm}^2$$

usvojeno: **6Ø16** (12.06 cm²)



Kontrola glavnih napona zatezanja

$$d_1 = 7 \text{ cm} \Rightarrow d = 50 - 7 = 43 \text{ cm} ; z \approx 0.9d = 0.9 \times 43 = 38.7 \text{ cm}$$

$$f_{cd} = \frac{0.85 \times 25}{1.5} = 14.2 \text{ MPa} \quad ; \quad v_1 = v = 0.6 \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0.6 \times \left(1 - \frac{25}{250} \right) = 0.54$$

$$A_s = 12.06 \text{ cm}^2 (6\emptyset 16) \Rightarrow \rho_l = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{12.06}{25 \times 43} = 1.122\% < 2\% = \rho_{l,max}$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0.18}{\gamma_c} = \frac{0.18}{1.5} = 0.12 \quad ; \quad k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2 \Rightarrow k = 1 + \sqrt{\frac{200}{430}} = 1.682$$

$$v_{min} = 0.035 k^2 \sqrt[3]{f_{ck}} = 0.035 \times 1.682^2 \times \sqrt[3]{25} = 0.382 \text{ MPa}$$

$$C_{Rd,c} k \sqrt[3]{100 \rho_l f_{ck}} = 0.12 \times 1.682 \times \sqrt[3]{1.122 \times 25} = 0.613 \text{ MPa} > v_{min} = 0.382 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cp} = 0 \Rightarrow V_{Rd,c} = (v_{Rd,c} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d = (0.613 + 0) \times 25 \times 43 = 65.9 \text{ kN}$$

$$\sigma_{cp} = 0 \Rightarrow \alpha_{cw} = 1 ; \theta = 45^\circ \Rightarrow \tan \theta = \cot \theta = 1$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} v_1 f_{cd} b_w z}{\cot \theta + \tan \theta} = \frac{1 \times 0.54 \times 14.2 \times 25 \times 38.7}{1 + 1} = 370.1 \text{ kN}$$

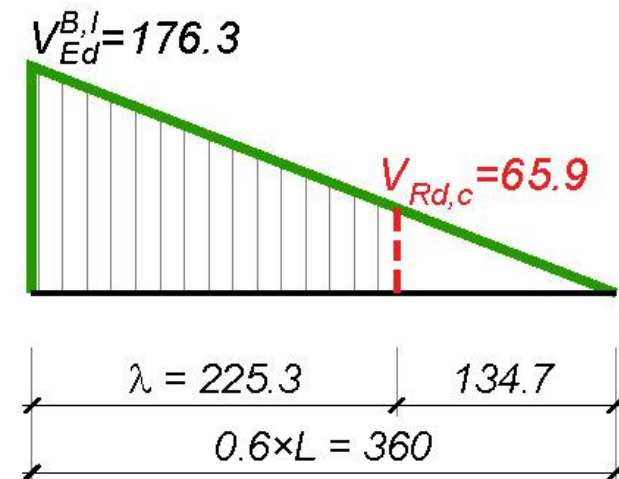
Kontrola glavnih napona zatezanja će, do konačnog usvajanja dimenzija greda i kvaliteta materijala, biti sprovedena samo u preseku sa maksimalnom silom V_{Ed} (presek B^{levo}):

$$p_{Ed} = 1.35 \times 27.94 + 1.5 \times 7.5 = 48.96 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \Rightarrow V_{Ed}^{B,levo} = 0.6 \times 48.96 \times 6.0 = 176.3 \text{ kN} \begin{cases} > V_{Rd,c} \\ < V_{Rd,max} \end{cases}$$

Kako je V_{Ed} manje od maksimalno dopuštene vrednosti, nije neophodno menjati pretpostavljene dimenzije ili kvalitet materijala. Kako je prekoračena vrednost $V_{Rd,c}$ potrebno je izvršiti osiguranje armaturom na dužini osiguranja λ :

$$\lambda = \left(1 - \frac{V_{Rd,c}}{V_{Ed}}\right) L_{0,V} = \left(1 - \frac{65.9}{176.3}\right) \times 360 = 225.3 \text{ cm}$$

$$0.3 < \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} = \frac{176.3}{370.1} = 0.48 < 0.6$$



Kako je sila V_{Ed} manja od 60% sile $V_{Rd,max}$, razmak uzengija u poprečnom pravcu mora biti manji od $0.75d = 32.3 \text{ cm}$, kao i u slučaju grede POS 3. S obzirom da je širina preseka 25 cm , dovoljna je spoljna uzengija da bi ovaj uslov bio zadovoljen.

Potrebna površina armature za smicanje se određuje iz izraza:

$$\frac{m \times a_{sw}^{(1)}}{s} \geq \frac{V_{Ed}}{z f_{yd} \cot \theta} = \frac{176.3}{38.7 \times 43.5 \times \cot 45^\circ} = 0.105 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Usvajajući $m=2$ i uzengije prečnika 10 mm, sledi:

$$s \leq \frac{m \times a_{sw}^{(1)}}{0.203} = \frac{2 \times 0.785}{0.105} = 15.0 \text{ cm} \Rightarrow \text{usvojeno } U\emptyset 10/15 \text{ (} m=2 \text{)}$$

Ovo rešenje je sasvim prihvatljivo i proračun bi mogao biti završen na ovom mestu. Ipak, kao varijantno rešenje – ilustracija, se nudi i rešenje sa usvajanjem uzengija $\emptyset 8$ mm:

$$s \leq \frac{m \times a_{sw}^{(1)}}{0.203} = \frac{2 \times 0.503}{0.105} = 9.6 \text{ cm} \Rightarrow \text{usvojeno } U\emptyset 8/7.5 \text{ (} m=2 \text{)}$$

Ukoliko želimo da povećamo rastojanje uzengija na minimalno 10 cm, a u ovom slučaju nije moguće usvojiti četvorosečne uzengije (nije moguće smestiti četiri podužna profila u jedan horizontalni red), moguće je jedno od sledećih rešenja:

- usvojiti trosečne uzengije – spoljašnju uzengiju i »C« šipku (na rastojanju $3/2 \times 9.6 = 14.4$ cm), dakle $U\emptyset 8/12.5$ ($m=3$);
- usvojiti udvojene uzengije na dvostruko većem rastojanju, dakle $2U\emptyset 8/15$;
- usvojiti makar minimalne uzengije, a nedostajuću poprečnu armaturu formirati kao koso povijene profile iz donje zone.

Minimalno potrebne uzengije moraju da zadovolje maksimalno podužno rastojanje:

$$0.3 < \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} = \frac{176.3}{370.1} = 0.48 < 0.6 \Rightarrow s_{l,max} = 0.55d = 0.55 \times 43 = 23.7 \text{ cm}$$

kao i minimalni procenat armiranja:

$$\rho_{w,min} = 0.08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0.08 \frac{\sqrt{25}}{500} = 0.08\%$$

$$\frac{a_{sw,min}}{s} = \rho_{w,min} \frac{b}{m} \sin \alpha = \frac{0.08}{100} \times \frac{25}{2} \times \sin 90^\circ = 0.010 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \Rightarrow s \leq \frac{0.503}{0.010} = 50.3 \text{ cm}$$

Usvajaju se uzengije **UØ8/15**, koje mogu prihvatiti silu:

$$V_{Rd,s} = \frac{m a_{sw}}{s} z f_{yd} = \frac{2 \cdot 0.503}{15} \cdot 38.7 \cdot 43.5 = 112.8 \text{ kN}$$

Ove uzengije nisu dovoljne na dužini λ_1 (skica desno):

$$\lambda_1 = \left(1 - \frac{V_{Rd,s}}{V_{Ed}} \right) L_{0,V} = \left(1 - \frac{112.8}{176.3} \right) \times 360 = 129.7 \text{ cm}$$

pa se na tom delu usvajaju udvojene uzengije, **2UØ8/15**.

