

GRAĐEVINA: Projekt vodnokomunalne infrastrukture aglomeracije VIR
za sufinanciranje iz fondova EU
Odvodnja otpadnih voda i vodoopskrba otoka Vira:
PODMORSKI ISPUST

Glavni projekt – građevinski projekt

G. STATIČKO DIMENZIONIRANJE ODZRAČNIH OKANA

SADRŽAJ:

	str.
G.1. STATIČKI PRORAČUN ODZRAČNOG OKNA 1.....	C-2
G.2. STATIČKI PRORAČUN ODZRAČNOG OKNA 2.....	C-11

BROJ PROJEKTA:	T.D.–209/2018
RAZINA PROJEKTA:	GLAVNI PROJEKT
VRSTA PROJEKTA:	GRAĐEVINSKI PROJEKT
NASLOV PROJEKTA:	GLAVNI PROJEKT PODMORSKOG ISPUSTA KANALIZACIJSKOG SUSTAVA VIR
OZNAKA MAPE:	MAPA 1/1
INVESTITOR:	VODOVOD-VIR d.o.o., Put Mula 16, 23234 Vir
NARUČITELJ:	HIDROPROJEKT - ING, d.o.o., Draškovićeve 35II, 10000 ZAGREB
PROJEKTANTSKA TVRTKA:	Sveučilište u Splitu, Fakultet Građevinarstva, arhitekture i geodezije, Matice hrvatske 15, 21000 Split
PROJEKTANT:	Dr. sc. Davor Bojanić, dipl.ing.građ.
SURADNICI:	Dr. sc. Veljko Srzić, dipl.ing.građ. Tatjana Bojanić, dipl.ing.građ.

Split, studeni 2018.

G.1. STATIČKI PRORAČUN ODZRAČNOG OKNA 1

G.1.0. SVOJSTVA BETONA I ARMATURE

Kod izvedbe betonskih i armirano-betonskih radova mora se primjenjivati "Tehnički propis za građevinske konstrukcije" (NN 17/2017) s pripadnim prilogima i normama.

Odzračno okno 1 izgradit će se od betona razreda tlačne čvrstoće C30/37.

BETON KONSTRUKCIJA C30/37:

NORMA:	HRN EN 206-1
RAZRED TLAČNE ČVRSTOĆE:	C30/37
MAKSIMALNO ZRNO AGREGATA:	32 mm
RAZRED SLIJEGANJA:	S4
RAZRED SADRŽAJA KLORIDA:	CL 0,20
KLASA IZLOŽENOSTI:	XC2
MINIMALNA KOLIČINA CEMENTA:	360 (kg/m ³)
VODOCEMENTNI FAKTOR (max):	0.42 do 0.45
VODONEPROPUSNOST (DIN 1048) - srednja:	< 3.0 cm
- max.:	< 5.0 cm
OTPORNOST NA MRAZ (HRN U.M1.016):	50.
MINIMALNO VRIJEME OBRADIVOSTI (min):	90.
TEMPERATURA SVJEŽEG BETONA (°C):	5 - 30.
DODATAK SUPERPLASTIFIKATORA	DA
MINIMALNI ZAŠTITNI SLOJ BETONA (mm)	35

Nazivna debljina zaštitnog sloja: $c_{nom}=c_{min}+\Delta c=35\pm 15=20-50$ mm za zidove, donju i gornju ploču.

Usvojeno: $c_{nom}=40$ (mm)

Čelik za armiranje:

Naziv i oznaka čelika:

Šipka nHRN EN 10080-3 – B500B Φ xL

Mreža nHRN EN 10080-5 – B500B – Q

Karakteristična granica popuštanja:

$f_{yk}=500$ (MPa) (R_e)

Proračunska granica popuštanja:

$f_{yd}=f_{yk}/\gamma_s=500/1.15=435$ (MPa)

Karakteristična vlačna čvrstoća:

$f_{tk}=540$ (MPa) (R_m)

Razred duktilnosti:

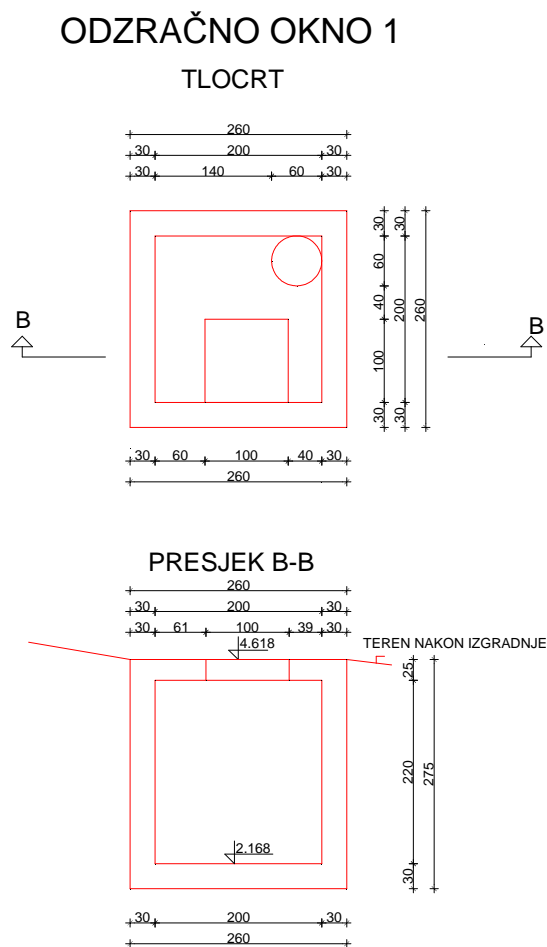
razred (B), visoka duktilnost (H)

Modul elastičnosti:

$E_s=200000$ (MPa)

G.1.1. TLOCRT I POPREČNI PRESJEK ODZRAČNOG OKNA 1

Na slici G.1. dat je tlocrt i vertikalni presjek odzračnog okna 1.



Slika G.1. Tlocrt i vertikalni presjek odzračnog okna 1

Analiza opterećenja:

Tlak tla:

$$\rho = 2000(\text{kg}/\text{m}^3)$$

$$\varphi = 25^\circ$$

$$\delta = \varphi/2 = 12.5^\circ$$

$$k_m = 1 - \sin(\varphi) = 0.5774$$

Stalno opterećenje na gornjoj ploči:

$$g = 0.25 \times 25 = 6.25(\text{kN}/\text{m}^2)$$

Promjenjivo opterećenje:

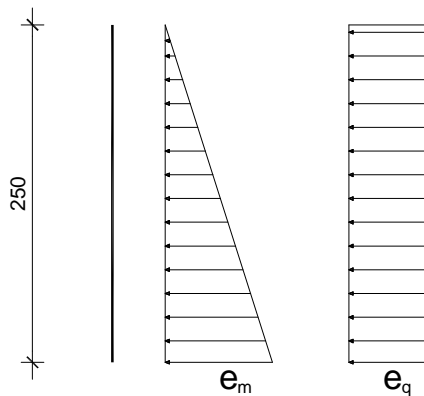
$$\text{Na površini terena: } q = 16.60(\text{kN}/\text{m}^2), : P = 150(\text{kN}).$$

$$\text{Uz okno: } q = 16.60(\text{kN}/\text{m}^2).$$

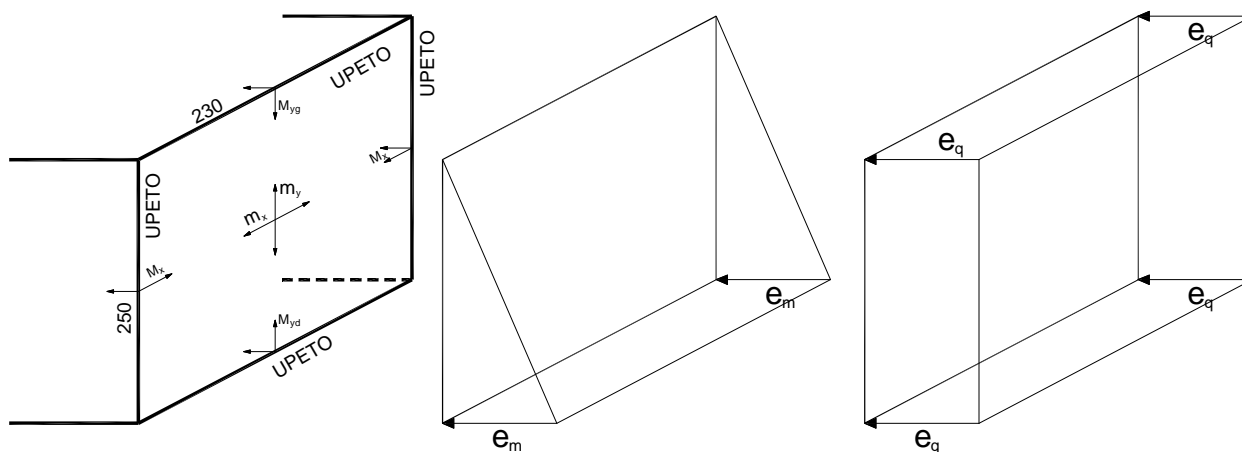
G.1.2. STATIČKI PRORAČUN ZIDOVA

Na slici G.2. prikazan je raspored opterećenja u vertikalnoj ravnini na zid. Na slici G.3. data je statička shema za proračun zida. Usvaja se nosivost u dva smjera.

OPTERECENJE U VERT. RAVNINI



Slika G.2. Opterećenje zidova



Slika F.3. Statička shema za proračun zidova

$$e_m = 20.0 \cdot 0.5774 \cdot 2.50 = 28.87 (kN/m^2)$$

$$e_q = 16.6 \cdot 0.5774 = 9.585 (kN/m^2)$$

Najmanja dopuštena armatura u presjeku zida:

$$A_{s,min} = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot \frac{A_{ct}}{f_{yk}} = 0.4 \cdot 1 \cdot 2.6 \cdot \frac{0.5 \cdot b \cdot d}{f_{yk}} = 0.4 \cdot 1 \cdot 2.6 \cdot \frac{0.5 \cdot 100 \cdot 30}{500} = 3.12 (cm^2/m')$$

$$A_{s,min} = 0.0015 \cdot b \cdot d = 0.0015 \cdot 100 \cdot 30 = 4.50 (cm^2/m') - mjerodavno$$

Maksimalni momenti u zidu:

$$P_m = \frac{1}{2} \cdot e_m \cdot l_x \cdot l_y = \frac{1}{2} \cdot 28.87 \cdot 2.30 \cdot 2.50 = 83.001 \text{ (kN)}$$

$$P_q = e_q \cdot l_x \cdot l_y = 9.585 \cdot 2.30 \cdot 2.50 = 55.114 \text{ (kN)}$$

$$\frac{l_y}{l_x} = \frac{2.50}{2.30} = 1.087 \sim 1.10. \alpha_{xq} = 0.0194; \alpha_{yq} = 0.0161; \beta_{xq} = 0.0450; \beta_{yq} = 0.0372$$

$$\frac{l_y}{l_x} = \frac{2.50}{2.30} = 1.087 \sim 1.10. \alpha_{xm} = 0.0205; \alpha_{ym} = 0.0190; \beta_{xm} = 0.0477; \beta_{ymd} = 0.0538; \beta_{ymg} = 0.0302$$

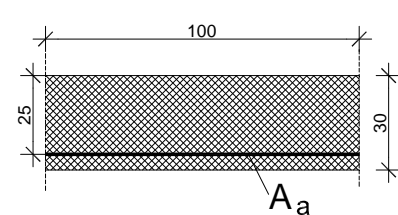
$$m_{ux} = 1.6 \cdot \alpha_{xm} \cdot P_m + 1.8 \cdot \alpha_{xq} \cdot P_q = 1.6 \cdot 0.0205 \cdot 83.001 + 1.8 \cdot 0.0194 \cdot 55.114 = 3.665 \text{ (kNm)}$$

$$m_{uy} = 1.6 \cdot \alpha_{ym} \cdot P_m + 1.8 \cdot \alpha_{yq} \cdot P_q = 1.6 \cdot 0.0190 \cdot 83.001 + 1.8 \cdot 0.0161 \cdot 55.114 = 8.039 \text{ (kNm)}$$

$$M_{ux} = 1.6 \cdot \beta_{xm} \cdot P_m + 1.8 \cdot \beta_{xq} \cdot P_q = 1.6 \cdot 0.0477 \cdot 83.001 + 1.8 \cdot 0.0450 \cdot 55.114 = 14.479 \text{ (kNm)}$$

$$M_{uyd} = 1.6 \cdot \beta_{ymd} \cdot P_m + 1.8 \cdot \beta_{yq} \cdot P_q = 1.6 \cdot 0.0538 \cdot 83.001 + 1.8 \cdot 0.0372 \cdot 55.114 = 18.603 \text{ (kNm)}$$

$$M_{uyg} = 1.6 \cdot \beta_{ymg} \cdot P_m + 1.8 \cdot \beta_{yq} \cdot P_q = 1.6 \cdot 0.0302 \cdot 83.001 + 1.8 \cdot 0.0372 \cdot 55.114 = 15.469 \text{ (kNm)}$$

Dimenzioniranje zida na rubu: $M_{uyd} = 18.603 \text{ (kNm)}$		Materijal: Beton C30/37, MA - B500
---	---	--

$$k_{hb} = \frac{h}{\sqrt{M_u/b}} = \frac{25}{\sqrt{1860.3/100}} = 5.796$$

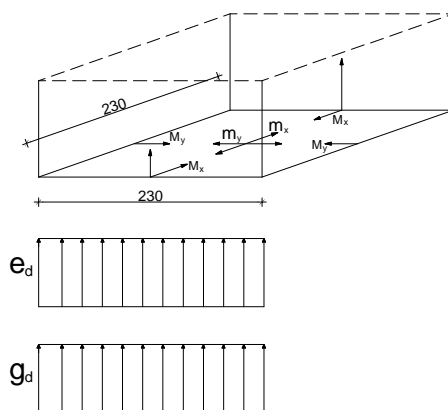
$$\varepsilon_b = 0.05\%; \varepsilon_a = 1.00\%; k_z = 0.984; A_a = \frac{M_u}{k_z \cdot h \cdot \sigma_v} = \frac{1860.3}{0.984 \cdot 25 \cdot 50} = 1.512 \text{ (cm}^2\text{)}$$

Odabrana armatura za vanjsku i unutarnju zonu: Q-503 (ϕ 8 mm/10x10 cm).

Odabrana armatura površine $5.03 \text{ (cm}^2\text{/m)} > A_{smin}$.

G.1.3. STATIČKI PRORAČUN DONJE PLOČE

OPTERECENJE NA DONJU PLOČU



Slika G.4. Opterećenje donje ploče

Donja ploča djeluje kao obostrano upeta ploča s jednakim rasponima.

Opterećenje iznosi:

$$e_d = q = \frac{150}{2.60 \cdot 2.60} = 22.189 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$g_q = \frac{224.610}{2.60 \cdot 2.60} = 33.226 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

Najmanja dopuštena armatura u presjeku donje ploče iznosi $4.50 \text{ (cm}^2\text{/m')}$.

$$\frac{l_x}{l_y} = \frac{2.30}{2.30} = 1.00; \alpha_x = 0.0179; \alpha_y = 0.0179; \beta_x = 0.0417; \beta_y = 0.0417$$

$$\text{Stalno opterećenje: } G = g_d \cdot l_x \cdot l_y = 33.226 \cdot 2.3 \cdot 2.3 = 175.765 \text{ (kN)}$$

$$\text{Pokretno opterećenje: } P = e_d \cdot l_x \cdot l_y = 22.189 \cdot 2.3 \cdot 2.3 = 117.380 \text{ (kN)}$$

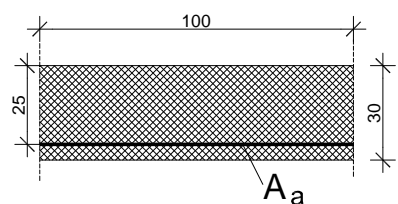
Maksimalni momenti u donjoj ploči:

$$m_{ux} = 1.6 \cdot \alpha_x \cdot G + 1.8 \cdot \alpha_x \cdot P = 1.6 \cdot 0.0179 \cdot 175.765 + 1.8 \cdot 0.0179 \cdot 117.380 = 8.816 \text{ (kNm)}$$

$$m_{uy} = 1.6 \cdot \alpha_y \cdot G + 1.8 \cdot \alpha_y \cdot P = 1.6 \cdot 0.0179 \cdot 175.765 + 1.8 \cdot 0.0179 \cdot 117.380 = 8.816 \text{ (kNm)}$$

$$M_{ux} = 1.6 \cdot \beta_x \cdot G + 1.8 \cdot \beta_x \cdot P = 1.6 \cdot 0.0417 \cdot 175.765 + 1.8 \cdot 0.0417 \cdot 117.380 = 20.538 \text{ (kNm)}$$

$$M_{uy} = 1.6 \cdot \beta_y \cdot G + 1.8 \cdot \beta_y \cdot P = 1.6 \cdot 0.0417 \cdot 175.765 + 1.8 \cdot 0.0417 \cdot 117.380 = 20.538 \text{ (kNm)}$$

<p>Dimenzioniranje donje ploče na rubu: $M_{ux} = 20.538 \text{ (kNm)}$</p>		<p>Materijal: Beton C30/37, MA - B500</p>
--	---	---

$$k_{hb} = \frac{h}{\sqrt{M_u/b}} = \frac{25}{\sqrt{2053.8/100}} = 5.516$$

$$\varepsilon_b = 0.06\%; \varepsilon_a = 1.00\%; k_z = 0.981; A_a = \frac{M_u}{k_z \cdot h \cdot \sigma_v} = \frac{2053.8}{0.981 \cdot 25 \cdot 50} = 1.675 \text{ (cm}^2\text{)}$$

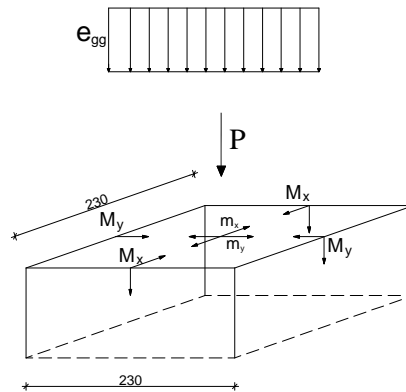
Odabrana armatura za polje i za rubove: Q-503 (ϕ 8 mm/10x10 cm).

Odabrana armatura površine $5.03 \text{ (cm}^2\text{/m')} > A_{smin}$.

Za vezu armature zida i donje ploče, kao i zidova međusobno treba upotrijebiti šipke L oblika 80+80 (cm), $\Phi 12/20 = 5.65 \text{ (cm}^2\text{/m')} > A_{smin}$.

G.1.4. STATIČKI PRORAČUN GORNJE PLOČE

OPTEREĆENJE NA GORNJU PLOČU



Slika G.5. Opterećenje gornje ploče

$$e_{gg} = 6.25(kN/m^2)$$

$$P = 150(kN)$$

Svi rubovi su upeti.

Najmanja dopuštena armatura u presjeku gornje ploče:

$$A_{s,min} = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot \frac{A_{ct}}{f_{yk}} = 0.4 \cdot 1 \cdot 2.6 \cdot \frac{0.5 \cdot b \cdot d}{f_{yk}} = 0.4 \cdot 1 \cdot 2.6 \cdot \frac{0.5 \cdot 100 \cdot 25}{500} = 2.60(cm^2/m')$$

$$A_{s,min} = 0.0015 \cdot b \cdot d = 0.0015 \cdot 100 \cdot 25 = 3.75(cm^2/m') - mjerodavno$$

$$\text{Stalno opterećenje: } G = e_{gg} \cdot l_x \cdot l_y = 6.25 \cdot 2.3 \cdot 2.3 = 33.063(kN)$$

$$\text{Pokretno opterećenje: } P = 150.00(kN)$$

$$\frac{l_x}{l_y} = \frac{2.30}{2.30} = 1.00; \alpha_x = 0.0179; \alpha_y = 0.0179; \beta_x = 0.0417; \beta_y = 0.0417$$

Maksimalni momenti u gornjoj ploči:

$$m_{ux} = 1.6 \cdot \alpha_x \cdot G + 1.8 \cdot \alpha_x \cdot P = 1.6 \cdot 0.0179 \cdot 33.063 + 1.8 \cdot 0.0179 \cdot 150.00 = 5.780(kNm)$$

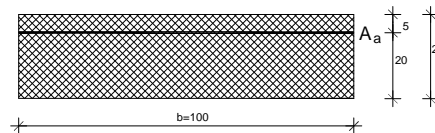
$$m_{uy} = 1.6 \cdot \alpha_y \cdot G + 1.8 \cdot \alpha_y \cdot P = 1.6 \cdot 0.0179 \cdot 33.063 + 1.8 \cdot 0.0179 \cdot 150.00 = 5.780(kNm)$$

$$M_{ux} = 1.6 \cdot \beta_x \cdot G + 1.8 \cdot \beta_x \cdot P = 1.6 \cdot 0.0417 \cdot 33.063 + 1.8 \cdot 0.0417 \cdot 150.00 = 13.465(kNm)$$

$$M_{uy} = 1.6 \cdot \beta_y \cdot G + 1.8 \cdot \beta_y \cdot P = 1.6 \cdot 0.0417 \cdot 33.063 + 1.8 \cdot 0.0417 \cdot 150.00 = 13.465(kNm)$$

Dimenzioniranje gornje ploče na ležaju:

$$M_{ux} = 13.465(kNm)$$



Materijal:
Beton C30/37,
MA - B500

$$k_{hb} = \frac{h}{\sqrt{M_u/b}} = \frac{20}{\sqrt{1346.5/100}} = 5.450$$

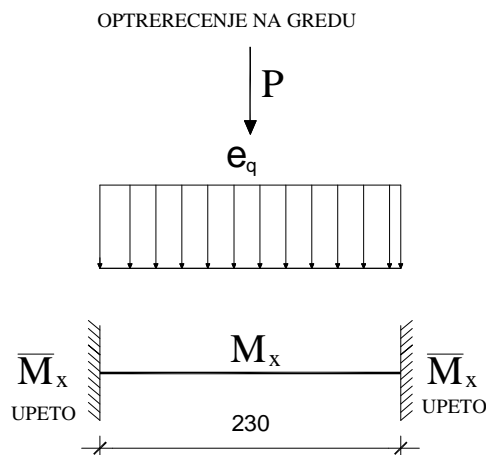
$$\varepsilon_b = 0.06\%; \varepsilon_a = 1.00\%; k_z = 0.981; A_a = \frac{M_u}{k_z \cdot h \cdot \sigma_v} = \frac{1346.5}{0.981 \cdot 20 \cdot 50} = 1.373(cm^2)$$

Odabrana armatura za polje i za ležaj: Q-503 (ϕ 8 mm/10x10 cm).

Odabrana armatura površine $5.03(cm^2/m') > A_{smin}$.

Za vezu armature zida i gornje ploče treba upotrijebiti šipke L oblika 80+80 (cm), $\Phi 12/20=5.65(cm^2/m') > A_{smin}$.

G.1.5. STATIČKI PRORAČUN GREDE U GORNJOJ PLOČI



Slika G.6. Opterećenje grede u gornjoj ploči

$$e_q = 6.25 \cdot 0.4 = 2.50 (kN/m')$$

$$P = 150 (kN)$$

Svi rubovi su upeti.

Maksimalni momenti u gredi na rubu i u polju su (međusobno su jednaki):

$$\overline{M}_{ux} = 1.6 \cdot e_q \cdot \frac{l^2}{12} + 1.8 \cdot P \cdot \frac{l}{8} = 1.6 \cdot 2.50 \cdot \frac{2.3^2}{12} + 1.8 \cdot 150 \cdot \frac{2.3}{8} = 79.388 (kNm)$$

$$\overline{M}_{ux} = 79.388 (kNm)$$

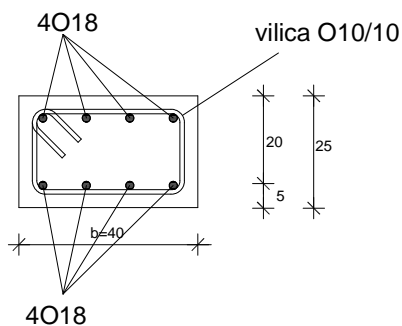
<p>Dimenzioniranje grede na ležaju i u polju:</p> $\overline{M}_{ux} = 79.388 (kNm)$		<p>Materijal: Beton C30/37, Šipka nHRN EN 10080-3 – ΦxL</p>
--	--	---

$$k_{hb} = \frac{h}{\sqrt{M_u/b}} = \frac{20}{\sqrt{7938.8/40}} = 1.420$$

$$\varepsilon_b = 0.35\%; \varepsilon_a = 0.940\%; k_z = 0.887; A_a = \frac{M_u}{k_z \cdot h \cdot \sigma_v} = \frac{7938.8}{0.887 \cdot 20 \cdot 50} = 8.950 (cm^2)$$

Odabrana armatura za ležaj i za polje: RA 4Ø18 (u obje zone)=10.18 (cm²).

Na slici G.7. dat je poprečni presjek grede na ležaju i u polju, s naznačenom armaturom.



Slika G.7. Detalji armiranja grede

Maksimalna poprečna sila:

$$T_g = e_q \cdot \frac{l}{2} = 2.5 \cdot \frac{2.3}{2} = 2.875(kN)$$

$$T_p = P \cdot \frac{1}{2} = 150/2 = 75(kN)$$

$$T_u = 1.6 \cdot T_q + 1.8 \cdot T_p = 1.6 \cdot 2.875 + 1.8 \cdot 75 = 139.60(kN)$$

Dimenzioniranje na poprečnu silu:

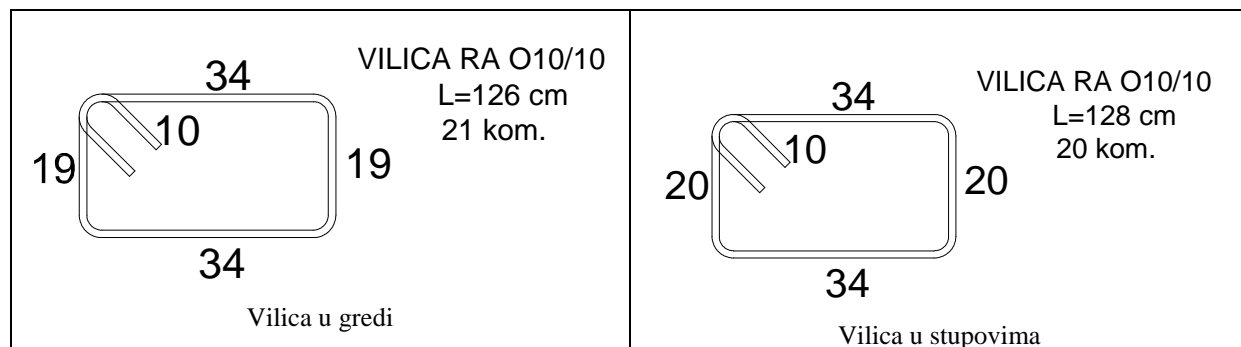
$$A_{Av} = \frac{T_u \cdot e}{z \cdot \sigma_v \cdot m} = \frac{139.60 \cdot 10}{0.887 \cdot 20 \cdot 50 \cdot 2} = 0.787(cm^2)$$

Usvaja se razmak vilica od 10 cm. Minimalna ukupna površina poprečnog presjeka vilice:

$$minA_{Av} = 0.002 \cdot b \cdot e = 0.002 \cdot 40 \cdot 10 = 0.80(cm^2)$$

Odabrano: vilica Φ 10 mm na razmaku 10 cm. Ukupno 21 vilica u gredi, te po 10 u svakom stupu, ukupno 41 kom.

$$A_{Av} = 2 \cdot 0.79 = 1.57(cm^2)$$



Slika G.8. Nacrti vilica za gredu i stupove

G.1.6. KONTROLA UZGONA ODZRAČNOG OKNA 1

Volumen betona okna iznosi 9.540 (m³).

Težina betona okna iznosi 224.610 (kN).

Sila uzgona iznosi 182.368 (kN).

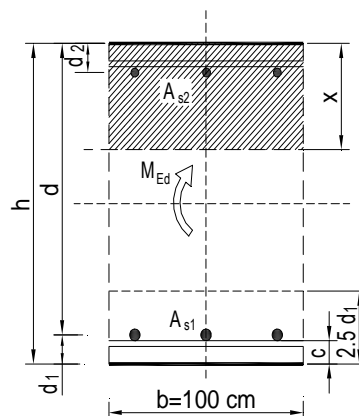
Koeficijent sigurnosti na isplivavanje iznosi: $f_s = \frac{G_{betona}}{F_{uzgona}} = \frac{224.610}{182.368} = 1.23$

G.1.7. PRORAČUN PUKOTINA U ZIDOVIMA NA RUBU

Kontrola pukotina - u zidovima:

$b =$	100,0 cm	$d =$	25,0 cm	$h =$	30,0 cm
$f_{ck} =$	30,0 MN/m ²	$f_{ctm} =$	2,90 MN/m ²	$w_g =$	0,30 mm
$A_{s1} =$	5,03 cm ²	$A_{s2} =$	5,03 cm ²	$d_1 = d_2 =$	5,0 cm
$E_s =$	210,00 GN/m ²	$E_{cm} =$	32,80 GN/m ²	$\alpha_e = E_s/E_{cm} =$	6,40
$M_{Ed} =$	10,8 kNm	$k_t =$	0,40		
$\sigma_s =$	89,92 MN/m ²				
$x =$	3,80 cm	$\rho_{p,eff} =$	0,0040		
$(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) =$	-0,000978	$< 0,6 \cdot \sigma_s/E_s =$	0,000257		
$\varnothing =$	8,0 mm	$c =$	4,00 cm		
$k_1 =$	0,8	$k_2 =$	0,50		
$k_3 =$	3,4	$k_4 =$	0,43		
$s_{r,max} =$	473,97 mm				

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = 0,122 \text{ mm} < w_g$$



Proračun

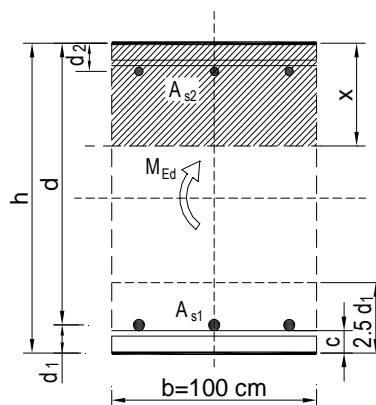
pukotina zadovoljava.

G.1.8. PRORAČUN PUKOTINA U DONJOJ PLOČI

Kontrola pukotina - u donjoj ploči:

$b =$	100,0 cm	$d =$	25,0 cm	$h =$	30,0 cm
$f_{ck} =$	30,0 MN/m ²	$f_{ctm} =$	2,90 MN/m ²	$w_g =$	0,30 mm
$A_{s1} =$	5,03 cm ²	$A_{s2} =$	5,03 cm ²	$d_1 = d_2 =$	5,0 cm
$E_s =$	210,00 GN/m ²	$E_{cm} =$	32,80 GN/m ²	$\alpha_e = E_s/E_{cm} =$	6,40
$M_{Ed} =$	12,2 kNm	$k_t =$	0,40		
$\sigma_s =$	101,49 MN/m ²				
$x =$	3,80 cm	$\rho_{p,eff} =$	0,0040		
$(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) =$	-0,000923	$< 0,6 \cdot \sigma_s/E_s =$	0,000290		
$\varnothing =$	8,0 mm	$c =$	4,00 cm		
$k_1 =$	0,8	$k_2 =$	0,50		
$k_3 =$	3,4	$k_4 =$	0,43		
$s_{r,max} =$	473,97 mm				

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = 0,137 \text{ mm} < w_g$$



Proračun pukotina zadovoljava.

G.2. STATIČKI PRORAČUN ODZRAČNOG OKNA 2

Odzračno okno 2 je istih dimenzija kao i odzračno okno 1, te se usvaja identičan proračun za odzračno okno 2 kao i za odzračno okno 1.

Projektant: Dr. sc. Davor Bojanić, dipl.ing.građ.