

Idejno dispoziciono rešenje (baterije ćelija) silosa

Kapacitet: 11500 t žita

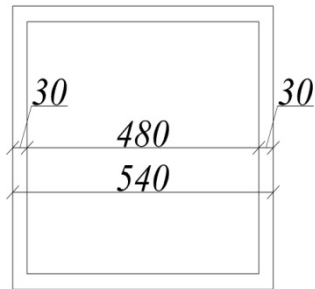
Oblik ćelija: kvadratni

Temeljenje na ploči, $\sigma_{tla,dop}=220 \text{ kN/m}^2$

Pretpostavlja se da su sopstvena težina silosa i težina skladištenog materijala u odnosu: 40% konstrukcija, 60% skladišteni materijal.

$$g \approx (40 \times 11500) \div 60 = 7666,67 \text{ t}$$

Usvojeno $g = 7700 \text{ t}$

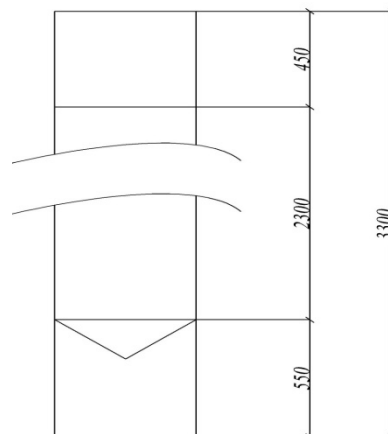


Usvojen oblik ćelije prikazan je na skici, i odatle imamo:

$$F_{\text{cel}} = 4,8 \times 4,8 = 23,04 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{pot}} = (11500 \times 10) \div 7,5 = 15333,33 \text{ m}^3$$

(uzeto je $\gamma_{\text{žita}}=7,5 \text{ kN/m}^3$, $1 \text{ t}=10 \text{ kN}$)



$$\text{Pretpostavljeno } n=30; h_{\text{potr}} = \frac{15333,33}{30 \times 23,04} = 22,18 \text{ m},$$

usvaja se $h=23 \text{ m}$

Ukupna zapremina svih ćelija silosa je:

$$23 \times 30 \times 23,04 = 15897,6 \text{ m}^3 > 15333,33 \text{ m}^3, \text{koliko je potrebno}$$

Dimenzije prepusta:

$$l_k = \frac{1}{3} \times l_c = \frac{1}{3} \times 5,1 = 1,7 \text{ m}$$

Potrebna površina temeljne ploče:

$$A_{potr} = \frac{G+P}{\sigma_{dop}} = (11500 + 7700) \times 10 \div 220 = 872,73 \text{ m}^2$$

Usvojena površina temeljne ploče je:

$$A_{stv} = (6 \times 5,1 + 0,3 + 2 \times 1,7) \times (5 \times 5,1 + 0,3 + 2 \times 1,7) = 1001,56 \text{ m}^2$$

Potrebna debljina temeljne ploče:

$$T = (q_r - q_{tem}) \times l_k$$

$$T = (220 - 20) \times 1,70 = 340 \text{ kN/m}$$

Prosečan koeficijent sigurnosti: $\gamma = 0,40 \times 1,60 + 0,60 \times 1,80 = 1,72$

Treba da bude ispunjen uslov $\tau < \tau_r$

$$T_u = 1,72 \times 340 = 584,8 \text{ kN/m}$$

$$\tau = \frac{584,8}{100 \times 0,9 \times 0,9 \times d} \leq 0,11 \text{ kN/cm}^2$$

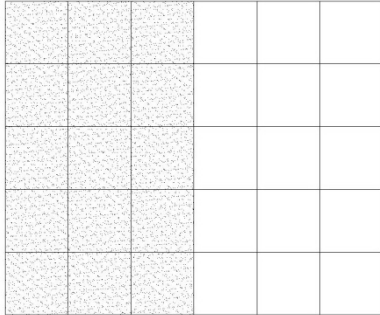
$$d \geq 65,63 \text{ cm, usvojeno } d=70 \text{ cm}$$

Usvojeno je, konačno, 30 ćelija: 5 redova, 6 kolona.

Proračun naprezanja u temelju (slučajevi kada je temelj ekscentrično opterećen):

Podužni pravac

Najnepovoljniji je slučaj kada su napunjene 3 kolone baterije silosa sa jedne strane:



$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} = \frac{134500 \text{ kN}}{(6 \times 5,1 + 0,3 + 3,4) \times (5 \times 5,1 + 0,3 + 3,4) \text{ m}^2} \pm \frac{57500 \times 5,1 \times \frac{3}{2} \times 6 \text{ kNm}}{(6 \times 5,1 + 0,3 + 3,4)^2 \times (5 \times 5,1 + 0,3 + 3,4) \text{ m}^3} =$$

$$= \frac{134500}{34,3 \times 29,2} \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \pm \frac{2639250}{34,3^2 \times 29,2} \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 134,29 \pm 76,83 \Rightarrow$$

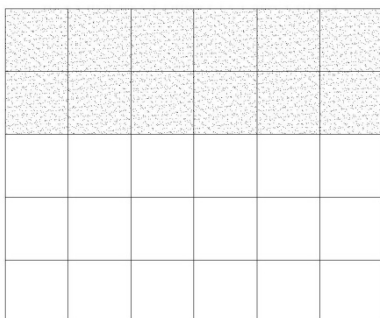
$$211,12 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \leq 220 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = \sigma_{dop}$$

$$57,46 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \geq 0 \Rightarrow \text{uslov da nema zatezanja}$$

Poprečni pravac

Posmatrajući ovaj pravac, uočavamo dva moguća nepovoljna slučaja ekscentričnog opterećenja temelja:

Slučaj 1- kada su napunjena 2 reda ćelija sa jedne strane silosa:



Projekat silosa, Zrenjanin

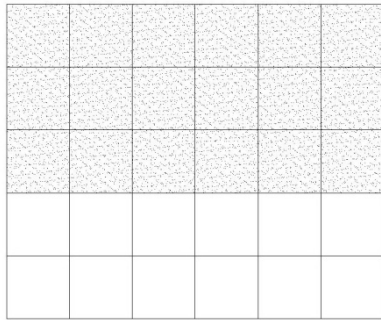
$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} = \frac{123000kN}{(6 \times 5,1 + 0,3 + 3,4) \times (5 \times 5,1 + 0,3 + 3,4)m^2} \pm \frac{46000 \times 5,1 \times 3 / 2 \times 6kNm}{(6 \times 5,1 + 0,3 + 3,4) \times (5 \times 5,1 + 0,3 + 3,4)^2 m^3} =$$

$$= \frac{123000}{34,3 \times 29,2} \frac{kN}{m^2} \pm \frac{2111400}{34,3 \times 29,2^2} \frac{kN}{m^2} = 122,81 \pm 72,19 \Rightarrow$$

$$195,0 \frac{kN}{m^2} \leq 220 \frac{kN}{m^2} = \sigma_{dop}$$

$$50,62 \frac{kN}{m^2} \geq 0 \Rightarrow \text{uslov da nema zatezanja}$$

Slučaj 2- kada su napunjena 3 reda ćelija sa jedne strane silosa:



$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} = \frac{146000kN}{(6 \times 5,1 + 0,3 + 3,4) \times (5 \times 5,1 + 0,3 + 3,4)m^2} \pm \frac{69000 \times 5,1 \times 6kNm}{(6 \times 5,1 + 0,3 + 3,4) \times (5 \times 5,1 + 0,3 + 3,4)^2 m^3} =$$

$$= \frac{146000}{34,3 \times 29,2} \frac{kN}{m^2} \pm \frac{2111400}{34,3 \times 29,2^2} \frac{kN}{m^2} = 145,77 \pm 72,19 \Rightarrow$$

$$217,96 \frac{kN}{m^2} \leq 220 \frac{kN}{m^2} = \sigma_{dop}$$

$$73,58 \frac{kN}{m^2} \geq 0 \Rightarrow \text{uslov da nema zatezanja}$$

Provera nosivosti tla pri dejstvu seizmičkog opterećenja

Ukupna visina silosa: $h = 33m + d_{pl} = 33 + 0,7 = 33,70m$

Seizmička sila deluje u polovini $h/2 = 16,85m$

Ukupna seizmička sila: $S = a/g(G+P) = 0,13(77000 + 115000) = 24960kN$

Moment seizmičke sile: $M = S \times \frac{h}{2} = 24960 \times 16,85 = 420576kNm$

Dopušteni napon za slučaj seizmike:

$$\sigma_{dop} = 220 \frac{kN}{m^2} = \frac{\sigma_u}{\gamma_u} \quad \text{usvojeno } \gamma_u = 2,0$$

$$\sigma_u = 440 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{dop,s} = \frac{440}{\gamma_s} = \frac{440}{1,5} = 293,3 \text{ kN/m}^2$$

Proračun naprezanja u temelju usled seizmičke sile:

Podužni pravac

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} = \frac{192000 \text{ kN}}{(6 \times 5,1 + 0,3 + 3,4) \times (5 \times 5,1 + 0,3 + 3,4) \text{ m}^2} \pm \frac{420576 \times 6 \text{ kNm}}{(6 \times 5,1 + 0,3 + 3,4)^2 \times (5 \times 5,1 + 0,3 + 3,4) \text{ m}^3} = \\ &= \frac{192000}{1001,56} \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \pm \frac{2523456}{34,3^2 \times 29,2} \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 191,70 \pm 73,46 \Rightarrow \begin{aligned} &265,16 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \leq 293,3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = \sigma_{dop} \\ &118,24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \geq 0 \Rightarrow \text{uslov da nema zatezanja} \end{aligned} \end{aligned}$$

Poprečni pravac

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} = \frac{192000 \text{ kN}}{(6 \times 5,1 + 0,3 + 3,4) \times (5 \times 5,1 + 0,3 + 3,4) \text{ m}^2} \pm \frac{420576 \times 6 \text{ kNm}}{(6 \times 5,1 + 0,3 + 3,4) \times (5 \times 5,1 + 0,3 + 3,4)^2 \text{ m}^3} = \\ &= \frac{192000}{34,3 \times 29,2} \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \pm \frac{2523456}{34,3 \times 29,2^2} \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 191,70 \pm 86,28 \Rightarrow \begin{aligned} &277,99 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \leq 293,3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = \sigma_{dop} \\ &105,41 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \geq 0 \Rightarrow \text{uslov da nema zatezanja} \end{aligned} \end{aligned}$$

Proračun opterećenja za zid silosa (sa korakom od 1m)

Karakteristike materijala za proračun sila:

$$\gamma=8,5 \text{ kN/m}^3 \text{ (klasa 2)}$$

$$\lambda=0,6 \text{ (klasa 4)}$$

$$\mu=0,3 \text{ (klasa 1)}$$

Pri izračunavanju maksimalnih projektnih opterećenja, uzimaju se sledeće kombinacije za λ i μ (prema JUS.ISO.11697):

$$p_h: 1,15\lambda \quad 0,90\mu$$

$$p_v: 0,90\lambda \quad 0,90\mu$$

$$p_w: 1,15\lambda \quad 1,15\mu$$

Za kvadratni silos: $R=a/2=5,1/2=2,55\text{m}$

$$z_0 = R \div (\lambda' + \mu')$$

$$C_z = 1 - e^{(-\frac{z}{z_0})}$$

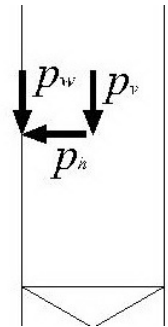
$$p_{he} = \gamma \times R / \mu' \times C_z(z) \times C$$

$$p_{ve} = \gamma \times \frac{R}{\lambda' \times \mu'} \times C_z(z) \times C$$

$$p_{we} = \gamma \times R \times C_z(z) \times C$$

Koeficijentom natpritiska C uvećava se opterećenje pri pražnjenju silosa. Za predmetni silos $C=1,35$ ($\frac{h}{d} \geq 1,35$).

Prikaz opterećenja sa korakom od 1m dat je u prilogu.



Računski potrebna horizontalna armatura u najopterećenijem preseku (to je presek $h=0$, odnosno, u tabeli u prilogu, označen sa $z=23m$):

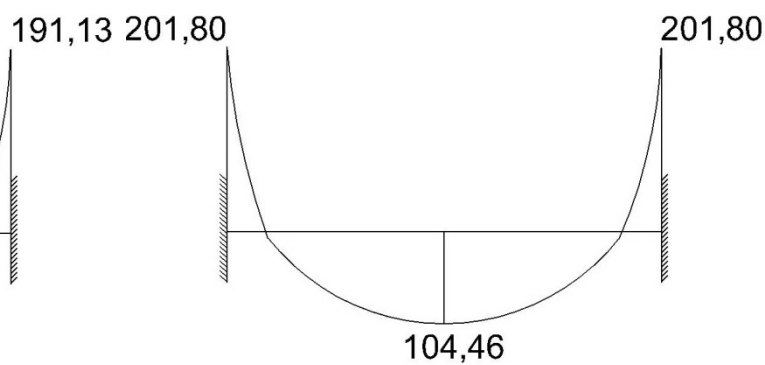
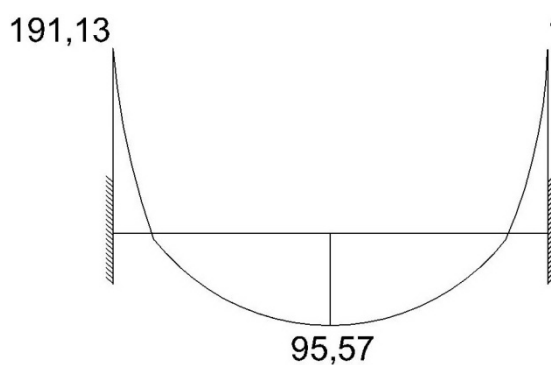
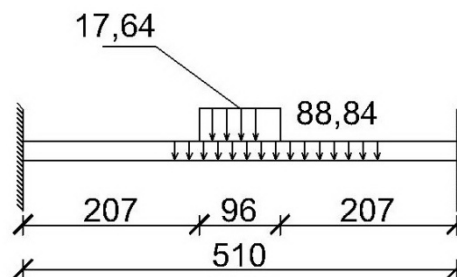
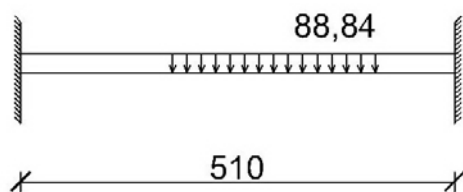
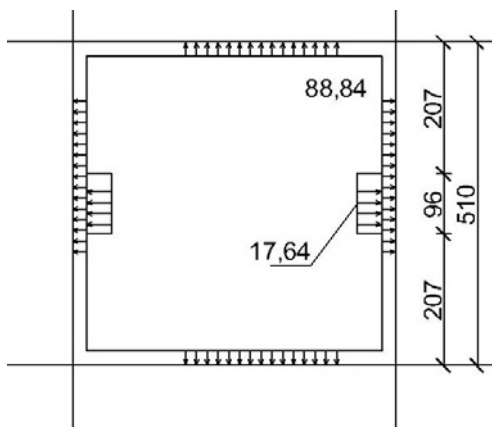
Šema opterećenja, zajedno sa dodatnim opterećenjem:

$$p=88,184 \text{ kN/m}^2$$

Dopunsko opterećenje:

$$p'=17,64 \text{ kN/m}^2$$

Deo na koji deluje dopunsko opterećenje je $0,8 \times \frac{A}{u} = 0,8 \times \frac{23,04}{19,2} = 0,96m$



Proračun potrebne armature za preseke u uglovima:

$$Z = 88,184 \times \frac{4,8}{2} = 211,64 \text{ kN/m}$$

$$\max M = 201,8 \text{ kNm/m}$$

$$Z_u = 1,8 \times 211,64 = 380,96 \text{ kN/m}$$

$$M_u = 1,8 \times 201,8 = 363,24 \text{ kNm/m}$$

$$M_{au} = 363,24 - 380,96 \times \left(\frac{0,3}{2} - 0,045 \right) = 323,24 \text{ kNm/m}$$

Usvaja se RA400/500, MB45 ($f_b=2,775 \text{ kN/cm}^2$).

$$k = 25,5 / \left(\sqrt{323,24 \times \frac{100}{100 \times 2,775}} \right) = 2,363 \quad \bar{\mu} = 19,95\%$$

$$A_{potr.} = 19,95 \times \frac{100 \times 25,5}{100} \times \frac{2,775}{40} + \frac{380,96}{40} = 44,82 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Usvojeno RØ25/10.

$$A_{a,usv.} = 49,1 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Podeona armatura: $A_{a,p} = 0,2 \times 44,82 = 8,96 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$, usvojeno RØ12/10 ($11,3 \text{ cm}^2/\text{m}$).

Proračun potrebne armature za preseke u sredini zidova ćelija:

$$Z = 88,184 \times \frac{4,8}{2} = 211,64 \text{ kN/m}$$

$$\max M = 104,46 \text{ kNm/m}$$

$$Z_u = 1,8 \times 211,64 = 380,96 \text{ kN/m}$$

$$M_u = 1,8 \times 104,46 = 188,02 \text{ kNm/m}$$

$$M_{au} = 188,02 - 380,96 \times \left(\frac{0,3}{2} - 0,045 \right) = 148,02 \text{ kNm/m}$$

Usvaja se RA400/500, MB45 ($f_b=2,775 \text{ kN/cm}^2$).

$$k = 25,5 / \left(\sqrt{148,02 \times \frac{100}{100 \times 2,775}} \right) = 3,492 \quad \bar{\mu} = 8,661\%$$

$$A_{potr.} = 8,661 \times \frac{100 \times 25,5}{100} \times \frac{2,775}{40} + \frac{380,96}{40} = 24,84 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Usvojeno RØ25/20.

$$A_{a,usv.} = 24,55 \text{ cm}^2/\text{m} \approx A_{potr.}$$

Podeona armatura: $A_{a,p} = 0,2 \times 25,33 = 5,06 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$, usvojeno RØ12/20 ($5,65 \text{ cm}^2/\text{m}$).

Proračun opterećenja na levak

$$p_{h0} = 65,321 \text{ kN/m}^2$$

$$\alpha = 45^\circ (\alpha > 20^\circ)$$

$$\cos \alpha = 0,707$$

$$\sin \alpha = 0,707$$

$$\lambda = 0,9 \times 0,6 = 0,54$$

$$\mu = 0,9 \times 0,3 = 0,27$$

$$\begin{aligned} p_{n1} &= 1,5 \times p_{h0} \times (1 \div \lambda \times (\cos \alpha)^2 + (\sin \alpha)^2) \\ &= 1,5 \times 65,321 \times (1 \div 0,54 \times 0,707^2 + 0,707^2) = 139,672 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$p_{n2} = \frac{1,5}{\lambda} \times p_{h0} \times (\cos \alpha)^2 = \frac{1,5}{0,54} \times 65,321 \times 0,707^2 = 90,696 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{n3} = 3 \times \frac{A}{u} \times \gamma \times \frac{\lambda}{\sqrt{\mu}} \times (\sin \alpha)^2 = 3 \times \frac{23,04}{19,2} \times 7,5 \times \frac{0,54}{\sqrt{0,27}} \times 0,707^2 = 14,025 \text{ kN/m}^2$$

$$p_t = \mu \times (p_{n1} + p_{n2} + p_{n3}) = 0,27 \times (139,672 + 90,696 + 14,025) = 65,986 \text{ kN/m}^2$$

$$p_3 = 2 \times p_{h0} = 2 \times 65,321 = 130,642 \text{ kN/m}^2$$