

UNIVERZITET U BEOGRADU

Dr Miloš Lazović
Mr Mirjana Vukićević
Mr Selimir Lelović

ZBIRKA ZADATAKA IZ FUNDIRANJA

GRADEVINSKI FAKULTET
Beograd, 1995.

Dr Mилош Lazović
Mr Mirjana Vukićević
Mr Selimir Lelović

ZBIRKA ZADATAKA
IZ FUNDIRANJA

Izdavač:
GRADEVINSKI FAKULTET
UNIVERZITETA U BEOGRADU
Beograd, Bulevar Revolucije 73/1

Recenzenti:
Prof. dr Dejan Bajić
Prof. dr Čedomir Vujčić

Odobreno za štampu od strane Komisije za
izdavačku delatnost Građevinskog fakulteta
u Beogradu po preporuci Katedre za
građevinsku geotehniku

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотекa Србије, Београд

624.15 (075.8) (076)

ЛАЗОВИЋ, Милош

Zbirka zadataka iz fundiranja / Mилош
Lazović, Mirjana Vukićević, Selimir Lelović.

- Beograd : Građevinski fakultet, 1995

(Beograd : Zavod za grafičku tehniku
Tehnološko-metalurškog fakulteta). - 204
str. ; 24 cm

Na vrhu nasl. str. : Univerzitet u Beogradu. -

Tiraž: 500. - Bibliografija : str. 204.

1. Вукитјевић, Мирјана 2. Леловић, Селмир
а) Фундираније - Задаци
ID=38922764

Tiraž: 500 primeraka

Štampa: Zavod za grafičku tehniku
Tehnološko-metalurškog fakulteta
Beograd, Karmegijeva br. 4

Predgovor prvom izdanju

Zbirka zadataka iz Fundiranja namenjena je prvenstveno studentima građevinskog fakulteta, mada može biti od koristi i građevinskim inženjerima pri rešavanju određenih praktičnih problema iz fundiranja. Nastala je iz potrebe da se u određenoj meri otkloni nedostatak udžbeničkog materijala i pomogne studentima lakše savladavanje nastavnog programa iz Fundiranja i pripremanje ispita iz ovog predmeta.

Zbirka je podeljena na poglavlja u kojima su obrađeni skoro svi načini plitkog i dubokog fundiranja. Zadaci su rađeni sa realnim podacima tako da studenti mogu steći pravu sliku o redu veličine elemenata, opreme i konstrukcija koje se koriste u fundiranju. Najveći broj zadataka urađen je na način kojim se izlaže studentima na predavanjima i važbanjima. Radi sagledavanja kompleksnosti problema koji se rešavaju u fundiranju, određen broj zadataka rešen je uz pomoć računara a rezultati tih proračuna prikazani su u sažetoj formi.

U prilogima na kraju zbirke su dati dijagrami, određeni izrazi i tabele koji su korišćeni pri rešavanju zadataka.

Autori bi bili zahvalni korisnicima zbirke ukoliko bi ukazali na uočene greške ili propuste, što bi se moglo otkloniti u narednim izdanjima.

Beograd, 1995

Autori

Sadržaj

Predgovor

I Plitko fundiranje

I.1. Temelji ispod zidova	1
I.2. Temelji sanaci	20
I.3. Temeljni nosači	50
I.4. Temeljni roštilji	87
I.5. Temeljna ploča	113

II Duboko fundiranje

II.1. Duboki temelji	124
II.2. Šipovi	133

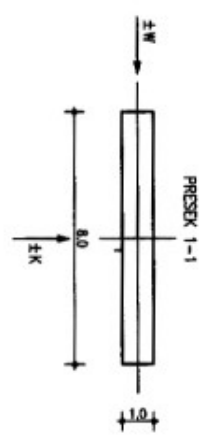
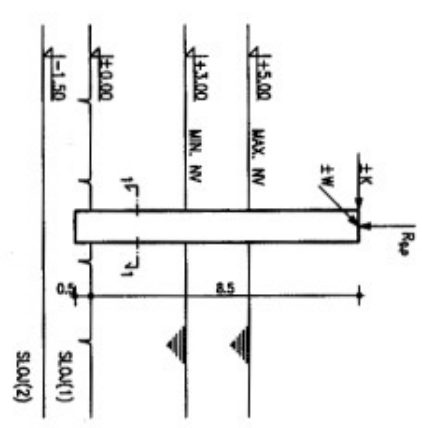
Prilozi

197

Literatura

205

✓ 1.1.1. Za stub mosta, opterećen kao na skici, projektovati temelji od nearmiranog betona MB 20.
Dopuštene napone u tlu odrediti prema izrazima Brinch Hansen-a.



$R_g = 35000\text{ kN}$
 $R_p = 15000\text{ kN}$
 $K = \pm 2000\text{ kN}$
 $W = \pm 3000\text{ kN}$

$\gamma'_1 = 11\text{ kN/m}^3$
 $\phi'_1 = 22^\circ$
 $C_1 = 12\text{ kN/m}^2$
 $\gamma'_2 = 11\text{ kN/m}^3$
 $\phi'_2 = 31^\circ$
 $C_2 = 0$

Rešenje:

Dopušteni napon prema izrazu Brinch-Hansen-a

$$\sigma_{dov} = c_m \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q +$$

$$+ 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma$$

$$c_m = \frac{C_2}{F_{s1}}$$

$$\text{tg} \phi_m = \frac{\text{tg} \phi_2}{F_{s2}}$$

$$F_{s1} = (2 + 3)$$

$$F_{s2} = (1, 2 + 1, 8)$$

$$c_m = 0$$

$$\operatorname{tg} \varphi_m = \frac{\operatorname{tg} 31^\circ}{1,5} = 0,4 \quad \Rightarrow \quad \varphi_m = 21,83^\circ$$

Iz tabele II.4 (fundiranje I, S. Stevanović)

$$N_c = 16,88 \quad N_q = 7,82 \quad N_\gamma = 4,96$$

Usvojicemo za prvu iteraciju $L/B = 4,0$

$$s_c = 1 + 0,2 \frac{B}{L} = 1,05$$

$$s_q = s_c = 1,05$$

$$s_\gamma = 1 - 0,4 \frac{B}{L} = 0,9$$

Pretpostavljamo za prvu iteraciju $D_f = 3,0 \text{ m}$ $B = 3,0 \text{ m}$

$$d_c = 1 + 0,35 \frac{D_f}{B} = 1,35$$

$$d_q = d_c - \frac{d_c - 1}{N_q} = 1,305$$

$$d_\gamma = 1$$

$$i_g = i_c = i_\gamma = 1$$

$$\sigma_{dov}^I = 11,0 \cdot 2,5 \cdot 7,82 \cdot 1,025 \cdot 1,21 \cdot 1,0 + 0,5 \cdot 11,0 \cdot 3,0 \cdot 4,96 \cdot 0,95 \cdot 1,0$$

$$\sigma_{dov}^I = 376 \text{ kN/m}^2$$

Određivanje površine osnove temelja (I iteracija)

Merodavni uticaji:

$$V_{\max} = R_g + R_p + G_s$$

G_s - težina stuba

G_t - težina temelja

$$G_{s\max} = 1,0 \cdot 9,0 \cdot (5,5 \cdot 25,0 + 3,5 \cdot 15) = 1710 \text{ kN}$$

$$V_{\max} = 6710 \text{ kN}$$

$$M_1 = \pm k \cdot 11,0 = 2200 \text{ kNm}$$

$$M_2 = \pm w \cdot 11,0 = 3300 \text{ kNm}$$

$$\frac{V_{\max}}{B \cdot L} + \frac{M_1}{W_1} + \frac{M_2}{W_2} \leq \sigma_{dov} - \beta \cdot \gamma_b \cdot D_f$$

Odnos stranica osnove temelja će se odrediti iz uslova da prepusti budu minimalni

$$L = 8,0 + 2 \cdot b$$

$$B = 1,0 + 2 \cdot b$$

$$W_1 = \frac{1}{6} B^2 (B + 7,0) \quad W_2 = \frac{1}{6} B \cdot (B + 7,0)^2$$

$$\frac{6710}{6710} + \frac{1}{6} \frac{1}{L} + \frac{6 \cdot 2200}{6 \cdot 2200} + \frac{6 \cdot 3300}{(B + 7,0) \cdot B} + \frac{(B + 7,0) \cdot B^2}{(B + 7,0)^2 \cdot B} = 325,0$$

Iz prethodne jednačine dobija se $B = 3,6 \text{ m}$

$$\text{Usvaja se } B/L = 3,6 / 10,6$$

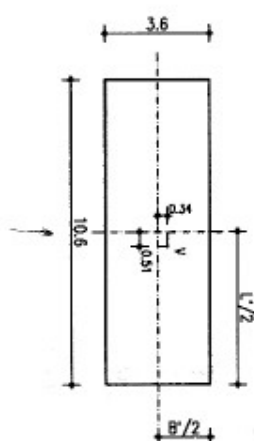
II iteracija

$$L/B = 2,94$$

$$d_c = 1,29$$

$$d_q = 1,25$$

$$d_\gamma = 1,0$$



$$e_2 = \frac{M_1}{V} = 0,34 \text{ m}$$

$$e_1 = \frac{M_2}{V} = 0,50 \text{ m}$$

$$B' = 2,92 \text{ m} \quad L' = 9,58 \text{ m}$$

$$L'/B' = 3,28$$

$$s_c = 1,068$$

$$s_q = 1,068$$

$$s_\gamma = 0,86$$

Nagib rezultante:

$$W_R = \sqrt{200^2 + 300^2} = 360 \text{ kN}$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{H_R}{V_{\max}} = 0,08 \Rightarrow \delta = 4,4^\circ$$

Iz tabele II.5 (Fundiranje I S. Stevanović)

$$i_c = 0,844$$

$$i_q = 0,865$$

$$i_\gamma = 0,747$$

$$\sigma_{\text{dozv}}^{\text{II}} = 11,0 \cdot 3,0 \cdot 7,82 \cdot 1,068 \cdot 1,25 \cdot 0,865 + 0,5 \cdot 11,0 \cdot 2,92 \cdot 4,96 \cdot 0,86 \cdot 1,0 \cdot 0,747$$

$$\sigma_{\text{dozv}}^{\text{II}} = 347 \text{ kN / m}^2 \Rightarrow B'' / L'' = 3,75 / 10,75$$

$$B' = 3,07 \text{ m } L' = 9,73 \text{ m}$$

$$L' / B' = 3,17$$

$$s_c = 1,063$$

$$s_q = 1,063$$

$$s_\gamma = 0,873$$

$$\sigma_{\text{dozv}}^{\text{III}} = 350 \text{ kN / m}^2 \approx \sigma_{\text{dozv}}^{\text{II}}$$

$$\text{Usvojeno } B/L = 3,8 \text{ m / } 10,8 \text{ m}$$

Određivanje dimenzija jastuka

$$a_j = 1,0 + 2 \cdot 0,5 = 2,0 \text{ m}$$

$$b_j = 8,0 + 2 \cdot 0,5 = 9,0 \text{ m } h_j = 0,5 \text{ m}$$

Određivanje visine temelja

$$\operatorname{ctg} \beta = \frac{h_T}{b_{\max}} \geq \sqrt{\frac{120 \cdot \sigma_a}{\beta_k}} = \eta \cdot \sqrt{\sigma_a}$$

Iz tabele III. 1 (Fundiranje I, S. Stevanović)

$$\text{za MB 20 } \eta = 0,0894$$

$$\sigma_a = 158 \text{ kN / m}^2$$

$$\operatorname{ctg} \beta = 1,12 \Rightarrow h_T = 0,9 \cdot 1,12 = 1,0 \text{ m}$$

Kontrola napona u kontaktnoj spojnici

$$- V_{\max} \dots \dots \dots = 6710 \text{ kN}$$

$$- \text{težina temelja } 10,8 \cdot 3,8 \cdot 1,0 \cdot 14 \dots \dots = 574 \text{ kN}$$

$$- \text{težina jastuka } 2,0 \cdot 9,0 \cdot 0,5 \cdot 15 \dots \dots = 135 \text{ kN}$$

$$- \text{do } \dots \dots \dots = 181,72 \text{ kN} = (41,4 \cdot 3,8 + 41,4 \cdot 8) \cdot 1$$

$$\Sigma V = 7601,3 \text{ kN}$$

$$M_1 = \pm 200 \cdot 10,5 = \pm 2100 \text{ kNm}$$

$$M_2 = \pm 300 \cdot 10,5 = \pm 3150 \text{ kNm}$$

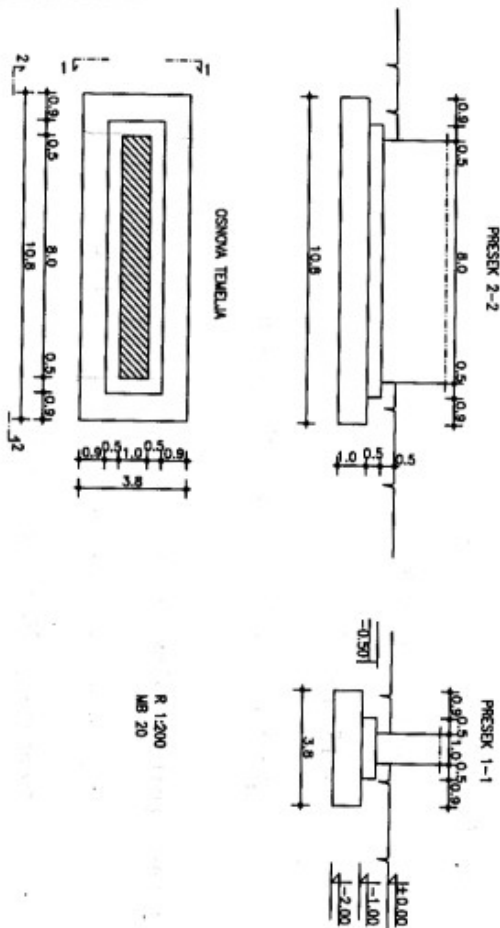
$$\sigma_{\max} = \frac{7601,3}{3,8 \cdot 10,8} + \frac{2100 \cdot 6}{3,8^2 \cdot 10,8} + \frac{3150}{10,8^2 \cdot 3,8} = 308,6 \text{ kN / m}^2 < \sigma_{\text{dozv}}$$

$$\sigma_{\min} = 61,77 \text{ kN / m}^2 > 0$$

$$\sigma_{\text{dozv}}^0 = 0,8 \cdot \sigma_{\text{dozv}} = 277,6 \text{ kN / m}^2$$

$$\sigma_c = \frac{\Sigma V}{F} = \frac{7601,3}{3,8 \cdot 10,8} = 185,2 \text{ kN/m}^2 < \sigma_{\text{dozv}}^0$$

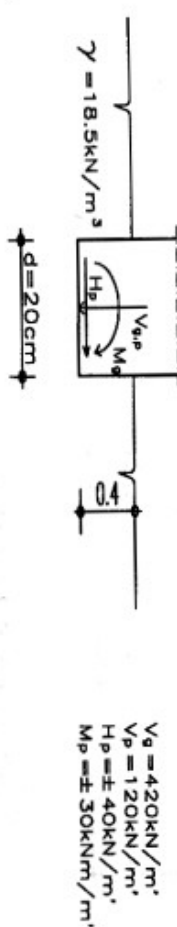
Plan oplata temelja



Zbirka zadataka iz fundiranja

1.1.2. Ispod zida od armiranog betona širine $d=20$ cm projektovati temelj od nearmiranog betona MB 25. Dozvoljeni ivični napon na dubini fundiranja je $\sigma_{\text{dozv}} = 250 \text{ kN/m}^2$. Dimenzije temelja odrediti prema stalnom opterećenju a zatim proveriti napone i za uticaj povremenog opterećenja.

Nacrtati plan oplata temelja u pogodnoj razmeri.



$$\begin{aligned} V_p &= 420 \text{ kN/m} \\ H_p &= 120 \text{ kN/m} \\ M_p &= \pm 40 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Rešenje:

- Potrebna širina temelja

$$V = V_g + V_p = 450 + 130 = 580 \text{ kN/m}$$

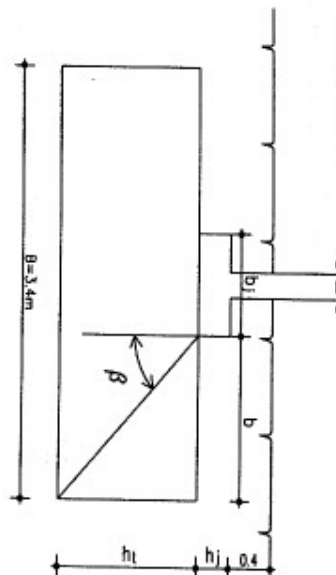
Pretpostavlja se $D_f = 2,0 \text{ m}$

$$\sigma_{\text{dozv}}^c = 0,8 \cdot \sigma_{\text{dozv}} = 200 \text{ kN/m}^2$$

$$B = \frac{V}{\sigma_{\text{dozv}}^c - \beta \cdot \gamma_b \cdot D_f} = \frac{540}{200 - 0,85 \cdot 24 \cdot 2,0} = 3,35 \text{ m}$$

Usvaja se $B = 3,4 \text{ m}$

Dimenzije jastuka:
Visina temelja



$$b_j = 0,20 + 2 \cdot 0,3 = 0,80 \text{ m}$$

$$h_j = 0,30 \text{ m}$$

Granični ugao β se može odrediti prema izrazu

$$\text{ctg} \beta = \eta \cdot \sqrt{\sigma_n}$$

$$\text{za MB 25} \quad \eta = 0,0693$$

$$\text{ctg} \beta = 0,0693 \cdot \sqrt{\frac{540}{3,4}} = 0,87 < 1,0$$

Usvaja se $\text{ctg} \beta = 1,0$

$$h_t = b \cdot 1,0 = 1,3 \text{ m}$$

Kontrola napona u temeljnoj spojnici

$$V = \dots = 540 \text{ kN/m'}$$

$$\text{temelj} \quad 3,4 \cdot 1,3 \cdot 24 + 0,8 \cdot 0,3 \cdot 25 \dots = 112,1 \text{ kN/m'}$$

$$\text{tlo} \quad (3,4 \cdot 0,7 - 0,4 \cdot 0,2 - 0,8 \cdot 0,3) \cdot 18,5 \dots = 38,11 \text{ kN/m'}$$

$$\Sigma V = 690,2 \text{ kN / m}$$

$$\sigma = \frac{\Sigma V}{B} = \frac{690,2}{3,4} = 203 \text{ kN/m}^2$$

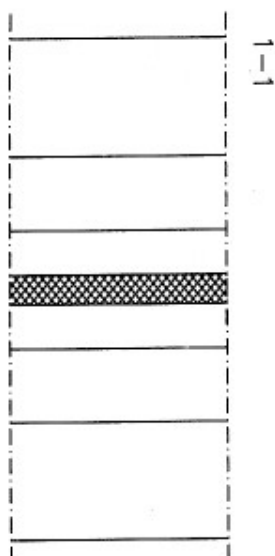
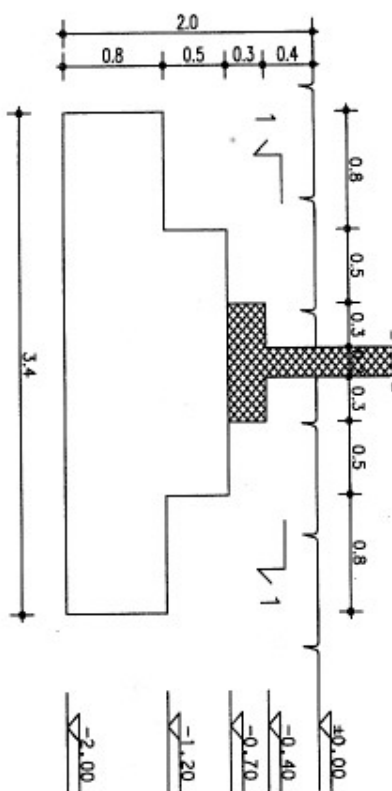
$$\Delta = \frac{203 - 200}{200} \cdot 100 = 1,5\% < 5\%$$

Uticaji od povremenog opterećenja

$$M = M_p + 1,6 \cdot H_p = 94 \text{ kN/m'}$$

$$\sigma_{\max} = 203 + \frac{6 \cdot 94,0}{3,4^2} = 203 + 48,8 = 251,8 \text{ kN/m}^2 < \sigma_{\text{dovr}}$$

$$\sigma_{\min} > 0$$



$$s_e = s_q = s_g = 1,0$$

$$d_e = 1 + 0,35 \cdot \frac{D_f}{B} = 1,385$$

$$d_q = d_e - \frac{d_e - 1}{N_q} = 1,341$$

$$d_\gamma = 1,0$$

$$i_q = i_e = i_\gamma = 1,0$$

$$\sigma_{dozv}^I = 18,0 \cdot 1,1 \cdot 8,71 \cdot 1,345 \cdot 1,0 \cdot 1,0 + 0,5 \cdot 18,0 \cdot 1,0 \cdot 5,92 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0$$

$$\sigma_{dozv}^I = 284 \text{ kN / m}^2$$

-Određivanje potrebne širine temelja

$$B_{pot}^I = \frac{V_1}{\sigma_{dozv}^I - 0,85 \cdot \gamma \cdot D_f} = \frac{781,5}{284 - 0,85 \cdot 25 \cdot 1,1} = 2,99 \text{ m}$$

Usvojeno $B^I = 3,0 \text{ m}$

II iteracija

$$d_e = 1,128$$

$$d_q = 1,113$$

$$\sigma_{dozv}^{II} = 18,0 \cdot 1,1 \cdot 8,71 \cdot 1,113 \cdot 1,0 \cdot 1,0 +$$

$$+ 0,5 \cdot 18,0 \cdot 3,0 \cdot 5,92 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 351,8 \text{ kN / m}^2$$

$$B_{pot}^{II} = \frac{781,5}{351,8 - 0,85 \cdot 26 \cdot 1,1} = 2,38 \text{ m}$$

Usvojeno $B^{II} = 2,4 \text{ m}$

III iteracija

$$d_e = 1,16$$

$$d_q = 1,14$$

$$\sigma_{dozv}^{III} = 324 \text{ kN / m}^2$$

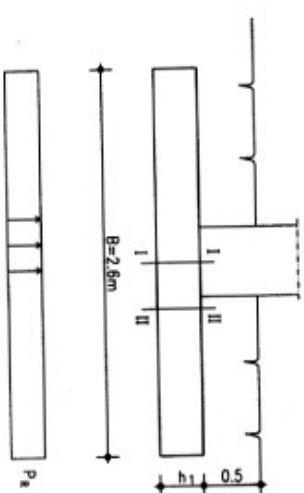
$$B_{pot}^{III} = 2,6 \text{ m}$$

IV iteracija

$$\sigma_{dozv}^{IV} = 333 \text{ kN / m}^2$$

$$B_{pot}^{IV} = 2,52 \text{ m}$$

Usvojeno $B = 2,6 \text{ m}$



-Određivanje visine temelja

$$P_R = \frac{781,5}{2,6} = 300,5 \text{ kN / m}^2$$

$$M_{I-I} = 3005 \cdot 1,2 \cdot \frac{1,2}{2} = 216,36 \text{ kNm / m'}$$

$$Q_{I-I} = 1,2 \cdot 300,5 = 360,6 \text{ kN / m'}$$

$$M_u = 1,6 \cdot M = 346,18 \text{ kNm / m'}$$

$$T_u = 1,6 \cdot 360,6 = 577 \text{ kN / m'}$$

$$\beta_b = 20,5 \text{ Mpa}$$

$$\varepsilon_a / \varepsilon_b = 10 / 3,5\%$$

$$K_b = 2,532$$

$$\bar{\mu} = 17,284$$

$$\tau_r = 1,1 \text{ MPa}$$

$$h_m = K_b \cdot \sqrt{\frac{M_u}{B \cdot \beta_b}} = 2,532 \sqrt{\frac{346,18}{1,0 \cdot 20,5 \cdot 10^3}} = 0,378 \text{ m}$$

$$h_Q = \frac{T_u}{0,9 \cdot b \cdot \tau_u} = \frac{577}{0,9 \cdot 1,0 \cdot 1,1 \cdot 10^3} = 0,60 \text{ m}$$

$$h_T = 0,60 + 0,05 = 0,65 \text{ m}$$

$$\text{Usvojeno } h_T = 0,70 \text{ m } D_T = 1,2 \text{ m}$$

Kontrola napona u temeljnoj spojnici

$$\begin{aligned} -V & \dots\dots\dots = 781,5 \text{ kN/m}' \\ -\text{temelji } 2,6 \cdot 0,7 \cdot 25,0 & \dots\dots\dots = 45,5 \text{ kN/m}' \\ -\text{dlo } 2,4 \cdot 0,5 \cdot 18,0 & \dots\dots\dots = 21,6 \text{ kN/m}' \end{aligned}$$

$$\Sigma V = 848,6 \text{ kN/m}$$

Temelji ispod zida 2

$$V_2 = 731,5 \text{ kN/m}'$$

$$H_{2g} = 55,93 \text{ kN/m}'$$

$$H_{2p} = 6,91 \text{ kN/m}'$$

$$M_{2g} = 83,9 \text{ kNm/m}'$$

$$M_{2p} = 15,54 \text{ kNm/m}'$$

$$B = \frac{731,5}{333 - 0,85 \cdot 25 \cdot 1,2} = 2,38 \text{ m}$$

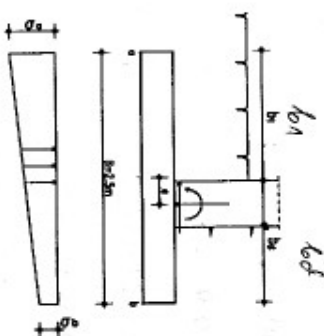
$$\text{Usvojeno } B = 2,5 \text{ m}$$

-Centrisanje temelja

$$\text{Pretpostavljamo } h_T = 0,7 \text{ m}$$

$$M'_{2g} = 83,9 + 0,7 \cdot 55,93 = 123,05 \text{ kNm/m}'$$

$$M_{2p} = 15,54 + 0,7 \cdot 6,91 = 20,38 \text{ kNm/m}'$$



$$b_d = \frac{B}{2} - e - \frac{b_d}{2} = 1,15 - e$$

$$b_1 = \frac{B}{2} + e - \frac{b_d}{2} = 1,15 + e$$

$$G_{zd} = 4,5 \cdot 18 \cdot b_d = 81,0 \cdot b_d$$

$$G_{zd} = 0,5 \cdot 18 \cdot b_1 = 9,0 \cdot b_1$$

$$\Sigma M_c = 0$$

$$M_{2g} + H_{2g} \cdot h_T - V \cdot e - \sigma_{zd} \cdot b_d \cdot \left(\frac{B}{2} - \frac{b_d}{2} \right) + \sigma_{zd} \cdot b_1 \cdot \left(\frac{B}{2} - \frac{b_1}{2} \right) = 0$$

$$e = 0,2 \text{ m}$$

$$b_d = 1,05 \text{ m}$$

$$b_l = 1,25 \text{ m}$$

-Naponi u kontaktnoj spojnici

$$\sigma_{a,b} = \frac{731,5}{2,5} \pm \frac{20,38 \cdot 6}{2,5^2} = 292,6 \pm 19,56$$

$$\sigma_a = 312,16 \text{ kN / m}^2$$

$$\sigma_b = 273,04 \text{ kN / m}^2$$

-Određivanje visine temelja

$$M_{1-1} = \frac{16,43 \cdot 1,25^2}{2} \cdot \frac{2}{3} + \frac{295,73 \cdot 1,25^2}{2} = 239,6 \text{ kNm / m'}$$

$$Q_{2-2} = 303,94 \text{ kN / m'}$$

$$\gamma = 1,6 \cdot 0,9 + 1,8 \cdot 0,1 = 1,62$$

$$M_u = 1,62 \cdot 239,6 = 388,15 \text{ kN / m'}$$

$$Q_u = 492,38 \text{ kN / m'}$$

$$h_M = 2,532 \sqrt{\frac{388,15}{1,0 \cdot 20,5 \cdot 10^3}} = 0,348 \text{ m}$$

$$h_Q = \frac{492,38}{0,9 \cdot 1,0 \cdot 1,1 \cdot 10^3} = 0,50 \text{ m}$$

$$h_T = 0,50 + 0,05 = 0,55 \text{ m}$$

$$\text{Usvaja se } h_T = 0,60 \text{ m}$$

Kontrola napona u temeljnoj spojnici

V_2		= 731,5 kN / m'
temelj 2,5 · 0,6 · 25,0.....		= 37,5 kN / m'
do 85,05 + 11,25.....		= 96,3 kN / m'

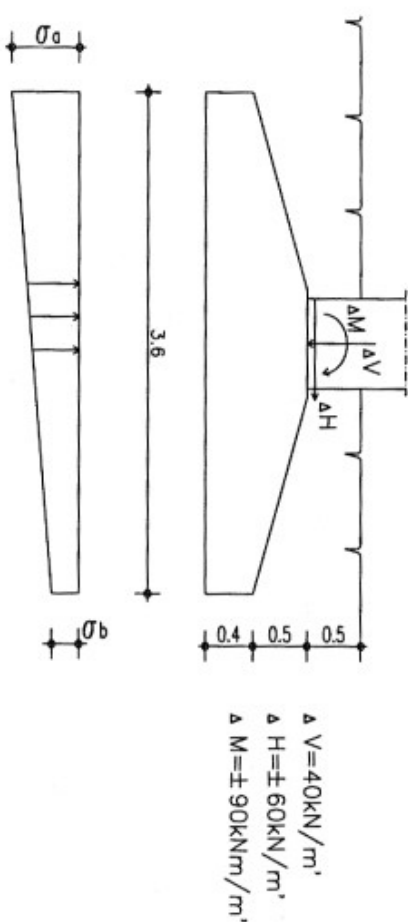
$$\Sigma V_2 = 865,3 \text{ kN / m'}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{865,3}{2,5} + \frac{6 \cdot 20,38}{2,5^2} = 336 \text{ kN / m}^2 \approx \sigma_{\text{dozv}}$$

1.1.4. Temelj postojećeg objekta ima dimenzije kao na skici. Usled predviđenog nadzidivanja objekta, na zid iznad temelja deluje dodatno opterećenje:

$$\Delta V = 40 \text{ kN/m}', \quad \Delta H = \pm 60 \text{ kN/m}', \quad \Delta M = \pm 90 \text{ kN/m}'.$$

Ako su ivični naponi u temeljnoj spojnici od postojećeg opterećenja $\sigma_a = 115 \text{ kN/m}^2$ i $\sigma_b = 40 \text{ kN/m}^2$, proveriti da li temelj može da primi dodatne uticaje. Dozvoljeni napon na dubini fundiranja je $\sigma_{\text{dozv}} = 180 \text{ kN/m}^2$



Rešenje:

$$\Delta M = \Delta M + 0,7 \cdot \Delta H = 132 \text{ kNm/m}'$$

$$\Delta \sigma_{\text{max}} = \frac{\Delta V}{B} + \frac{6 \cdot \Delta M}{B^2} = \frac{40}{3,6} + \frac{6 \cdot 132}{3,6^2} = 72,2 \text{ kN/m}^2$$

$$\Delta \sigma_{\text{min}} = -50,0 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_a = 115 + 72,2 = 187,2 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_b = -10,0 \text{ kN/m}^2$$

Pošto se preko temelja na to ne mogu prenети naponi zatezanja, treba odrediti širinu pri kojoj se javljaju samo naponi pritiska.

$$\frac{\sum V}{B \cdot 1,0} + \frac{6 \cdot \sum M}{B^2 \cdot 1,0} = 187,2 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{\sum V}{B \cdot 1,0} - \frac{6 \cdot \sum M}{B^2 \cdot 1,0} = -10 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{\sum V}{B} - \frac{6 \cdot \sum M}{B^2} = -10$$

$$\sum V = 319 \text{ kN/m}'$$

$$\sum M = 213 \text{ kNm/m}'$$

$$e = \frac{\sum M}{\sum V} = 0,67 \text{ m}$$

$$C = \frac{B}{2} - e = 1,8 - 0,67 = 1,13$$

$$B' = 3C = 3,39 \text{ m}$$

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{2 \cdot \sum V}{3 \cdot C} = \frac{2 \cdot 319}{3 \cdot 3,39} = 188,2 \text{ kN/m}^2$$

$$\Delta = \frac{188,2 - 180,0}{180,0} \cdot 100 = 4,55\% < 5\%$$

$$\sigma_{\text{dozv}}^c = 0,8 \cdot 180 = 144 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_c = \frac{319}{3,6} = 88,6 \text{ kN/m}^2 < \sigma_{\text{dozv}}^c$$

Zaključak: Temelj može da primi dodatne uticaje u odnosu na dozvoljene naponе.

12.1. Projektovati temelj od nearmiranog betona, MB30, ispod stuba poprečnog preseka

$a \times b = 110 \times 40$ cm za sledeće opterećenje:

a) stalno opterećenje $V_g = 1500$ kN, $\tilde{M}_g = 225$ kNm

b) povremeno opterećenje $V_p = 1000$ kN, $\tilde{M}_p = \pm 280$ kNm

Gornja ivica temelja je na 0,45 m ispod površine terena. Odnos dužine i širine temelja je $K = L / B = 1,5$, zapreminska težina tla je $\gamma = 18$ kN / m³, fundiranje se vrši u koherentnom tlu a dozvoljeni napon na dubini fundiranja je $\sigma_{doz} = 200$ kN / m².

Rešenje:

Centrisanje temelja za stalno opterećenje

$$e = \frac{\tilde{M}_g}{V_g} = \frac{225}{1500} = 0,15 \text{ m}$$

Merodavni uticaji za dimenzionisanje

$$V = V_g + V_p = 1500 + 1000 = 2500 \text{ kN}$$

$$\tilde{M} = \tilde{M}_p + V_p \cdot e = 280 + 1000 \cdot 0,15 = 430 \text{ kNm}$$

$$\tilde{M} = \tilde{M}_p - V_p \cdot e = 280 - 1000 \cdot 0,15 = 130 \text{ kNm}$$

Pretpostavljamo dubinu fundiranja $D_f = 3,00$ m. Jednačina za određivanje potrebne naležne površine

$$K^2 \cdot (\sigma_{doz} - \beta \cdot \gamma_b \cdot D_f) \cdot B^3 - K \cdot V \cdot B - 6 \cdot M = 0$$

$$1,5^2 \cdot (200 - 0,85 \cdot 24 \cdot 3,0) \cdot B^3 - 1,5 \cdot 2500 \cdot B - 6 \cdot 430 = 0$$

$$B^3 - 12 \cdot B - 8,26 = 0$$

Rešavanjem gornje jednačine dobijaju se potrebne dimenzije kontaktne površine

$$B = 3,75 \text{ m} \quad \text{ i } \quad L = 5,65 \text{ m}$$

Visina jastuka kreće se u granicama

$$\dot{a} \leq h_j \leq 2(a + b)$$

$$0,4 \leq h_j \leq 0,5$$

Usvajaju se dimenzije jastuka $a_j \times b_j \times h_j = 1,20 \times 1,90 \times 0,40$ m

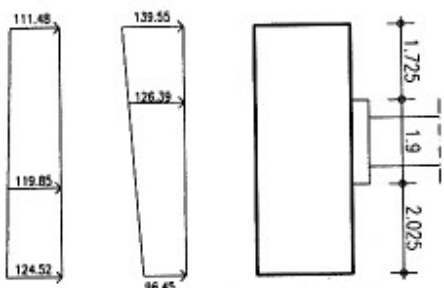
$$d_1 = \frac{L}{2} + e - \frac{b_j}{2} = \frac{6,65}{2} + 0,15 - \frac{1,9}{2} = 2,025 \text{ m}$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{d}{d_1} \Rightarrow d = \frac{d_1}{\operatorname{tg} \beta} = d_1 \cdot \operatorname{ctg} \beta = d_1 \cdot 0,9 \sqrt{\frac{100 \cdot \sigma_n}{\beta_k} + 1}$$

$$\sigma_n = \frac{2500}{3,75 \cdot 5,65} = 118 \text{ kN / m}^2$$

$$d = d_1 \cdot 0,9 \sqrt{\frac{100 \cdot \sigma_n}{\beta_k} + 1} = 2,025 \cdot 0,9 \sqrt{\frac{100 \cdot 118}{30000} + 1} = 2,15 \text{ m}$$

Kontrola usvojene visine temelja i marke betona prema naponima zatezanja usled savijanja temeljnog nosača



Prvi slučaj opterećenja

$$\sigma_{1,2} = \frac{2500}{3,75 \cdot 5,75} \pm \frac{6 \cdot 430}{3,65 \cdot 5,65^2} = 118 \pm 21,55$$

$$\sigma_1 = 139,55 \text{ kN / m}^2 \quad \sigma_2 = 96,45 \text{ kN / m}^2$$

$$M_1 = \frac{1}{6} \cdot 1,725^2 (2 \cdot 139,55 + 1266,39) \cdot 3,75 = 754,12 \text{ kN / m}^2$$

Drugi slučaj opterećenja

$$\sigma_{1,2} = \frac{2500}{3,75 \cdot 5,65} \pm \frac{6 \cdot 130}{3,75 \cdot 5,65^2} = 118 \pm 6,52$$

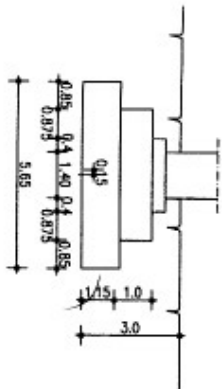
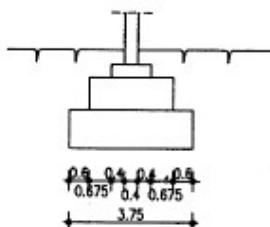
$$\sigma_1 = 124,52 \text{ kN / m}^2$$

$$\sigma_2 = 111,48 \text{ kN / m}^2$$

$$M_{II} = \frac{1}{6} \cdot 2,025^2 (2 \cdot 124,52 + 119,85) \cdot 3,75 = 945,42 \text{ kN / m}^2$$

Merodavan je 2) slučaj opterećenja.

$$\sigma_{b \text{ zat}} = \frac{M}{W} \leq \frac{\beta_k}{40}$$



Geometrijske karakteristike poprečnog preseka

$$y_T = \frac{3,75 \cdot 1,15 \cdot 0,575 + 2,55 \cdot 1,0 \cdot 1,65}{3,75 \cdot 1,15 + 2,55 \cdot 1,0} = 0,974$$

$$I = \frac{1}{12} 3,75 \cdot 2,15^3 - 2 \cdot \left[\frac{1}{12} 0,6 \cdot 1,0^3 + 1,0 \cdot 0,6 \cdot (1,65 - 0,974)^2 \right] = 2,522 \text{ m}^4$$

$$W = \frac{I}{y_T} = \frac{2,522}{0,974} = 2,588 \text{ m}^3$$

$$\frac{M}{W} = \frac{\beta_k}{40} \Rightarrow \beta_k = \frac{40 \cdot M}{W}$$

$$\beta_k = \frac{40 \cdot 945,42}{2,588} = 14611,07 \text{ kN / m}^2$$

Analiza opterećenja

korisno opterećenje

$$= 2500,0 \text{ kN}$$

težina jastuka

$$(1,20 \cdot 1,90 \cdot 0,40) \cdot 25$$

$$= 22,80 \text{ kN}$$

težina temelja

$$(3,75 \cdot 5,65 \cdot 1,15 + 2,55 \cdot 3,95 \cdot 1,0) \cdot 24$$

$$= 826,52 \text{ kN}$$

težina tla

$$(3,75 \cdot 5,65 \cdot 1,85 - 2,55 \cdot 3,95 \cdot 1,0 - 1,2 \cdot 1,9 \cdot 0,40) \cdot 18$$

$$= 507,82 \text{ kN}$$

$$\Sigma 3857,14 \text{ kN}$$

Računski pritisci na tlo u nivou kontaktne spojnice

$$\sigma_{1,2} = \frac{3857,14}{3,75 \cdot 5,65} \pm \frac{6 \cdot 430}{3,75 \cdot 5,65^2} = 182,05 \pm 21,55 \text{ kN / m}^2$$

$$\sigma_1 = 203,60 \text{ kN / m}^2 \quad \Delta = 1,80 \%$$

$$\sigma_2 = 160,50 \text{ kN / m}^2$$

1.2.2 Projektovati temelji od armiranog betona ispod stuba dimenzija 50 x 50 cm opterećenog aksijalnom silom $V_g = 2000$ kN. Gornja ivica temelja je na 0,65 m ispod površine terena. Zapreminska težina tla je $\gamma = 18,0$ kN / m³, kohezija $c = 0,0$ kN / m², ugao unutrašnjeg trenja $\varphi = 30^\circ$. Parcijalni faktor sigurnosti u odnosu na ugao unutrašnjeg trenja $F_\varphi = 1,5$.

Rešenje:

Potrebna površina temeljne spojnice

$$V_g = 2000 \text{ kN (centrično opterećen)}$$

Pretpostavljamo dubinu fundiranja $D_f = 1,20$ m

i dozvoljeni napon na dubini fundiranja $\sigma_{dozv} = 300$ kN / m².

$$F_{pot} = \frac{V_g}{\sigma_{dozv} - 0,85 \cdot \gamma_b \cdot D_f} = \frac{2000}{300 - 0,85 \cdot 25 \cdot 1,2} = 7,285 \text{ m}^2$$

Potrebna širina naležnice površine temelja

$$B = \sqrt{7,285} = 2,69 \text{ m}$$

Usvaja se $B = 2,60$ m

Sračunavanje dozvoljenog pritiska u tlu po Brinch-Hansenu:

Redukovani ugao unutrašnjeg trenja

$$\tan \varphi' = \frac{\tan \varphi}{1,5} = \frac{\tan 30^\circ}{1,5} = 0,385 \Rightarrow \varphi' = 21,0^\circ$$

faktori nosivosti

$$N_q = 8,330$$

$$N_\gamma = 5,494$$

faktori oblika

$$s_q = 1,2$$

$$s_\gamma = 0,60$$

faktori dubine

$$d_q = 1,142$$

$$d_\gamma = 1,0$$

Izraz za sračunavanje dozvoljenog napona je oblika

$$\sigma_{dozv} = \gamma \cdot D_f \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma$$

$$\sigma_{dozv} = 18 \cdot 1,2 \cdot 8,33 \cdot 1,2 \cdot 1,142 + 0,5 \cdot 18 \cdot 2,6 \cdot 5,495 \cdot 0,6 \cdot 1 = 323,65 \text{ kN / m}^2$$

$$F_{pot}^I = \frac{2000}{323,65 - 0,85 \cdot 25 \cdot 1,2} = 6,7 \text{ m}^2$$

Potrebna širina naležnice površine temelja

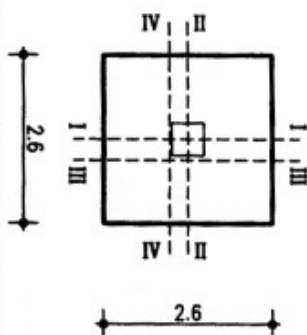
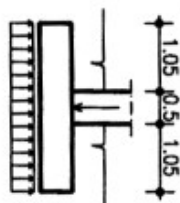
$$B = \sqrt{6,7} = 2,59 \text{ m}$$

Usvaja se $B = L = 2,60$ m

Određivanje potrebne visine temelja

$$M_{I-I} = M_{II-II} = \frac{V \cdot (L - a)}{8} = \frac{2000 \cdot (2,6 - 0,5)}{8} = 525 \text{ kNm}$$

$$Q_{III-III} = Q_{IV-IV} = \frac{V \cdot (L - a)}{2 \cdot L} = \frac{2000 \cdot (2,6 - 0,5)}{2 \cdot 2,6} = 807,69 \text{ kN}$$



Pretpostavićemo konstantnu visinu temeljnog nosača ($h=\text{const.}$) pa je odgovarajući koeficijent kojim se obuhvata raspodela momenata u nivou kontaktne spojnice

$$\alpha = 1,94$$

$$M/B \quad 30$$

$$f_b = 2,05 \text{ kN / cm}^2$$

$$GA \quad 240 / 360$$

$$\sigma_v = 24 \text{ kN / m}^2$$

merodavni uticaji za dimensionisanje

$$M_u = 1,6 \cdot 1,94 \cdot 525 = 1629,60 \text{ kNm}$$

$$Q_u = 1,6 \cdot 807,69 = 1292,30 \text{ kNm}$$

$$\epsilon_b / \epsilon_a = 3,5 / 10\% \Rightarrow k_b = 2,311$$

potrebna visina temelja

$$h_M = 2,311 \cdot \sqrt{\frac{1629,6 \cdot 10^2}{260 \cdot 2,05}} = 40,41 \text{ cm}$$

$$h_Q = \frac{1292,30}{0,9 \cdot 260 \cdot 0,11} = 50,20 \text{ cm}$$

usvaja se $d = 55 \text{ cm}$

proračun armature temelja

$$h_{\text{sat}} = 55 - 4 - \frac{3}{2} \cdot 2 = 48 \text{ cm}$$

pretpostavljen je profil $\varnothing 20$

$$k_b = \frac{48}{\sqrt{\frac{1,6 \cdot 525 \cdot 10^2}{280 \cdot 2,05}}} = 3,823$$

$$\epsilon_b / \epsilon_a = 1,475 / 10\%$$

$$\bar{\mu} = 7,149$$

$$F_A = 7,149 \cdot \frac{260 \cdot 48}{100} \cdot \frac{2,05}{24} = 76,2 \text{ cm}^2$$

$$n = \frac{76,2}{3,14} = 24,25 \text{ kom}$$

raspored armature po zonama

I zona	0,06 x 25 = 1,5 kom
II zona	0,08 x 25 = 2 kom
III zona	0,13 x 25 = 3,25 kom
IV zona	0,23 x 25 = 5,75 kom

usvojeni broj profila po zonama

I zona	2 komada
--------	----------

II zona	2 komada
III zona	3 komada
IV zona	6 komada
$n=2(2+2+3+6) =$	$26 \varnothing 20$

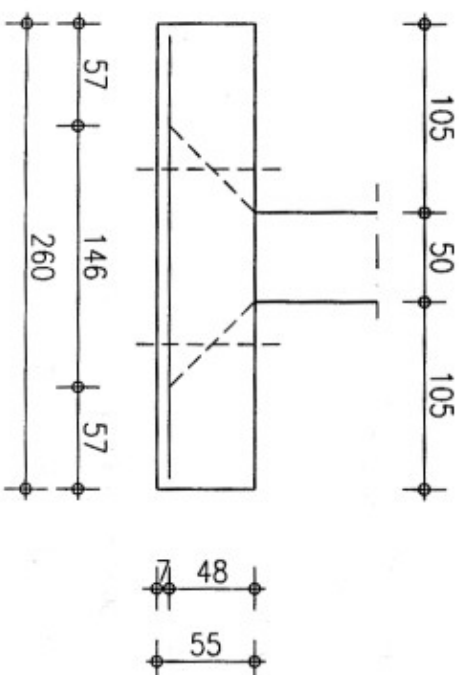
Provera da li šipke u srednjoj zoni mogu da stanu u jedan red.
Širina zone je data

$$\frac{B}{8} = \frac{200}{8} = 32,5 \text{ cm}$$

Srednja zona (uslov minimalnog rastojanja između susednih profila)

$$6 \cdot 2,0 + 6 \cdot 3,0 = 12 + 18 = 30 \text{ cm} < \frac{B}{8}$$

Pretpostavićemo da je istisnuto telo oblika zarubljene piramide



Određivanje dozvoljenog uporednog smičućeg napona

$$\mu = \frac{\sum f_a}{F_b} = \frac{\sum f_a}{4h(b_0 + 2h)}$$

$$\sum f_a = 4 \cdot 3,14 \cdot (6 + 3 + 3 + 6) = 226,20 \text{ cm}^2$$

$$\mu = \frac{226,20}{4 \cdot 48 \cdot (50 + 48)} \cdot 100 = 1,202 \%$$

$$\tau_{\text{doz}} = 0,7 \cdot \gamma_1 \cdot \tau_a$$

$$\gamma_1 = 1,3 \cdot \alpha_a \cdot \sqrt{\mu} \quad (\alpha_a = 1,0 \text{ GA})$$

$$\tau_{\text{doz}} = 0,7 \cdot \gamma_1 \cdot \tau_a = 0,7 \cdot 1,3 \cdot \sqrt{1,202} \cdot 0,8 = 0,668 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\text{doz}} = \tau_a = 0,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{net}} = \frac{V}{B^2} = \frac{2000}{2,6^2} = 295,86 \text{ kN / m}^2$$

$$F_b = 1,96^2 = 2,13 \text{ m}^2$$

$$P_r = V - \sigma_{\text{net}} \cdot F_b = 2000 - 295,86 \cdot 2,13 = 1369,34 \text{ kN}$$

Površina omotača srednje zarubljene piramide

$$F_p = 4 \cdot (b_0 + h) \cdot h = 4 \cdot (0,5 + 0,48) \cdot 0,48 = 1,88 \text{ m}^2$$

Uporedni napon smicanja

$$\tau_p = \frac{P_r}{F_p} = \frac{1369,34}{1,88} = 727,75 \text{ kN / m}^2$$

$$\tau_p = 0,727 \text{ MPa} < \tau_{\text{dozv}} = \tau_a$$

Analiza opterećenja

korisno opterećenje

$$2000 \text{ kN}$$

težina temelja

$$2,6 \times 2,6 \times 0,55 \times 25$$

$$92,95 \text{ kN}$$

težina tla iznad temelja

$$2,6 \times 2,6 \times 0,65 \times 18$$

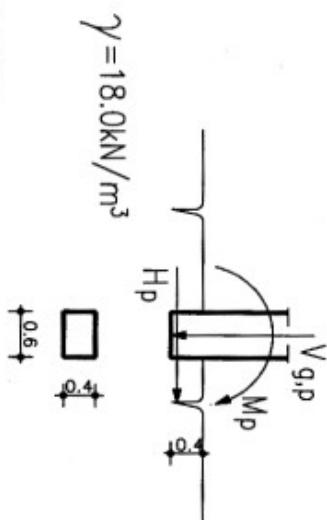
$$79,09 \text{ kN}$$

$$\sum V = 2172,04 \text{ kN}$$

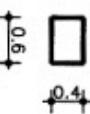
$$\sigma_{\text{net}} = \frac{\sum V}{F} = \frac{2172,04}{2,6^2} = 321,3 \text{ kN / m}^2$$

$$\sigma_{\text{net}} \leq \sigma_{\text{doz}}$$

12.3. Za montažni armiranobetonski stub, dimenzije preseka 40X60cm opterećen kao na skici, projektovati temelj od armiranog betona MB30 ako je predviđena monolitna veza stuba i temelja. Dozvoljeni napon na dubini fundiranja je $\sigma_{\text{dovz}} = 250 \text{ kN/m}^2$.



$$\gamma = 18.0 \text{ kN/m}^3$$



$$V_g = 1100 \text{ kN}$$

$$V_p = 400 \text{ kN}$$

$$H_g = \pm 50 \text{ kN}$$

$$H_p = \pm 150 \text{ kN}$$

Rešenje:

Dimenzionisanje čašice

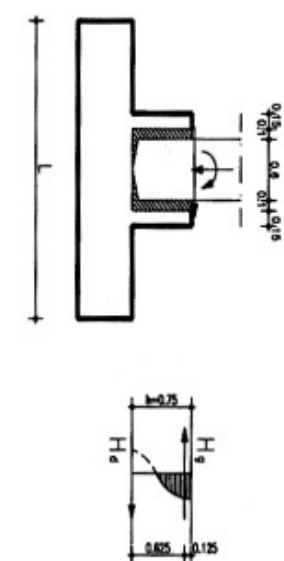
-Dubina čašice

$$\frac{M}{N \cdot a} = \frac{150}{1500 \cdot 0.6} = 0.17$$

S obzirom da je $0.15 < \frac{M}{N \cdot a} < 2.0$ dubina čašice h se dobija linearnom interpolacijom

$$h = 1.21 \text{ m} \quad a = 0.726 \text{ m}$$

Usvaja se $h = 75 \text{ cm}$



Horizontalna sila

$$H_g = \frac{6}{5} \cdot \frac{M}{h} + \frac{6}{5} \cdot H = \frac{6}{5} \cdot \frac{150}{0.75} + \frac{6}{5} \cdot 50 = 300 \text{ kN}$$

Sila zatezanja

$$Z_v = H_g = 300 \text{ kN}$$

Dimenzionisanje temeljne ploče

-Površina kontaktne spojnice

Usvaja se

$$\frac{L}{B} = k = 1.5 \quad D_r = 1.5 \text{ m}$$

Iz jednačine

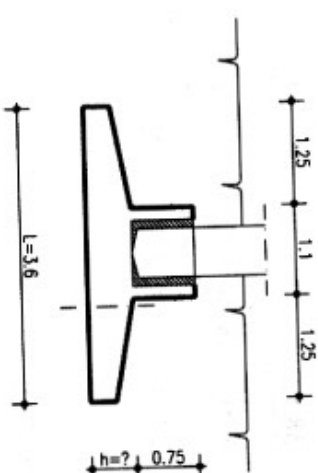
$$k^2 \cdot (\sigma_d - \beta \cdot \gamma_b \cdot D_r) \cdot B^3 - k \cdot P \cdot B - 6 \cdot M = 0$$

dobijaju se potrebne dimenzije kontaktne površi

$$1.5^2 \cdot (250 - 0.85 \cdot 25 \cdot 1.5) \cdot B^3 - 1.5 \cdot 1500 \cdot B - 6 \cdot (150 + 50 \cdot 1.0) = 0$$

$$B = 2.4 \text{ m}$$

$$L = 3.6 \text{ m}$$



$$\text{Usvaja se } B/L = 2.4 / 3.6$$

Visina temelja

Ivični naponi bez uticaja sopstvene težine temelja

$$V = V_g + V_p = 1500 \text{ kN}$$

Pretpostavlja se

$$h_r = 0.5 \text{ m}$$

$$M = M_p + H_p \cdot (h + h_T) = 150 + 50 \cdot 1,25 = 212,5 \text{ kNm}$$

-Od stalnog opterećenja

$$\sigma_{\max, \min}^s = \frac{1100}{2,4 \cdot 3,6} = 127,3 \text{ kNm}$$

-Od povremenog opterećenja

$$\sigma_{\max}^p = \frac{400}{2,4 \cdot 3,6} + \frac{6 \cdot 212,5}{2,4 \cdot 3,6^2} = 46,3 + 41,0 = 87,3 \text{ kN / m}^2$$

$$\sigma_{\min}^p = 5,3 \text{ kN / m}^2$$

Statički uticaji u preseku I-I

$$M_{I-I}^s = \frac{1}{2} \cdot 127,3 \cdot 1,25^2 \cdot 2,4 = 238,69 \text{ kNm}$$

$$Q_{I-I}^s = 127,3 \cdot 1,25 \cdot 2,4 = 381,9 \text{ kN}$$

$$\sigma_{I-I}^p = 58,83 \text{ kN / m}^2$$

$$M_{I-I}^p = \left(\frac{1}{2} \cdot 28,47 \cdot 1,25^2 \cdot \frac{2}{3} + \frac{1}{2} \cdot 58,83 \cdot 1,25^2 \right) \cdot 2,4 = 145,89 \text{ kNm}$$

$$Q_{I-I}^p = \frac{58,83 + 87,3}{2} \cdot 1,25 \cdot 2,4 = 219,2 \text{ kN}$$

$$M_u = 1,6 \cdot M_g + 1,8 \cdot M_p = 1,6 \cdot 238,69 + 1,8 \cdot 145,89 = 644,5 \text{ kNm}$$

$$Q_u = 38,1 \cdot 1,6 + 219,2 \cdot 1,8 = 1005,6 \text{ kN}$$

za MB30

$$\beta_b = 20,5 \text{ MPa}$$

$$\tau_r = 1,1 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_a / \varphi \cdot \epsilon_b = 10 / 3,5 \%$$

$$\bar{\mu} = 20,988 \%$$

$$k_b = 2,311$$

$$h_M = k_b \cdot \sqrt{\frac{\alpha \cdot M_u}{\beta_k \cdot B}} = 2,311 \cdot \sqrt{\frac{1,97 \cdot 644,5}{20,5 \cdot 10^3 \cdot 2,4}} = 0,368 \text{ m}$$

Zbirka zadataka iz fundiranja

$$h_Q = \frac{\gamma \cdot \tau_u}{0,9 \cdot B \cdot \tau_M} = \frac{0,97 \cdot 1005,6}{0,9 \cdot 2,4 \cdot 1,1 \cdot 10^3} = 0,423 \text{ m} = 42,3 \text{ cm}$$

$$h_T = 42,3 + 4,0 + \frac{2,0}{2} = 47,3 \text{ cm}$$

Usvaja se $h_T = 50 \text{ cm}$ za $h = 45 \text{ cm}$ $K_b = 3,93$ $\bar{\mu} = 6,851 \%$

Kontrola napona u temeljnoj spojnici

$$V = 1100 + 1400 \dots \dots \dots = 1500 \text{ kN}$$

$$\text{temelj} \quad (3,6 \cdot 2,4 \cdot 0,5 + 1,1 \cdot 0,9 \cdot 0,75) \cdot 25 \dots \dots = 126,5 \text{ kN}$$

$$\text{tlo} \quad (3,6 \cdot 2,4 \cdot 0,75 - 1,1 \cdot 0,9 \cdot 0,75) \cdot 18 \dots \dots = 122,7 \text{ kN}$$

$$\underline{\Sigma V = 1749,2 \text{ kN}}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{1749,2}{2,4 \cdot 3,6} + \frac{6 \cdot 212,5}{2,4 \cdot 3,6^2} = 243,45 \text{ kN / m}^2 < \sigma_{\text{dozv}}$$

$$\sigma_{\min} = 161,45 \text{ kN / m}^2 > 0$$

Potrebna armatura

a) Armatura nožice

$$F_{ag} = \frac{H_{gr}}{\sigma_v}$$

Usvojena armatura Ga 240 / 360

$$F_{ag} = \frac{1,8 \cdot 300}{24} = 22,5 \text{ cm}^2$$

Usvaja se Ga 12Ø16

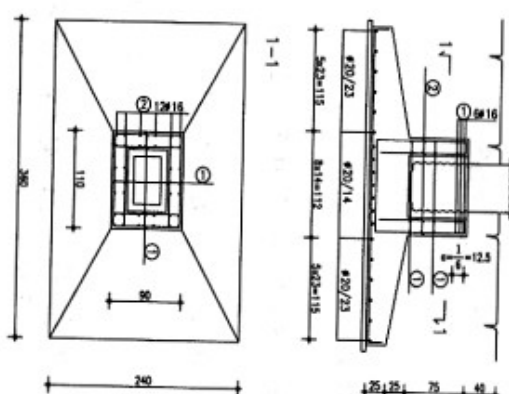
$$F_{av} = F_{ag} = 22,5 \text{ cm}^2$$

Usvaja se Ga 12Ø16

b) armatura temeljne ploče

$$F_a = b \cdot h \cdot \bar{\mu} \cdot \frac{\beta_B}{\sigma_v} = 240 \cdot 45 \cdot 0,06851 \cdot \frac{20,5}{240} = 63,2 \text{ cm}^2$$

Usvaja se Ga 20Ø20

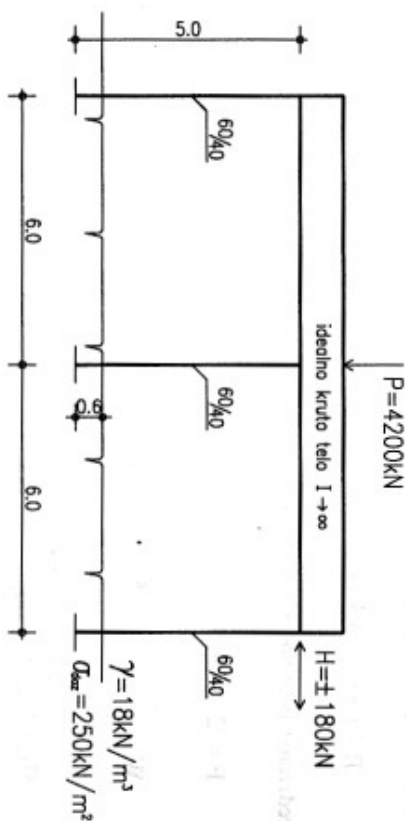


✓ 1.2.4. Za armirano betonsku konstrukciju, kao na skici, potrebno je:

1) Projektovati temelje samce od armiranog betona MB 30 za sva tri stuba (odrediti dimenzije kontaktne spojnice i potrebnu visinu temelja). Visine temelja su konstantne a odnos strana temelja je $k=1,4$.

2) Sračunati sleganje svih temelja. (Medusobni uticaj temelja zanemariti.)

3) Sračunati sile u stubovima uzimajući u obzir sleganje jednog temelja na drugi. Napomena: Zanimariti skraćivanja stubova. Karakteristike tla su:

dopušteni napon na dubini fundiranja $\sigma_{dop} = 250 \text{ kN/m}^2$, zapreminska težina tla $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$, moduo elastičnosti tla $E_0 = 20000 \text{ kN/m}^2$, Poisson-ov koeficijent $\nu_0 = 0,25$ 

Rešenje:

Sračunavanje merodavnih statičkih uticaja:

ЗА ∞ КРУТУ РАМУ СЛУЖЕ
У СТУБОВИМА НИМАМО УСТЕДИН

Vertikalne sile u stubovima su:

$$V = \frac{P}{3} = \frac{4200}{3} = 1400 \text{ kN}$$

Određivanje dimenzija kontaktne spojnice. Pretpostavimo $D_f = 1,20 \text{ m}$.

Uticaji od ukupnog opterećenja

$$V = 1400 + 0,6 \cdot 0,4 \cdot 5 \cdot 25 = 1430 \text{ kN}$$

$$H = \pm 60 \text{ kN}$$

$$M = \pm 60 \cdot 5,6 = \pm 336 \text{ kNm}$$

Za zadati odnos strana temelja $k=L/B=1,40$

$$k^2 \cdot (\sigma_{\text{doz}} - \beta \cdot \gamma_b \cdot D_f) \cdot \beta^3 - k \cdot V \cdot B - 6 \cdot M = 0$$

$$1,40^2 \cdot (250 - 0,6 \cdot 25 - 0,6 \cdot 18) \cdot \beta^3 - 1,4 \cdot 1430 \cdot B - 6 \cdot 336 = 0$$

$$f(B) = B^3 - 4,556 \cdot B - 4,588 = 0$$

Rešavanjem gornje jednačine usvajaju se dimenzije temelja u osnovi

$$B/L = 2,5 / 3,5 \text{ m}$$

Određivanje potrebne visine temelja

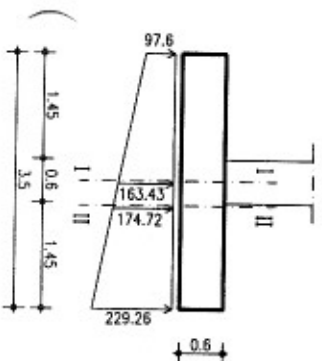
$$F = 2,5 \cdot 3,5 = 8,75 \text{ m}^2$$

$$W = \frac{1}{6} \cdot 2,5 \cdot 3,5^2 = 5,1 \text{ m}^3$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{1430}{8,75} \pm \frac{336}{5,1}$$

$$\sigma_1 = 163,43 + 65,83 = 229,26 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_2 = 163,43 - 65,83 = 97,60 \text{ kN/m}^2$$



Metodavni uticaji za određivanje potrebne visine temelja samca

$$M_{I-I} = \frac{2,5}{6} \cdot (2 \cdot 229,26 + 163,43) \cdot 1,75^2 = 686,38 \text{ kNm}$$

$$Q_{II-II} = \frac{2,5}{2} \cdot (174,72 + 229,96) \cdot 1,45 = 722,11 \text{ kN}$$

Određivanje potrebne visine temelja:

$$h_M = r \cdot \sqrt{\frac{\alpha \cdot M_{I-I}}{B}} = 0,207 \cdot \sqrt{\frac{2,25 \cdot 686,38 \cdot 10^2}{2,5}} = 51,44 \text{ cm}$$

$$h_Q = \frac{\gamma \cdot Q_{II-II}}{0,9 \cdot B \cdot \tau_a} = \frac{1,34 \cdot 722,11}{0,9 \cdot 2,5 \cdot 800} = 0,537 \text{ m}$$

$$d = h + a = 53,7 + 4 = 57,7 \text{ cm}$$

usvaja se $d=60 \text{ cm}$

Analiza opterećenja

korisno opterećenje

$$1400,00 \text{ kN}$$

težina temelja

$$2,5 \times 3,5 \times 0,60 \times 25 = 131,25 \text{ kN}$$

težina tla iznad temelja

$$2,5 \times 3,5 \times 0,60 \times 18 = 94,50 \text{ kN}$$

$$\Sigma V = 1625,75 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\text{rač}} = \frac{\Sigma V}{F} + \frac{M}{W} = \frac{1625,75}{2,5 \cdot 3,5} + \frac{6 \cdot 336}{2,5 \cdot 3,5^2} = 251,68 \text{ kN/m}^2$$

$$\Delta = \frac{\sigma_{\text{doz}} - \sigma_{\text{rač}}}{\sigma_{\text{doz}}} \cdot 100 = \frac{250,00 - 251,68}{250,00} \cdot 100 = 0,67 \% < 3 \%$$

Sleganje temelja (međusobni uticaj temelja je zanemaren) prema Schleicher-u

$$s = \frac{(1 - \nu_0^2)}{E_0 \cdot F} \cdot P \cdot \alpha$$

Prema knjizi S. Stevanovića - Fundiranje I za odnos strana pravougaonog temelja (u osnovi) $k=1,4$ odgovarajući koeficijent

$$\alpha = 1,15$$

Sleganje temelja je

$$s = \frac{(1 - 0,25^2) \cdot 1430}{20000 \cdot 2,5 \cdot 3,5} \cdot 2,5 \cdot 1,15 = 0,022 \text{ m}$$

$$s = 2,2 \text{ cm}$$

Sleganje temelja uzimajući u obzir međusobni uticaj

$$P_1 = \frac{1}{2,5 \cdot 3,5} = \frac{1}{8,75}$$

$$s_{11} = \frac{(1 - 0,25^2) \cdot 1,25}{\pi \cdot 10000} \cdot \frac{1430}{8,75} \cdot 7,05099 = 2,15 \text{ cm}$$

$$s_{11} = 15,0295 \cdot 10^{-6}$$

$$s_{21} = \frac{(1 - 0,25^2) \cdot 1,25}{\pi \cdot 20000 \cdot 8,75} \cdot 1,257393 = 2,68 \cdot 10^{-10}$$

$$\alpha = 1,4$$

$$m = \frac{x}{a} = \frac{6,0}{1,75} = 3,42 \Rightarrow F_{21} = 1,257393$$

$$s_{31} = 2,13154 \cdot 10^{-6} \cdot F_{31} = 1,224 \cdot 10^{-6}$$

$$\frac{12}{1,75} = 6,86 \approx 7,0 \Rightarrow F_{31} = 0,57434$$

Sistem jednačina je oblika:

$$10^{-6} \begin{bmatrix} 15,0295 & 2,68 \\ 2,68 & 15,0295 \\ 1,224 & 2,68 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \cdot s^*$$

Gornji sistem jednačina se svodi na dve nezavisne jednačine oblika:

$$16.254 \cdot P_1 + 2,68 \cdot P_{II} = 10^6 \cdot s^*$$

$$3,904 \cdot P_1 + 15,0295 \cdot P_{II} = 10^6 \cdot s^*$$

Potrebno je da bude zadovoljen i uslov ravnoteže:

$$2 \cdot P_1 + P_{II} = 4200$$

Jednostavnim transformacijama dobijaju se rešenja potpunog sistema jednačina:

$$16.254 \cdot P_1 + (4200 - 2P_1) = \bar{s}^*$$

$$3,904 \cdot P_1 + 15,0295 \cdot (4200 - 2P_1) = \bar{s}^*$$

$$1,2245P_1 = 1,224P_{II}$$

$$(11,0295 + 1,224) \cdot P_1 + 2,68 \cdot P_1 = 2,68 \cdot 2 \cdot P_1 + 15,0295 \cdot P_{II}$$

$$P_1 = 1,158 \cdot P_{II}$$

$$2 \cdot 1,158P_{II} + P_{II} = 4800$$

Sile u stubovima su (uzimajući u obzir međusobni uticaj temelja):

$$P_1 = 1466,72 \text{ kN}$$

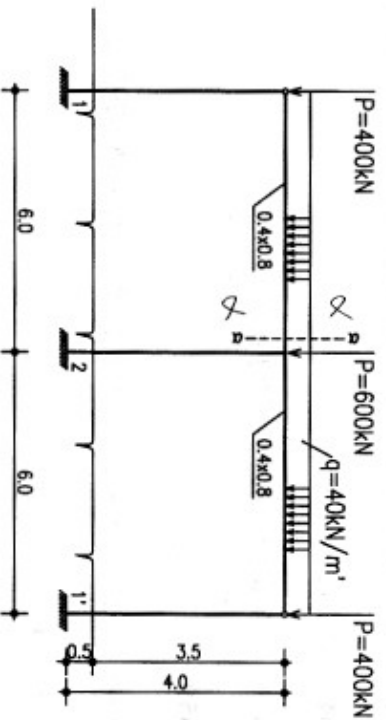
$$P_{II} = 1266 \text{ kN}$$

$$s = 2,68 \text{ cm}$$

1.2.5 Za nosač od armiranog betona, u svemu prema skici, potrebno je:

1. Odrediti potrebne dimenzije temelja u osnovi (visine temelja su cons. $h=0,5$ m).
2. Sračunati promenu momenata savijanja u preseku $\alpha-\alpha$ usled sleganja temelja, i to: ne uzimajući u obzir međusobni uticaj temelja i uzimajući u obzir međusobni uticaj temelja. Napomena: težinu stubova zanemeri, kao i njihova skraćjenja usled normalnih sila.

Karakteristike tla: dopušteni napon na dubini fundiranja $\sigma_{dop} = 250 \text{ kN/m}^2$, zapreminska težina $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$, modul stišljivosti $M_s = 15000 \text{ kN/m}^2$, Poisson-ov koeficijent $\nu_0 = 0,35$



Rešenje:

Sračunavanje statičkih uticaja

$$S_1 = 400 + \frac{3}{8} \cdot 40 \cdot 6 = 490 \text{ kN}$$

$$S_2 = 600 + 2 \cdot \frac{5}{8} \cdot 40 \cdot 6,0 = 900 \text{ kN}$$

$$M_{\alpha-\alpha} = \frac{1}{8} \cdot q \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 40 \cdot 6^2 = 180 \text{ kNm}$$

Određivanje potrebnih dimenzija kontaktne spojnice

$$F_2 = \frac{250 - (0,5 \cdot 18 + 0,5 \cdot 25)}{490} = 2,144 \text{ m}^2$$

$$B_1 = \sqrt{F_1} = \sqrt{2,144} = 1,46 \text{ m}$$

usvaja se $B_1 = 1,50 \text{ m}$

$$F_2 = \frac{900}{250 - (0,5 \cdot 18 + 0,5 \cdot 25)} = 3,938 \text{ m}^2$$

$$B_2 = \sqrt{F_2} = \sqrt{3,938} = 1,98 \text{ m}$$

usvaja se $B_2 = 2,00 \text{ m}$

2) Proračun sleganja temelja usled jediničnih sila (određivanje matrice fleksibilnosti)

Veza između modula deformabilnosti i modula stišljivosti izražena preko Poissonovog koeficijenta

$$E_0 = \frac{(1 - 2\nu_0)(1 + \nu_0)}{(1 - \nu_0)} M_s$$

$$E_0 = \frac{(1 - 2 \cdot 0,35)(1 + 0,35)}{(1 - 0,35)} \cdot 15000,00 = 9346,00 \text{ kN/m}^2$$

ТИПЕКО УТУКУ, Ф-ЗА РЕМО НАЛУ МАТРА, ФО ТАА, А В НЕ МАТРА СПИТОЧУ

Temelj 1

$$s_{11} = \frac{(1 - \nu_0^2) \cdot b \cdot P_1}{\pi \cdot E_0} \cdot F_{11}$$

$$P_1 = \frac{1}{1,52} = 0,4 \text{ kN/m}^2$$

Утајни коефицијенти се очитавују из таблица датих у knjizi Fundiranje I S. Stevanović (1960)

$$\alpha = 1, \quad m = \frac{x}{a} = 0 \Rightarrow F_{21} = 7,05099$$

$$s_{11} = \frac{(1 - 0,35^2) \cdot 0,75 \cdot 0,4}{3,14 \cdot 9346} \cdot 7,05099 = 7,024 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

$$\alpha = 1, \quad m = \frac{x}{a} = \frac{6,0}{0,75} = 8 \Rightarrow F_{21} = 0,50129$$

$$s_{21} = \frac{(1 - 0,35^2) \cdot 0,75 \cdot 0,4}{3,14 \cdot 9346} \cdot 0,50129 = 4,994 \cdot 10^{-6} \text{ m} \sim 5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

$$\alpha = 1, \quad m = \frac{x}{a} = \frac{12}{0,75} = 16 \Rightarrow F_{11} = 0,24776$$

$$s_{11} = \frac{(1 - 0,35^2) \cdot 0,75 \cdot 0,4}{3,14 \cdot 9346} \cdot 0,24776 = 2,468 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

Temelj 2

$$p_2 = \frac{1}{2} = 0,25 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{22} = \frac{(1 - 0,35^2) \cdot 1 \cdot 0,25}{3,14 \cdot 9346} \cdot 7,05099 = 5,268 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

$$\alpha = 1, \quad m = \frac{6,0}{1,0} = 6 \Rightarrow F_{12} = 0,66927$$

$$s_{12} = \frac{(1 - 0,35^2) \cdot 1 \cdot 0,25}{3,14 \cdot 9346} \cdot F_{12} = \frac{(1 - 0,35^2) \cdot 1 \cdot 0,25}{3,14 \cdot 9346} \cdot 0,66927 = 5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

Veza između sleganja temelja i zadatog opterećenja može se prikazati na sledeći način:

$$\begin{Bmatrix} s_1 \\ s_{11} \\ s_2 \end{Bmatrix} = 10^{-6} \cdot \begin{bmatrix} 70,240 & 5,000 & 2,468 \\ 5,000 & 52,680 & 4,996 \\ 2,468 & 4,996 & 70,240 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{Bmatrix}$$

Krutost na savijanje rigle nosača

(E_b = 20 · 10⁶ kN/m²) prema MS.

$$EI = \frac{1}{12} \cdot 0,4 \cdot 0,8^3 \cdot 20 \cdot 10^6 = 34133,32 \text{ kNm}^2$$

(za modul elastičnosti betona usvojeno je E_b = 20000000 kN/m²)

Zbirka zadataka iz fundiranja

43

$$k_{11} = -k_{12} = \frac{3 \cdot E \cdot I}{l^3} = 4740,74 \text{ kN/m}$$

$$k_{22} = 2k_{11}$$

matrica krutosti konstrukcije je oblika

$$k_k = \begin{bmatrix} 4740,740 & -4740,740 & 0 \\ -4740,740 & 9481,481 & -4740,740 \\ 0 & -4740,740 & 4740,740 \end{bmatrix}$$

43. СТРАНА ЗБИРКА

$$\begin{Bmatrix} S_I \\ S_{II} \\ S_I \end{Bmatrix} = 10^{-6} \cdot \begin{bmatrix} 31,218 & 1,125 & 1,109 \\ 1,125 & 13,117 & 2,22 \\ 1,109 & 2,22 & 31,218 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{Bmatrix}$$

$$a) \quad K_{\text{ТМ}} = \begin{bmatrix} 32032,8 & 75930,1 & 32032,8 \end{bmatrix} \rightarrow \text{из матри. директис у леву}$$

$$(K_k + K_{\text{ТМ}}) \cdot U = P \quad (\text{условна граница})$$

$$\begin{bmatrix} 36773,50 & -4740,74 & 0 \\ -4740,74 & 85411,60 & -4740,74 \\ 0 & -4740,74 & 36773,5 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 590 \\ 500 \\ 590 \end{Bmatrix}$$

$$u_1 = 0,014836 \text{ m}$$

$$\Delta u_{12} = 0,014836 - 0,012191 = 2,705 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

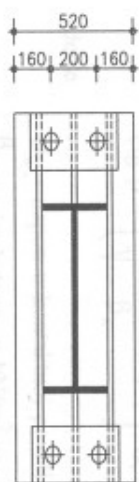
$$u_2 = 0,012191 \text{ m}$$

$$\Delta M_{\alpha-\alpha} = 4740,74 \cdot 2,705 \cdot 10^{-3} \cdot 6 = 76,94 \text{ kNm}$$

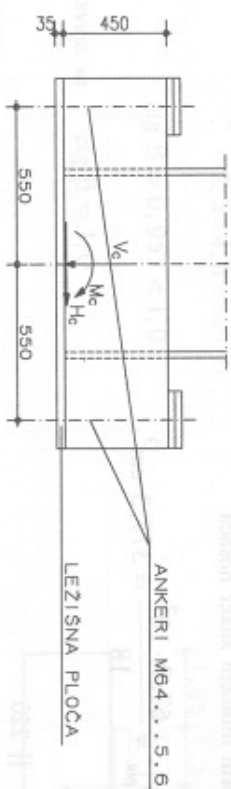
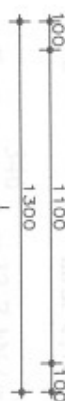


$$76,94 = \Delta M_{\alpha-\alpha}$$

12.6. Za čelični stub hale treba projektovati temelj od nearmiranog betona marke MB25 Dozvoljeni ivični napon na dubini fundiranja $\sigma_{\text{doz}} = 200 \text{ kN} / \text{m}^2$. Dati rešenje sa anker nosačima. Ankeri su M 64.....5.6



$N_e = 346 \text{ kN}$
 $M_e = 962 \text{ kNm}$
 $H_e = 97.2 \text{ kN}$



Rešenje:

Ukupna sila zatezanja u ankerima

$$Z = \frac{1}{h} \left(M - N \cdot \frac{h}{2} \right) = \frac{1}{1.1} (962.0 - 346 \cdot 0.55) = 701.5 \text{ kN}$$

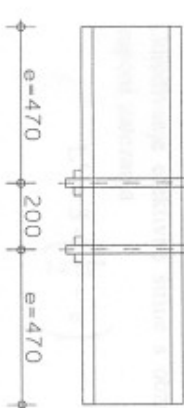
Određivanje dužine anker nosača



b_{ak} - širina anker nosača

$$e \approx 5.5 \cdot d + \frac{b_{\text{ak}}}{2}$$

$$b_{\text{ak}} = 2.5 \cdot d + 80 = 2.5 \cdot 64 + 80 = 240 \text{ mm}$$



$$e = 5.5 \cdot 64 + \frac{240}{2} = 472 \text{ mm}$$

Usvaja se $e = 470 \text{ mm}$

$$L = 200 + 2 \cdot 470 = 1140 \text{ mm} = 1,14 \text{ m}$$

Pošto je

$$e > 0,207L = 0,235 \text{ m}$$

$$M_{\max} = \frac{Z \cdot e^2}{2 \cdot L} = \frac{701 \cdot 0,47^2}{2 \cdot 1,14} = 67,9 \text{ kNm}$$

Potrebni otporni moment anker nosača

$$W_{\text{pot}} = \frac{67,9 \cdot 10^2}{18} = 377,3 \text{ cm}^3$$

Usvaja se $W \geq 220$

Potrebna površina temeljne spojnice

Usvaja se $L/B = k = 2,0$ $D_f = 2,0 \text{ m}$

Potrebne dimenzije temeljne spojnice se dobijaju rešenjem jednačine

$$k^2(\sigma_d - \beta \cdot \gamma_b \cdot D_f) \cdot B^3 - k \cdot P \cdot B - 6 \cdot M = 0$$

$$2^2(200 - 0,85 \cdot 24 \cdot 2,0) \cdot B^3 - 2 \cdot 346 \cdot B - 6 \cdot 962 = 0$$

$$636,8 B^3 - 692 B - 5772 = 0$$

Iz predhodne jednačine

$$B = 2,3 \text{ m}$$

$$L = 2 \cdot 2,3 = 4,6 \text{ m}$$

Potrebna visina temelja

Granični ugao β se određuje iz izraza

$$\operatorname{ctg} \beta = \left(\sqrt{\frac{100 \cdot \sigma_n}{\beta_k}} + 1 \right) \cdot 0,9$$

gde je

σ_n - napon u kontaktnoj površi bez uticaja težine temelja u kN/m^2

β_k - marka betona u kN/m^2

$$\sigma_n = \frac{346}{2,3 \cdot 4,6} = 32,7 \text{ kN / m}^2$$

$$\operatorname{ctg} \beta = 0,957 < 1,0$$

Usvaja se $\operatorname{ctg} \beta = 1,0$

$$h_r = \operatorname{ctg} \beta \cdot b_{\max} = 1,0 \cdot 1,65 = 1,65 \text{ m}$$

Kontrola napona u temeljnoj spojnici

$$N_e \dots \dots \dots = 346 \text{ kN}$$

$$\text{temelj } 2,3 \cdot 4,6 \cdot 1,6 \cdot 24 \dots \dots \dots = 419 \text{ kN}$$

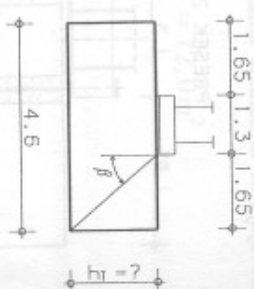
$$\Sigma V = 765 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{765}{2,3 \cdot 4,6} + \frac{6 \cdot 962}{2,3 \cdot 4,6^2} = 190,9 \text{ kN / m}^2$$

$$\sigma_{\min} = 72,3 - 118,6 = -46,3 \text{ kN / m}^2 < 0$$

Određivanje efektivne širine s obzirom da se preko temelja na tlo ne mogu prenети naponi zatezanja

$$L' = 3 \cdot \left(\frac{L}{2} - e \right)$$



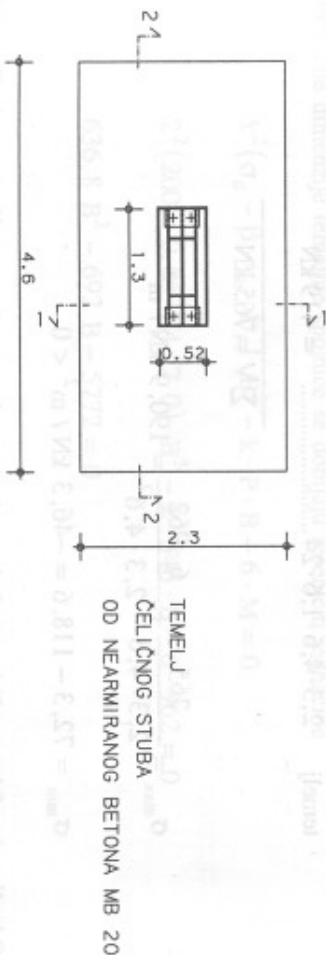
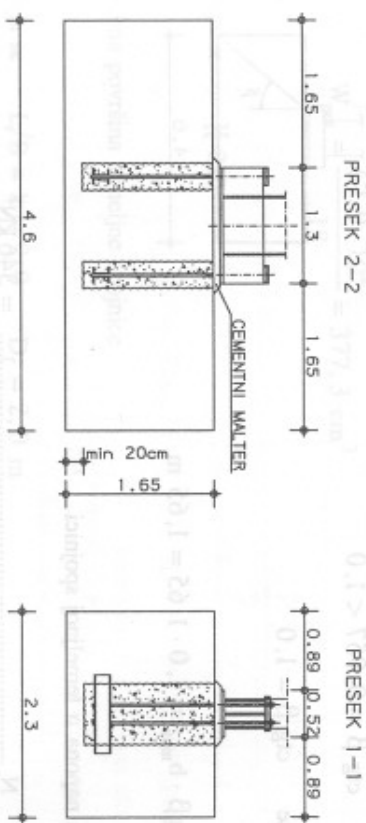
$$e = \frac{M}{\Sigma V} = 1,25 \text{ m}$$

$$L' = 3 \cdot (2,3 - 1,25) = 3,15 \text{ m}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{2 \cdot \Sigma V}{L' \cdot B} = \frac{2 \cdot 765}{3,15 \cdot 2,3} = 211,2 \text{ kN/m}^2$$

$$\Delta = \frac{211,2 - 200}{200} \cdot 100 = 5,5\% \approx 5\%$$

Usvaja se dimenzije temelja $L/B = 4,6 \text{ m} / 2,3 \text{ m}$



12.7. Odrediti dimenzije temelja fabričkog dimnjaka. Težina dimnjaka je $G = 1800 \text{ kN}$. Srednji prečnik prstenaste osnove dimnjaka je $D = 4,5 \text{ m}$; dubina fundiranja $D_f = 2,5 \text{ m}$; zapreminska težina temelja $\gamma_b = 24 \text{ kN/m}^3$, dozvoljeni pritisak na tlo je $\sigma_{\text{doz}} = 200 \text{ kN/m}^2$. Rezultanta od opterećenja od vetra je $H = 120 \text{ kN}$ i deluje na visini $h = 16,0 \text{ m}$ iznad površine terena.

Rešenje:

Moment od opterećenja vetrom

$$M = H \cdot (h + D_f) = 120 \cdot (16 + 2,5) = 2220 \text{ kNm}$$

Potrebna naležuća površina

$$F_t = \frac{V}{\sigma_{\text{doz}} - \beta \cdot \gamma_b \cdot D_f} = \frac{1800}{200 - 0,85 \cdot 24 \cdot 2,5} = 12,0 \text{ m}^2$$

Površina osnove preseka na spoju sa temeljem

$$F_k = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 4,5^2}{4} = 15,896 \text{ m}^2$$

Kako je $F_t \ll F_k$ zaključujemo da treba primeniti prstenasti temelj.

Širina prstenastog temelja je data jednačinom:

$$\pi \cdot D \cdot (\sigma_{\text{doz}} - \beta \cdot \gamma_b \cdot D_f) \cdot B^3 - G_k \cdot B^2 + [\pi \cdot D^3 (\sigma_{\text{doz}} - \beta \cdot \gamma_b \cdot D_f) - 4 \cdot M] \cdot B - 4 \cdot D \cdot M - G_k \cdot D^2 = 0$$

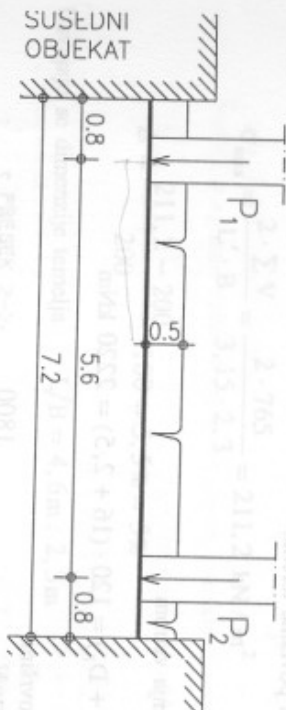
$$3,14 \cdot 4,5 \cdot (200 - 0,85 \cdot 24 \cdot 2,5) \cdot B^3 - 1800 \cdot B^2 + [3,14 \cdot 4,5^3 (200 - 0,85 \cdot 24 \cdot 2,5) - 4 \cdot 2220] \cdot B - 4 \cdot 4,5 \cdot 2220 - 1800 \cdot 4,5^2 = 0$$

$$B^3 - 0,855 \cdot B^2 + 16,032 \cdot B - 36,293 = 0$$

Rešenje jednačine se dobija probanjem.

Usvaja se širina prstenastog temelja $B = 2,0 \text{ m}$.

I.3.1. Projektovati zajednički temelj za dva stuba čija je dispozicija data na skici. Stubovi su poprečnog preseka 45×45 cm i opterećeni silama $P_1 = 2000$ kN, $P_2 = 1600$ kN. Temelj je od armiranog betona MB 30. Dopusćeni napon na dubini fundiranja je $\sigma_{doz} = 250$ kN / m².



Rešenje:

Određivanje dimenzija kontaktne površine
Rezultanta sila u stubovima

$$R = P_1 + P_2 = 200 + 1600 = 3600 \text{ kN}$$

Položaj rezultante

$$\xi = \frac{1600 \cdot 5.6}{3600} = 2.49 \text{ m} \approx 2.50 \text{ m}$$

Pretpostavljamo dubinu fundiranja $D_f = 2,3$ m. Potrebno je da budu zadovoljeni uslovi (centrisanje temelja):

$$\frac{R}{\sigma_{doz} - 0.85 \cdot \gamma_b \cdot D_f} = 3.55 \cdot (B_1 + B_2) \quad (1)$$

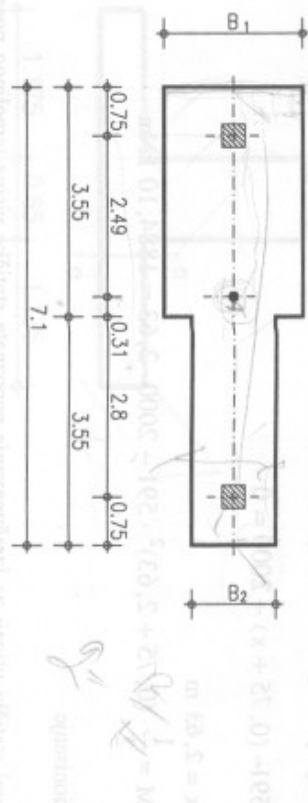
$$(0.75 + \xi) = \frac{B_1 \cdot 1.775 \cdot 3.55 + B_2 \cdot 3.55 \cdot 5.325}{3.55 \cdot (B_1 + B_2)} \quad (2)$$

Iz gornjih uslova dobija se sistem jednačina

$$\begin{cases} B_1 + B_2 = 5.15 \\ 6.3 \cdot B_1 + 18.9 \cdot B_2 = 59.23 \end{cases}$$

Rešavanjem gornjeg sistema jednačina dobija se

$$B_1 = 3.02 \text{ m i } B_2 = 2.15 \text{ m}$$



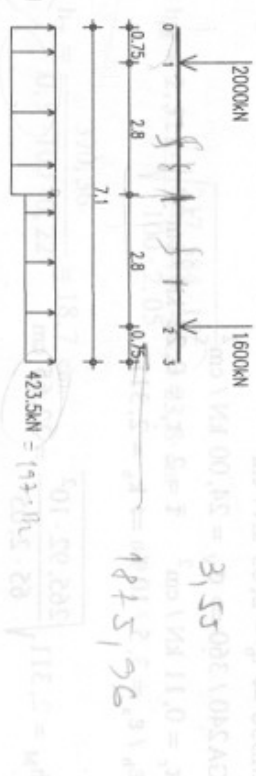
Usvajamo dimenzije

$$B_1 = 3.00 \text{ m i } B_2 = 2.15 \text{ m}$$

Dijagram reaktivnog opterećenja tla

$$q = \frac{R}{F} = \frac{3600}{18.282} = 197 \text{ kN / m}^2$$

Određivanje meridijalnih statičkih uticaja za dimensionisanje temeljnog nosača.



$$M_1 = \frac{1}{2} \cdot 591.00 \cdot 0.75^2 = 166.20 \text{ kNm}$$

$$M_2 = \frac{1}{2} \cdot 433.50 \cdot 0.75^2 = 119.20 \text{ kNm}$$

$$T_0 = 0.0 \text{ kN}$$

$$T_{10} = 591.00 \cdot 0.75 = 443.00 \text{ kN}$$

$$T_{12} = 443.00 - 2000.00 = -1547.00 \text{ kN}$$

$$T_{21} = -1547.00 + 2.80 \cdot (591.00 + 423.50) = 1293.00 \text{ kN}$$

$$T_{23} = 1293,00 - 1600,00 = -317,00 \text{ kN}$$

Određivanje položaja ekstremnog momenta između stubova temeljnog nosača

$$591 \cdot (0,75 + x) - 2000 = 0$$

$$x = 2,63 \text{ m}$$

$$M = \frac{1}{2} \cdot (0,75 + 2,63)^2 \cdot 591 - 2000 \cdot 2,63 = 1884,10 \text{ kNm}$$

Dimenzionisanje

Merodavni statički uticaji za izračunavanje nepoznate statičke visine temeljnog nosača

$$T = T_{12} = 1547 \text{ kN}$$

$$M = M_1 = 166,2 \text{ kNm}$$

Usvaja se globalni koeficijent sigurnosti $\gamma = 1,60$

$$M_u = 1,6 \cdot 166,2 = 265,92 \text{ kNm}$$

$$T_u = 1,6 \cdot 1547 = 2475,20 \text{ kN}$$

$$MB30 \Rightarrow f_b = 2,05 \text{ kN / cm}^2$$

$$GA240 / 360 \Rightarrow \sigma_v = 24,00 \text{ kN / cm}^2$$

$$\tau_r = 0,11 \text{ kN / cm}^2 \quad \bar{\tau} = 2 \cdot \tau_r = 0,22 \text{ kN / cm}^2$$

$$\epsilon_b / \epsilon_a = 3,5 / 10\% \Rightarrow k_b = 2,311$$

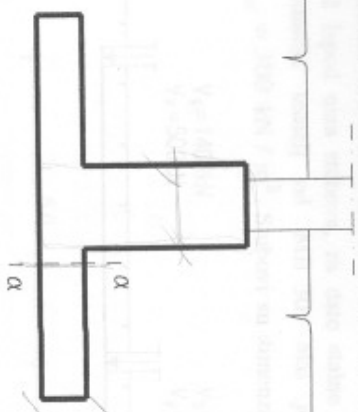
$$h_M = 2,311 \sqrt{\frac{265,92 \cdot 10^2}{65 \cdot 2,05}} = 32,65 \text{ cm}$$

$$h_T = \frac{2475,2}{0,9 \cdot 65 \cdot 0,22} = 192,32 \text{ cm}$$

usvaja se ukupna visina temeljnog nosača $d=200 \text{ cm}$.

Određivanje visine temeljne ploče.

Temeljna ploča je trakasti temelj i računa se na $1,0 \text{ m}$ dužine.



$$M_{\alpha-\alpha} = \frac{1}{2} \cdot 1,175^2 \cdot 197 = 135,99 \text{ kNm / m'}$$

$$T_{\alpha-\alpha} = 1,175 \cdot 197 = 231,475 \text{ kN / m'}$$

$$M_u = 1,6 \cdot 135,99 = 217,584 \text{ kNm / m'}$$

$$T_u = 1,6 \cdot 231,475 = 370,36 \text{ kN / m'}$$

$$h_M = 2,311 \cdot \sqrt{\frac{217,584 \cdot 10^2}{100 \cdot 2,05}} = 23,8 \text{ cm}$$

$$h_T = \frac{370,36}{0,9 \cdot 100 \cdot 0,22} = 18,7 \text{ cm}$$

usvaja se ukupna visina temeljne ploče $d=35 \text{ cm}$.

Kontrola temeljnog nosača na uticaj momenta savijanja u rasponu između stubova

$$M = 1884,10 \text{ kNm}$$

$$M_u = 1,6 \cdot 1884,10 = 3014,56 \text{ kNm}$$

usvojeno $a = 10 \text{ cm}$

$$h = 200 - 10 = 190 \text{ cm}$$

$$k_b = \frac{190}{\sqrt{\frac{3014,56 \cdot 100}{300 \cdot 2,05}}} = 8,58$$

$$\epsilon_b / \epsilon_a = 0,575 / 10\%$$

$$\bar{\mu} = 1,413$$

$$s = 0,054$$

$$s \cdot b = 0,054 \cdot 190 = 10,26 \text{ cm} < d_p = 35 \text{ cm}$$

$$F_a = 1,413 \cdot \frac{300 \cdot 190}{100} \cdot \frac{2,05}{24} = 68,79 \text{ cm}^2$$

Usvaja se $(14\Phi 25 (F_a = 68,72 \text{ cm}^2))$

Analiza opterećenja

korisno opterećenje

$$\text{nosaa} \quad 1,65 \times 0,65 \times 7,1 \times 25$$

$$= 190,369 \text{ kN}$$

$$\text{ploaa} \quad 0,35 \times 18,282 \times 25$$

$$= 159,968 \text{ kN}$$

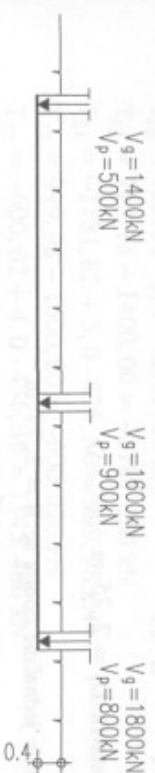
$$\text{nasip} \quad 2 \times 3,55 \times 2,15 \times (1,175 + 0,75) \times 18$$

$$= 528,93 \text{ kN}$$

$$\Sigma V = 4479,27 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\text{raa}} = \frac{\Sigma V}{F} = \frac{4479,27}{18,282} = 245 \text{ kN/m}^2$$

1.3.2 Ispod niza stubova, za dato stalno i povremeno opterećenje, treba projektovati zajednički temelj od MB 30, ako je dopušteni napon na dubini fundiranja $\sigma_{\text{doz}} = 300 \text{ kN/m}^2$. Stubovi su dimenzija $0,50 \times 0,50 \text{ m}$.



Rješenje:

Izvršite se centrisanje temelja za uticaje od stalnog opterećenja. Da bi reaktivno opterećenje bilo konstantno duž nosača potrebno je da rezultanta sila od stalnog opterećenja bude u težištu naležuće površine.

Određivanje položaja rezultante stalnog opterećenja

$$R = 1400 + 1600 + 1800 = 4800 \text{ kN}$$

$$\xi = \frac{1600 \cdot 5 + 1900 \cdot 9}{4800} = 5,0 \text{ m}$$

$$\xi' = 4,0 \text{ m}$$

Dužina prepusta temelja (uz veću silu)

$$a_2 = (0,25 - 0,30) \cdot l_{\text{max}} = 1,50 \text{ m}$$

Određivanje dužine temeljnog nosača

$$\frac{l}{2} = \xi' + a_2 = 4 + 1,5 = 5,5 \text{ m}$$

ukupna dužina temeljnog nosača

$$L = 2 \cdot 5,5 = 11 \text{ m}$$

Dužina prepusta sa druge strane iznosi

$$a_1 = 0,5 \text{ m}$$

Potrebnu širinu temeljnog nosača određujemo iz jednačine

$$\frac{4800 + 2200}{B \cdot 11} + \frac{6 \cdot 700}{B \cdot 11^2} \leq 300 - 0,85 \cdot 25 \cdot 2,75$$

B · 11

B · 11²

gde smo pretpostavili $D_t = 2,75$ m

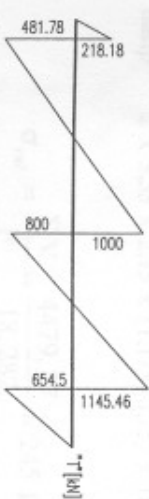
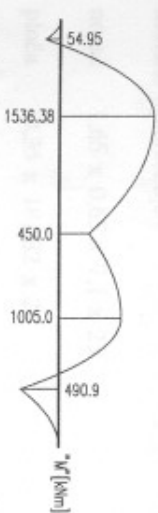
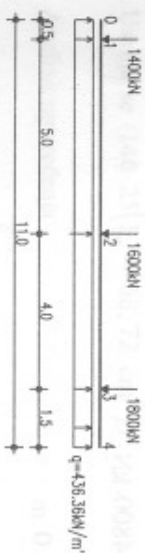
Rešavanjem gornje jednačine dobija se $B = 2,77$ m

usvaja se $B = 2,80$ m

Određivanje metodavnih statičkih uticaja za dimenzionisanje.

Zadatak ćemo prvo rešiti kao statički određen sistem pod pretpostavkom pravolinijske raspodele reaktivnog opterećenja. Za uticaj stalnog opterećenja reaktivno opterećenje je ravnomerno raspoređeno po nosaču i iznosi:

$$q_g = \frac{V}{L} = \frac{4800}{11} = 436,35 \text{ kN / m'}$$



$$M_1 = \frac{1}{2} \cdot 436,36 \cdot 0,5^2 = 54,545 \text{ kNm}$$

$$M_2 = \frac{1}{2} \cdot 436,36 \cdot 5,5^2 - 1400 \cdot 0,5 \cdot 0 = 400,055 \text{ kNm}$$

$$M_3 = \frac{1}{2} \cdot 436,36 \cdot 1,5^2 = 490,905 \text{ kNm}$$

$$T_0 = 0,0 \text{ kN}$$

$$T_{10} = 436,36 \cdot 0,5 = 218,180 \text{ kN}$$

$$T_{12} = 218,18 - 1400,00 = -1181,820 \text{ kN}$$

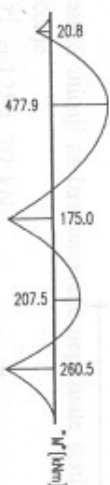
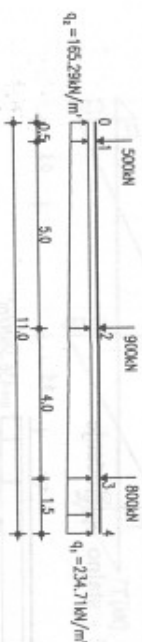
$$T_{21} = -1181,82 + 5,0 \cdot 436,36 = 999,98 \text{ kN}$$

$$T_{23} = 999,98 - 1600,00 = -600,020 \text{ kN}$$

$$T_{32} = -600,02 + 4,0 \cdot 436,36 = 1145,460 \text{ kN}$$

$$T_{34} = 1145,46 - 1800,00 = -654,580 \text{ kN}$$

Za pokretno opterećenje raspodela reaktivnog opterećenja tla je pravolinijska sa ordinatama:



$$q_{p1} = \frac{V}{L} + \frac{6 \cdot M}{L^2} = \frac{2200}{11} + \frac{6 \cdot 700}{11^2} = 234,71 \text{ kN / m'}$$

$$q_{p2} = \frac{V}{L} - \frac{6 \cdot M}{L^2} = \frac{2200}{11} - \frac{6 \cdot 700}{11^2} = 165,29 \text{ kN / m'}$$

$$M_1 = \frac{1}{6} \cdot (2 \cdot 165,29 + 168,44) \cdot 0,5^2 = 20,793 \text{ kNm}$$

$$M_2 = \frac{1}{6} \cdot (2 \cdot 165,29 + 200,00) \cdot 5,5^2 - 500,00 \cdot 0,5 \cdot 0 = 175,000 \text{ kNm}$$

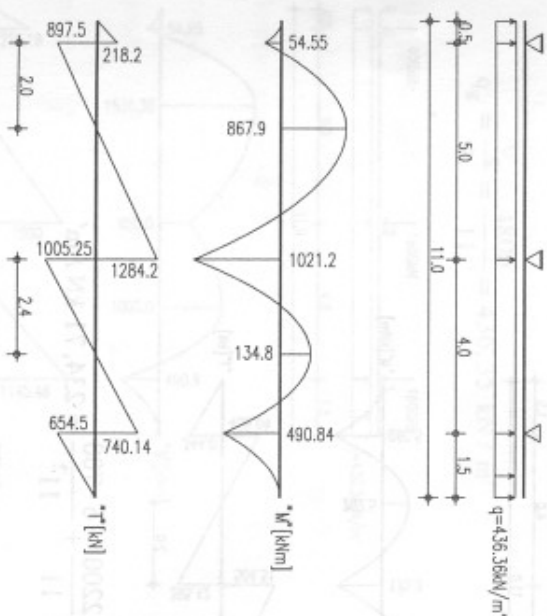
$$M_3 = \frac{1}{6} \cdot (225,244 + 2 \cdot 234,71) \cdot 1,5^2 = 260,500 \text{ kNm}$$

$$T_0 = 0,0 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 T_{10} &= \frac{1}{2}(168,44 + 165,29) \cdot 0,5 = 83,434 \text{ kN} \\
 T_{12} &= 83,434 - 500,00 = -416,566 \text{ kN} \\
 T_{21} &= -416,56 + \frac{1}{2}5,0 \cdot (168,44 + 200,00) = 504,546 \text{ kN} \\
 T_{23} &= 504,55 - 900,00 = -395,454 \text{ kN} \\
 T_{32} &= -395,45 + \frac{1}{2}4,0 \cdot (200,00 + 225,24) = 455,034 \text{ kN} \\
 T_{34} &= 455,03 - 800,00 = -344,965 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

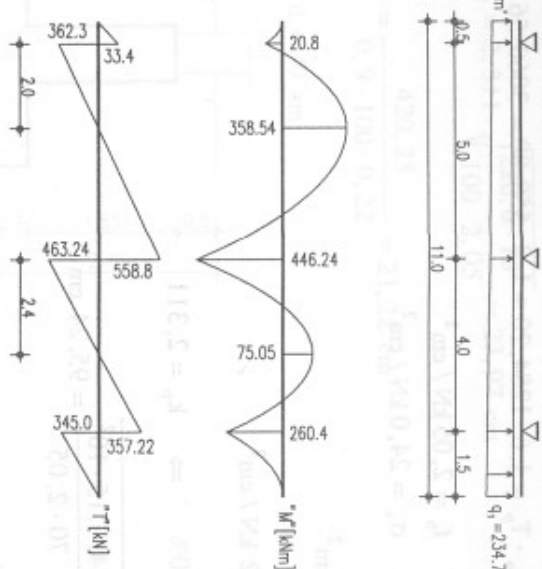
Pretpostavljajući da su na mestima stubova nepomerljivi oslonci, temeljni nosač je statički neodređen (kontinualni nosač).

Statički neodređen nosač - stalno opterećenje



Statički neodređen nosač - povremeno opterećenje

$$q_b = 165,29 \text{ kN/m}^2, \quad q_1 = 234,71 \text{ kN/m}^2$$



Dimenzionisanje

Metodavni statički uticaji za izračunavanje nepoznate statičke visine temeljnog nosača

Stalno opterećenje

$$T_g = T_2^I = 1284,20 \text{ kN}$$

$$M_g = M_2^I = 1021,20 \text{ kNm}$$

Povremeno opterećenje

$$T_p = T_2^I = 558,80 \text{ kN}$$

$$M_p = M_2^I = 446,24 \text{ kNm}$$

Usvojeni koeficijenti sigurnosti:

za stalno opterećenje $\gamma_g = 1,6$

za povremeno opterećenje $\gamma_p = 1,8$

$$M_u = \gamma_g \cdot M_g + \gamma_p \cdot M_p = 1,6 \cdot 1021,20 + 1,8 \cdot 446,24 = 2437,15 \text{ kNm}$$

$$T_u = \gamma_g \cdot T_g + \gamma_p \cdot T_p = 1,6 \cdot 1284,20 + 1,8 \cdot 558,80 = 3060,56 \text{ kN}$$

$$MB \ 30 \quad f_b = 2,05 \text{ kN/cm}^2$$

$$GA \ 240 / 360 \quad \sigma_v = 24,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_r = 0,11 \text{ kN/cm}^2$$

$$\bar{\tau} = 2 \cdot \tau_r = 0,22 \text{ kN/cm}^2$$

$$\epsilon_b / \epsilon_a = 3,5 / 10\% \Rightarrow k_b = 2,311$$

$$h_M = 2,311 \cdot \sqrt{\frac{2437,15 \cdot 10^2}{70 \cdot 2,05}} = 95,24 \text{ cm}$$

$$h_T = \frac{3060,56}{0,9 \cdot 70 \cdot 0,22} = 220,80 \text{ cm}$$

Određivanje visine temeljne ploče

Temeljna ploča je trakasti temelj i računa se na 1,0 m dužine.

Stalno opterećenje

$$M_g^{\alpha-\alpha} = \frac{1}{2} \cdot 1,05^2 \cdot 155,84 = 85,9 \text{ kNm/m'}$$

$$T_g^{\alpha-\alpha} = 1,05 \cdot 155,84 = 163,64 \text{ kN}$$

Pokretno opterećenje

$$M_p^{\alpha-\alpha} = \frac{1}{2} \cdot 1,05^2 \cdot 83,825 = 46,2 \text{ kNm/m'}$$

$$T_p^{\alpha-\alpha} = 1,05 \cdot 83,825 = 88 \text{ kN}$$

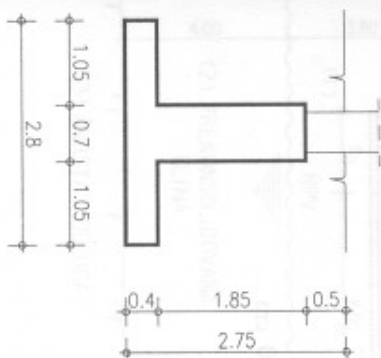
$$M_u = \gamma_g \cdot M_g + \gamma_p \cdot M_p = 1,6 \cdot 85,9 + 1,8 \cdot 46,2 = 220,6 \text{ kNm}$$

$$T_u = \gamma_g \cdot T_g + \gamma_p \cdot T_p = 1,6 \cdot 163,64 + 1,8 \cdot 88 = 420,25 \text{ kN}$$

$$h_M = 2,311 \cdot \sqrt{\frac{220,6 \cdot 10^2}{100 \cdot 2,05}} = 23,97 \text{ cm}$$

$$h_T = \frac{420,25}{0,9 \cdot 100 \cdot 0,22} = 21,22 \text{ cm}$$

usvaja se $d = 40 \text{ cm}$



Kontrola temeljnog nosača na uticaj momenta savijanja u rasponu između stubova. Za moment savijanja u poljima uzimamo srednje vrednosti iz uslova da je temeljni nosač statički određen i da predstavlja kontinualni nosač.

Stalno opterećenje

$$M_g = \frac{1}{2} \cdot (1536,38 + 825,75) = 1181,06 \text{ kNm}$$

Pokretno opterećenje

$$M_p = \frac{1}{2} \cdot (477,90 + 342,18) = 410,04 \text{ kNm}$$

Merodavni moment za dimenzionisanje

$$M_u = \gamma_g \cdot M_g + \gamma_p \cdot M_p = 1,6 \cdot 1181,06 + 1,8 \cdot 410,04 = 2627,78 \text{ kNm}$$

usvojeno $a = 10 \text{ cm}$

$$h = d - a = 215 \text{ cm}$$

Statički uticaji u nosaču

a) Nosač statički određen



$$M_1 = \frac{1}{2} \cdot 300,75 \cdot 1,50^2 = 338,34 \text{ kNm}$$

$$M_2 = \frac{1}{2} \cdot 300,75 \cdot 7,50^2 - 1400 \cdot 6,00 = 58,61 \text{ kNm}$$

$$M_3 = \frac{1}{2} \cdot 300,75 \cdot 0,80^2 = 96,24 \text{ kNm}$$

$$T_0 = 0$$

$$T_{10} = 300,75 \cdot 1,5 = 451,12 \text{ kN}$$

$$T_{12} = 451,12 - 1400 = -948,87 \text{ kN}$$

$$T_{21} = -948,87 + 6,00 \cdot 300,75 = 855,62 \text{ kN}$$

$$T_{23} = 855,62 - 1600 = -744,37 \text{ kN}$$

$$T_{32} = -744,34 + 300,75 \cdot 5,00 = 759,37 \text{ kN}$$

$$T_{34} = 759,87 - 1000 = -240,62 \text{ kN}$$

b) Nosač statički neodređen:

$$K_{11} = \frac{1}{6,00} = 0,16667$$

$$d_{21} = 1,5 \cdot 0,16667 = 0,25$$

$$K_{23} = \frac{1}{5,00} = 0,200$$

$$d_{23} = 1,5 \cdot 0,200 = 0,300$$

$$A_{22} \cdot \varphi_2 + A_{20} = 0$$

$$A_{22} = 0,25 + 0,300 = 0,550$$

$$M_{21} = -\frac{1}{8} \cdot 300,75 \cdot 6,0^2 = -1353,37 \text{ kNm}$$

$$M_{23} = \frac{1}{8} \cdot 300,75 \cdot 5,0^2 = 939,84 \text{ kNm}$$

$$A_{20} = \frac{1}{2} \cdot 338,34 - 1353,37 + 939,84 - \frac{1}{2} \cdot 96,24 = -292,48$$

$$0,55 \cdot \varphi_2 - 292,48 = 0$$

$$\varphi_2 = 531,782$$

$$M_{21} = -1353,37 + \frac{1}{2} \cdot 338,34 + 0,25 \cdot 531,782 = -1051,25 \text{ kNm}$$

Kontrola

$$M_{23} = 939,84 - \frac{1}{2} \cdot 96,24 + 0,300 \cdot 531,782 = 1051,25 \text{ kNm}$$

$$T_{21} = 300,75 \cdot 3,0 + \frac{1057,25 - 338,34}{6,00} = 1021,07 \text{ kN}$$

$$T_{23} = -300,75 \cdot 2,5 - \frac{1057,25 - 96,24}{5,00} = -942,87 \text{ kN}$$

$$T_{12} = -300,75 \cdot 3,0 + \frac{1057,25 - 338,34}{6,00} = -783,43 \text{ kN}$$

$$T_{32} = 751,87 - 191,00 = 560,87 \text{ kN}$$

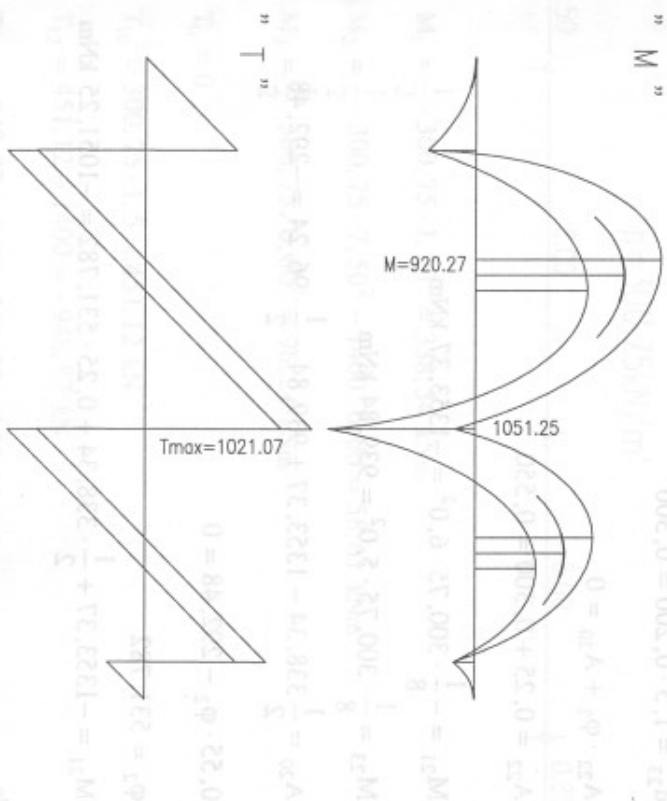
$$R_1 = 1234,55 \text{ kN}$$

$$R_2 = 1963,94 \text{ kN}$$

$$R_3 = 801,47 \text{ kN}$$

$$\Sigma R = 3999,96 \text{ kN}$$

Merodavni uticaji za dimenzionisanje nosača



$$M_{\max} = 1051,25 \text{ kNm}$$

$$M_{\min} = 920,27 \text{ kNm}$$

$$T_{\max} = 1021,07 \text{ kN}$$

Dimenzionisanje temeljnog nosača
MB 30

ČBR 400/500

$$b = b_0 + 2 \cdot 0,10 = 0,50 + 2 \cdot 0,10 = 0,70 \text{ m}$$

$$h_M = K_0 \sqrt{\frac{M_x \cdot \gamma_u}{\beta_b \cdot b}}$$

Ako se pretpostavi da je 70% stalno opterećenje a 30% pokretno opterećenje

$$\gamma_u = 0,70 \cdot 1,60 + 0,30 \cdot 1,80 = 1,66$$

za MB 30

$$\beta_b = 20,50 \quad \epsilon_a / \phi \cdot \epsilon_b = 10 / 3,5$$

$$K_b = 2,311$$

$$h_M = 2,311 \cdot \sqrt{\frac{1057,25 \cdot 1,66}{2,05 \cdot 0,70}} = 80,59 \text{ cm}$$

$$T_r = 1021,07 - 0,75 \cdot 1,0 \cdot 300,75 = 795,51$$

$$h_a = \frac{T_r \cdot \gamma}{0,9 \cdot b \cdot 2 \cdot \tau_t} = \frac{795,57 \cdot 1,66}{0,9 \cdot 70 \cdot 2 \cdot 0,2} = 95,28 \text{ cm}$$

$$d = 95,28 + \emptyset / 2$$

Usvojeno $d = 1,05 \text{ m}$

Armatura

$$m = \frac{1051,25 \cdot 1,66}{70 \cdot 95^2 \cdot 2,05} \cdot 100 = 0,1347 = 13,47\%$$

$$\epsilon_a / \phi \cdot \epsilon_b = 9,8 / 0,7 \cdot 3,5$$

$$\bar{\mu} = 14,588$$

$$F_a = 70 \cdot 95 \cdot 0,14 \cdot \frac{20,5}{400} = 49,72 \text{ cm}^2$$

$$10 R\emptyset 25$$

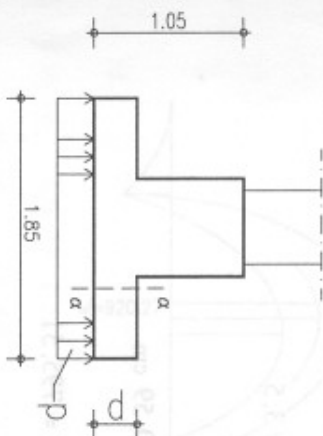
Određivanje dimenzija ploče temelja

$$\sigma_{\text{doz}} = 200 \text{ kN / m}^2$$

$$F_{\text{pot}} = \frac{\sigma_{\text{doz}} - \beta \cdot \gamma_b \cdot D_f}{R} = \frac{200 - 0,85 \cdot 25 \cdot 1,60}{1,30} = 24,10 \text{ m}^2$$

$$B_{\text{pot}} = \frac{F_{\text{pot}}}{L} = \frac{24,10}{13,30} = 1,81 \text{ m}$$

Usvaja se $B = 1,85 \text{ m}$



$$P = \frac{4000,00}{13,36 \cdot 1,85} = 162,57 \text{ kN / m}^2$$

$$M_{\alpha} = \frac{1}{2} \cdot 162,57 \cdot 0,575^2 = 26,87 \text{ kNm / m'}$$

$$h_M = 2,311 \cdot \sqrt{\frac{26,87 \cdot 1,66}{2,05 \cdot 1,00}} = 10,77 \text{ cm}$$

Usvaja se $d = 20 \text{ cm}$

Armatura

$$m = \frac{26,87 \cdot 1,66}{100 \cdot 15^2 \cdot 2,05} \cdot 100 = 0,0967 = 9,67\%$$

$$\epsilon_a / \phi \cdot \epsilon_b = 5,8 / 0,4 \cdot 3,5$$

$$\mu = 10,435$$

$$F_a = 100 \cdot 15 \cdot 0,10435 \cdot \frac{20,5}{400} = 13,37 \text{ cm}^2$$

$$\varnothing 12/8,5$$

Proračun stvarnih pritisa na tlo

Analiza opterećenja

$$\begin{aligned} \text{od stubova} & 1400 + 1600 + 1000 \dots\dots\dots = 4000 \text{ kN} \\ \text{težina temelja} & (0,7 \cdot 0,8 + 1,85 \cdot 0,25) \cdot 13,3 \cdot 25,0 \cdot \dots\dots\dots = 339,98 \text{ kN} \\ \text{tlo iznad temelja} & [(1,85 \cdot 0,7) \cdot 0,8 + 0,55 \cdot 2,85] \cdot 13,3 \cdot 18,0 = 463,84 \text{ kN} \end{aligned}$$

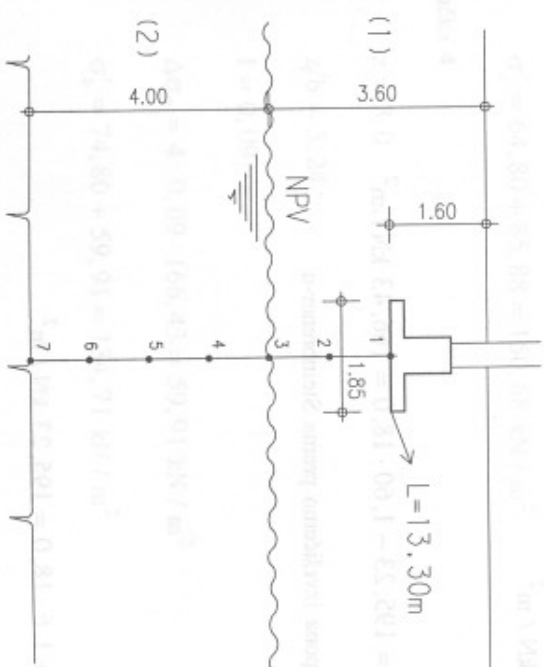
$$\Sigma V = 4803,82 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\text{rač}} = \frac{4803,82}{13,30 \cdot 1,85} = 195,23 \text{ kN / m}^2$$

$$\Delta = \frac{\sigma_{\text{doz}} - \sigma_{\text{rač}}}{\sigma_{\text{doz}}} \cdot 100 = \frac{200 - 195,23}{200} \cdot 100 = 2,38\% < 3\%$$

B) Vinklerov model

Proračun sleganja temelja



$$1p'_0 = 18,0 \cdot 1,60 = 28,80 \text{ kN / m}^2$$

$$2p'_0 = 28,80 + 18,0 = 46,80 \text{ kN / m}^2$$

$$3p'_0 = 46,80 + 18,0 = 64,80 \text{ kN / m}^2$$

$$4p'_0 = 64,80 + 10 = 74,80 \text{ kN / m}^2$$

$$5p'_0 = 84,80 \text{ kN / m}^2$$

$$6p'_0 = 94,80 \text{ kN / m}^2$$

$$7p'_0 = 104,80 \text{ kN / m}^2$$

$$3p'_c = 64,80 + 40 = 104,80 \text{ kN / m}^2$$

$$4p'_c = 74,80 + 40 = 114,80 \text{ kN / m}^2$$

$$5p'_c = 124,80 \text{ kN / m}^2$$

$$6p'_c = 134,80 \text{ kN / m}^2$$

$$7p'_c = 144,80 \text{ kN / m}^2$$

Neto napon

$$\bar{p} = p - \gamma \cdot D_f = 195,23 - 1,60 \cdot 18,0 = 166,43 \text{ kN / m}^2$$

Proračun vertikalnih napona izvršićemo prema Steinbrenner-u

Tačka 1

$$z = 0$$

$$\Delta\sigma_z = 166,43$$

$$1\sigma'_z = 166,43 + 1,6 \cdot 18,0 = 195,23 \text{ kN / m}^2$$

Zbirka zadataka iz fundiranja

Tačka 2

$$z = 1,0$$

$$a / b = \frac{13,30}{1,85} = 7,20$$

$$b = 0,925$$

$$z/b = 1,08$$

$$I = 0,195$$

$$\Delta\sigma_z = 4 \cdot 166,43 \cdot 0,195 = 129,81 \text{ kN / m}^2$$

$$\sigma'_z = 129,81 + 46,80 = 176,6 \text{ kN / m}^2$$

Tačka 3

$$z = 2,0$$

$$z/b = 2,16$$

$$I = 0,129$$

$$\Delta\sigma_z = 4 \cdot 166,43 \cdot 0,129 = 85,88 \text{ kN / m}^2$$

$$\sigma'_z = 64,80 + 85,88 = 150,68 \text{ kN / m}^2$$

Tačka 4

$$z = 3,0$$

$$z/b = 3,24$$

$$I = 0,09$$

$$\Delta\sigma_z = 4 \cdot 0,09 \cdot 166,43 = 59,91 \text{ kN / m}^2$$

$$\sigma'_z = 74,80 + 59,91 = 134,71 \text{ kN / m}^2$$

Tačka 5

$$z = 4,0$$

$$z/b = 4,32$$

$$I = 0,064$$

$$\Delta\sigma_z = 4 \cdot 0,064 \cdot 166,43 = 42,61 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma'_z = 84,80 + 42,60 = 127,41 \text{ kN/m}^2$$

Tačka 6

$$z = 5,0$$

$$z/b = 5,4$$

$$I = 0,053$$

$$\Delta\sigma_z = 4 \cdot 0,053 \cdot 166,43 = 35,28 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma'_z = 94,80 + 35,28 = 130,08 \text{ kN/m}^2$$

Tačka 7

$$z = 6,0$$

$$z/b = 6,49$$

$$I = 0,0395$$

$$\Delta\sigma_z = 4 \cdot 0,0395 \cdot 166,43 = 26,29 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma'_z = 104,80 + 26,29 = 131,10 \text{ kN/m}^2$$

Zbirka zadataka iz fundiranja



Proračun specifičnih deformacija:

Tačka 1

$$\epsilon_z = \frac{\Delta\sigma_z}{M_v} = \frac{166,43}{8000} = 0,0208$$

Tačka 2

$$\epsilon_z = \frac{129,81}{8000} = 0,0162$$

Tačka 3

$$\epsilon_z = \frac{85,88}{8000} = 0,0107$$

Tačka 3"

$$\epsilon_z = \frac{C_r}{1 + e_0} \cdot \log \frac{p'_z}{p'_0} + \frac{C_c}{1 + e_0} \cdot \log \frac{\sigma'_z}{p'_c}$$

$$\epsilon_z = \frac{0,065}{1 + 0,88} \cdot \log \frac{104,80}{64,80} + \frac{0,32}{1 + 0,88} \cdot \log \frac{150,68}{104,80} = 0,0341$$

Tačka 4

$$\epsilon_z = \frac{0,065}{1 + 0,88} \cdot \log \frac{114,80}{74,80} + \frac{0,32}{1 + 0,88} \cdot \log \frac{134,71}{114,80} = 0,0183$$

Tačka 5

$$\epsilon_z = \frac{0,065}{1 + 0,88} \cdot \log \frac{124,80}{84,80} + \frac{0,32}{1 + 0,88} \cdot \log \frac{127,41}{124,80} = 0,00733$$

Tačka 6

$$\epsilon_z = \frac{0,065}{1 + 0,88} \cdot \log \frac{130,08}{94,80} = 0,00475$$

Tačka 7

$$\epsilon_z = \frac{0,065}{1 + 0,88} \cdot \log \frac{131,10}{104,80} = 0,00336$$

Proračun sleganja:

$$s = \int_0^z \epsilon_z dz$$

Korišćenjem trapeznog pravila dobija se:

$$s = \frac{1,00}{2} \cdot (0,0208 + 2 \cdot 0,0162 + 0,0107 + 0,0341 + 2 \cdot 0,0183 +$$

$$+ 2 \cdot 0,00733 + 2 \cdot 0,00475 + 0,00336) = 0,081 = 8,10 \text{ cm}$$

Određivanje krutosti zamenjujućih opruga za podjelu nosača na 15 delova

$$K_u = \frac{4000}{0,081} = 49382,72 \text{ kN / m'}$$

$$K_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{K_u}{15} = 1646,09 \text{ kN / m'}$$

$$K_2 = K_3 = \dots = K_{15} = 3292,18 \text{ kN / m'}$$

$$K_{16} = K_1 = 1646,09 \text{ kN / m'}$$

Krutost grednog nosača na savijanje:



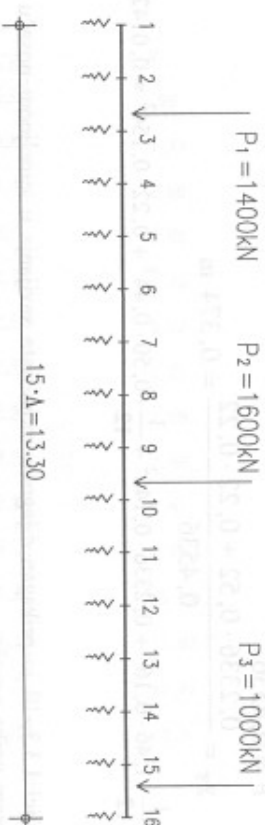
$$y_T = \frac{0,70 \cdot 0,85 \cdot 0,625 + 1,85 \cdot 0,20 \cdot 0,105}{0,7 \cdot 0,85 + 1,85 \cdot 0,20} = 0,424 \text{ m}$$

$$J_B = \frac{1}{12} \cdot 0,70 \cdot 0,85^3 + 0,70 \cdot 0,85 \cdot 0,201^2 + \frac{1}{12} \cdot 1,85 \cdot 0,20^3 + 1,85 \cdot 0,20 \cdot 0,324^2 = 0,0999 \text{ m}^4$$

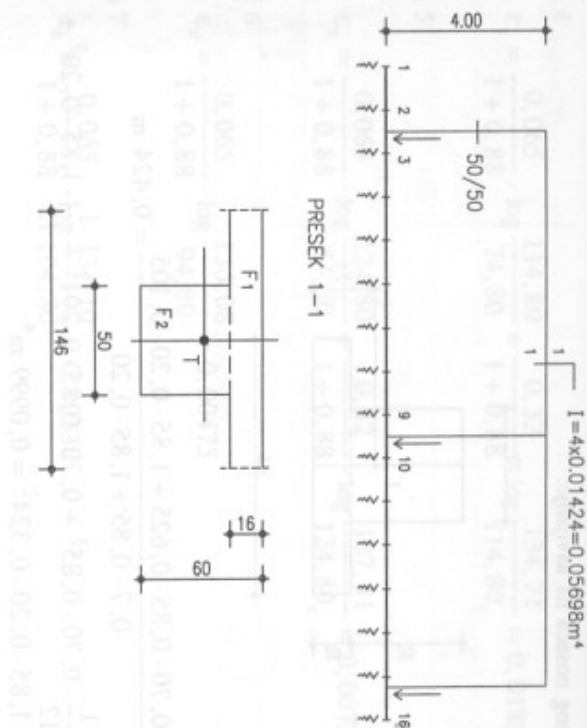
$$E_b = \frac{E_{b0}}{3} = \frac{30 \cdot 10^6}{3} = 10^7 \text{ kN / m}^2$$

$$EJ_B = 10^7 \cdot 0,0999 = 999,141 \text{ kNm}^2$$

Statička šema za proračun nosača



Za slučaj da se uzima u obzir i krutost konstrukcije iznad temelja, statička šema je sledeća:



$$F_1 = 1,46 \cdot 0,16 = 0,2336$$

$$F_2 = 0,50 \cdot 0,44 = 0,22$$

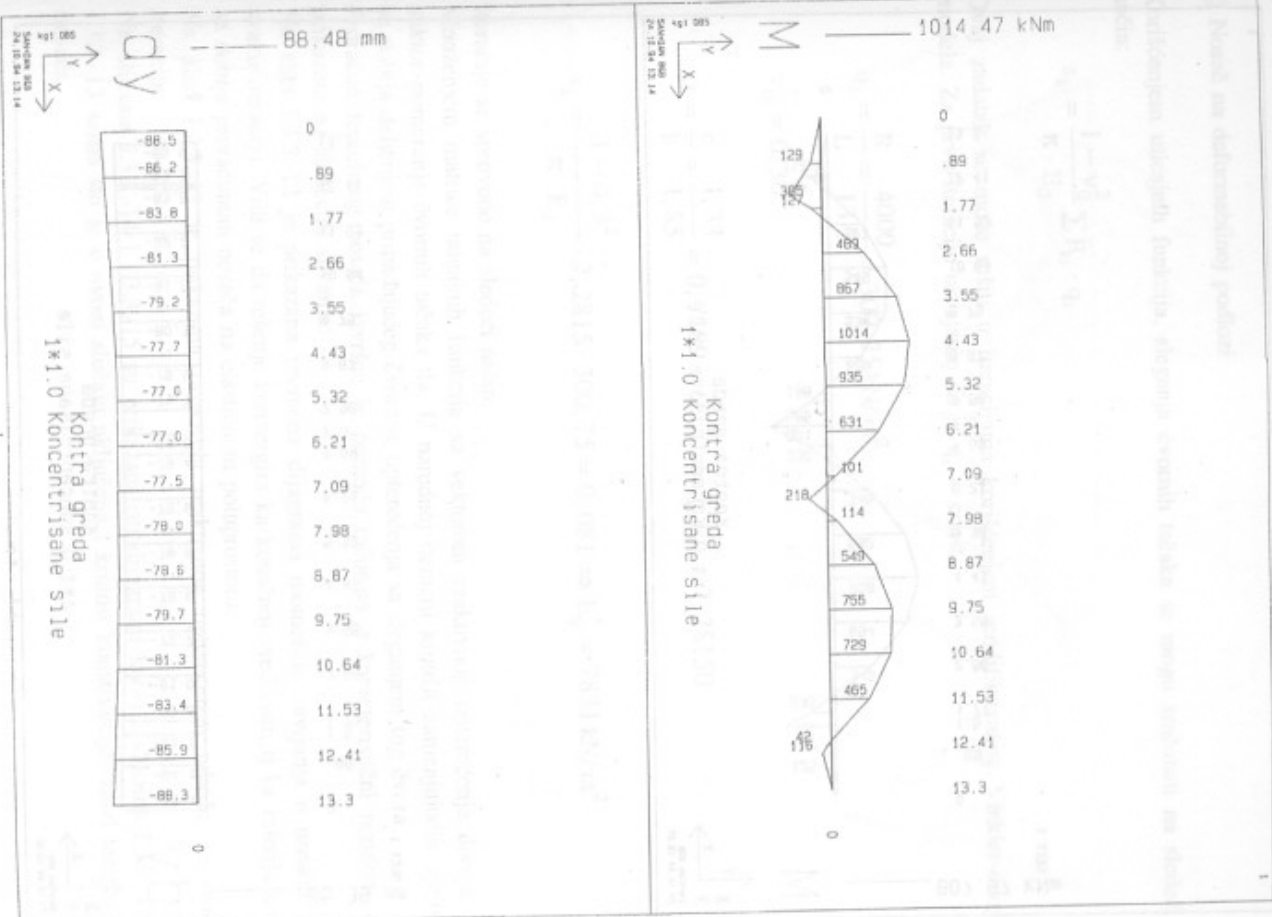
$$F = 0,4536$$

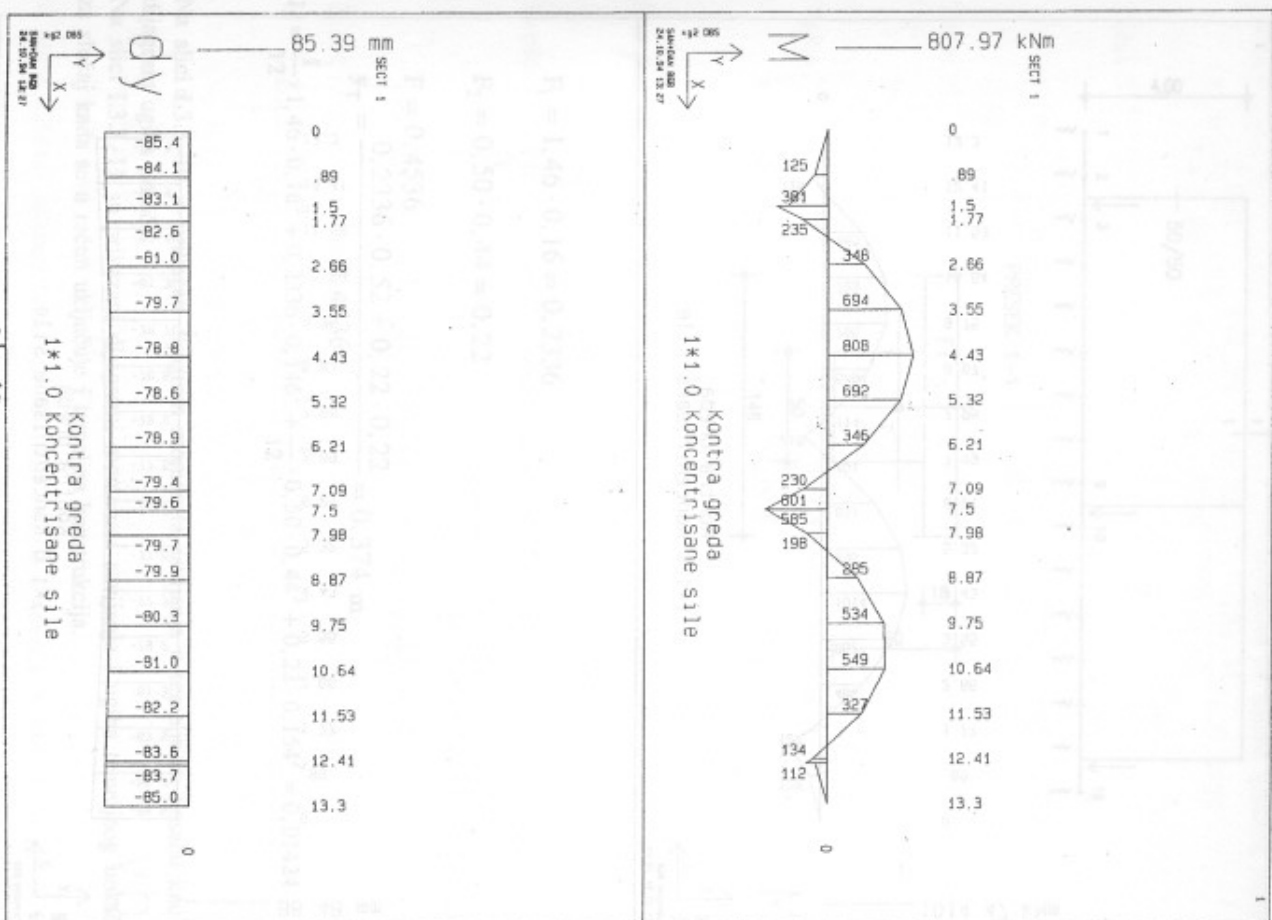
$$y_T = \frac{0,2336 \cdot 0,52 + 0,22 \cdot 0,22}{0,4536} = 0,374 \text{ m}$$

$$J_1 = \frac{1}{12} \cdot 1,46 \cdot 0,16^3 + 0,2336 \cdot 0,146^2 + \frac{1}{12} \cdot 0,50 \cdot 0,44^3 + 0,22 \cdot 0,154^2 = 0,01424$$

Na slici I.3.3.-10 je prikazan dijagram momenta savijanja u temeljnom nosaču kao i dijagram uгиба nosača.

Na slici I.3.3.-11 su prikazani dijagrami momenta savijanja i uгиба temeljnog nosača za slučaj kada se u račun uključuje i temeljna konstrukcija.





I.3.3-11

c) Nosać na deformabilnoj podlozi

Korišćenjem uticajnih funkcija, sleganja čvornih tačaka se mogu sračunati na sledeći način:

$$s_k = \frac{1 - \nu_0^2}{\pi \cdot E_0} \sum F_{ki} \cdot q_i$$

Ovaj zadatak se može rešiti u iteracijama korišćenjem modifikovanog Vinkler-ovog modela. Za prvu iteraciju usvajamo da je $q_i = \text{const.}$

$$q_i = \frac{R}{L} = \frac{4000}{13.3} = 300.75 \text{ kN/m}^2$$

$$\nu_0 = 0.30$$

$$\alpha = \frac{c}{b} = \frac{1.33}{1.85} = 0.7189 \approx 0.70 \Rightarrow \sum F_{ki} = 7.28150$$

$$s_k = \frac{1 - 0.3^2}{\pi \cdot E_0} \cdot 7.2815 \cdot 300.75 = 0.081 \Rightarrow E_0^* = 7831 \text{ kN/m}^2$$

Iteracije se sprovode na sledeći način:

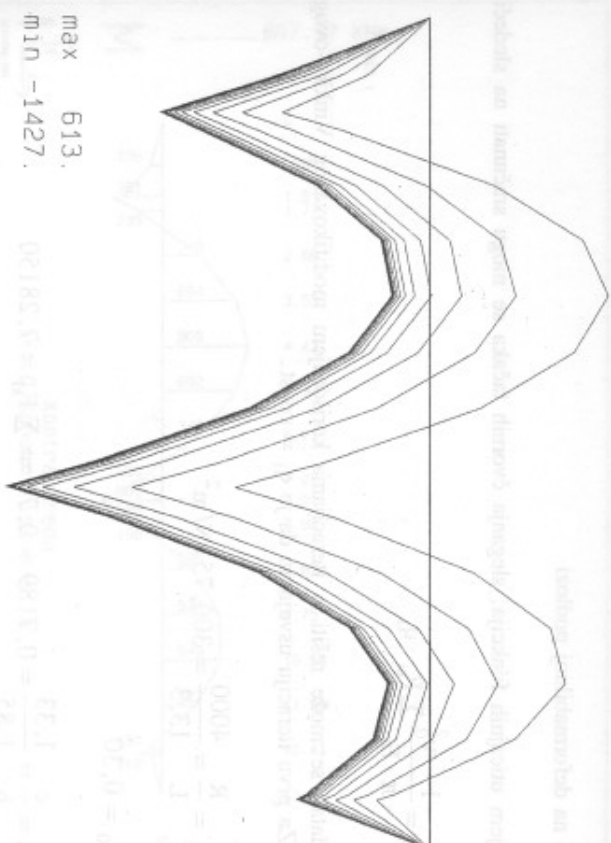
Množenjem matrice uticajnih funkcija sa vektorom reaktivnog opterećenja dobija se vektor pomeranja čvornih tačaka tla. U narednoj iteraciji krutost zamenjujućih opruga se dobija deljenjem pripadajućeg čvornog opterećenja sa sleganjem tog čvora.

Proračun temeljnog nosača izvršen je pomoću računara a karakteristični rezultati su prikazani na sledećim slikama:

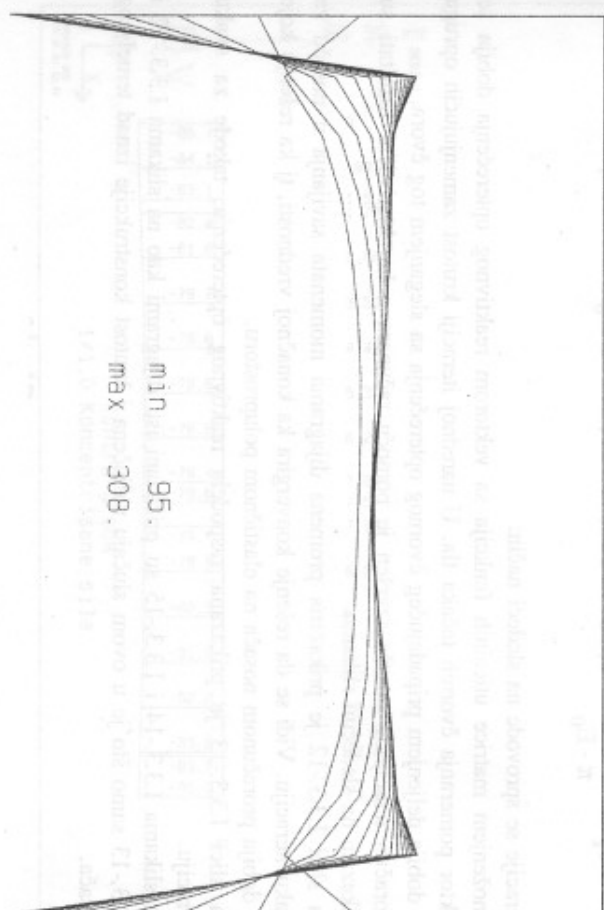
Na slici I.3.3-12 je prikazana promena dijagrama momenata savijanja u nosaču za svaku iteraciju. Vidi se da rešenje konvergira ka konačnoj vrednosti, tj ka rešenju koje se dobija proračunom nosača na elastičnom poluprostoru.

Na slici I.3.3-13 je prikazana raspodela reaktivnog opterećenja, takođe za svaku iteraciju.

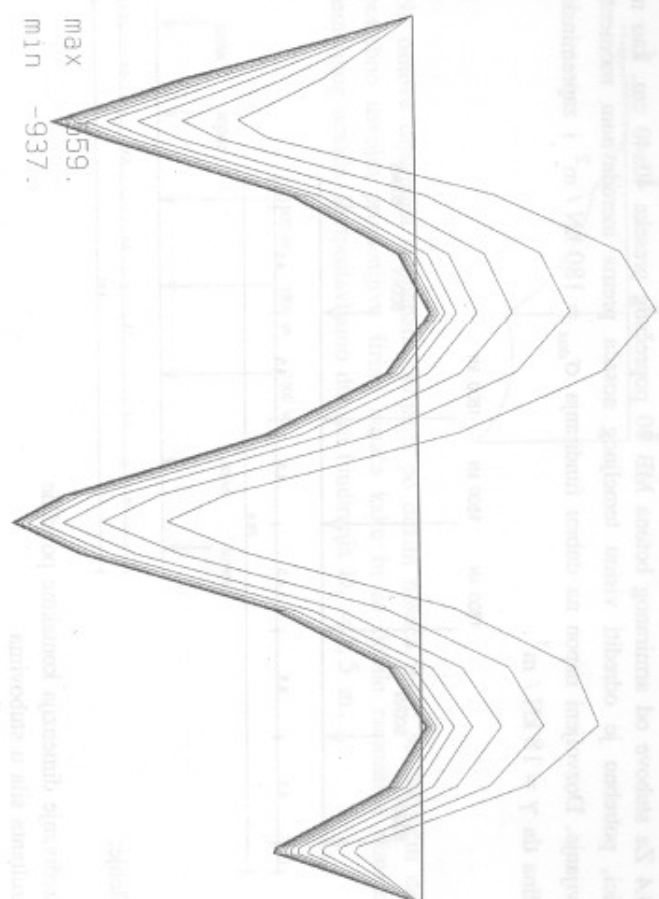
Na slikama I.3.3-14 i I.3.3-15 su prikazani isti dijagrami kao na slikama I.3.3-12 i I.3.3-13 samo što je u ovom slučaju uključena i krutost konstrukcije iznad temeljnog nosača.



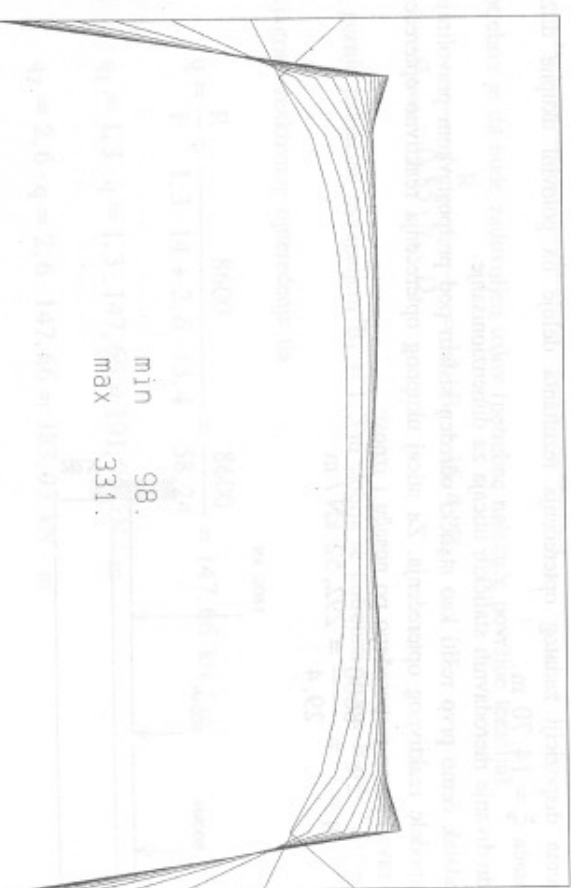
I.3.3-12



I.3.3-13

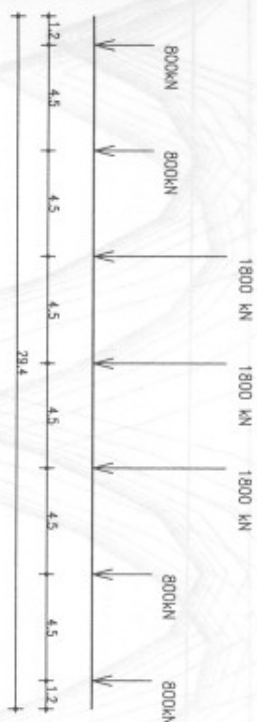


I.3.3-14



I.3.3-15

1.3.4 Za stubove od armiranog betona MB 30 poprečnog preseka 40x40 cm, kao na skici, potrebno je odrediti visinu temeljnog nosača prema merodavnom momentu savijanja. Dovoljeni napon na dubini fundiranja $\sigma_{dov} = 180 \text{ kN/m}^2$ i zapreminska težina tla $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$.



Rešenje:

Određivanje dimenzija kontaktne površine
Rezultanta sila u stubovima

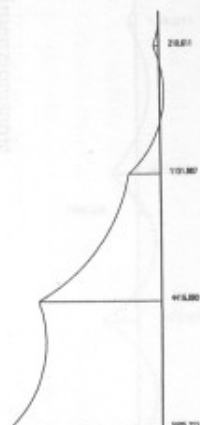
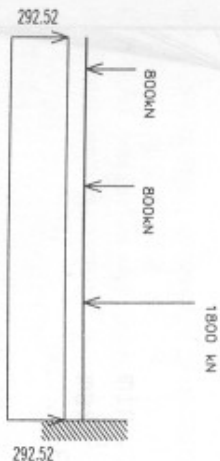
$$R = 4 \cdot 800 + 3 \cdot 1800 = 8600 \text{ kN}$$

Prema dispoziciji zadatog opterećenja rezultanta deluje na polovini ukupne dužine nosača $\xi = 14,70 \text{ m}$.

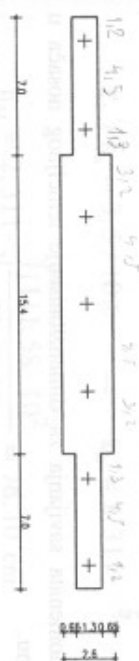
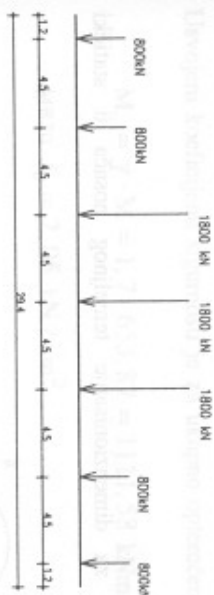
Određivanje merodavnih statičkih uticaja za dimenzionisanje.

Zadatak ćemo prvo rešiti kao statički određen sistem pod pretpostavkom pravolinijske raspodele reaktivnog opterećenja. Za uticaj ukupnog opterećenja reaktivno opterećenje je ravnomerno raspoređeno po nosaču i iznosi:

$$q = \frac{R}{L} = \frac{8600}{29,4} = 292,52 \text{ kN/m}$$



Na osnovu dijagrama momenata savijanja po dužini nosača može se zaključiti da je potrebno usvojiti promeñljivu širinu nosača kako bi se dobile racionalne dimenzije temeljnog nosača. Pretpostavljamo dubinu fundiranja $D_f = 1,5 \text{ m}$.



Potrebno je da bude zadovoljen uslov (potrebne naležuće površine temelja):

$$\frac{R}{\sigma_{dov} - 0,85 \cdot \gamma_b \cdot D_f} = 14 \cdot B_1 + 15,4 \cdot B_2$$

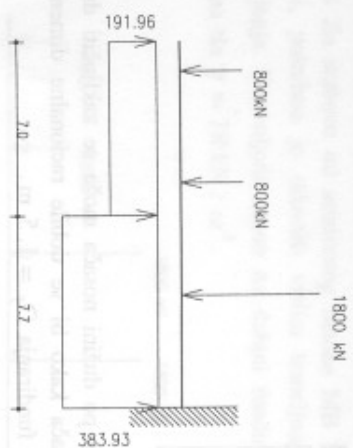
Iz gornje jednačine usvajanjem $B_1 = 1,3 \text{ m}$ dobija se potrebna širina $B_2 = 2,6 \text{ m}$.

Dijagram reaktivnog opterećenja tla

$$q = \frac{R}{F} = \frac{8600}{1,3 \cdot 14 + 2,6 \cdot 15,4} = 147,66 \text{ kN/m}^2$$

$$q_1 = 1,3 \cdot q = 1,3 \cdot 147,66 = 191,96 \text{ kN/m}$$

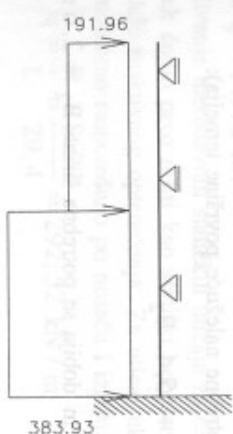
$$q_2 = 2,6 \cdot q = 2,6 \cdot 147,66 = 383,93 \text{ kN/m}$$



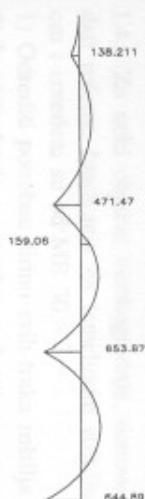
Merodavni momenti savijanja za dimensionisanje temeljnog nosača u statički određenom sistemu.



Određivanje merodavnih momenata savijanja za dimensionisanje temeljnog nosača u statički neodređenom sistemu.



Merodavni momenti savijanja za dimensionisanje temeljnog nosača u statički neodređenom sistemu.



Dimensionisanje

Merodavni moment savijanja za izračunavanje nepoznate statičke visine temeljnog nosača

$$M = 653,87 \text{ kNm}$$

Usvojeni koeficijenti sigurnosti je za ukupno opterećenje $\gamma = 1,7$

$$M_u = \gamma \cdot M = 1,7 \cdot 653,87 = 1111,58 \text{ kNm}$$

$$MB30 \quad f_b = 2,05 \text{ kN / cm}^2$$

$$GA \ 240/360 \quad \sigma_v = 24,0 \text{ kN / cm}^2$$

$$\epsilon_b / \epsilon_u = 3,5 / 10\% \Rightarrow k_b = 2,311$$

$$h_M = 2,311 \cdot \sqrt{\frac{1111,58 \cdot 10^2}{50 \cdot 2,05}} = 76,10 \text{ cm}$$

Usvaja se ukupna visina temeljnog nosača $d = 80 \text{ cm}$.

Usvaje se visina temeljne ploče $d_p = 20 \text{ cm}$.

Kontrola temeljnog nosača na uticaj momenta savijanja u rasponu između stubova

$$M = 976,98 \text{ kNm}$$

$$M_u = 1,7 \cdot 976,98 = 1660,87 \text{ kNm}$$

usvojeno $a = 10 \text{ cm}$ pa je statička visina temeljnog nosača

$$h = 80 - 10 = 70 \text{ cm}$$

$$k_b = \frac{70}{\sqrt{\frac{1660,87 \cdot 10^2}{260 \cdot 2,05}}} = 3,965$$

$$\varepsilon_b / \varepsilon_a = 1,425 / 10\%$$

$$\bar{\mu} = 6,776$$

$$s = 0,125$$

$$s \cdot b = 0,125 \cdot 70 = 8,75 \text{ cm} < d_p$$

$$A_a = 6,667 \cdot \frac{260 \cdot 70}{100} \cdot \frac{2,05}{24} = 103,64 \text{ cm}^2$$

Analiza opterećenja

korisno opterećenje

$$8600 \text{ kN}$$

težina nosača

$$220,5 \text{ kN}$$

težina ploče

$$291,2 \text{ kN}$$

težina tla

$$1204,1 \text{ kN}$$

$$\Sigma V = 10315,8 \text{ kN}$$

Računski pritisak na tlo

$$\sigma_{\text{rac}} = \frac{\Sigma V}{F} = \frac{10315,8}{58,24} = 177,13 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Zbirka zadataka iz fundiranja

I.4.1 Za neki objekat visokogradnje, osnove šematski prikazane na skici, potrebno je dati rešenje fundiranja na temeljnom roštilju. Stubovi su poprečnog preseka 40 x 40 cm i izvedeni su od MB 30.

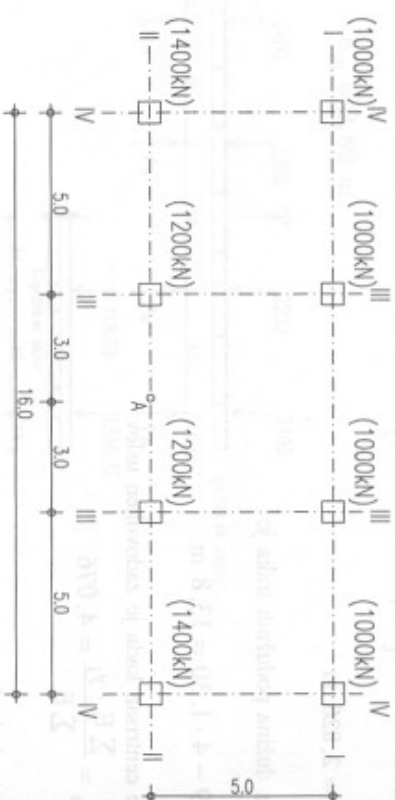
1) Odrediti potrebnu širinu svih traka roštilja

2) Izvršiti detaljan proračun svih uticaja u podužnim trakama

3) Izračunati sleganje tačke A

Podaci o tlu su:

$$\gamma = 18 \text{ kN} / \text{m}^3, \sigma_{\text{dozv}} = 150 \text{ kN} / \text{m}^2, E = 15000 \text{ kN} / \text{m}^2, \nu = 0.30$$



Rešenje:

Pretpostavlja se $D_f = 1,30 \text{ m}$

$$F_{\text{pot}} = \frac{\Sigma V}{\sigma_{\text{doz}} - 0,85 \cdot \gamma_b \cdot D_f} = \frac{2 \cdot (1000 + 1000 + 1200 + 1200 + 1400)}{150 - 0,85 \cdot 25 \cdot 1,3} = 75,18 \text{ m}^2$$

$$b_{\text{sr}} = \frac{F_{\text{pot}}}{\Sigma l_i} = \frac{75,18}{2 \cdot 19 + 4 \cdot 7,5} = 1,105 \text{ m}$$

$$\Sigma l_i' = \Sigma l_i - n \cdot b_{\text{sv}} = 68 - 8 \cdot 1,105 = 59,15 \text{ m}$$

$$b_{\text{sr}} = \frac{F_{\text{pot}}}{\Sigma l_i'} = \frac{75,18}{59,15} = 1,27 \text{ m}$$

usvaja se

$$b_{sr} = 1,30 \text{ m}$$

Centrisanje roštilja

$$R = 9200 \text{ kN}$$

Položaj rezultante u odnosu na pravac gornjeg reda stubova

$$9200 \cdot x = 2 \cdot [5 \cdot (1200 + 1400)]$$

$$x = 2,826 \text{ m}$$

Efektivna dužina podužnih traka je

$$19 - 4 \cdot 1,30 = 13,8 \text{ m}$$

Roštilj je centrisan kada je zadovoljen uslov

$$y_t = \frac{\sum F_i \cdot y_i}{\sum F_i} = 4,076$$

Potrebno je da bude

$$b_I + b_{II} = 2 \cdot 1,30 = 2,60 \text{ m}$$

Da se ne bi promenile dimenzije kontaktne spojnice

$$y_T = \frac{13,8 \cdot b_I \cdot 6,25 + 13,8 \cdot b_{II} \cdot 1,25 + 4 \cdot 7,5 \cdot 1,30 \cdot 3,75}{13,8 \cdot b_I + 13,80 \cdot b_{II} + 4 \cdot 7,50 \cdot 1,30} = 4,076$$

rešenjem ovog sistema jednačina dobija se:

$$b_I = 0,95 \text{ m}$$

$$b_{II} = 1,65 \text{ m}$$

Određivanje statičkih uticaja za uticaj ukupnog opterećenja

$$q^* = \frac{\sum V}{F_{uk}} = \frac{9200}{13,8 \cdot 0,95 + 13,8 \cdot 1,65 + 4 \cdot 7,50 \cdot 1,30} = 122,86 \text{ kN/m}^2$$

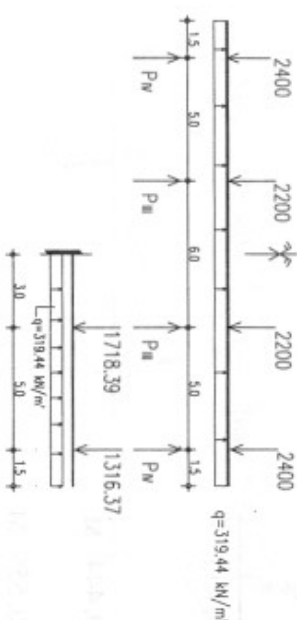
Podužne trake (statički određen nosač)

$$q = q^* (0,95 + 1,65) = 2,60 \cdot q^* = 319,436 \text{ kN/m}$$

Jednako podeljeno opterećenje ispod poprečnih traka daje koncentrisane sile koje se oduzimaju od aktivnih koncentrisanih sila. Radi ravnomernije raspodele momenta savijanja usvojene su širine poprečnih traka:

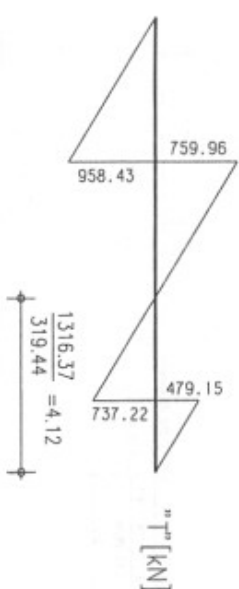
$$b_{IV} = 1,80 \text{ m}$$

$$b_{III} = 0,80 \text{ m}$$

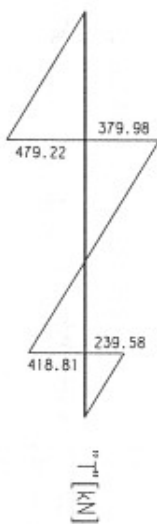
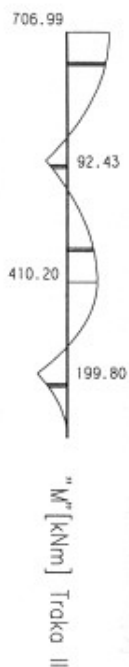
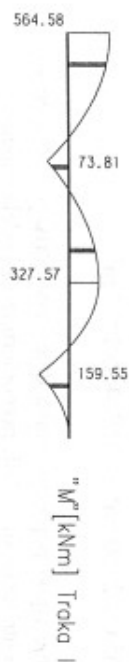


$$P_{III} = q \cdot l'_{III} \cdot b_{III} = 122,86 \cdot (7,5 - 2,6) \cdot 0,80 = 481,61 \text{ kN}$$

$$P_{IV} = q \cdot l'_{IV} \cdot b_{IV} = 122,86 \cdot (7,5 - 2,6) \cdot 1,80 = 1083,63 \text{ kN}$$



Presečne sile po trakama za pretpostavljenu visinu temeljnog roštilja



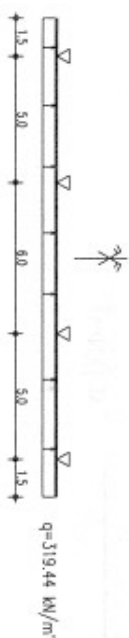
$$M_I = M \cdot \frac{I_I}{I_I + I_{II}} = 0,444 \cdot M$$

$$M_{II} = M \cdot \frac{I_{II}}{I_I + I_{II}} = 0,556 \cdot M$$

$$I_I = I_{II} 0,55$$

Statički neodređen nosač

Nosač je jedanput deformacijski neodređen (posmatra se simetrija nosača)



$$A_{I1} \cdot \Phi_1 + A_{I0} = 0$$

$$A_{I1} = c_{I2} + d_{I3} = \frac{2}{6} + \frac{3}{5} = 0,93$$

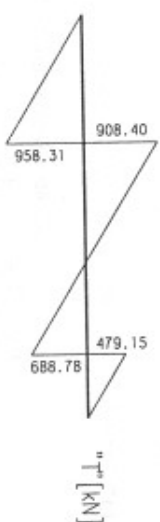
$$A_{I0} = \bar{M}_{I2} + \bar{M}_{I3} = -\frac{q \cdot l^2}{12} + \frac{q \cdot l^2}{8} - \frac{M}{2} = -958,308 + 818,5575 = -139,7505$$

$$\Phi_1 = -\frac{A_{I0}}{A_{I1}} = -\frac{-139,7505}{0,93} = 149,7326$$

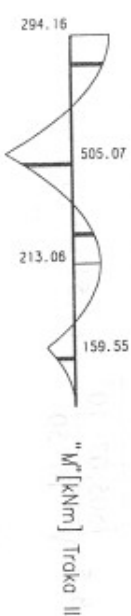
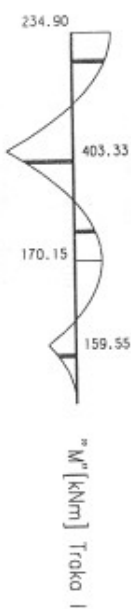
$$M_{I2} = \frac{2}{6} \cdot 149,7326 - 958,308 = -908,40$$

$$M_{I3} = \frac{3}{5} \cdot 149,7326 + 818,5575 = 908,40$$

$$M_{I23} = 908,40 - \frac{319,436 \cdot 6^2}{8} = -529,062$$



Presečne sile po trakama za pretpostavljenu visinu temeljnog roštilja



Dimenzionisanje

Maksimalni moment nad osloncem

$$M_0 = 505,07 \text{ kNm}$$

Merodavan moment u polju je

$$M_p = \frac{1}{2} \cdot (294,16 + 706,99) = 500,58 \text{ kNm}$$

Maksimalna transverzalna sila

$$T_{\max} = 479,22 = 480 \text{ kN}$$

MB30

$$\sigma_a = 12 \text{ MPa}$$

$$\tau_a = 0,8 \text{ MPa}$$

$$\tau_b = 2,2 \text{ MPa}$$

$$\tau_{sv} = 1,5 \text{ MPa} = 0,15 \text{ kN/m}^2$$

$$GA = 240 / 360$$

$$\sigma_{ad} = 160 \text{ MPa}$$

$$\rho = \frac{160}{12} = 13,33$$

$$K_a = 8,50$$

$$h_M = K_a \cdot \sqrt{\frac{M}{\sigma_{ad} \cdot b}} = 8,5 \cdot \sqrt{\frac{505,07 \cdot 10^2}{16 \cdot 50}} = 67,54 \text{ cm}$$

$$h_T = \frac{T}{0,9 \cdot b \cdot \tau_{sv}} = \frac{480}{0,9 \cdot 50 \cdot 0,15} = 71,11 \text{ cm}$$

$$d = h + a = 71,11 + 8 = 79,11 \text{ cm}$$

usvaja se $d = 80 \text{ cm}$

$$h = d - a = 80 - 8 = 72 \text{ cm}$$

$$K_a = \frac{h}{\sqrt{\frac{M}{\sigma_{ad} \cdot b}}} = \frac{72}{\sqrt{\frac{505,07 \cdot 10^2}{16 \cdot 50}}} = 1,06$$

$$\rho = 14,5$$

$$\mu = 1,407\%$$

$$\sigma_d = \frac{\sigma_{ad}}{\rho} = \frac{160}{14,5} = 11,03 \text{ MPa} < \sigma_{bd} = 12 \text{ MPa}$$

$$F_a = \mu \cdot b \cdot h = \frac{1,407}{100} \cdot 50 \cdot 72 = 50,652 \text{ cm}^2$$

usvojeno

$$14\phi 22 (F_{sv} = 53,22 \text{ cm}^2)$$

U polju presek radi kao T- presek sa neiskorišćenim naponom.

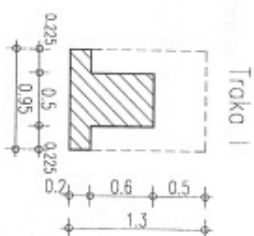
Kontrola pritiska na tlo

$$\sigma_{t\ddot{a}} = \frac{\sum F}{F_{uk}} = \frac{K + G_R + G_z}{F_{uk}}$$

$$R = 9200 \text{ kN}$$

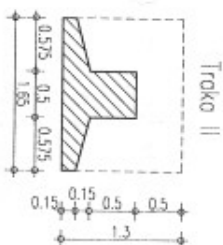
 G_R - težina roštilja G_z - težina zemlje

$$F_{uk} = 74,88 \text{ m}^2$$



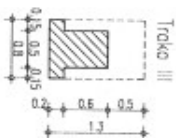
$$F_1 = 0,5 \cdot 0,6 + 0,95 \cdot 0,2 = 0,49 \text{ m}^2$$

$$F_2 = 0,5 \cdot 0,95 + 2 \cdot 0,225 \cdot 0,6 = 0,745 \text{ m}^2$$



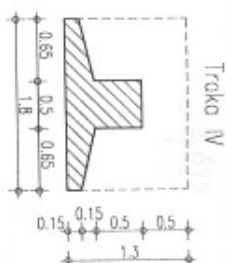
$$F_1 = 0,15 \cdot 1,65 + 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,575 \cdot 0,15 + 0,5 \cdot 0,65 = 0,66 \text{ m}^2$$

$$F_2 = 0,5 \cdot 1,65 + 2 \cdot 0,575 \cdot 0,5 + 0,575 \cdot 0,15 = 1,48 \text{ m}^2$$



$$F_1 = 0,20 \cdot 0,80 + 0,50 \cdot 0,60 = 0,46 \text{ m}^2$$

$$F_2 = 0,50 \cdot 0,80 + 2 \cdot 0,60 \cdot 0,15 = 0,58 \text{ m}^2$$



$$F_1 = 0,15 \cdot 1,80 + 0,5 \cdot 0,65 + 0,65 \cdot 0,15 = 0,69 \text{ m}^2$$

$$F_2 = 0,5 \cdot 1,80 + 2 \cdot 0,50 \cdot 0,65 + 0,65 \cdot 0,15 = 1,65 \text{ m}^2$$

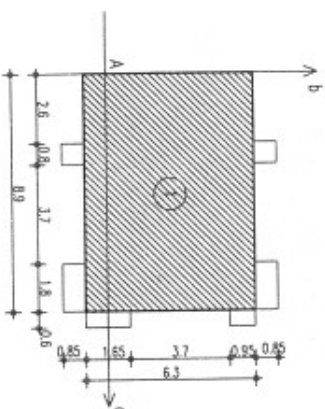
$$G_f = (13,80 \cdot 0,49 + 13,80 \cdot 0,66 + 2 \cdot 7,5 \cdot 0,46 + 2 \cdot 7,5 \cdot 0,69) \cdot 25 = 828 \text{ kN}$$

$$G_z = (13,80 \cdot 0,745 + 13,80 \cdot 1,48 + 2 \cdot 7,5 \cdot 0,58 + 2 \cdot 7,5 \cdot 1,65) \cdot 18 = 1154,79 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\text{rač}} = \frac{9200 + 828 + 1154,79}{74,88} = 149,34 \text{ kN / m}^2$$

$$q = \frac{R + G_f}{F_{\text{uk}}} = \frac{9200 + 828}{74,88} = 133,92 \text{ kN / m}^2$$

Površina I (ukupna površina)



$$a = \frac{8,90}{2} = 4,45$$

$$b = \frac{6,30}{2} = 3,15$$

$$\alpha = \frac{a}{b} = \frac{4,45}{3,15} = 1,41 \approx 1,50$$

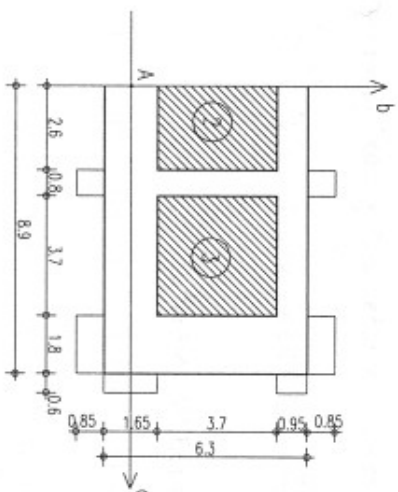
$$m = \frac{x}{a} = \frac{4,45}{4,45} = 1$$

$$n = \frac{y}{b} = \frac{2,325}{3,15} = 0,74$$

$$F_{ui} = 4,26496 + (5,60159 - 4,26496) \cdot 0,26 = 4,61248$$

$$s_i = \frac{(1 - 0,3) \cdot 3,15 \cdot 133,92}{\pi \cdot 15000} \cdot 4,61248 = 3,76 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

Površina 2



$$a = \frac{2,6}{2} = 1,3$$

$$b = \frac{3,70}{2} = 1,85$$

$$\alpha = \frac{a}{b} = \frac{1,30}{1,85} = 0,70$$

$$m = \frac{x}{a} = \frac{1,30}{1,30} = 1$$

$$n = \frac{y}{b} = \frac{2,675}{1,85} = 1,45$$

$$F_{ui} = 1,39362 + (2,9216 - 1,39362) \cdot 0,55 = 2,234009$$

$$s_2 = \frac{(1 - 0,3) \cdot 1,85 \cdot 133,92}{\pi \cdot 15000} \cdot 2,234009 = 1,06 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

Površina 3

$$a = \frac{3,7}{2} = 1,85$$

$$b = \frac{3,70}{2} = 1,85$$

$$\alpha = \frac{a}{b} = \frac{1,85}{1,85} = 1,0$$

$$m = \frac{x}{a} = \frac{5,25}{1,85} = 2,84 \approx 3,0$$

$$n = \frac{y}{b} = \frac{2,675}{1,85} = 1,45$$

$$F_{ui} = 1,12494 + (1,28662 - 1,12494) \cdot 0,55 = 1,213864$$

$$s_3 = \frac{(1 - 0,3) \cdot 1,85 \cdot 133,92}{\pi \cdot 15000} \cdot 1,213864 = 0,581 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

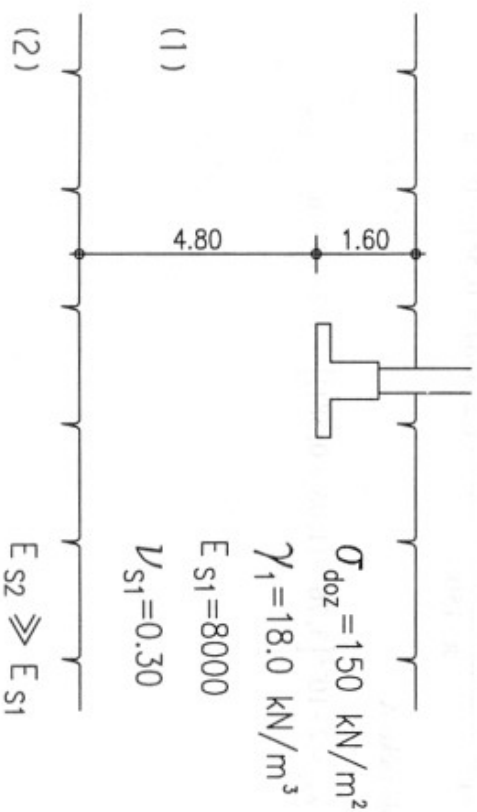
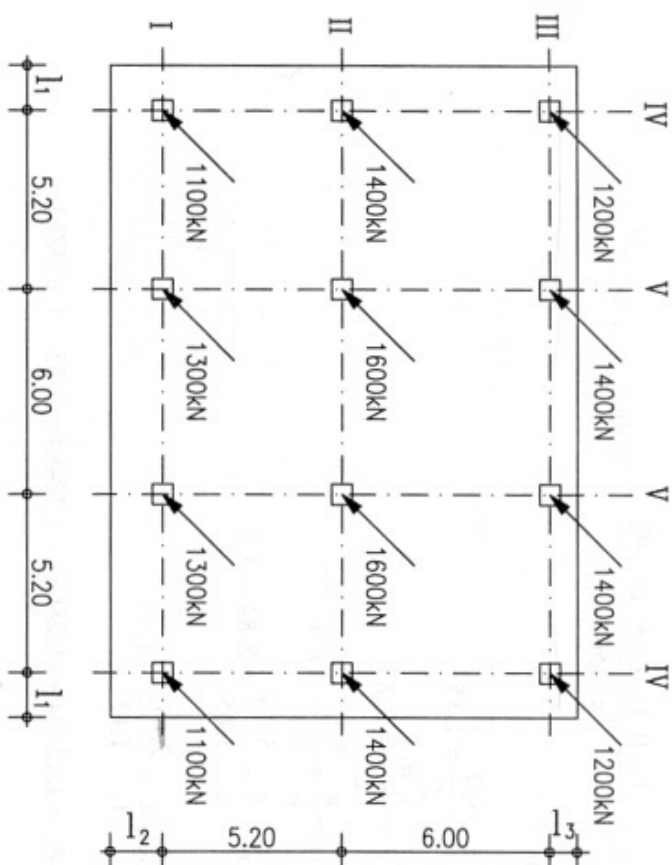
Sleganje tačke A

$$s_A = 2 \cdot 10^{-2} [3,76 - (1,06 + 0,581)] = 4,2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

1.4.2. Izvršiti proračun temeljnog roštilja za neki objekat skeletnog sistema. Potrebni podaci o rasporedu stubova, njihovim opterećenjima i tu dati su na skici.

a) Proračun izvršiti klasičnim postupkom

b) Proračun izvršiti korišćenjem Vinklerovog modela za tlo



Rešenje:

1) Klasičan proračun:

Određivanje dužina prepusta:

$$l_1 = l_2 = \frac{1}{4} \cdot 5,20 = 1,30 \text{ m}$$

$$L_1 = 2 \cdot 1,30 + 2 \cdot 5,20 + 6,00 = 19,00 \text{ m}$$

$$l_3 = \frac{1}{4} \cdot 6,0 = 1,50 \text{ m}$$

$$L_2 = 1,30 + 5,20 + 6,00 + 1,50 = 14,00 \text{ m}$$

2) Potrebna naležuća površina:

$$F_{\text{pot}} = \frac{\Sigma V_i}{\sigma_{\text{dozv}} - \beta \cdot \gamma_B \cdot D_f} = \frac{16000}{150 - 0,85 \cdot 25 \cdot 1,60} = 137,93 \text{ m}^2$$

3) Prosečna širina trake:

$$B_{\text{pr}}^{(1)} = \frac{F_{\text{pot}}}{\Sigma L^{(1)}} = \frac{137,93}{3 \cdot 19,0 + 4 \cdot 14,00} = 1,22 \text{ m}$$

$$B_{\text{pr}}^{(2)} = \frac{F_{\text{pot}}}{\Sigma L^{(2)}} = \frac{137,93}{113,00 - 12 \cdot 1,22} = 1,40 \text{ m}$$

$$B_{\text{pr}}^{(3)} = \frac{137,93}{113,00 - 12 \cdot 1,40} = 1,434 \text{ m}$$

$$B_{\text{pr}}^{(4)} = \frac{137,93}{113,00 - 12 \cdot 1,434} = 1,44 \text{ m}$$

4) Određivanje širine pojedinih traka:

a) Podužna trake:

I traka

$$B_I = 3 \cdot B_{pr} \cdot \frac{R_I}{R} = 3 \cdot 1,44 \cdot \frac{4800}{16000} = 1,295 \text{ m}$$

II traka

$$B_{II} = 3 \cdot B_{pr} \cdot \frac{R_{II}}{R} = 3 \cdot 1,44 \cdot \frac{6000}{16000} = 1,62 \text{ m}$$

III traka

$$B_{III} = 3 \cdot 1,44 \cdot \frac{5200}{16000} = 1,404 \text{ m}$$

b) Poprečne trake:

IV traka

$$B_{IV} = 4 \cdot B_{pr} \cdot \frac{3700}{16000} = 1,33 \text{ m}$$

V traka

$$B_V = 4 \cdot B_{pr} \cdot \frac{4300}{16000} = 1,548 \text{ m}$$

Usvaja se $B_V = 1,55 \text{ m}$

5) Centrisanje temelja:

Centrisanje temelja se postiže promenom širina podužnih traka, tako da se težište naležne površine poklopi sa položajem rezultante.

$$y_R = \frac{5200 \cdot 11,20 + 6000 \cdot 5,20}{16000} = 5,59 \text{ m}$$

Težište naležne površine

$$\bar{y}_T = \frac{(1,30 \cdot 1,30 + 1,62 \cdot 6,50 + 1,40 \cdot 12,50) \cdot (19,0 - 5,80) + 5,80 \cdot 14,0 \cdot 7,0}{(19,00 - 5,80) \cdot (1,30 + 1,62 + 1,40) + 5,80 \cdot 14,0} = 6,95 \text{ m}$$

$$y_T = \bar{y}_T - 1,30 = 5,65 \text{ m}$$

Usvajamo nove širine traka

$$B_I = 1,30 + 0,05 = 1,35 \text{ m}$$

$$B_{III} = 1,40 - 0,05 = 1,35 \text{ m}$$

Položaj težišta

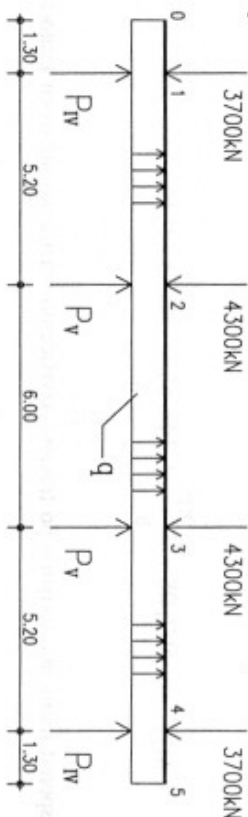
$$\bar{y}_T = \frac{(1,35 \cdot 1,30 + 1,65 \cdot 6,50 + 1,35 \cdot 12,50) \cdot (19,0 - 5,80) + 5,80 \cdot 14,0 \cdot 7,0}{(19,00 - 5,80) \cdot (1,35 + 1,65 + 1,35) + 5,80 \cdot 14,0} = 6,90 \text{ m}$$

$$y_T = 6,90 - 1,30 = 5,60 \text{ m} \approx 5,59 \text{ m}$$

$$p = \frac{\Sigma V}{F} = \frac{16000}{138,62} = 115,42 \text{ kN / m}^2$$

6) Proračun statičkih uticaja u trakama roštilja

a) Roštilj kao statički određen sistem



$$q = (1,35 + 1,65 + 1,35) \cdot 115,42 = 502,08 \text{ kN / m}^2$$

$$P_{IV} = 1,35 \cdot [14,00 - (1,35 + 1,65 + 1,35)] \cdot 115,42 = 1503,63 \text{ kN}$$

$$P_V = 1,55 \cdot 9,65 \cdot 115,42 = 1726,39 \text{ kN}$$

Momenti savijanja

$$M_0 = 0$$

$$M_1 = \frac{1}{2} \cdot 1,30^2 \cdot 502,08 = 424,26 \text{ kNm}$$

$$M_2 = \frac{1}{2} \cdot 502,08 \cdot 6,50^2 - (3700 - 1503,63) \cdot 5,20 = -814,68 \text{ kNm}$$

Promenom širina poprečnih traka može se izvršiti korekcija momenta u polju.

$$\text{Usvaja se } B_{IV} = 1,55 \text{ m} \quad B_V = 1,35 \text{ m}$$

$$P_{IV} = 1726,39 \text{ kN}$$

$$P_V = 1503,63 \text{ kN}$$

$$M_2 = \frac{1}{2} \cdot 502,08 \cdot 6,50^2 - (3700 - 1726,39) \cdot 5,20 = 343,67 \text{ kNm}$$

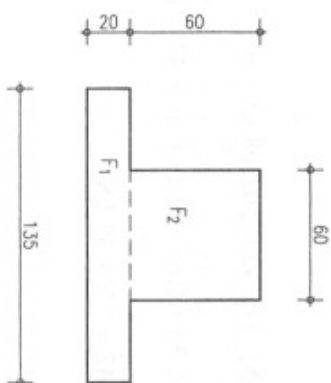
$$\bar{x}_0 = \frac{3700 - 1726,39}{502,08} = 3,93 \text{ m}$$

$$x_0 = 3,93 - 1,30 = 2,63 \text{ m}$$

$$M_{12}^{\max} = \frac{1}{2} \cdot 502,08 \cdot 3,93^2 - 1973,61 \cdot 2,63 = -1313,31 \text{ kNm}$$

$$M_{23}^{\max} = -502,08 \cdot \frac{6,00^2}{8} + 343,67 = -1915,69 \text{ kNm}$$

Raspored momenta savijanja po trakama izvršićemo srazmjerno njihovim krutostima.



$$F = F_1 - F_2 = 1,35 \cdot 0,20 - 0,36 = 0,63 \text{ m}^2$$

$$y_T = \frac{0,27 \cdot 0,10 + 0,36 \cdot 0,50}{0,63} = 0,328 \text{ m}$$

$$J_1 = \frac{1}{12} \cdot 1,35 \cdot 0,20^3 + 0,27 \cdot (0,328 - 0,10)^2 + \frac{1}{12} \cdot 0,60^4 + 0,36 \cdot (0,50 - 0,325)^2 = 0,0355 \text{ m}^4$$

$$y_T = \frac{0,33 \cdot 0,10 + 0,36 \cdot 0,50}{0,69} = 0,309 \text{ m}$$

$$J_2 = \frac{1}{12} \cdot 1,65 \cdot 0,20^3 + 0,33 \cdot (0,309 - 0,10)^2 + \frac{1}{12} \cdot 0,60^4 + 0,36 \cdot (0,50 - 0,309)^2 = 0,0394 \text{ m}^4$$

$$J_3 = J_1$$

$$\Sigma I_1 = 0,0355 + 0,0394 + 0,0355 = 0,1105 \text{ m}^4$$

Za srednju traku (II) se dobija:

$$M_0^{\text{II}} = 0$$

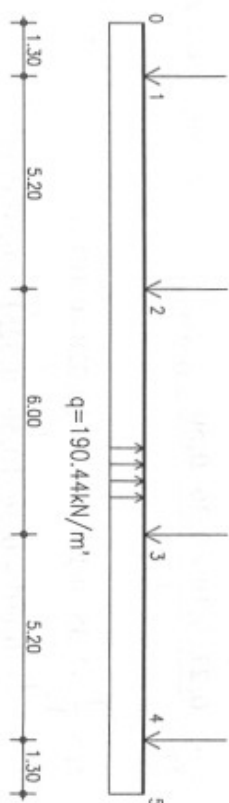
$$M_1^{\text{II}} = 424,26 \cdot \frac{0,0394}{0,1105} = 151,27 \text{ kNm}$$

$$M_2^{\text{II}} = 343,67 \cdot 0,3566 = 122,54 \text{ kNm}$$

$$M_{1,2}^{\max} = -1313,31 \cdot 0,3566 = -468,27 \text{ kNm}$$

$$M_{2,3}^{\max} = -1915,69 \cdot 0,3566 = -683,06 \text{ kNm}$$

Transverzalne sile



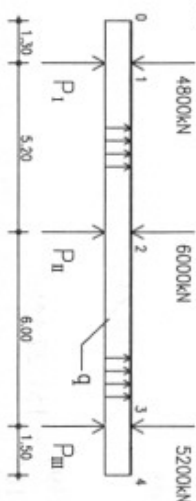
$$T_{10} = 190,44 \cdot 1,30 = 247,58 \text{ kN}$$

$$T_{12} = -190,44 \cdot \frac{5,20}{2} - \frac{151,27 - 122,54}{5,20} = -500,67 \text{ kN}$$

$$T_{21} = 495,14 - 5,25 = 489,89 \text{ kN}$$

$$T_{23} = -190,44 \cdot 3,0 = -571,32 \text{ kN}$$

Poprečne trake



$$q = 2 \cdot (1,55 + 1,35) \cdot 115,42 = 669,44 \text{ kN / m'}$$

$$P_1 = 1,35 \cdot (19,0 - 5,80)115,42 = 2056,78 \text{ kN}$$

$$P_{II} = 1,65 \cdot 13,20 \cdot 115,42 = 2513,85 \text{ kN}$$

Momenti savijanja

$$M_0 = M_4 = 0$$

$$M_1 = \frac{1}{2} \cdot 669,44 \cdot 1,30^2 = 565,67 \text{ kNm}$$

$$M_2 = \frac{1}{2} \cdot 669,44 \cdot 6,50^2 - (4800 - 2056,78) \cdot 5,20 = -122,84 \text{ kNm}$$

$$M_3 = \frac{1}{2} \cdot 669,44 \cdot 1,50^2 = 753,12 \text{ kNm}$$

$$\bar{x}_0 = \frac{4800 - 2056,78}{669,44} = 4,10 \text{ m}$$

$$x_0 = 4,10 - 1,30 = 2,80 \text{ m}$$

$$M_{\max}^{12} = \frac{1}{2} \cdot 669,44 \cdot 4,10^2 - 2743,22 \cdot 2,80 = -2054,37 \text{ kNm}$$

$$\bar{x}_0 = \frac{5200 - 2056,78}{669,44} = 4,69 \text{ m}$$

$$x_0 = 4,69 - 1,50 = 3,19 \text{ m}$$

$$M_{\max}^{23} = \frac{1}{2} \cdot 669,44 \cdot 4,69^2 - 3143,22 \cdot 3,19 = -2664,34 \text{ kNm}$$

Raspodela momenta:

$$J_{IV} = 0,0380 \text{ m}^4$$

$$J_V = 0,0355 \text{ m}^4$$

$$\Sigma J = 2 \cdot (0,0380 + 0,0355) = 0,1471 \text{ m}^4$$

Traka V

$$M_0 = M_4 = 0$$

$$M_1 = 565,67 \cdot \frac{0,0355}{0,1471} = 136,51 \text{ kNm}$$

$$M_2 = 0,2413 \cdot (-122,84) = -29,64 \text{ kNm}$$

$$M_3 = 0,2413 \cdot 753,12 = 181,75 \text{ kNm}$$

$$M_{12} = 0,2413 \cdot (-2054,37) = -459,79 \text{ kNm}$$

$$M_{23} = 0,2413 \cdot (-2664,34) = -642,99 \text{ kNm}$$

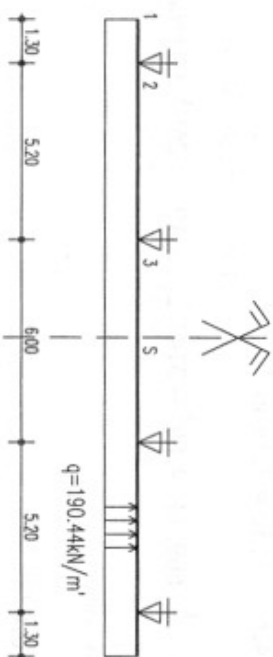
Transverzalne sile :

$$T_{10} = 1,30 \cdot q_v = 1,30 \cdot 1,35 \cdot 115,42 = 202,56 \text{ kN}$$

$$T_{12} = -\frac{155,82 - 5,20}{2} - \frac{136,51 + 29,64}{5,2} = -437,09 \text{ kN}$$

$$T_{21} = \frac{155,82 - 5,20}{2} - \frac{136,51 + 29,64}{5,2} = 373,18 \text{ kN}$$

b) Roštilj kao statički neodređen nosač:



Traka II

$$M_2 = \frac{1}{2} \cdot 190,44 \cdot 1,30^2 = 160,92 \text{ kNm}$$

$$A_{33} \cdot \varphi_3 + A_{30} = 0$$

$$A_{33} = 1,50 \cdot \frac{1}{5,20} + 1,0 \cdot \frac{1}{6,00} = 0,4551$$

$$A_{30} = 0,5 \cdot 160,92 - \frac{1}{8} \cdot 190,44 \cdot 5,20^2 + \frac{1}{12} \cdot 190,44 \cdot 6,0^2 = 8,093$$

$$0,455 \cdot \varphi_1 + 8,093 = 0 \Rightarrow \varphi_1 = -17,78$$

$$M_{32} = -563,22 - 1,5 \cdot 0,1923 \cdot 17,78 = -568,35 \text{ kNm}$$

$$T_{23} = -\frac{190,44 \cdot 5,20}{2} + \frac{568,35 - 160,92}{5,20} = -416,79 \text{ kN}$$

$$T_{32} = 573,49$$

$$x_0 = \frac{416,79}{190,44} = 2,19 \text{ m}$$

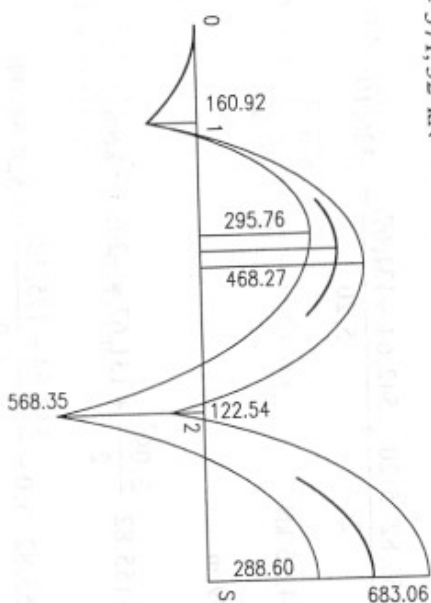
$$M_{\max}^{23} = \frac{1}{2} \cdot 2,19^2 \cdot 190,44 - 160,92 = 295,76 \text{ kNm}$$

$$T_{33} = -190,44 \cdot 3 = -571,32 \text{ kN}$$

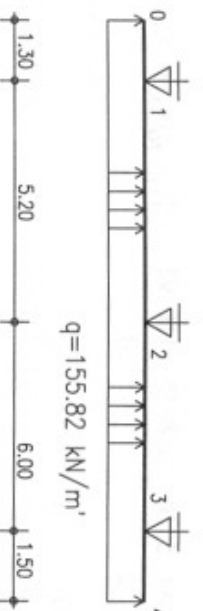
$$M_{\max}^{23} = \frac{1}{8} \cdot 6,0^2 \cdot 190,44 - 568,35 = 288,63 \text{ kNm}$$

$$M = 568,35 \text{ kNm}$$

$$T_{\max} = 571,32 \text{ kN}$$



Traka V



$$A_{22} \cdot \Phi_2 + A_{20} = 0$$

$$A_{22} = 1,50 \cdot \left(\frac{1}{5,2} - \frac{1}{6,0} \right) = 0,5385$$

$$A_{20} = \frac{1}{2} \cdot 131,67 - \frac{1}{8} \cdot (5,20^2 - 6,0^2) \cdot 155,82 - \frac{1}{2} \cdot 175,80 = 152,70$$

$$\Phi_2 = -\frac{152,70}{0,5385} = -283,57$$

$$M_2 = \frac{1}{2} \cdot 131,67 - \frac{1}{8} \cdot 5,20^2 \cdot 155,82 - 0,2885 \cdot 283,57 = -542,64 \text{ kNm}$$

$$T_{12} = -\frac{155,82 \cdot 5,20}{2} + \frac{542,64 - 131,67}{5,20} = -326,10$$

$$T_{21} = 484,16 \text{ kN}$$

$$x_0 = 2,09 \text{ m}$$

$$M_{\max}^{23} = -155,82 \cdot \frac{2,09^2}{2} + 131,67 = -208,65 \text{ kNm}$$

$$T_{32} = -155,82 \cdot 3,0 - \frac{542,64 - 175,30}{6,0} = -528,68 \text{ kN}$$

$$T_{32} = -155,82 \cdot 3,0 - \frac{542,64 - 175,30}{6,0} = -528,68 \text{ kN}$$

Zbirka zadataka iz fundiranja

$$T_{32} = -406,24 \text{ kN}$$

$$x_0 = \frac{406,24}{155,82} = 2,61 \text{ m}$$

$$M_{\max}^{23} = -\frac{1}{2} \cdot 155,82 \cdot 2,61^2 + 175,30 = -354,26 \text{ kNm}$$

Uticaji merodavni za dimenzionisanje trake V

$$M = 542,64 \text{ kN}$$

$$T_{\max} = 528,68 \text{ kN}$$

Na isti način potrebno je sračunati uticaje i u svim ostalim trakama temeljnog roštilja.

7) Dimenzionisanje
MB 30 Č BR 400/500

$$b = b_0 + (10 + 15) = 45 + 15 = 60 \text{ cm}$$

Pretpostavimo da je stalno opterećenje 75% a povremeno 25% od ukupnog opterećenja

$$\gamma_u = 0,75 \cdot 1,60 + 0,25 \cdot 1,80 = 1,65$$

$$M_u = 1,65 \cdot 568,35 = 937,78 \text{ kNm}$$

$$h_M = 2,311 \cdot \sqrt{\frac{937,78}{2,05 \cdot 0,60}} = 63,81 \text{ cm}$$

$$\tau = (2 + 2,5) \cdot \tau_r = 2,475 \text{ MPa}$$

$$h_a = \frac{571,32 \cdot 1,65}{0,9 \cdot 0,60 \cdot 24,75} = 70,53 \text{ cm}$$

Usvaja se $d = 80 \text{ cm}$

Armatura

$$F_a = b \cdot h \cdot \mu \frac{\beta_B}{\sigma_v}$$

$$h = 80,0 - 4,0 - 2,5 - 1,5 = 71,2 \text{ cm}$$

$$m = \frac{M_u}{b \cdot h^2 \cdot \beta_B} = \frac{937,78 \cdot 100}{60 \cdot 71,20^2 \cdot 2,05} = 15,04\%$$

$$\epsilon_a / \varphi \cdot \epsilon_B = 8,4 / 0,7 \cdot 3,5$$

$$\bar{\mu} = 16,436\%$$

$$F_a = 60 \cdot 71,20 \cdot 0,16436 \cdot \frac{20,50}{400} = 35,98 \text{ cm}^2$$

$$\text{za } \varnothing 25 \quad f_{a1} = 4,91 \Rightarrow 8R \varnothing 25$$

II) Proračun temeljnog roštilja pri čemu se za tlo usvaja Vinkler-ov model. Krutosti zamenjujućih opruga za tlo sračunavamo na osnovu sleganja traka. U uslovima ravnanskog stanja deformacije dobija se:

$$s = \frac{P}{E} I_0 = \frac{190,44}{8000} \cdot 1,28 = 0,0305 \text{ m} = 3,05 \text{ cm}$$

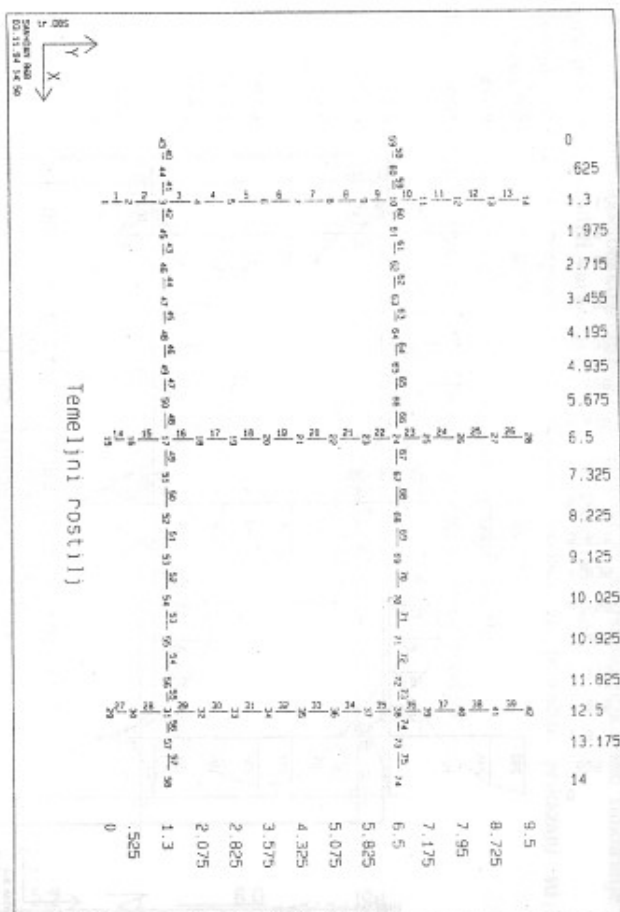
$$\Sigma K = \frac{R}{s} = \frac{16000}{0,0305} = 525100 \text{ kN / m}$$

$$K_1 = \Sigma K \cdot \frac{\Delta F_1}{\Sigma F} = 525100 \cdot \frac{\Delta F_1}{138,62} = 3788 \cdot \Delta F_1$$

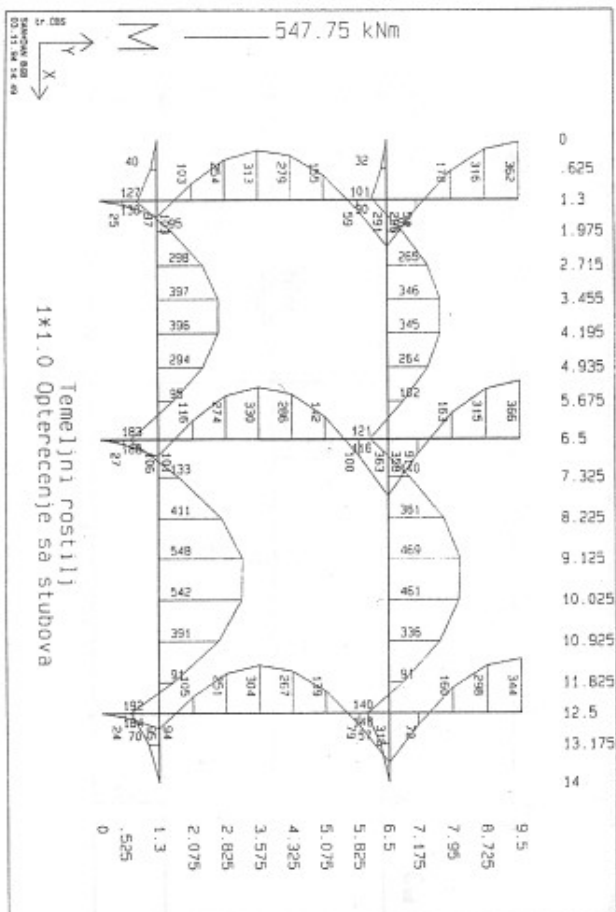
Proračun statičkih uticaja u trakama temeljnog roštilja izvršen je na računaru.

Na sl. I.4.2-8. prikazana je statička šema roštilja sa oznakama čvorova i štapova.

Na sl. I.4.2-9. prikazani su dijagrami momenata savijanja u trakama roštilja. I komadno na sl. I.4.2-10. prikazani su dijagrami momenata u trakama roštilja za slučaj da se u obzir uzima i krutost konstrukcije iznad temeljnog roštilja.



I.4.2-8.



I.4.2-9.

Rešenje:

Prepuste ploče određujemo tako da se položaj rezultante poklopi sa težištem ploče. Minimalnu dužinu prepusta određujemo tako da, pored stuba, na ploču treba osloniti i hitro i termo izolaciju kao i zaštitu izolacije.

$$a = \frac{45,0}{2} + 2,0 + 10,0 + 12,0 = 46,5 \text{ cm}$$

usvaja se $a_{\min} = 0,5 \text{ m}$

$$a_1 = a_2 = a_{\min} = 0,5 \text{ m}$$

Položaj rezultante

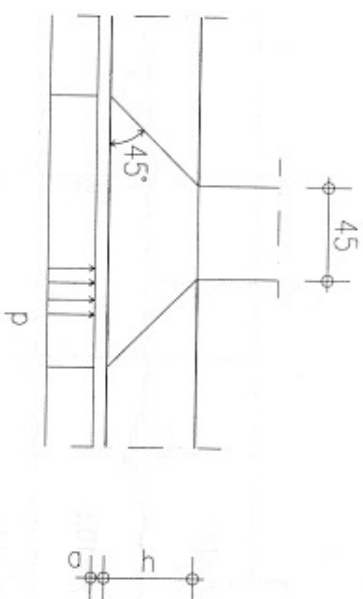
$$\gamma_t = \frac{5200 \cdot 11,2 + 6000 \cdot 5,2}{16000} = 5,59 \text{ m}$$

Oдавде proističe da i za prepuste a_3 i a_4 treba usvojiti minimalne vrednosti.

Potrebnu debljinu ploče određujemo iz uslova da ne dođe do proboja stuba kroz ploču

usvaja se MB 30 Č BR 400/500

$$p = \frac{R}{F} = \frac{1600}{L \cdot B} = \frac{16000}{17,4 \cdot 12,2} = 75,37 \text{ kN/m}^2$$



$$\tau_p = \frac{F_t}{F_r}$$

$$\tau_p \leq 0,70 \cdot \gamma_1 \cdot \tau_r$$

gde je $\gamma_1 = 1,3 \cdot \alpha_a \cdot \sqrt{\mu} = 1,3 \cdot 1,3 \cdot \sqrt{2} = 2,39$

$$\tau_p = 0,70 \cdot 2,39 \cdot 0,8 = 1,338 \text{ MPa}$$

Potrebnu visinu određujemo probanjem

za $h = 0,35 \text{ m}$

$$F_t = 1600 - 75,35 \cdot (0,45 + 0,35)^2 = 1551,78 \text{ kN}$$

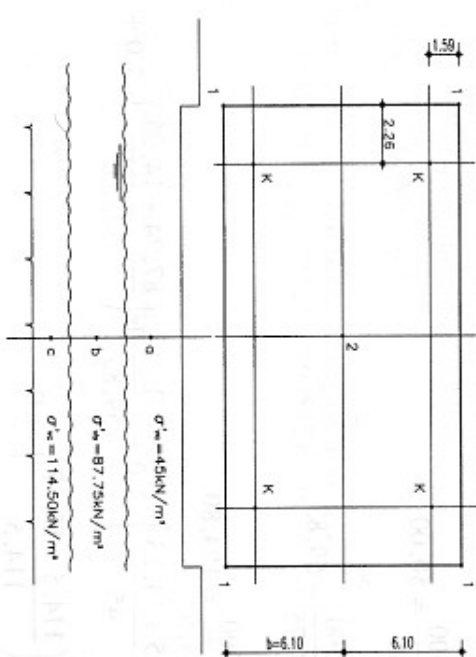
$$F_{pr} = 4 \cdot 0,35 \cdot (0,45 + 0,35) = 1,12 \text{ m}^2$$

$$\tau_p = \frac{1551,78}{1,12} = 1,385 \text{ MPa} \approx \tau_p^{\text{doz}}$$

Potrebna debljina ploče

$$d = h + \frac{\varnothing}{2} + a = 35,0 + 0,8 + 4,0 = 39,8 \text{ cm} \quad \text{usvaja se } d = 40 \text{ cm}$$

Proračun sleganja ploče



Proračun sleganja tla ispod temeljne ploče izvršićemo pod pretpostavkom da je kontaktno opterećenje ravnomerno raspoređeno ispod ploče.
Prema Buisman-de Ber-u

$$s = \int_0^H \frac{1}{C} \cdot \ln \left(\frac{\sigma_0 + \sigma_z}{\sigma_0} \right) dz \quad C = 1,5 \cdot \frac{C_{kd}}{\sigma_{vo}}$$

Tačka 1

Prirastaj vertikalnog napona određujemo prema Steinbrenner-u

$$q_n = q \cdot \gamma \cdot D_f = \frac{16000}{17,4 \cdot 12,2} - 18,0 \cdot 1,0 = 75,37 - 18,0 = 57,37 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{L}{B} = 1,426 \approx 1,5$$

$$\frac{z_a}{b} = \frac{2,5}{12,2} = 0,205 \Rightarrow I_0 = 0,248 \quad \sigma_z = 0,248 \cdot 57,37 = 14,23 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{z_b}{b} = \frac{5,5}{12,2} = 0,451 \Rightarrow I_0 = 0,245 \quad \sigma_z = 0,245 \cdot 57,37 = 14,06 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{z_c}{b} = \frac{8,0}{12,2} = 0,655 \Rightarrow I_0 = 0,233 \quad \sigma_z = 0,233 \cdot 57,37 = 13,37 \text{ kN/m}^2$$

$$C_a = 1,5 \cdot \frac{1500}{45} = 50,00$$

$$C_b = 1,5 \cdot \frac{3500}{87,75} = 59,83$$

$$C_c = 1,5 \cdot \frac{8000}{114,5} = 104,80$$

$$s = \frac{1}{50} \cdot \ln \left(\frac{45 + 14,23}{45} \right) \cdot 3,0 + \frac{1}{59,83} \cdot \ln \left(\frac{87,74 + 14,06}{87,75} \right) \cdot 3,0 +$$

$$\frac{1}{104,8} \ln \left(\frac{114,5 + 13,37}{114,5} \right) \cdot 2,0$$

$$s = 0,01648 + 0,007452 + 0,001866 = 0,0258 \text{ m} = 2,58 \text{ cm}$$

Tačka K

Za ovu tačku prirastaj napona računamo prema Kany-ju

$$\frac{z_a}{b} = 0,205 \Rightarrow I_0 = 0,77 \quad \sigma_z = 0,77 \cdot 57,37 = 44,175 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{z_b}{b} = 0,451 \Rightarrow I_0 = 0,495 \quad \sigma_z = 0,495 \cdot 57,37 = 28,40 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{z_c}{b} = 0,655 \Rightarrow I_0 = 0,390 \quad \sigma_z = 0,39 \cdot 57,37 = 22,375 \text{ kN/m}^2$$

$$s = \frac{1}{50} \cdot \ln \left(\frac{45 + 44,175}{45} \right) \cdot 3,0 + \frac{1}{59,83} \cdot \ln \left(\frac{87,74 + 28,40}{87,75} \right) \cdot 3,0 +$$

$$\frac{1}{104,8} \ln \left(\frac{114,5 + 22,37}{114,5} \right) \cdot 2,0$$

$$s_k = 0,04104 + 0,014095 + 0,003406 = 0,0585 = 5,85 \text{ cm}$$

Tačka 2

$$\sigma_{za} = 55,99 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{zb} = 47,04 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{zc} = 37,63 \text{ kN/m}^2$$

Zamenom ovih vrednosti u izrazu za sleganje dobija se

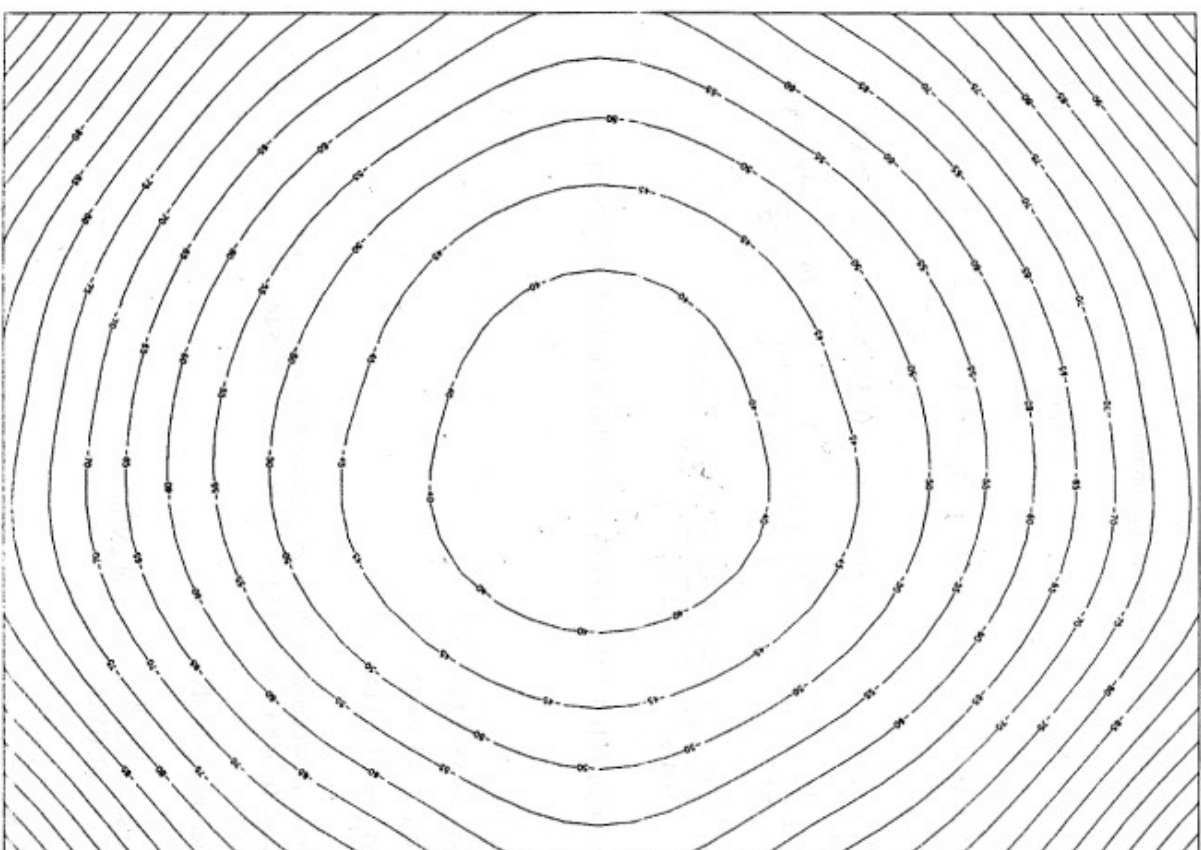
$$s_2 = 0,0485 + 0,02152 + 0,005423 = 0,07544 \text{ cm}$$

a) Vinkler-ov model tla

$$\sum K = \frac{16000}{0,0585} = 273504 \text{ kN/m}^2$$

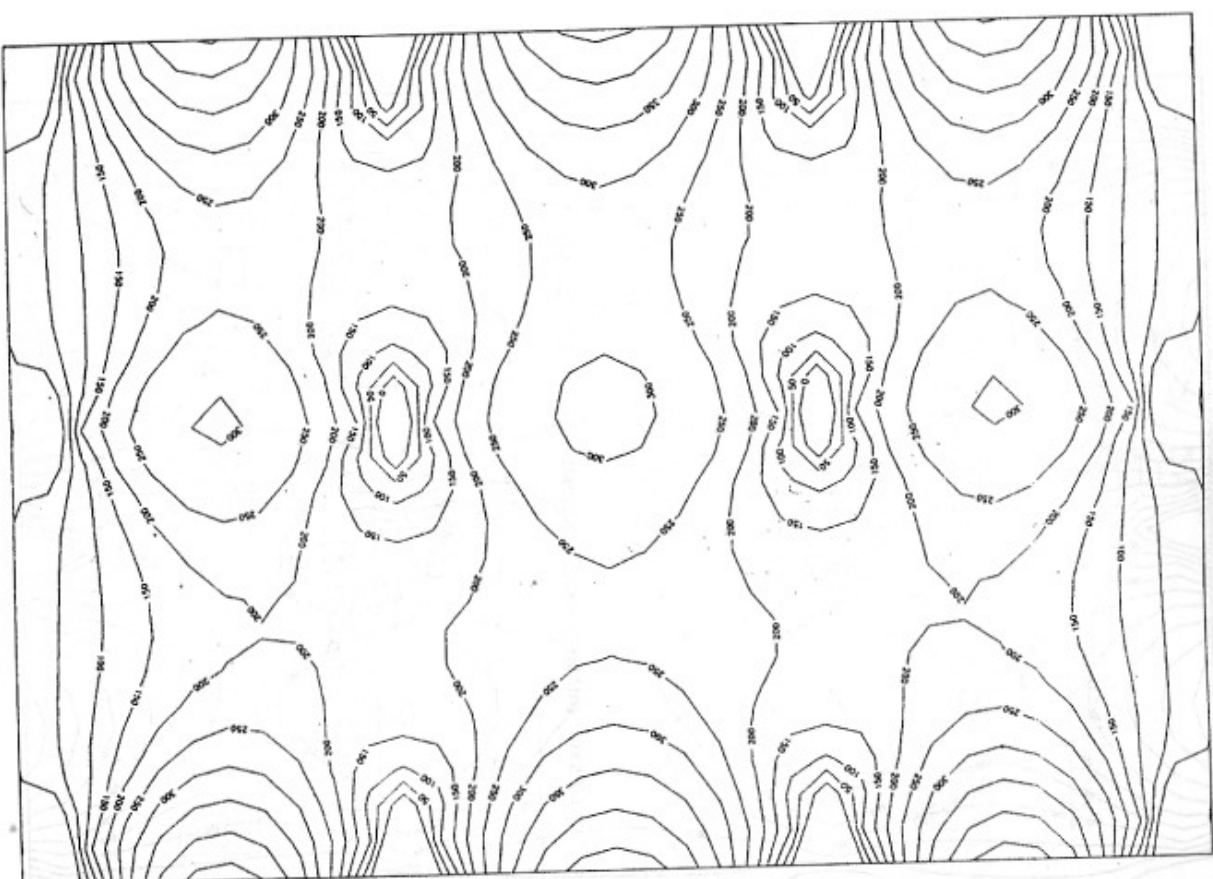
$$\sum K = \frac{\sum K}{\sum F_i}$$

Proračun statičkih uticaja, pomeranja i opterećenja izvršen je pomoću računara. Rezultati proračuna su prikazani grafički na sledećim slikama:



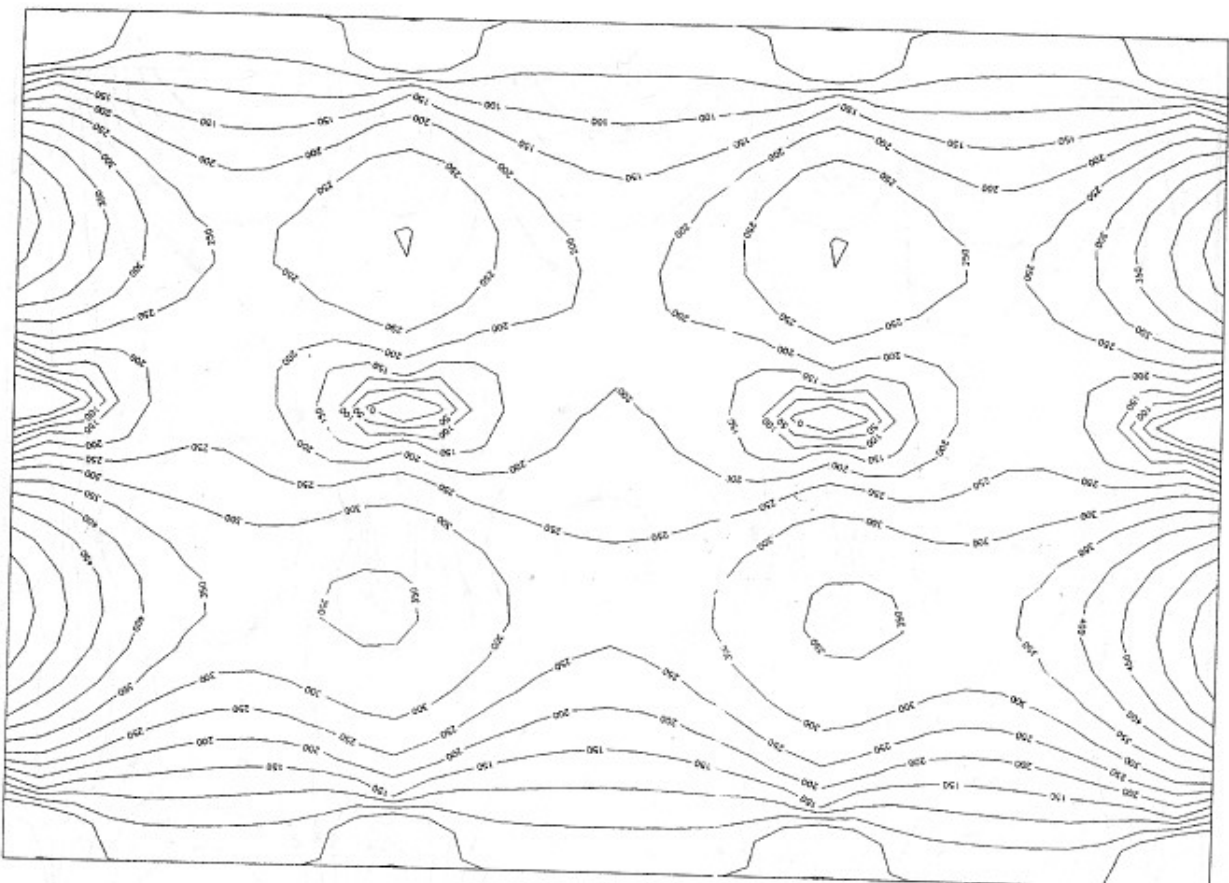
TP ugib= $(-119, -35,5\text{mm})$

SI I.5.1.4 linije jednakih ugiba ploče



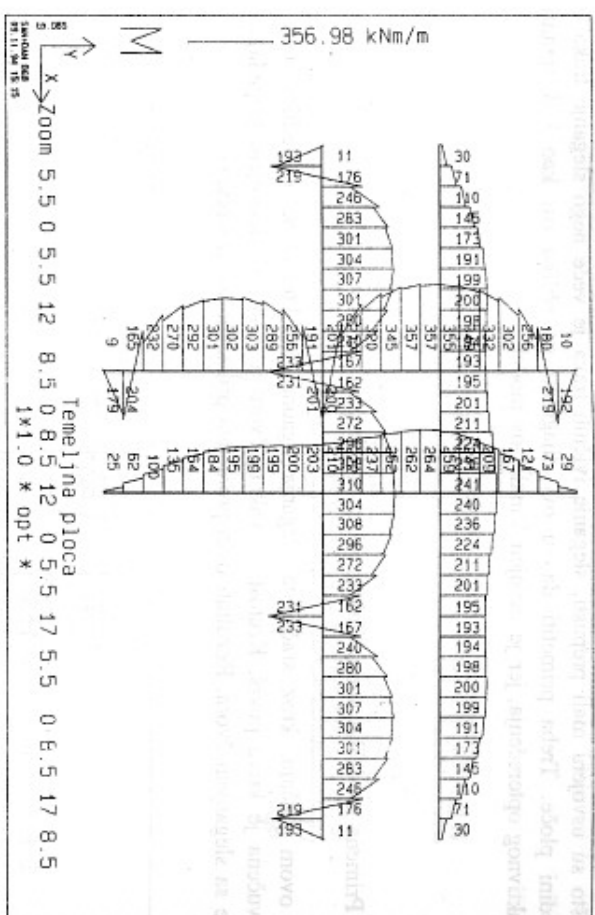
TP $M_x=(0,480,50)$

SI I.5.1.5 linije jednakih momenata u x-pravcu

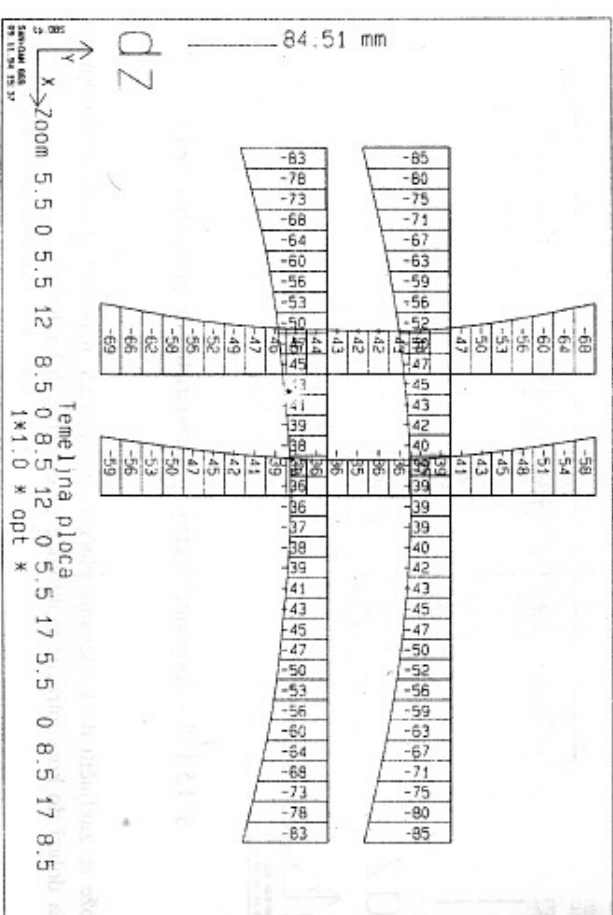


TP $M_y = (0, 590, 50)$

SI I.5.1.-6 linije jednakih momenta u y-pravcu



SI I.5.1.-7 dijagrami momenta savijanja u karakterističnim trakama ploče

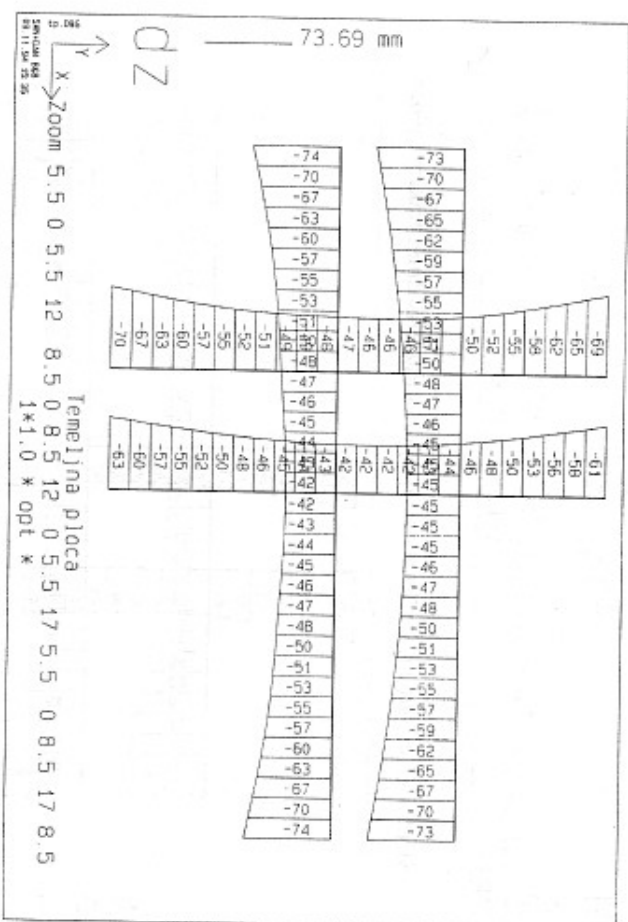


SI I.5.1.-8 dijagrami ugiba ploče u karakterističnim presjecima

Pošto su usvojeni mali prepusi, sleganje ivičnih traka je veće nego sleganje traka u sredini ploče. Treba primetiti da su ovi dijagrami po obliku isti kao i dijagrami reaktivnog opterećenja, jer je usvojen Vinkler-ov model.

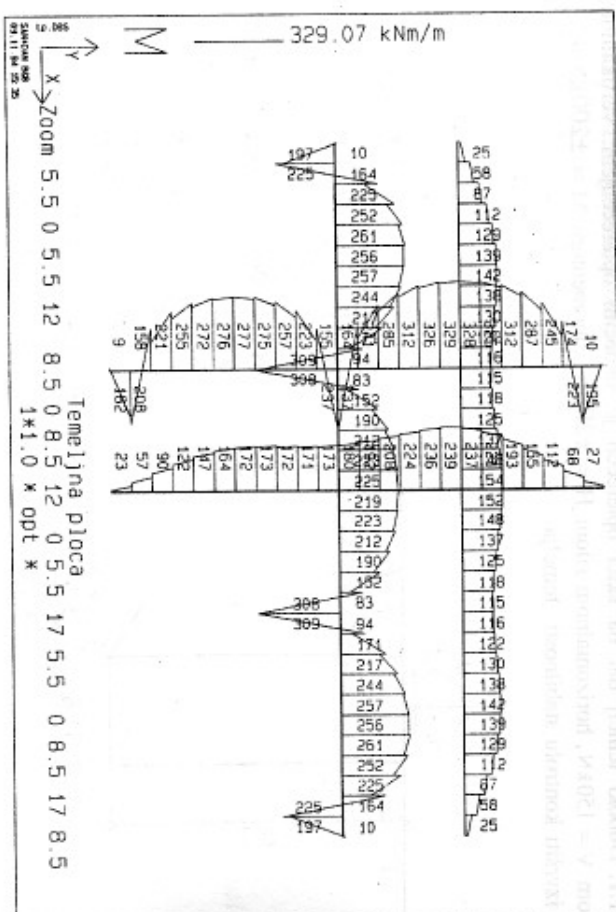
b) Primena modifikovanog Vinkler-ovog modela za tlo

U ovom slučaju, kroz sračunata sleganja ugaone, karakteristične i središnje tačke povučena je kriva površ. Krutost u svakom čvoru je dobijena deljenjem pripadajuće sile sa sleganjem čvora. Rezultati ovih proračuna prikazani su na slikama.



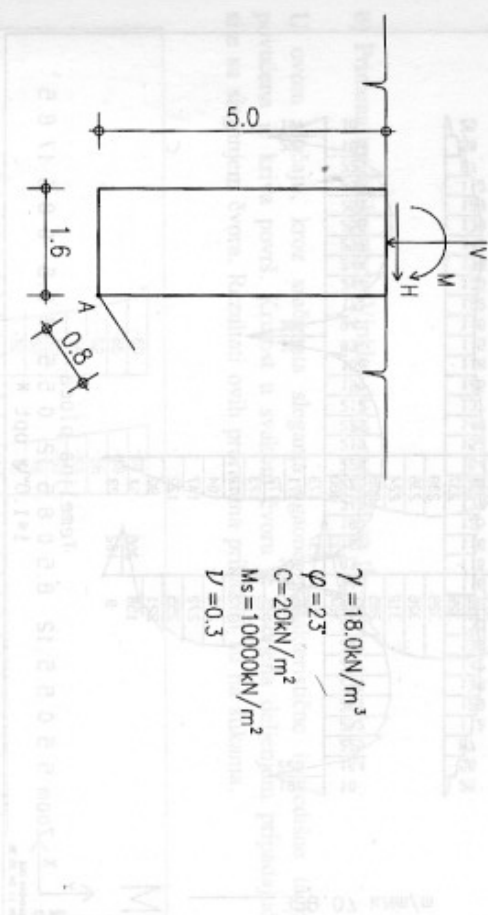
SI 1.5.1.-9 - dijagrami sleganja u karakterističnim preseccima ploče

Može se zaključiti da je sleganje ploče u sredini veće nego u prethodnom slučaju, kao i da dolazi do koncentracije reaktivnog opterećenja duž ivica ploče.



SI 1.5.1.-10 - dijagrami momenata savijanja u pojedinim trakama ploče

II.1.1. Duboki temelj dat na skici opterećen je sledećim opterećenjem: vertikalnom silom $V = 150 \text{ kN}$, horizontalnom silom $H = \pm 20 \text{ kN}$ i momentom $M = \pm 200 \text{ kNm}$. a) izvršiti kontrolu stabilnosti temelja



b) sračunati vertikalno i horizontalno pomeranje tačke A
Rešenje:

a) Dozvoljeni napon prema Brinch Hansen-u

$$\sigma_{\text{dozv}} = c_m \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot N_\gamma \cdot B \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma$$

$$c_m = \frac{20}{2.5} = 8.0 \text{ kN/m}^2$$

$$\lg \varphi_m = \frac{\lg 23^\circ}{1.5} = 0.283 \Rightarrow \varphi_m = 15.8^\circ$$

$$N_c = 11.63$$

$$N_\gamma = 1.72$$

$$s_c = 1 + 0.2 \cdot \frac{0.8}{1.6} = 1.1$$

$$s_q = 1.1$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4 \cdot 0.5 = 0.8$$

$$d_c = 1 + 0.35 \cdot \frac{5.0}{0.8} = 3.2$$

$$d_q = 3.2 - \frac{3.2 - 1}{4.33} = 2.69$$

$$d_\gamma = 1.0$$

$$\lg \delta = \frac{25.0}{150.0} = 0.167 \Rightarrow \delta = 9.5^\circ \approx 10^\circ$$

$$i_c = 0.627$$

$$i_q = 0.721$$

$$i_\gamma = 0.520$$

$$\sigma_{\text{dozv}} = 8 \cdot 11.6 \cdot 1.1 \cdot 3.2 \cdot 0.627 + 18.0 \cdot 5.0 \cdot 4.33 \cdot 1.1 \cdot 2.67 \cdot 0.72 + 0.5 \cdot 18.0 \cdot 0.8 \cdot 1.72 \cdot 0.8 \cdot 1.0 \cdot 0.52 = 1000 \text{ kN/m}^2$$

Određivanje koeficijenta krutosti tla

$$K_\sigma = \frac{E_0}{(1 - \nu_0^2) \cdot \alpha_1 \cdot \sqrt{F}}$$

$$E_0 = \frac{(1 - 2\nu) \cdot (1 + \nu)}{1 - \nu} \cdot M_s = 0.75 \cdot M_s = 7500 \text{ kN/m}^2$$

Iz tabele V.1. (Fundiranje I, S. Stevanovića)

za $b/a = 0.5$

$$\alpha_1 = 0.86, \alpha_2 = 0.87$$

$$K_\sigma = \frac{7500}{(1 - 0.3^2) \cdot 0.86 \cdot 1.13} = 8470.6 \text{ kN/m}^3$$

$$K_w = \frac{3 \cdot E_0}{2 \cdot (1 - \nu_0^2) \cdot b \cdot \alpha_2} = \frac{3 \cdot 7500}{2 \cdot (1 - 0.3^2) \cdot 0.8 \cdot 0.87} = 17762.4 \text{ kN/m}^3$$

Kontrola napona

- Vertikalni pritisci u osnovi temelja

$$\begin{aligned}\sigma_{z,\max} &= \frac{P+G}{a \cdot b} + \frac{6 \cdot (3 \cdot M + 2 \cdot H \cdot b) \cdot a}{(3 \cdot a^3 + \beta \cdot t^3) \cdot b} = \\ &= \frac{303,6}{0,8 \cdot 1,6} + \frac{6 \cdot (3 \cdot 200 + 2 \cdot 20 \cdot 5,0) \cdot 1,6}{(3 \cdot 1,6^3 + 0,5 \cdot 5,0^3) \cdot 0,8} = 397,6 \text{ kN / m}^2 < \sigma_{\text{dozv}}\end{aligned}$$

$$\sigma_{z,\min} = 76,75 \text{ kN / m}^2 > 0$$

- Horizontalni pritisci

$$\sigma_{x(z=\frac{z_0}{2})} \leq \frac{m \cdot z_0}{2}$$

$$\sigma_{x(z=t)} \leq m \cdot t$$

$$m = \gamma \cdot \left[t g^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) - t g^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) \right] = 35,09$$

$$z_0 = \frac{4 \cdot \beta \cdot t^2 \cdot M + (a^2 + 3 \cdot \beta \cdot t^3) \cdot H}{2 \cdot (3 \cdot M + 2 \cdot H \cdot t) \cdot \beta \cdot t} = 3,45 \text{ m}$$

$$t g \omega = \frac{12 \cdot (3 \cdot M + 2 \cdot N \cdot t)}{(3 \cdot a^3 + \beta \cdot t^3) \cdot b \cdot K_0} = 0,009$$

$$u = \frac{z_0 \cdot t g \omega \cdot K_0}{K_\sigma} = 0,065 \text{ m}$$

$$\sigma_{x(z=z_0)} = -\frac{\beta \cdot z_0}{2 \cdot t} \cdot (K_\sigma \cdot u - \frac{z_0}{2} K_\omega t g \omega) = -47,4 \text{ kN / m}^2 < 60,5 \text{ kN / m}^2$$

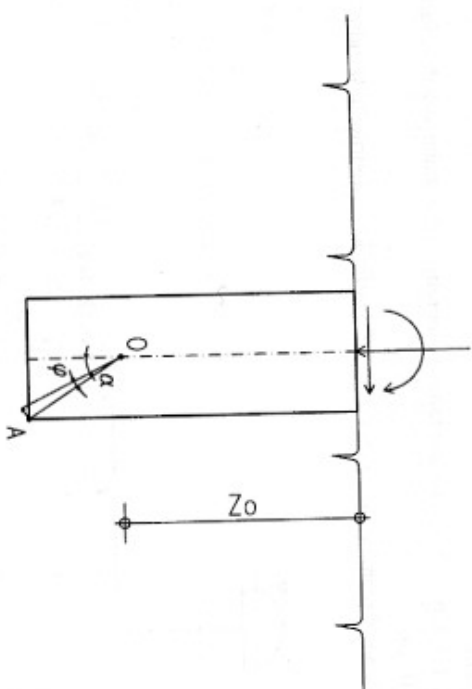
$$\sigma_{x(z=t)} = 124,3 \text{ kN / m}^2 < 175,45 \text{ kN / m}^2$$

b) Vertikalno pomiranje tačke A

$$w = \frac{P+G}{a \cdot b \cdot K_\sigma} + t g \omega \cdot AB \cdot \sin \alpha = 0,034 \text{ m} = 3,7 \text{ cm}$$

c) Horizontalno pomiranje tačke A

$$u_A = u - t g \omega \cdot OA \cdot \cos \alpha = 0,065 - 0,009 \cdot 1,74 \cdot 0,908 = 0,05 \text{ m} = 5 \text{ cm}$$

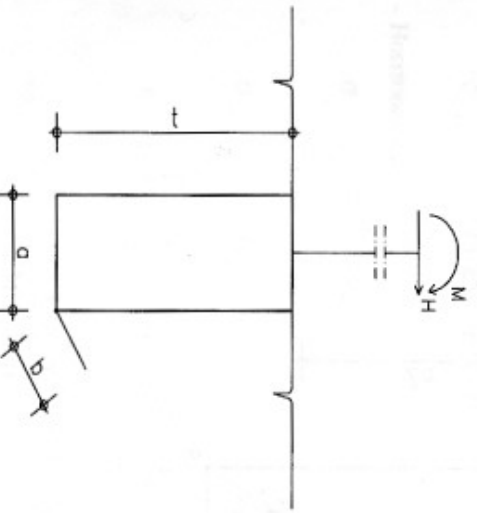


II.1.2. Antenski stub, visine 20m, opterećen je na vrhu horizontalnom silom $H = 20\text{ kN}$ i momentom $M = 50\text{ kNm}$. Težina stuba je 100 kN . Potrebno je projektovati duboki temelj

a) Dimenzije temelja određiti tako da ukupno horizontalno pomeranje vrha stuba u bude manje od 9 cm.

Usvojiti $a/b = 2/1$ i $t/b = 5/1$. Horizontalno pomeranje vrha stuba usled deformacije stuba je $u_s = 2,0\text{ cm}$

b) Za tako određene dimenzije temelja sračunati koeficijent sigurnosti u odnosu na lom tla.



$$\begin{aligned}\gamma &= 18,0\text{ kN/m}^3 \\ \sigma_w &= 800\text{ kN/m}^2 \\ \varphi &= 31^\circ \\ E_\sigma &= 32000\text{ kN/m}^2 \\ \nu_0 &= 0,3 \\ \beta &= 0,5\end{aligned}$$

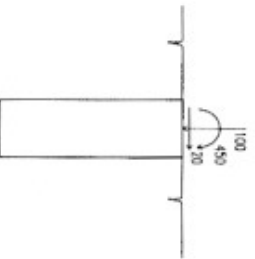
Rešenje:

$$M_e = 20 \cdot 20 + 50 = 450\text{ kNm}$$

$$H = 20\text{ kN}$$

$$V = 100\text{ kN}$$

$$F = a \cdot b = 2 \cdot b^2$$



Koeficijent krutosti tla za vertikalna pomeranja

$$K_\sigma = \frac{E_0}{(1 - \nu^2) \cdot \alpha_1 \cdot \sqrt{F}}$$

gde je α_1 koeficijent koji zavisi od odnosa b/a

za $b/a = 0,5$

Iz tabele V.1. (Fundiranje I, S. Stevanović)

$$\alpha_1 = 0,86 \quad \alpha_2 = 0,87$$

$$K_\sigma = \frac{28913,13}{b}$$

Koeficijent krutosti tla za vertikalna pomeranja pri rotaciji temelja

$$K_\omega = \frac{2 \cdot (1 - \nu_0^2) \cdot b \cdot \alpha_2}{3 \cdot E_0} = \frac{60629}{b}$$

Iz uslova $u_{\max} = 9\text{ cm}$

$$u + (z_0 + 20,0) \cdot t g \omega \leq (0,09 - 0,02) = 0,07 \quad (1.1)$$

Pošto je

$$u = \frac{24 \cdot \beta \cdot t^2 \cdot M + 6 \cdot (a^3 + 3 \cdot \beta \cdot t^3) \cdot M}{\beta \cdot (3 \cdot a^3 + \beta \cdot t^3) \cdot b \cdot K_\sigma \cdot t}$$

$$t g \omega = \frac{12 \cdot (3 \cdot M + 2 \cdot H \cdot t)}{(3 \cdot a^3 + \beta \cdot t^3) \cdot b \cdot K_\omega}$$

$$z_0 \cdot t g \omega = \frac{K_\sigma}{K_\omega} \cdot u$$

Iz jednačine (1.1) se dobija

$$b = 1,2\text{ m}$$

$$z_0 = 4,1\text{ m}$$

$$u = 0,0688\text{ m}$$

$$t g \omega = 2,105 \cdot 10^{-3}$$

Kontrola napona:

- Vertikalni pritisci u osnovi na ivicama temelja

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{dov}} = \frac{\sigma_{\text{dl}}}{2} = 400\text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{\max, \min} = \frac{P + G}{a \cdot b} \pm \frac{6 \cdot (3 \cdot M + 2 \cdot H \cdot t) \cdot a}{(3 \cdot a^3 + \beta \cdot t^3) \cdot b}$$

$$\sigma_{\max} = 178,72 + 127,65 = 306,37 \text{ kN / m}^2 < \sigma_{\text{dopr}}$$

$$\sigma_{\min} = 51,07 \text{ kN / m}^2 > 0$$

- Horizontalni pritisci

$$\sigma_{x(z=\frac{z_0}{2})} \leq \frac{m \cdot z_0}{2}$$

$$m = \gamma \cdot \left[\text{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right) - \text{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) \right]$$

$$m = 50,47$$

$$\frac{m \cdot z_0}{2} = 103,46 \text{ kN / m}^2$$

$$\sigma_{x,z} = -\frac{\beta \cdot z}{t} \cdot (K_{\sigma} \cdot u - z \cdot K_{\omega} \cdot \text{tg} \omega)$$

$$\sigma_{x(z=\frac{z_0}{2})} = 246 \text{ kN / m}^2 > \frac{m \cdot z_0}{2}$$

S obzirom da poslednji uslov nije zadovoljen, treba povećati dimenzije temelja

$$b = 1,3 \text{ m}$$

$$\sigma_{x(z=\frac{z_0}{2})} = 30 \text{ kN / m}^2 < \frac{m \cdot z_0}{2}$$

$$z_0 = 4,45$$

$$u = 0,0156 \text{ m}$$

Konačne dimenzije temelja:

$$b = 1,3 \text{ m}$$

$$a = 2,6 \text{ m}$$

$$t = 6,5 \text{ m}$$

b) Koeficijent sigurnosti se određuje rešenjem jednačina ravnoteže

$$A_1 \cdot \theta^2 + B_1 \cdot x_0 + C_1 \cdot k = N_1$$

$$k = \frac{1}{C_1} (N_1 - A_1 \cdot \theta^2 - B_1 \cdot x_0)$$

$$A_2 \cdot \theta^2 + B_2 \cdot x_0 + C_2 \cdot k = N_2$$

$$A_3 \cdot (1 - 6 \cdot \theta^2 + 4 \cdot \theta^3) + B_3 \cdot x_0 + C_3 \cdot k = N_3$$

gde su $A_1, B_1, C_1, N_1, A_2, B_2, \dots$ koeficijenti koji se određuju iz sledećih izraza

Granični otpor tla za slučaj dubokih temelja ograničene širine

$$E = \frac{1}{2} \cdot \alpha \cdot \gamma \cdot b \cdot t^2 \left[\text{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right) - \text{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) \right] =$$

$$\frac{1}{2} \cdot 2,0 \cdot 18,0 \cdot 1,3 \cdot 6,5^2 \cdot 2,803 = 2771,2 \text{ kN / m}^2$$

$$T = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot t^2 \cdot a \cdot \xi_0 \cdot \text{tg} \varphi = \frac{1}{2} \cdot 18 \cdot 6,5^2 \cdot 2,6 \cdot 0,485 \cdot 0,6 = 288,1$$

$$\xi_0 = 1 - \sin \varphi = 0,485$$

$$A_1 = 4 \cdot f \cdot E = 4 \cdot \text{tg} \varphi \cdot E = 6650,88$$

$$B_1 = 2 \cdot b \cdot \sigma_{gr} = 2 \cdot 1,3 \cdot 800 = 2080$$

$$C_1 = -2 \cdot (G + P) = -2 \cdot (527,28 + 100) = -1254,56$$

$$N_1 = 2 \cdot f \cdot E - a \cdot b \cdot \sigma_{gr} = 2 \cdot 0,6 \cdot 2771,2 - 2,6 \cdot 1,3 \cdot 800 = 621,44$$

$$A_2 = 4 \cdot (E + 2 \cdot T) = 4 \cdot (2771,2 + 2 \cdot 288,1) = 13389,6$$

$$B_2 = 2 \cdot b \cdot f_0 \cdot \sigma_{gr} = 2 \cdot 1,3 \cdot 0,6 \cdot 800 = 1248$$

$$C_2 = 2 \cdot H = 2 \cdot 20 = 40$$

$$N_2 = 2 \cdot (E + 2 \cdot T) + a \cdot b \cdot f_0 \cdot \sigma_{gr} =$$

$$2 \cdot (2771,2 + 2 \cdot 288,1) + 2,6 \cdot 1,3 \cdot 0,6 \cdot 800 = 8317,2$$

$$A_3 = \frac{1}{3} \cdot (E + 2 \cdot T) = \frac{6,5}{3} \cdot (2771,2 + 2 \cdot 288,1) = 7252,7$$

$$B_3 = \frac{1}{2} b \cdot \sigma_{gr} = \frac{1}{2} \cdot 1,3 \cdot 800 = 520$$

$$C_3 = M + H \cdot t = 450 + 20 \cdot 6,5 = 580$$

$$N_3 = \frac{a \cdot f \cdot E}{2} + \frac{a^2 \cdot b \cdot \sigma_{gr}}{8} = \frac{2,6 \cdot 0,6 \cdot 2771,2}{2} + \frac{2,6^2 \cdot 1,3 \cdot 800}{8} = 3040,33$$

Koeficijent proporcionalnosti α , prema Šuklju, iznosi

$$\alpha = 1 + \frac{1}{5 \cdot b} = 1 + \frac{6,5}{5 \cdot 1,3} = 2$$

Rešenjem jednačina se dobija

$$x_0 = 2,73 \text{ m}$$

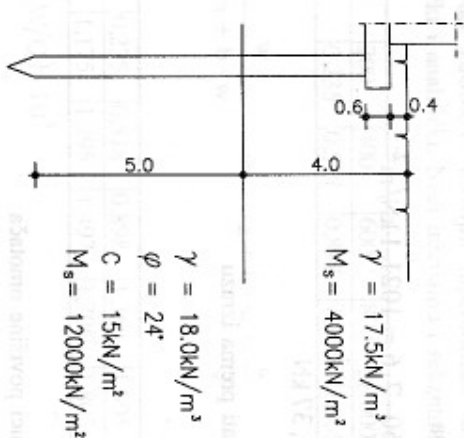
$$\theta = 0,6$$

$$z_0 = \theta \cdot t = 3,9 \text{ m}$$

$$k = 3,0$$

Koeficijent sigurnosti u tlu za dato opterećenje temelja iznosi $k = 3,0$, što se može smatrati dovoljnim.

II.2.1. Odrediti dozvoljenu silu u gotovom armiranobetonskom šipu preseka 40x40cm za geometrijski profil tla prikazan na slici.



Rešenje:

Dozvoljena sila u šipu određuje se prema izrazu

$$S_{\text{dozv}} = S_b + S_o$$

gde je

S_b - nosivost baze šipa

S_o - nosivost omotača šipa

$$S_b = \sigma_{\text{dozv}} \cdot F_b$$

$$F_b = 0,4 \cdot 0,4 = 0,16 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{\text{dozv}} = c_m \cdot N_c + K_0 \cdot (\sum \gamma_i \cdot h_i) \cdot N_q$$

$$K_0 = 1 - \sin \varphi = 1 - \sin 24^\circ = 0,593$$

$$\sum \gamma_i \cdot h_i = 4,0 \cdot 17,5 + 5,0 \cdot 18,0 = 160 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{tg} \varphi_m = \frac{\text{tg} \varphi}{1,5} = \frac{\text{tg} 24^\circ}{1,5} \Rightarrow \varphi_m = 16,5^\circ$$

Faktori nosivosti prema Mayerhof-u za 'mobilisani' ugao φ_m iznose

$$N_c = 50 \quad N_q = 7,6$$

Dozvoljeni napon u nivou baze šipa

$$\sigma_{\text{dovz}} = \frac{80 \cdot 15,0}{2,5} + 0,593 \cdot 160 \cdot 7,6 = 1021,1 \text{ kN/m}^2$$

$$S_b = 1021,1 \cdot 0,16 = 163,37 \text{ kN}$$

Nosivost omočaka se može izračunati prema izrazu

$$S_o = \sum f_i \cdot F_i$$

$$f_i = c_{m_i} + K_{s_i} \cdot \lg \varphi_{m_i} \cdot q_i$$

gde je f_i specifično trenje po jedinici površine omočaka

$$S_{\text{om}} = \left[\frac{15,0}{2,5} + 0,593 \cdot 0,296 \cdot (17,5 \cdot 4 + 18,0 \cdot 2,5) \right] \cdot 4 \cdot 0,4 \cdot 5,0 = 209 \text{ kN}$$

$$S_{\text{dovz}} = 372,8 \text{ kN}$$

Prema veličini modula stišljivosti prvog sloja može se zaključiti da je sloj vrlo stišljiv, tako da se pretpostavlja da neće doći do aktiviranja trenja po omočaju ili da je veličina trenja mala da se može zanemariti.

II.2.2. Odrediti aksijalnu nosivost šipa i faktor sigurnosti na lom na osnovu podataka dobijenih pri probnom opterećenju šipa. Radna sila u šipu je 1150 kN a šip je opterećivan do 1800 kN. Usvojiti hiperboličku diskripciju ponašanja šipa. Zadatak uradiću grafički i analitički. Naći inicijalnu i sekantnu aksijalnu krutost šipa.

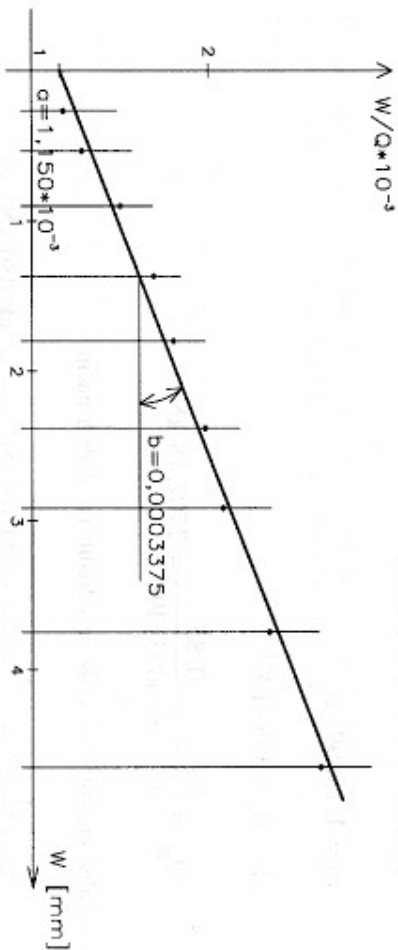
Q[kN]	0	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800
w(mm)	0	0,235	0,518	0,898	1,365	1,805	2,395	2,935	3,788	4,720

$$Q = \frac{w}{a + b \cdot w} \Rightarrow a + b \cdot w = \frac{w}{Q}$$

w	0	0,235	0,518	0,898	1,365	1,805	2,395	2,935	3,788	4,720
(w/Q)*	0	1,175	1,295	1,497	1,706	1,805	1,996	2,096	2,3675	2,622

$$(w/Q)^* = (w/Q) \cdot 10^3$$

a) Parametri hiperbole mogu se odrediti približno grafički:



$$Q_{gr} = \frac{R_y}{b} = \frac{0,85}{0,0003375} = 2518,5 \text{ kN}$$

$$F_s = \frac{2518,50}{1150} = 2,19 > 2,00$$

b) Analitičko određivanje parametara hiperbole.

Na osnovu metode najmanjih kvadrata pretvaranjem hiperboličke zavisnosti u linearnu, dobija se sledeći sistem uslovnih jednačina:

$$\sum_{i=2}^N w_i^2 \cdot b + \sum w_i \cdot a = \sum w_i \cdot \frac{w_i}{Q_i}$$

$$\sum w_i \cdot b + (N - 1) = \sum \frac{w_i}{Q_i}$$

Zamenom vrednosti dalje u tabelama dobijamo:

$$\sum w_i^2 = 572288$$

$$N - 1 = 9$$

$$\sum w_i = 18,6590$$

$$\sum \frac{w_i}{Q_i} = 165595$$

$$\sum w_i \cdot \frac{w_i}{Q_i} = 40,1541$$

$$572288 \cdot b + 18,6590 \cdot a = 40,1541$$

$$186590 \cdot b + 9 \cdot a = 165595$$

$$a = 1,18899 \cdot 10^{-3}$$

$$b = 0,31398 \cdot 10^{-3}$$

$$Q_{gr} = \frac{R_t}{b} = \frac{0,85}{0,00031398} = 2707,18 \text{ kN}$$

Inicijalna krutost šipa može se odrediti na sledeći način:

$$K_1 = \frac{1}{a} = \frac{1}{0,00118899} = 841,05 \text{ kN / mm} = 841050 \text{ kN / m}$$

Sekantna krutost šipa računa se na osnovu veličine pomaranja za zadatu radnu silu.

$$1150 = \frac{0,000118899 + 0,00031398 \cdot w}{w}$$

$$b = 2,14007 \text{ mm}$$

$$K_s = \frac{1150}{2,14007} = 537,365 \text{ kN / mm} = 537365 \text{ kN / m}$$

II.2.3 Na osnovu podataka statičke penetracije koja je izvedena u peskovitom materijalu, izvršiti proračun nosivosti "Franki" šipa Ø520mm. Proračun nosivosti izvršiti prema Bustamante&Gianeselli-u

Rešenje:

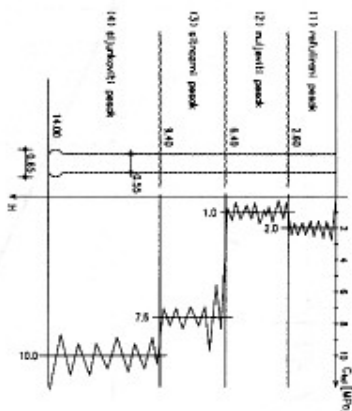
$$S_u = S_b + S_0$$

$$S_b = \alpha \cdot C_{kd} \cdot F_b$$

$$S_0 = \sum f_{si} \cdot F_{0i}$$

$$F_b = \frac{0,65^2 \cdot \pi}{4} = 0,332 \text{ m}^2$$

$$S_b = 0,45 \cdot 10000 \cdot 0,332 = 1493,20 \text{ kN}$$



Prema navedenim autorama, za šipove kod kojih se čelična zaštitna cev nabija u tlo, zavisnost između trenja f_s i vrednost C_{kd} za peskovito tlo može se prikazati na sledeći način:

$$f_{s1} = \frac{80}{5} \cdot 2,0 = 32,0 \text{ kN / m}^2$$

$$f_{s2} = \frac{80}{5} \cdot 1,0 = 16,0 \text{ kN / m}^2$$

$$f_{s3} = 80 + \frac{150 - 80}{15} \cdot 2,60 = 92,13 \text{ kN / m}^2$$

$$f_{s4} = 80 + \frac{150 - 80}{15} \cdot 5,0 = 103,33 \text{ kN / m}^2$$

$$S_0 = 0,55 \cdot p \cdot (32,0 \cdot 2,6 + 16,0 \cdot 3,8 + 92,13 \cdot 3,0 + 103,33 \cdot 4,60) = 1547,70 \text{ kN}$$

Pošto je sloj (2) muljevit zbog viskoznih deformacija treba redukovati ili zanemariti njegovu nosivost kao i sloja iznad njega.

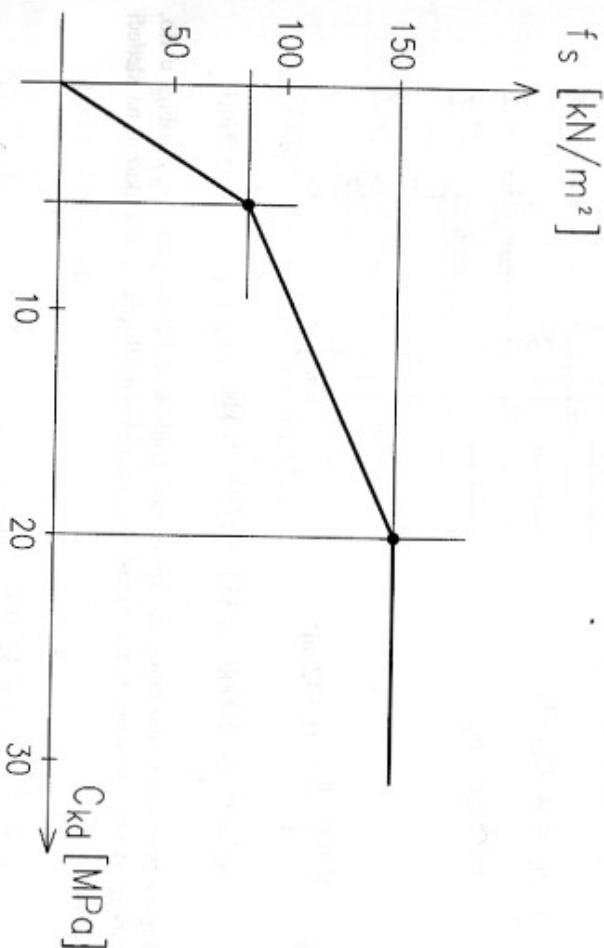
$$\bar{S}_0 = 1298,88 \text{ kN}$$

$$S = S_b + S_0 = 1493,20 + 1298,88 = 2792,08 \text{ kN}$$

za

$$F_s = 2,0 + 2,50$$

$$F_s = 2,4 \Rightarrow S_{\text{dov}} = 1163 \text{ kN} \quad \text{usvojeno} \quad S_{\text{dov}} = 1150 \text{ kN}$$



II 2.4. Rezultati ispitivanja bušenog šipa Ø800mm pri probnom opterećenju prikazani su tabelarno. Odrediti parametre hiperbole kojom se opisuje ponašanje šipa.

Rešenje:

$$Q = \frac{w}{a + bw} \Rightarrow a + bw = \frac{w}{Q}$$

Na ovaj način parametre hiperbole određujemo iz ekvivalentne linearne aproksimacije, metodom najmanjih kvadrata.

I	Q_i (kN)	w_i (mm)	$w_i / Q_i \cdot 10^{-3}$
1	0	0	/
2	405	0,15	0,3704
3	810	0,33	0,4074
4	1215	0,59	0,4856
5	1620	0,75	0,4629
6	2025	1,08	0,5333
7	2430	1,41	0,5802
8	2835	1,94	0,6843
9	3240	3,04	0,9383
10	3645	4,58	1,2565
11	4050	6,74	1,6642

Metodom najmanjih kvadrata dobijaju se sledeće uslovne jednačine:

$$\sum_{i=2}^N w_i^2 \cdot b + \sum_{i=1}^N w_i \cdot a = \sum_{i=1}^N w_i \cdot \frac{w_i}{Q_i}$$

$$\sum w_i \cdot b + (N-1) \cdot a = \sum \frac{w_i}{Q_i}$$

$$\sum_{i=2}^{11} w_i^2 = 83,6057$$

$$\sum w_i = 20,6100$$

$$\sum \frac{w_i}{Q_i} = 6,3831$$

$$N-1 = 10$$

$$83,6057 \cdot b + 20,6100 \cdot a = 23,3692$$

$$20,6100 \cdot b + 10 \cdot a = 7,3831$$

$$a = 0,0003298$$

$$b = 0,0001982$$

$$Q_{gr} = \frac{R_L}{b} = \frac{0,90}{0,0001982} = 4540,87 \text{ kN}$$

Isti podaci obrađeni su i na računaru. Rezultate tih proračuna prikazaćemo radi upoređenja:

a) Za hiperboličku diskripciju ponašanja šipa dobija se :

$$a = 0,00031947$$

$$b = 0,00020022$$

$$s^2 = 42426,546$$

$$Q_{gr} = \frac{0,90}{0,00020022} = 4495,05 \text{ kN}$$

b) Ukoliko se primeni predlog Van der Ven-a

$$Q = Q_{gr} \cdot (1 - e^{-\alpha w})$$

dobija se:

$$Q_{gr} = 4025,023 \text{ kN}$$

$$\alpha = 0,628627$$

$$S^2 = 89772,199$$

c) Najmanje odstupanje se dobija ako se zavisnost prikaže delimično kao linearna a nadalje kao hiperbolička. U tom slučaju dobijamo:

$$Q = K \cdot w + \frac{w^*}{a + b \cdot w^*}$$

$$a = 0,00041762$$

$$b = 0,00024552$$

$$K = 2394,50$$

$$S^2 = 31296,717$$

$$Q = 1320,00 + \frac{w^*}{0,00041762 + 0,00024552 \cdot w^*}$$

$$Q_{gr} = (1320,00 + \frac{1}{0,00041762 + 0,00024552}) \cdot 90 = 4853,69 \text{ kN}$$

d) Prema DIN-1045, granična sila definisana je kao sila pri kojoj se dostiže sleganje $D/40$

$$w_s = \frac{800}{40} = 20 \text{ mm}$$

$$Q_{gr} = \frac{20}{0,00031947 + 0,00020022 \cdot 20} = 4625,48 \text{ kN}$$

II.2.5. Dizel maljem DELMAG-D 30/13 vršeno je pobijanje zaštitne kolone Ø 520mm i dužine 16,0m. Na kraju pobijanja za utiskivanje cevi od 0,50 m bilo je potrebno 80 udaraca. Prosečan broj udaraca u minuti iznosio je 42. Na osnovu ovih podataka korišćenjem dinamičkih formula izvršiti proračun dozvoljene aksijalne sile u šipu. Proračun izvršiti :

- Prema predlogu proizvođača dizel maljeva tipa DELMAG,
- Prema obrascu Jambu-a (predlog našeg pravilnika)
- Prema obrascu Gečevarova (CHuP II-17-77)
- Korišćenjem Holandske formule.

Podaci o dizel malju DELMAG D30-13

-ukupna težina malja	56,70 kN
- težina klipa	30 kN
- energija pri udaru	$(91,0 \div 44,5) \text{ kNm}$
- broj udaraca	$(38 \div 52) 1/\text{min}$
- koeficijent korisnog dejstva	0,9

Podaci o zaštitnoj cevi Ø 520 mm

- dužina cevi	$L = 16 \text{ m}$
- težina cevi sa priborom	$G_s = 44,80 \text{ kN}$

a) proizvođač maljeva DELMAG predlaže sledeću formulu:

$$W = \frac{E \cdot R}{(c \cdot L + s) \cdot (R + Q)}$$

gde su:

E - deklarisan energija malja

R- težina klipa

s - prodiranje pri jednom udarcu malja u (mm)

L- dužina cevi u (m)

c - koeficijent odskoka (za čelične šipove $c=0,30$)

Q- težina cevi sa pripadajućom opremom

U konkretnom slučaju za broj udaraca $n=42$ linearnom interpolacijom određujemo energiju:

$$E^* = 91,00 - \frac{91,00 - 44,5}{14} \cdot 4 = 77,71 \text{ kNm}$$

$$E = K \cdot E^* = 0,90 \cdot 77,71 = 69,94 \text{ kNm}$$

$$s = \frac{500}{80} = 6,25 \text{ mm}$$

$$W = \frac{69,94 \cdot 30 \cdot 10^3}{(0,30 \cdot 16 + 6,25) \cdot (30 + 44,80)} = 2538,53 \text{ kN}$$

Prema predlogu proizvođača faktor sigurnosti

$$F_s = 2,00 \div 2,20$$

Dozvoljena sila u šipu je:

$$S_{\text{dozv}} = \frac{W}{F_s} = \frac{2538,53}{2,1} = 1208,82 \text{ kN}$$

b) Prema predlogu Jambu-a imamo:

$$N = \frac{1}{K_u} \cdot \frac{W \cdot H}{s} = \frac{E}{K_u \cdot s}$$

gde su uvedene oznake:

$$K_u = C_d \cdot \left(1 + \sqrt{1 + \frac{\lambda_e}{C_d}} \right)$$

$$C_d = 0,75 + 0,15 \cdot \frac{W_p}{W}$$

i

$$\lambda_c = \frac{W \cdot H \cdot L}{A \cdot E_p \cdot s^2} = \frac{E \cdot L}{A \cdot E_p \cdot s^2}$$

Pri čemu su:

W - težina padajućeg dela malja

H - visina pada malja

s - prodiranje pri jednom udaru

W_p - težina šipa sa pripadajućom opremom

A - površina poprečnog preseka šipa

E_p - modul elastičnosti materijala šipa

L - dužina šipa

Zamenom vrednosti, iz prethodnih izraza dobijamo:

$$C_d = 0,75 + 0,15 \cdot \frac{44,80}{30} = 0,974$$

$$A = (0,52^2 - 0,48^2) \cdot \frac{\pi}{4} = 0,0314 \text{ m}^2$$

$$E_p = 2,10 \cdot 10^8 \text{ kN/m}^2$$

$$\lambda_c = \frac{69,94 \cdot 16,0 \cdot 10^6}{0,0314 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot s^2} = \frac{169,62}{s^2} = 4,342$$

$$K_u = 0,974 \cdot \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4,342}{0,974}} \right) = 3,249$$

$$N = \frac{69,94}{3,249 \cdot 0,00625} = 3443,70 \text{ kN}$$

$$F_s = (2,0 + 3,0)$$

$$S_{\text{dovz}} = \frac{3443,70}{2,75} = 1252,25 \text{ kN}$$

c) Prema predlogu Gerševanova je:

$$Q = \frac{n \cdot F \cdot M}{2} \left[\sqrt{1 + \frac{4 \cdot E}{n \cdot F \cdot s} \cdot \frac{G_m + \epsilon^2 \cdot G_s}{G_m + G_s}} - 1 \right]$$

gde su uvedene oznake:

n - koeficijent zavistan od materijala šipa i vrste podmetača

Za radnu cev bez podmetača $n=5000 \text{ kN/m}^2$

F - površina poprečnog preseka šipa.

M - koeficijent zavisnosti od vrste malja

Za udaranje čekića $M=1$

E - energija

$E = 0,9 \cdot G_k \cdot H_s$

ϵ - koeficijent prigušenja udara

Za malj je $\epsilon^2 = 0,20$

G_m - ukupna težina malja

$$Q = \frac{5000 \cdot 0,2124 \cdot 10}{2} \left[\sqrt{1 + \frac{4 \cdot 0,9 \cdot 30 \cdot 1,6}{5000 \cdot 0,2124 \cdot s} \cdot \frac{56,70 + 0,2 \cdot 44,80}{56,70 + 44,80}} - 1 \right] = 1711,66 \text{ kJ}$$

Prema preporukama CHuP - a za koeficijent sigurnosti $F_s = 1,40$

$$S_{\text{dovz}} = \frac{1711,66}{1,40} = 1222,61 \text{ kN}$$

d) Prema Holandskoj formuli, dozvoljena sila u šipu određuje se na sledeći način:

$$S_{\text{dovz}} = \frac{G_m \cdot H}{F_s \cdot s} \cdot \frac{G_m}{G_m + G_s} = \frac{E}{F_s \cdot s} \cdot \frac{G_m}{G_m + G_s}$$

gde su:

G_m - težina malja

H - visina pada malja

G_1 - težina šipa sa prilojem

s - sleganje šipa usled jednog udarca malja

F_s - faktor sigurnosti

U datom slučaju

$$S_{dov} = \frac{69,94}{F_s \cdot 0,00625} \cdot \frac{30}{30 + 44,80} = \frac{4488,13}{F_s}$$

$F_s = (3 + 7)$ u zavisnosti od homogenosti tla, važnosti objekta i drugih faktora.

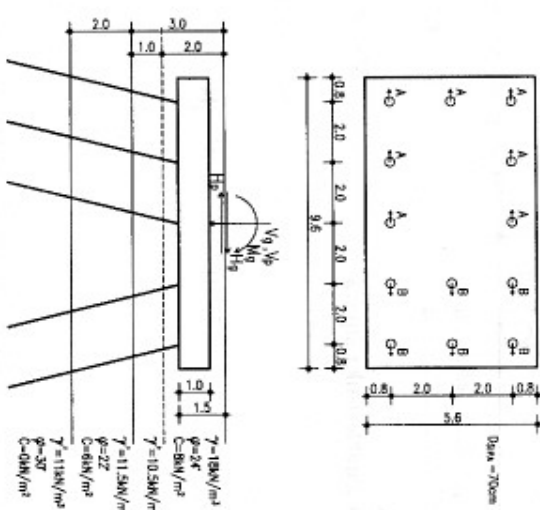
za $F_s = 4$

$$S_{dov} = \frac{4488,13}{4} = 1122,03 \text{ kN}$$

Napomena:

Treba primetiti da autori predlažu različite vrednosti koeficijenta sigurnosti. Većina izvođačkih firmi određuje se za neki od izraza u zavisnosti od mehanizacije kojom raspolaže, od predloga proizvođača opreme i iskustva koja ima na osnovu upoređivanja straćunatih i izmerenih vrednosti sila pri probnom opterećivanju šipova. Na ovaj način, korišćenjem dinamičkih formula se mogu dobiti relativno pouzdani podaci o nosivosti šipova, naročito imajući u vidu brzi razvoj opreme za praćenje procesa pobijanja šipova.

II.2.6 Prikazani stub fundiran je na dve grupe kosih šipova: grupa A, nagiba 3:1 i grupa B, nagiba 4:1. Opterećenje koje se sa stuba prenosi je: $V_g = 5000 \text{ kN}$, $V_p = 4000 \text{ kN}$, $H_g = 200 \text{ kN}$, $H_p = -300 \text{ kN}$, $M_g = 1000 \text{ kNm}$. Odrediti potrebnu dužinu šipova prema maksimalno opterećenom šipu.



Rešenje:

Određivanje težišta pojedinih grupa šipova

$$x_{TA} = \frac{2 \cdot 2 + 3 \cdot 4}{7} = 2,29 \text{ m}$$

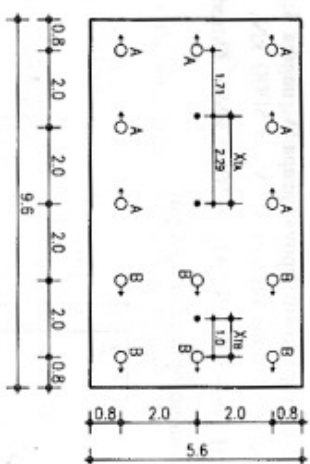
$$x_{TB} = 1,0 \text{ m}$$

Određivanje položaja pola za usvojen broj i raspored šipova

$$\frac{h}{5,29 - x} = \frac{4}{1}$$

$$h = 3x$$

$$h = 9,069 \text{ m}$$



Određivanje geometrijskih karakteristika šipova

$$\alpha_A = 18,43^\circ$$

$$\alpha_B = 14,036^\circ$$

$$P_{A2} = 0,275$$

$$P_{A1} = 1,622$$

$$P_{A3} = 2,17$$

$$P_{B1} = P_{B2} = 0,97$$

Moment inercije grupe šipova A:

$$I_A = 2 \cdot 2,17^2 + 2 \cdot 0,275^2 + 3 \cdot 1,622^2 = 17,462 \text{ m}^2$$

Moment inercije grupe šipova B:

$$I_B = 6 \cdot 0,97^2 = 5,647 \text{ m}^2$$

Ukupni moment inercije

$$I_{A+B} = 17,462 + 5,647 = 23,11 \text{ m}^2$$

Težina naglavice

$$G_T = 9,6 \cdot 5,6 \cdot 1,0 \cdot 25 = 1344 \text{ kN}$$

Težina nadstolja

$$G_z = 9,6 \cdot 5,6 \cdot 0,5 \cdot 18 = 483,84 \text{ kN}$$

$$G = 1344 + 483,84 = 1827,84 \text{ kN}$$

Centrisanje stuba za uticaj stalnog opterećenja:

$$V_g = 5000 \text{ kN}$$

$$H_g = 200 \text{ kN}$$

$$M_g = 1000 \text{ kNm}$$

$$V_g \cdot e + M_g - H_g \cdot 9,07 - G \cdot 0,73 = 0$$

Rešavanje gornje jednačine dobija se

$$e = 0,43 \text{ m}$$

Određivanje ukupnih uticaja (stalno+povremeno) u odnosu na pol:

$$V = V_p + V_g = 6827,84 + 4000 = 10827,84 \text{ kN}$$

$$H = H_g - H_p = 200 - 300 = -100 \text{ kN}$$

$$\hat{M}_p = 0,43 \cdot 4000 + 300 \cdot 9,07 = 4439,66 \text{ kNm}$$

Određivanje aksijalnih sila u šipovima za uticaj ukupnog opterećenja

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{1}{4} \Rightarrow \beta = 14,04^\circ$$

$$\sin \beta = 0,2425$$

$$\cos \beta = 0,97$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{3} \Rightarrow \alpha = 18,44^\circ$$

$$\sin \alpha = 0,3162$$

$$\cos \alpha = 0,9487$$

Iz uslova ravnoteže, dobija se sistem jednačina:

$$S_A \cdot 0,3162 - S_B \cdot 0,2425 = 100$$

$$S_A \cdot 0,9487 + S_B \cdot 0,970 = 10827,84$$

$$S_A = 5072,44 \text{ kN}$$

$$S_B = 6201,67 \text{ kN}$$

Sile u šipovima

$$S_{1A} = \frac{5072,44}{7} - \frac{4439,66}{23,11} \cdot 1,622 = 413,03 \text{ kN}$$

$$S_{2A} = \frac{5072,44}{7} + \frac{4439,66}{23,11} \cdot 0,275 = 777,46 \text{ kN}$$

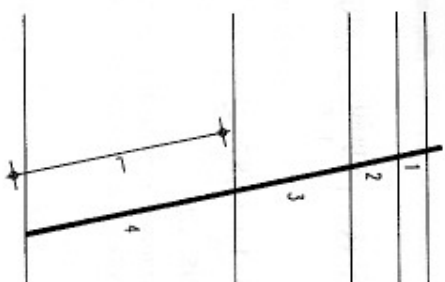
$$S_{3A} = \frac{5072,44}{7} + \frac{4439,66}{23,11} \cdot 2,17 = 1141,51 \text{ kN}$$

$$S_{1B} = \frac{6201,67}{6} + \frac{4439,66}{23,11} \cdot 0,97 = 1219,96 \text{ kN}$$

$$S_{2B} = \frac{6201,67}{6} - \frac{4439,66}{23,11} \cdot 0,97 = 847,26 \text{ kN}$$

Najopterećeniji je šip iz grupe B: S_{1B}

Nosivost šipa za pojedine slojeve:



Sloj 1

$$\Sigma \gamma_i \cdot h_i = 1,75 \cdot 18 = 31,5$$

$$t_1 = \frac{8}{2,5} + 0,97 \cdot 31,5 \cdot (1 - \sin 24^\circ) \cdot \frac{\lg 24^\circ}{1,5} = 8,58 \text{ kN / m}^2$$

Sloj 2

$$\Sigma \gamma_i \cdot h_i = 2 \cdot 18 + 0,5 \cdot 10,5 = 41,25$$

$$t_2 = \frac{8}{2,5} + 0,97 \cdot 41,25 \cdot (1 - \sin 24^\circ) \cdot \frac{\lg 24^\circ}{1,5} = 10,25 \text{ kN / m}^2$$

Sloj 3

$$\Sigma \gamma_i \cdot h_i = 2 \cdot 18 + 1 \cdot 10,5 + 11,5 \cdot 1 = 58$$

$$t_3 = \frac{6}{2,5} + 0,97 \cdot 58 \cdot (1 - \sin 22^\circ) \cdot \frac{\lg 22^\circ}{1,5} = 11,87 \text{ kN / m}^2$$

Sloj 4

$$K_{s4} = 1 - \sin 30^\circ = 0,5$$

$$\Sigma \gamma_i \cdot h_i = 2 \cdot 18 + 1 \cdot 10,5 + 11,5 \cdot 2 + 11 \cdot 0,97 \cdot \frac{1}{2}$$

$$\sum \gamma_i \cdot h_i = 69,5 + 5,335 \cdot L$$

$$l_4 = 0,97 \cdot (1 - \sin 30^\circ) \cdot (69,5 + 5,335 \cdot L) \cdot \frac{\lg 30^\circ}{1,5} = 12,97 + 0,955 \cdot L$$

$$S_{0s} = \frac{0,7 \cdot \pi}{0,97} \cdot (8,58 \cdot 0,5 + 10,25 \cdot 1 + 11,87 \cdot 2) + 0,7 \cdot \pi \cdot L \cdot (12,97 + 0,995 \cdot L)$$

$$S_{0s} = 86,78 + 28,52 \cdot L + 2,188 \cdot L^2$$

$$S_{\text{dop}} = S_b + S_{0s}$$

nosivost baze šipa:

$$S_b = q \cdot A_b$$

$$q = c \cdot N_c + K_s (\sum \gamma_i \cdot h_i) \cdot N_q$$

$$\varphi = 30^\circ \Rightarrow \lg \varphi_m = \frac{\lg \varphi}{1,5} \Rightarrow \varphi_m = 21,05 \Rightarrow N_q = 15$$

$$K_s = 1 - \sin 30^\circ = 0,5$$

$$S_b = \frac{l^2 \cdot \pi}{4} = 0,785 \text{ m}^2$$

$$\sum \gamma_i h_i = 2 \cdot 18 + 1 \cdot 10,5 + 11,5 \cdot 2 + 11 \cdot 0,97 \cdot L$$

$$\sum \gamma_i h_i = 69,5 + 10,67 \cdot L$$

$$S_b = 0,5 \cdot 15 \cdot 0,785 \cdot (69,5 + 10,67 \cdot L) = 409,18 + 62,82 \cdot L$$

$$S_{0s} = \sum l_i \cdot A_{0si}$$

$$l_i = \frac{c_i}{2,5} + K_s \cdot \sum \gamma_i \cdot h_i \cdot \frac{\lg \varphi}{1,5}$$

Zamenom izračunatih vrednost dobijamo:

$$S_{\text{max}} = 409,18 + 86,78 + 91,337 \cdot L + 2,188 \cdot L^2$$

sredivanjem jednačine dobijamo

$$2,188 \cdot L^2 + 91,337 \cdot L - 724 = 0$$

Kod ove kvadratne jednačine diskriminanta je uvek veća od nule, a za nas je interesantno rešenje sa pozitivnim znakom, pa je potrebna dužina šipa

$$L_u = 3,96 + \frac{-91,337 + \sqrt{91,337^2 + 4 \cdot 2,188 \cdot 724}}{2 \cdot 2,188} = 10,77 \text{ m}$$

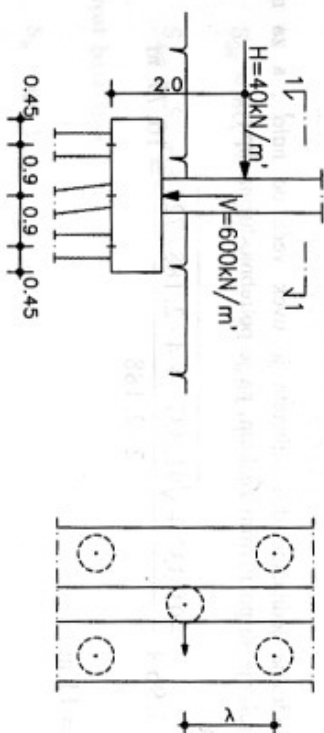
usvaja se $L = 11 \text{ m}$

II.2.7 Zadat je temelj ispod zida opterećen kao na slici. Temelj je na šipovima čija je dozvoljena aksijalna sila 900 kN. Za zadati raspored šipova u osnovi odrediti:

a) nagib kosih šipova

b) veličinu λ tako da sile u šipovima budu iskorišćene.

Težina naglavice i tla iznad je $G_T = 100 \text{ kN/m}'$



PRESEK 1-1

Rešenje:

$$H = 40 \text{ kN / m'}$$

$$V = 600 \text{ kN / m'}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{40}{600} \quad \alpha = 3,81^\circ$$

$$\cos \alpha = 0,9978 \quad \sin \alpha = 0,0664$$

$$R = R' \cdot 2\lambda$$

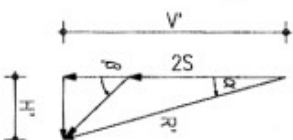
a) Određivanje nagiba kosih šipova

$$2 \cdot S + S \cdot \cos \beta = R \cdot \cos \alpha = V' \cdot 2\lambda$$

$$5 \cdot \sin \beta = R \cdot \sin \alpha = H' \cdot 2\lambda$$

$$\frac{2 + \cos \beta}{\sin \beta} = \frac{V}{H} = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} = 15,0 \Rightarrow \beta = 12^\circ$$

$$\beta < 18^\circ \text{ što je maksimalni nagib kosih šipova}$$



b) Iz uslova

$$S_{\max} \leq S_{\text{dovr}} \Rightarrow \frac{R_A}{2} + \frac{M \cdot 0,9}{2 \cdot 0,9^2} \leq 900 \text{ kN}$$

$$R_A = R \cdot \cos \alpha - R_B \cdot \sin \beta$$

$$R_B = R \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = R' \cdot 2\lambda \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

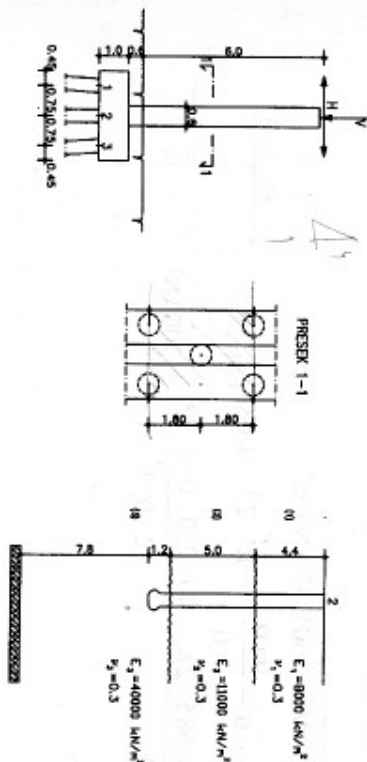
$$R' = \sqrt{H^2 + V^2} = 601,33 \text{ kN / m'}$$

$$R_A = R \left(\cos \alpha - \frac{\sin \alpha}{\operatorname{tg} \beta} \right) = R' \cdot 2\lambda \cdot 0,685$$

$$\frac{600,33 \cdot 0,685 \cdot 2\lambda}{2} + \frac{40 \cdot 2 \cdot 0 \cdot 0,9 \cdot 2\lambda}{2 \cdot 0,9^2} \leq 900 \text{ kN}$$

$$\lambda = 1,8 \text{ m}$$

II.2.8 Temelj zida fundiran je na "Franki" šipovima $\varnothing 520$ mm. Raspored šipova i karakteristike slojeva tla prikazani su na skici. Za opterećenje $V=800$ kN/m i $H=40$ kN/m treba sračunati presečne sile na vrhu svakog šipa i horizontalno pomeranje vrha zida. Nagib kosih šipova je 4:1. Modul elastičnosti betona je $E=3 \cdot 10^7$ kN/m², zapreminska težina tla je $\gamma_1=16$ kN/m³.



Rešenje:

Pripadajuća dužina trake za grupu šipova je $\lambda=3,6$ m. Pripadajuće opterećenje za posmatrani segment je:

$$V = V \cdot \lambda = 800 \cdot 3,6 = 2880 \text{ kN}$$

$$H = H \cdot \lambda = 40 \cdot 3,6 = 144 \text{ kN}$$

$$G_{\text{zida}} = 6,60 \cdot 0,60 \cdot 3,6 \cdot 25 = 356,4 \text{ kN}$$

$$G_{\text{magl.}} = 2,40 \cdot 1,00 \cdot 3,6 \cdot 25 = 216,0 \text{ kN}$$

$$G_{\text{tla}} = 2,40 \cdot 0,60 \cdot 3,6 \cdot 16 = 82,94 \text{ kN}$$

Za šip "Franki" $\varnothing 520$ usvajamo geometrijske karakteristike

$$d = 0,60 \text{ m}$$

$$d_{\text{baze}} = 0,90 \text{ m}$$

Određivanje članova matrice fleksibilnosti jednog vertikalnog šipa. Sleganje aksijalno opterećenog šipa, prema Poulos-u je:

$$s = \frac{P}{E_s \cdot d} \cdot I$$

gde je I faktor uticaja i definisan je jednačinom

$$I = I_0 \cdot R_k \cdot R_h \cdot R_v \cdot R_b$$

gde je

I_0 - faktor sleganja pod pretpostavkom da je šip nestišljiv u poluprostoru za Poisson-ov koeficijent $\nu_s = 0,5$

R_k - faktor korekcije koja obuhvata realnu krutost šipa

R_h - faktor korekcije zbog uticaja nedeformabilnog sloja na dubini h

R_v - faktor korekcije prema stvarnom ν_s

R_b - faktor korekcije koji obuhvata krutost sloja u nivou baze šipa

Prosečni modul elastičnosti tla za slojeve date deformabilnosti

$$E_s = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^n F_i \cdot l_i = \frac{1}{10,6} (4,4 \cdot 8000 + 5 \cdot 11000 + 1,2 \cdot 40000) = 13037,7 \text{ kN/m}^2$$

Prosečni Poisson-ov koeficijent je $\nu_s = 0,3$.

Koeficijent relativne krutosti tla:

$$K = \frac{E_b}{E_s} = \frac{30 \cdot 10^6}{13037,6} = 2301$$

Potrebni koeficijenti prema dijagramima parametarske analize

$$\left. \begin{aligned} d_b / d &= 0,9 / 0,6 = 1,5 \\ L / d &= 10,6 / 0,6 = 17,66 \end{aligned} \right\} \Rightarrow I_0 = 0,095$$

$$K = 2301,00 \Rightarrow R_x = 1,06$$

$$\left. \begin{aligned} h/L &= \frac{20,0}{10,6} = 1,89 \\ L/d &= 17,66 \end{aligned} \right\} \Rightarrow R_h = 0,80$$

$$K = 2301 \Rightarrow R_v = 0,93$$

$$\left. \begin{aligned} K &= 2301 \\ \frac{E_{\text{baza}}}{E_s} &= \frac{40000}{13037,7} = 3,07 \end{aligned} \right\} \Rightarrow R_b = 0,81$$

$$L/d = 17,66$$

$$I = I_0 \cdot R_x \cdot R_h \cdot R_v \cdot R_b = 0,095 \cdot 1,06 \cdot 0,80 \cdot 0,93 \cdot 0,81 = 0,0607$$

Sleganje usled jedinične sile $P = 1,0$:

$$F_{22} = \frac{P}{E_s \cdot d} \cdot 1 = \frac{1,0}{13037,6 \cdot 0,6} \cdot 0,0607 = 7,75773 \cdot 10^{-6}$$

Određivanje koeficijenta horizontalne reakcije tla prema Vesicu:

$$K_s = \frac{0,65}{d} \cdot \sqrt[12]{\frac{E_s \cdot d^4}{E_b \cdot I_b} \cdot \frac{E_s}{1 - \nu_s^2}}$$

gde je $E_b \cdot I_b$ krutost šipa na savijanje

$$K_s = \frac{0,65}{0,60} \cdot \sqrt[12]{\frac{13037,7 \cdot 0,6^4}{190851,75} \cdot \frac{13037,7}{1 - 0,3^2}} = 10467$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{K_s \cdot d}{4 \cdot E_b \cdot I_b}} = \sqrt[4]{\frac{10467 \cdot 0,6}{4 \cdot 190851,75}} = 0,301$$

Koeficijenti fleksibilnosti za uticaj jedinične horizontalne sile ($H_0 = 1, z = 0$)

$$F_{11} = \frac{2 \cdot H_0 \cdot \lambda}{K_s \cdot d} \cdot e^{-\lambda z} \cos \lambda z = \frac{2 \cdot \lambda}{K_s \cdot d} = 9,585 \cdot 10^{-5}$$

$$F_{31} = \frac{2 \cdot H_0 \cdot \lambda^2}{K_s \cdot d} \cdot e^{-\lambda z} (\cos \lambda z + \sin \lambda z) = \frac{2 \cdot \lambda^2}{K_s \cdot d} = 2,885 \cdot 10^{-5}$$

Koeficijenti fleksibilnosti za uticaj jediničnog momenta savijanja ($M_0 = 1, z = 0$)

$$F_{13} = \frac{2 \cdot M_0 \cdot \lambda^2}{K_s \cdot d} \cdot e^{-\lambda z} (\cos \lambda z - \sin \lambda z) = \frac{2 \cdot \lambda^2}{K_s \cdot d} = 2,885 \cdot 10^{-5}$$

$$F_{33} = \frac{4 \cdot M_0 \cdot \lambda^3}{K_s \cdot d} \cdot e^{-\lambda z} \cdot \cos \lambda z = \frac{4 \cdot \lambda^3}{K_s \cdot d} = 1,736 \cdot 10^{-5}$$

Matrica fleksibilnosti vertikalnog šipa je:

$$F = 10^{-5} \cdot \begin{bmatrix} 9,585 & 0 & 2,885 \\ 0 & 0,7757 & 0 \\ 2,885 & 0 & 1,736 \end{bmatrix}$$

Matrica krutosti šipa u lokalnom sistemu:

$$K = \begin{bmatrix} 20874,580 & 0 & -34690,760 \\ 0 & 128904,180 & 0 \\ -34690,760 & 0 & 115255,100 \end{bmatrix}$$

Matrica rotacije za šip 3

$$J_3 = \begin{bmatrix} 0,970 & -0,242 & 0 \\ 0,242 & 0,970 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\bar{K}_3 = J_3^T \cdot K_3 \cdot J_3 = \begin{bmatrix} 27225,313 & 25413,880 & -33653,500 \\ 25413,880 & 122538,500 & 8412,500 \\ -33653,500 & 8412,500 & 115255,100 \end{bmatrix}$$

Matrica rotacije za šip 1

$$J_1 = \begin{bmatrix} 0,970 & 0,242 & 0 \\ -0,242 & 0,970 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \bar{u}_1 \\ \bar{v}_1 \\ \bar{\phi}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,970 & 0,242 & 0 \\ 0,242 & 0,970 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \phi_1 \end{bmatrix} = 10^{-3} \cdot \begin{bmatrix} 5,860 \\ 6,210 \\ 2,675 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \bar{u}_2 \\ \bar{v}_2 \\ \bar{\phi}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_2 \\ v_2 \\ \phi_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_0 \\ v_0 \\ \phi_0 \end{bmatrix} = 10^{-3} \cdot \begin{bmatrix} 4,180 \\ 9,450 \\ 2,675 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \bar{u}_3 \\ \bar{v}_3 \\ \bar{\phi}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,970 & -0,242 & 0 \\ 0,242 & 0,970 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_3 \\ v_3 \\ \phi_3 \end{bmatrix} = 10^{-3} \cdot \begin{bmatrix} 1,270 \\ 12,130 \\ 2,675 \end{bmatrix}$$

Presječne sile na vrhovima šipova u lokalnom sistemu

$$\bar{Q}_i = K_i \cdot \bar{U}_i$$

$$\begin{bmatrix} \bar{H}_1 \\ \bar{V}_1 \\ \bar{M}_1 \end{bmatrix} = 10^{-3} \cdot \begin{bmatrix} 20874,580 & 0 & -34690,760 \\ 0 & 128904,180 & 0 \\ -33653,500 & 0 & 115255,100 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 5,860 \\ 6,210 \\ 2,675 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 29,527 \\ 800,490 \\ 105,020 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \bar{H}_2 \\ \bar{V}_2 \\ \bar{M}_2 \end{bmatrix} = 10^{-3} \cdot \begin{bmatrix} 20874,580 & 0 & -34690,760 \\ 0 & 128904,180 & 0 \\ -33653,500 & 0 & 115255,100 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 4,180 \\ 9,450 \\ 2,675 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -5,540 \\ 1218,140 \\ 163,300 \end{bmatrix}$$

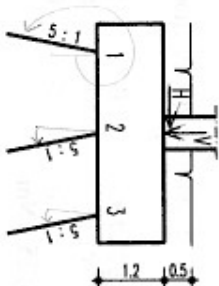
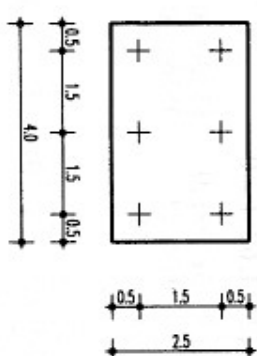
$$\begin{bmatrix} \bar{H}_3 \\ \bar{V}_3 \\ \bar{M}_3 \end{bmatrix} = 10^{-3} \cdot \begin{bmatrix} 20874,580 & 0 & -34690,760 \\ 0 & 128904,180 & 0 \\ -33653,500 & 0 & 115255,100 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1,270 \\ 12,130 \\ 2,675 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -66,287 \\ 1563,600 \\ 264,250 \end{bmatrix}$$

Horizontalno pomeranje vrha zida

$$u_A = u_0 + \phi_0 \cdot 7,6 = 10^{-3} \cdot (4,18 + 2,675 \cdot 7,6) = 2,45 \text{ cm}$$

II.2.9 Stub industrijskog objekta fundiran je na dve grupe šipova, sa rasporedom prikazanim na skici. Opterećenje koje se sa stuba prenosi je $V_g = 4500 \text{ kN}$, $H_g = 500 \text{ kN}$, $H_p = \pm 250 \text{ kN}$. Izvršiti centrisanje stuba za stalno opterećenje i odrediti maksimalnu i minimalnu aksijalnu silu u šipu za ukupno opterećenje. Zapreminska težina tla je $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$. Matrica fleksibilnosti vertikalnog šipa je:

$$F_{ij} = 10^5 \begin{bmatrix} 3,50 & 0 & 1,40 \\ 0 & 0,75 & 0 \\ 1,40 & 0 & 2,00 \end{bmatrix}$$



Rešenje:

Težina temeljnog nosača

$$G_T = 4 \cdot 2,5 \cdot 1,20 \cdot 25 = 300 \text{ kN}$$

Težina tla

$$G_z = 4 \cdot 2,5 \cdot 0,5 \cdot 18 = 90 \text{ kN}$$

Ukupna težina tla i temeljnog nosača

$$G = G_T + G_z = 300 + 90 = 390 \text{ kN}$$

Na osnovu date geometrije određujemo položaj pola

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha &= \frac{1}{5} = 0,2 \\ y_0 &= \frac{2,25}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha} = 5,625 \text{ m} \end{aligned}$$

Centrisanje stuba za uticaj stalnog opterećenja:

$$V \cdot e - H(h_0 - h_T) + G \cdot (2 - 1,625) = 0$$

$$4500 \cdot e - 500 \cdot 4,425 + 390 \cdot (2 - 1,625) = 0$$

$$e = 0,459 \text{ m}$$

Ukupni uticaji u polu

I slučaj opterećenja

$$H_p = -250 \text{ kN} \quad H = H_g - H_p = 250$$

$$H = 250 \text{ kN}$$

$$V = 5890 \text{ kN}$$

$$H = H_g - H_p = 500 - 250 = 250 \text{ kN}$$

$$\dot{M} = H_p \cdot 4,425 + V_p \cdot 0,46 = 1566,25 \text{ kNm}$$

II slučaj opterećenja

$$H_p = +250 \text{ kN}$$

$$V = V_g + G + V_p = 4500 + 390 + 1000 = 5890 \text{ kN}$$

$$H = H_g + H_p = 500 + 250 = 750 \text{ kN}$$

$$\dot{M} = H_p \cdot 4,425 - V_p \cdot 0,46 = 646,25 \text{ kNm}$$

Matrica krutosti vertikalnog šipa

$$K = F^{-1} = 10^3 \cdot \begin{bmatrix} 39,68 & 0 & -27,7 \\ 0 & 133,3 & 0 \\ -27,7 & 0 & 69,4 \end{bmatrix}$$

Matrica rotacije za šipove u osama 2 i 3

$$J_{2,3} = \begin{bmatrix} 0,980581 & -0,196116 & 0 \\ 0,196116 & 0,980581 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\bar{K}_{2,3} = J_{2,3}^T \cdot K_{2,3} \cdot J_{2,3} = 10^3 \cdot \begin{bmatrix} 43,284 & 18,010 & -27,238 \\ 18,010 & 129,731 & 5,448 \\ -27,238 & 5,448 & 69,4 \end{bmatrix}$$

Matrica rotacije za šipove u osi 1

$$J_1 = \begin{bmatrix} 0,980581 & 0,196116 & 0 \\ -0,196116 & 0,980581 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\bar{K}_1 = J_1^T \cdot K_1 \cdot J_1 = 10^3 \cdot \begin{bmatrix} 43,284 & -18,010 & -27,238 \\ -18,010 & 129,731 & -5,448 \\ -27,238 & -5,448 & 69,4 \end{bmatrix}$$

Matrica translacije za šipove u osi 1

$$I_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 5,625 \\ 0 & 1 & -1,125 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\bar{K}_1 = I_1^T \cdot \bar{K}_1 \cdot I_1 = 10^3 \cdot \begin{bmatrix} 43,284 & -18,010 & -250,452 \\ -18,010 & 129,731 & -50,090 \\ -250,452 & -50,090 & 1693,936 \end{bmatrix}$$

Matrica translacije za šipove u osi 2

$$I_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 5,625 \\ 0 & 1 & 0,375 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\bar{K}_2 = I_2^T \cdot \bar{K}_2 \cdot I_2 = 10^3 \cdot \begin{bmatrix} 43,284 & 18,010 & -263,96 \\ 18,010 & 129,731 & -47,207 \\ -263,96 & -47,207 & 1691,77 \end{bmatrix}$$

Matrica translacije za šipove u osi 3

$$I_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 5,625 \\ 0 & 1 & 1,875 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\bar{K}_3 = I_3^T \cdot \bar{K}_3 \cdot I_3 = 10^3 \cdot \begin{bmatrix} 43,284 & 18,010 & -236,944 \\ 18,010 & 129,731 & 147,389 \\ -236,944 & 147,389 & 1842,043 \end{bmatrix}$$

Matrica krutosti sistema

$$K_0 = \Sigma \bar{K}_i = 2 \cdot (\bar{K}_1 + \bar{K}_2 + \bar{K}_3)$$

$$K_0 = 10^3 \cdot \begin{bmatrix} 259,704 & 36,020 & -1502,712 \\ 36,020 & 778,386 & 100,184 \\ -1502,712 & 100,184 & 10455,498 \end{bmatrix}$$

Nepoznata generalisana pomeranja pola

$$K_0 \cdot U_0 = Q_0$$

I slučaj opterećenja

$$10^3 \cdot \begin{bmatrix} 259,704 & 36,020 & -1502,712 \\ 36,020 & 778,386 & 100,184 \\ -1502,712 & 100,184 & 10455,498 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_0 \\ v_0 \\ \varphi_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 250,00 \\ 5890,00 \\ 1566,25 \end{bmatrix}$$

dobija se:

$$U_0 = 10^{-3} \cdot \begin{bmatrix} 2,330 \\ 7,410 \\ 0,413 \end{bmatrix}$$

II slučaj opterećenja

$$10^3 \cdot \begin{bmatrix} 259,704 & 36,020 & -1502,712 \\ 36,020 & 778,386 & 100,184 \\ -1502,712 & 100,184 & 10455,498 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_0 \\ v_0 \\ \varphi_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 750,00 \\ 5890,00 \\ 646,25 \end{bmatrix}$$

dobija se:

Zbirka zadataka iz fondiranja

$$U_0 = 10^{-3} \cdot \begin{bmatrix} 11,401 \\ 6,829 \\ 1,635 \end{bmatrix}$$

Presecne sile na vrhovima šipova u lokalnom sistemu
(I slučaj opterećenja)

$$\begin{bmatrix} \bar{H}_1 \\ \bar{V}_1 \\ \bar{M}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 39,68 & 0 & -27,7 \\ 0 & 133,3 & 0 \\ -27,7 & 0 & 69,4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1,363 \\ 6,806 \\ 0,413 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 42,624 \\ 907,491 \\ -9,181 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \bar{H}_2 \\ \bar{V}_2 \\ \bar{M}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 39,68 & 0 & -27,7 \\ 0 & 133,3 & 0 \\ -27,7 & 0 & 69,4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -1,481 \\ 7,415 \\ 0,413 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -70,241 \\ 988,614 \\ -69,824 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \bar{H}_3 \\ \bar{V}_3 \\ \bar{M}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 39,68 & 0 & -27,7 \\ 0 & 133,3 & 0 \\ -27,7 & 0 & 69,4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -1,602 \\ 8,022 \\ 0,413 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -75,064 \\ 1069,632 \\ 73,200 \end{bmatrix}$$

Presecne sile na vrhovima šipova u lokalnom sistemu
(II slučaj opterećenja)

$$\begin{bmatrix} \bar{H}_1 \\ \bar{V}_1 \\ \bar{M}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 39,68 & 0 & -27,7 \\ 0 & 133,3 & 0 \\ -27,7 & 0 & 69,4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 3,140 \\ 4,460 \\ 1,635 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 79,185 \\ 594,701 \\ 26,323 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \bar{H}_2 \\ \bar{V}_2 \\ \bar{M}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 39,68 & 0 & -27,7 \\ 0 & 133,3 & 0 \\ -27,7 & 0 & 69,4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0,702 \\ 7,730 \\ 1,635 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -17,563 \\ 1030,642 \\ 94,047 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \bar{H}_3 \\ \bar{V}_3 \\ \bar{M}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 39,68 & 0 & -27,7 \\ 0 & 133,3 & 0 \\ -27,7 & 0 & 69,4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0,221 \\ 10,135 \\ 1,635 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -36,651 \\ 1351,301 \\ 107,408 \end{bmatrix}$$

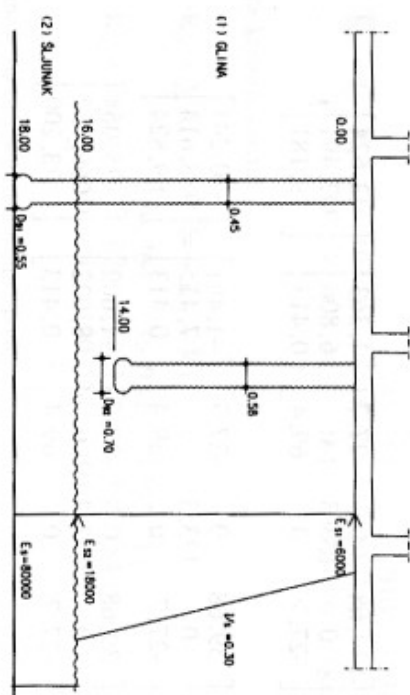
Maksimalna sila javiće se u šipovima ose 3

$$S_{\max} = S_3 = 1351,301 \text{ kN}$$

Minimalna sila u šipovima ose 1

$$S_{\min} = S_1 = 594,701 \text{ kN}$$

II.2.10 Objekat crpne stanice dimenzija u osnovi 20x26m fundiran je prema projektu na 63 "Franki" šipa Ø406mm, tako da se šipovima prihvati ukupno vertikalno opterećenje od 42000kN. Tokom izvođenja šipova, zbog teškoća koje su se javile pri njihovom pobijanju za 2,0m u sloj šljunka, prešlo se na kraće šipove prečnika Ø406mm. Podaci o šipovima i tlu dati su na sledećoj skici.



a) Potrebno je sračunati sile u šipovima.

b) Pod pretpostavkom da i ploča objekta prihvata deo opterećenja, sračunati sile u šipovima.

Rešenje:

a) Raspodelu sile u šipovima izvršićemo srazmerno njihovim krutostima. Krutost pojedinačnih šipova može se sračunati prema Poulos-u.

Određivanje krutosti šipova

- šip Ø406 mm

$$s = \frac{P}{E_s \cdot d} \cdot I$$

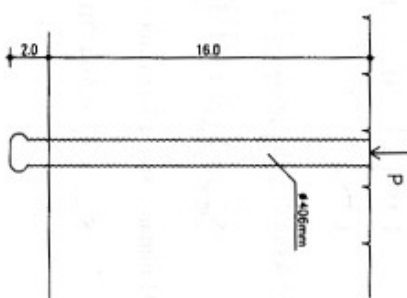
gde je :

$$I = I_0 \cdot R_K \cdot R_h \cdot R_v \cdot R_B$$

$$K = \frac{E_p}{E_s} \quad E_s = \frac{1}{L} \sum E_{si} \cdot h_i$$

$$\frac{L}{d} = \frac{18,0}{0,45} = 40 \quad \frac{d_B}{d} = 1,22$$

$$I_0 = 0,055$$



$$E_s = \frac{1}{18} \cdot (12000 \cdot 16 + 80000 \cdot 2,0) = 19555$$

Iz dijagrama datih u prilogu IV,V i VI dobija se:

$$K = \frac{E_p}{E_s} = \frac{30 \cdot 10^6}{19555} = 1534$$

$$R_K = 1,15 \quad R_v = 0,94$$

$$R_B = 0,95 \quad R_h = 0,80$$

$$I = 0,055 \cdot 1,15 \cdot 0,94 \cdot 0,95 \cdot 0,80 = 0,04518$$

$$s_1 = \frac{1000}{19555 \cdot 0,45} \cdot 0,04518 = 5,1349 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$K_1 = \frac{P}{s_1} = 194.746 \text{ kN / m'}$$

šip Ø 520 mm

$$E_s = 11250 \text{ kN / m}^2$$

$$\frac{L}{d} = \frac{18,0}{0,58} = 24,14$$

$$\frac{d_B}{d} = 1,21 \Rightarrow I_0 = 0,075$$

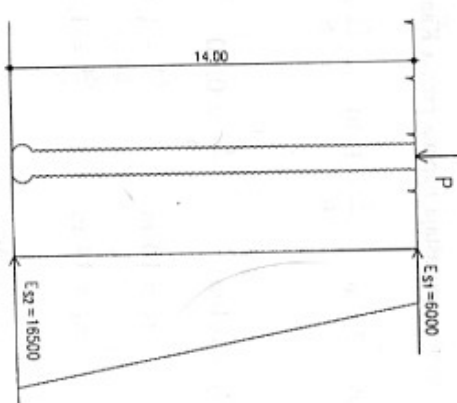
$$K = \frac{E_p}{E_s} = \frac{30 \cdot 10^6}{11250} = 2666$$

Na osnovu dijagrama datih u prilogu IV,V i VI, dobija se

$$R_K = 1,07 \quad R_v = 0,94$$

$$R_B = 0,93 \quad R_h = 0,79$$

$$I = 0,075 \cdot 1,07 \cdot 0,94 \cdot 0,93 \cdot 0,79 = 0,0554$$



$$s_2 = \frac{1000}{11200 \cdot 0,58} \cdot 0,0554 = 8,532 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$K_2 = \frac{P}{s_2} = 117.209 \text{ kN / m'}$$

Raspodjela sila u šipovima:

$$\Sigma K = 20 \cdot 194746 + 43 \cdot 117209 = 8934907 \text{ kN / m'}$$

$$S_1 = \frac{42000}{8934907} \cdot 194746 = 915,43 \text{ kN}$$

$$S_2 = \frac{42000}{8934907} \cdot 117209 = 550,96 \text{ kN}$$

b) Proračun sila u šipovima uzimajući u obzir njihov međusobni uticaj i nosivost donje ploče crpne stanice
Proračun sleganja ploče

Proračun prirastaja napona prema Kany-u:

$$z_1 = 2,0 \text{ m} \quad \frac{a}{b} = 1,30 \quad \frac{z_1}{10} = \frac{3}{10} = 0,30 \Rightarrow I_1 = 0,62$$

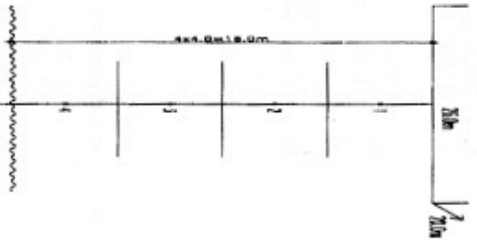
$$z_2 = 6,0 \text{ m} \quad \frac{z_2}{b} = 0,60 \Rightarrow I_2 = 0,40$$

$$z_3 = 10 \text{ m} \quad \frac{z_3}{b} = 1,0 \Rightarrow I_3 = 0,27$$

$$z_4 = 14 \text{ m} \quad \frac{z_4}{b} = 1,4 \Rightarrow I_4 = 0,20$$

$$s = \Sigma \frac{\Delta \sigma_z}{M_v} \cdot \Delta H$$

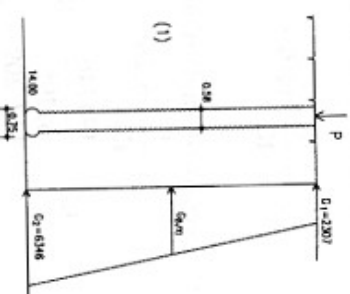
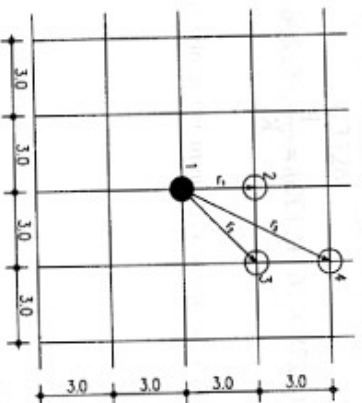
$$\Delta \sigma_z = p \cdot I = \frac{42000}{20 \cdot 26} \cdot I = 80,77 \cdot I$$



$$s = 80,77 \cdot 4,00 \cdot 1,333 \cdot \left(\frac{0,62}{7500} + \frac{0,40}{10500} + \frac{0,27}{13500} + \frac{0,20}{16500} \right) = 0,0658 \text{ m}$$

$$K_p = \frac{42000}{0,0658} = 638298 \text{ kN / m'}$$

Proračun sleganja šipova u grupi:



Prema Randolph & Wroth-u uticajni koeficijenti su:

$$\zeta = \ln \left(\frac{r_m}{r_0} \right) = l_u \cdot \left(\frac{14,0}{0,29} \right) = 3,877$$

$$p = 0,682$$

$$K_1 = 6346 \cdot 0,29 \cdot \left(\frac{4,0}{0,70} + \frac{2 \cdot \pi \cdot 0,682}{3,877} \cdot \frac{14,0}{0,29} \right) = 108713 \text{ kN / m'}$$

$$a \cdot r_2 = 3,0 \text{ m}$$

$$K_G = 6346 \cdot 0,29 \cdot \left(\frac{4,0}{0,70} \cdot \frac{3,0}{0,35 \cdot \frac{2}{\pi} + 3,0} + \frac{2 \cdot \pi \cdot 0,682}{3,877 + l_u \cdot \left(\frac{14,0}{3,0} \right)} \cdot \frac{14,0}{0,29} \right) = 80064 \text{ kN / m'}$$

$$\alpha_2 = \frac{K_1}{K_G} - 1 = 0,358$$

$$z_a \quad r_3 = 3,0 \cdot \sqrt{2} = 4,24 \text{ m}$$

$$\alpha_3 = 0,278$$

$$z_a \quad I_4 = \sqrt{6,0^2 + 3,0^2} = 6,71 \text{ m}$$

$$K_G = 6346 \cdot 0,29 \cdot \left(\frac{4,0}{0,70} \cdot \frac{6,71}{\pi \cdot 2 + 6,71} + \frac{2 \cdot \pi \cdot 0,682}{3,877 + l_u} \cdot \frac{14,0}{0,29} \right) = 92717 \text{ kN / m'}$$

$$\alpha_3 = 0,172$$

Sleganje šipova Ø406 mm u grupi biće:

$$s_G = \frac{P}{K_1} \cdot (1,0 + 4 \cdot 0,358 + 4 \cdot 0,278 + 16 \cdot 0,172) = \frac{P}{K_1} \cdot 6,296$$

Pod pretpostavkom da su uticaji koeficijenti i za šipove Ø520mm isti dobija se :

$$s_G = \frac{P}{K_2} \cdot 6,296$$

$$K_1^G = \frac{194746}{6,296} = 30932 \text{ kN / m'}$$

$$K_2^G = \frac{117.209}{6,296} = 18616 \text{ kN / m'}$$

Sleganje ivičnih šipova

$$s_G = \frac{P}{K_2} \cdot (1 + 3 \cdot 0,358 + 2 \cdot 0,278 + 9 \cdot 0,172) = 4,178 \cdot \frac{P}{K_2}$$

$$K_{21}^G = \frac{117209}{4,178} = 28054 \text{ kN / m'}$$

Sleganje ugaonih šipova

$$s_G = \frac{P}{K_2} \cdot (1 + 2 \cdot 0,358 + 0,278 + 5 \cdot 0,172) = 2,854 \cdot \frac{P}{K_2}$$

$$K_{2u}^G = \frac{117209}{2,854} = 41068 \text{ kN / m'}$$

Ukupni vertikalna krutost sistema jednaka je zbiru krutosti svih šipova, tako da se dobija:

$$\Sigma K_v = 20 \cdot 30932 + 15 \cdot 18616 + 24 \cdot 28054 + 4 \cdot 41068 + 638298 = 2 \cdot 373 \cdot 726 \text{ kN / m'}$$

Deo opterećenja koje prenosi ploča

$$P_{PL} = \frac{42000}{2373726} \cdot 638298 = 11293 \text{ kN}$$

Sile u srednjim šipovima

$$S_1 = \frac{42000}{2373726} \cdot 30932 = 547,30 \text{ kN}$$

$$S_2 = \frac{42000}{2373726} \cdot 18616 = 329,38 \text{ kN}$$

Sile u ivičnim šipovima

$$S_1^i = \frac{42000}{2373726} \cdot 28054 = 496,38 \text{ kN}$$

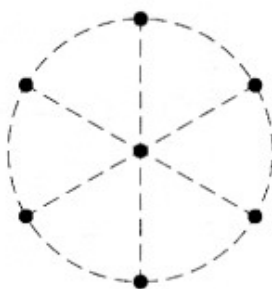
Sile u ugaonim šipovima

$$S_2^u = \frac{42000}{2373726} \cdot 41068 = 726,64 \text{ kN}$$

II.2.11 Stub industrijskog objekta fundiran je na šipovima "Franki" $\phi 520$ sa

rasporedom prikazanim na skici. Prikazano je ispitivanje nosivosti šipa opterećenog aksijalnom silom (dato u tabeli). Vršeno je merenje pomeranja glave šipa u zavisnosti od veličine aplicirane sile. Odrediti vrednost granične sile u šipu. Pretpostavljajući da je naglavica apsolutno kruta, potrebno je sprovesti proračun sleganja uzimajući u obzir i međusobni uticaj šipova. Odrediti sile u šipovima. Proračun sleganja sprovesti za vertikalno opterećenje $V=10500$ kN, koje se centrično prenosi preko temeljne stope na šipove.

Q (kN)	0	150	300	450	600	750	900	1050	1200	1350	1500
w (mm)	0	0,1675	0,26675	0,6075	1,025	1,44	1,75	1,96	2,2725	2,7	3,3125



Uticajni koeficijenti za odgovarajući osovinski razmak šipova

s (m)	1,8	2,25	2,70	3,60
α	0,285	0,227	0,168	0,137

Rešenje:

$$Q = \frac{w}{a + bw} \Rightarrow a + bw = \frac{w}{Q}$$

Parametre hiperbole određujemo iz ekvivalentne linearne aproksimacije, metodom najmanjih kvadrata.

Metodom najmanjih kvadrata dobijaju se sledeće uslovne jednačine:

$$\sum_{i=2}^N w_i^2 \cdot b + \sum_{i=2}^N w_i \cdot a = \sum_{i=2}^N w_i \cdot \frac{w_i}{Q_i}$$

$$\sum_{i=2}^N w_i \cdot b + (N-1) \cdot a = \sum_{i=2}^N \frac{w_i}{Q_i}$$

$$\sum_{i=2}^{11} w_i^2 = 33,924$$

$$\sum_{i=2}^{11} w_i = 15,503$$

$$\sum_{i=2}^{11} \frac{w_i}{Q_i} = 16,900 \cdot 10^{-3}$$

$$\sum_{i=2}^{11} w_i \cdot \frac{w_i}{Q_i} = 29,840 \cdot 10^{-3}$$

$$N-1 = 10$$

$$33,924 \cdot b + 15,503 \cdot a = 29,840 \cdot 10^{-3}$$

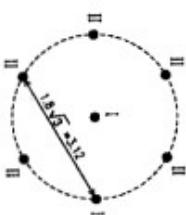
$$15,503 \cdot b + 10 \cdot a = 16,900 \cdot 10^{-3}$$

$$a = 0,0011191$$

$$b = 0,000368$$

Granična vrednost sile u šipu je

$$Q_{gr} = \frac{R_I}{b} = \frac{0,9}{0,0003683} = 2443,660 \text{ kN}$$



Nalaženje uticajnog koeficijenta

$$\alpha \text{ za } s=3,12 \text{ m}$$

kvadratna interpolacija

$$0,227 = K \cdot 2,25^2 + L \cdot 2,25 + M$$

$$0,168 = K \cdot 2,70^2 + L \cdot 2,70 + M$$

$$0,137 = K \cdot 3,60^2 + L \cdot 3,60 + M$$

Rešavanje gornjeg sistema jednačina dobija se :

$$K=0,0716$$

$$L=-0,485$$

$$M=0,957$$

$$\alpha_{(3,12)} = 0,0716 \cdot 3,12^2 - 0,485 \cdot 3,12 + 0,957 = 0,139$$

Sleganje centralnog šipa

$$w_1^* = P_1 + 6 \cdot 0,285 \cdot P_{II} = P_1 + 1,71 \cdot P_{II}$$

Sleganje perifernog šipa

$$w_{II}^* = 0,285 \cdot P_1 + (1 + 2 \cdot 0,285 + 2 \cdot 0,139 + 1,137) \cdot P_{II} = 0,285 \cdot P_1 + 1,985 \cdot P_{II}$$

Zbog pretpostavke da je naglavnica apsolutno kruta, sledi uslov

$$w_1^* = w_{II}^*$$

$$P_1 + 1,71 \cdot P_{II} = 0,285 \cdot P_1 + 1,985 \cdot P_{II}$$

$$P_1 = 2,6 \cdot P_{II}$$

Raspodela ukupne sile (iz uslova ravnoteže)

$$P_1 = 6 \cdot P_{II} = (1 + 6 \cdot 2,6) \cdot P_1 = 10500$$

$$P_1 = 632,53 \text{ kN}$$

$$P_{II} = 1644,58 \text{ kN}$$

Određivanje ukupnog sleganja uzimajući u obzir međusobni uticaj šipova:

$$w_{II}^* = 0,285 \cdot P_1 + 1,985 \cdot P_{II} = 3444,76 \text{ kN}$$

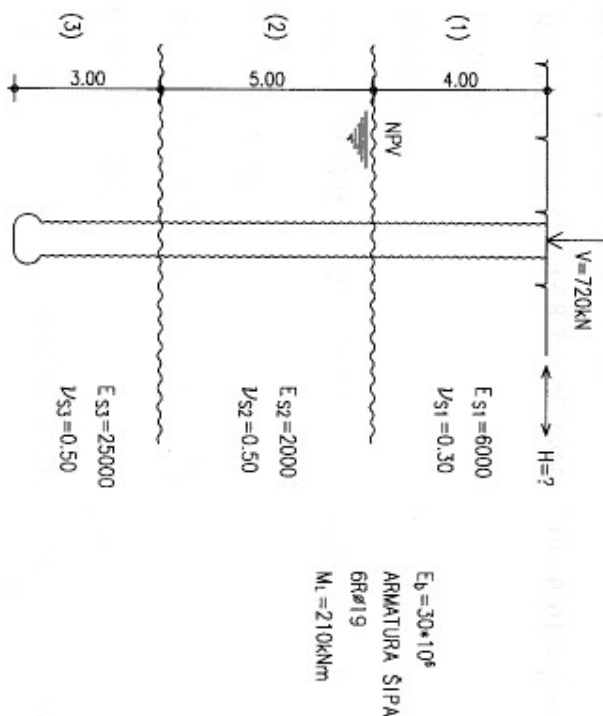
Sivarno sleganje određujemo za prosečnu krutost

$$\bar{w} = \left(\sum \frac{w}{Q} \right) \cdot \frac{1}{n} = 16,9 \cdot 10^{-4} \text{ mm / kN}$$

$$w = \bar{w} \cdot w_{II}^* = 16,9 \cdot 10^{-4} \cdot 3444,76 = 5,82 \text{ mm}$$

II.2.12. Neki objekat je fundiran na "Franki" šipovima Ø520mm. Šipovi su opterećeni aksijalnim silama od 720 kN. Pod pretpostavkom da su šipovi uključeni u temeljnu stopu, sračunati maksimalnu dozvoljenu horizontalnu seizmičku silu kojom se može opteretiti svaki šip. Podaci o tlu i šipovima dati su na skici.

- a) Metodom ekvivalentnog rama
b) Korišćenjem analitičkih rešenja i prenosnih matrica.



Rešenje:

Bočne krutosti tla prema Vesicu:

$$K_{s_i} = \frac{0,65}{D} \cdot \sqrt[12]{\frac{E_{s_i} \cdot D^4}{EJ}} \cdot \frac{E_{s_i}}{1 - \nu_{s_i}^2}$$

$$EJ = 30 \cdot 10^6 \cdot \frac{\pi}{64} 0,52^4 = 107,672 \text{ kNm}^2$$

$$K_{s1} = \frac{0,65}{0,52} \cdot \sqrt[12]{\frac{6000 \cdot 0,52^4}{107672}} \cdot \frac{6000}{1 - 0,30^2} = 5210,25 \text{ kN / m}^3$$

$$K_{s2} = \frac{0,65}{0,52} \cdot \sqrt[12]{\frac{2000 \cdot 0,52^4}{107672}} \cdot \frac{2000}{1 - 0,50^2} = 1922,90 \text{ kN / m}^3$$

$$K_{s3} = \frac{0,65}{0,52} \cdot \sqrt[12]{\frac{25000 \cdot 0,52^4}{107672}} \cdot \frac{25000}{1 - 0,50^2} = 29.667 \text{ kN / m}^3$$

a) Metodom ekvivalentnog rama

$$H = 100 \text{ kN}$$

$$E = 30 \cdot 10^6 \text{ kN / m}^2$$

$$J = 0,003589 \text{ m}^4$$

$$\lambda = 0,50 \text{ m}$$

Aksijalne krutosti zamenjujućih štapova

$$K_1 = 0,25 \cdot 0,52 \cdot 5210,25 = 677,33 \text{ kN / m'}$$

$$K_2 = K_3 = K_8 = 1354,665 \text{ kN / m'}$$

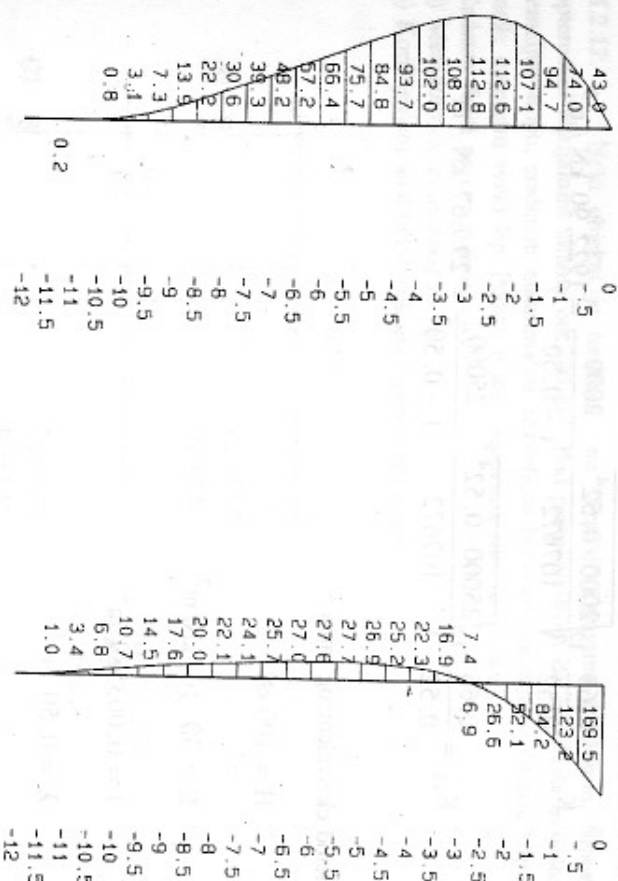
$$K_9 = 0,25 \cdot 0,52 \cdot (5210,25 + 1922,90) = 927,31 \text{ kN / m'}$$

$$K_{10} = K_{11} = K_{18} = 0,25 \cdot 0,52 \cdot 1922,90 = 249,98 \text{ kN / m'}$$

$$K_{19} = 0,25 \cdot 0,52 \cdot (1922,90 + 29667) = 4106,69 \text{ kN / m'}$$

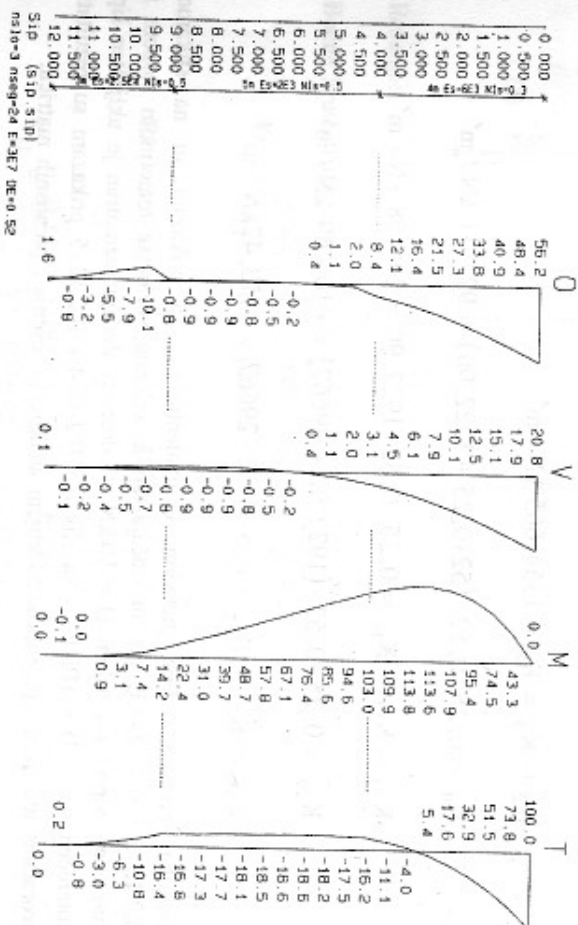
$$K_{20} = K_{21} = K_{25} = 0,5 \cdot 0,52 \cdot 29667 = 7713,42 \text{ kN / m'}$$

Rezultati proračuna šipa metodom ekvivalentnog rama prikazani su na slikama II.2.12.-2 i II.2.12.-3. U prvom slučaju šip je zglobno vezan sa temeljnom stopom i opterećen poprečnom silom $H = 10 \text{ kN}$. U drugom slučaju razmatran je uključeni šip opterećen silom $H = 100 \text{ kN}$. Na slikama II.2.12.-4 i II.2.12.-5 prikazani su rezultati proračuna uticaja u šipovima korišćenjem analitičkih rešenja i prenosnih matrica.

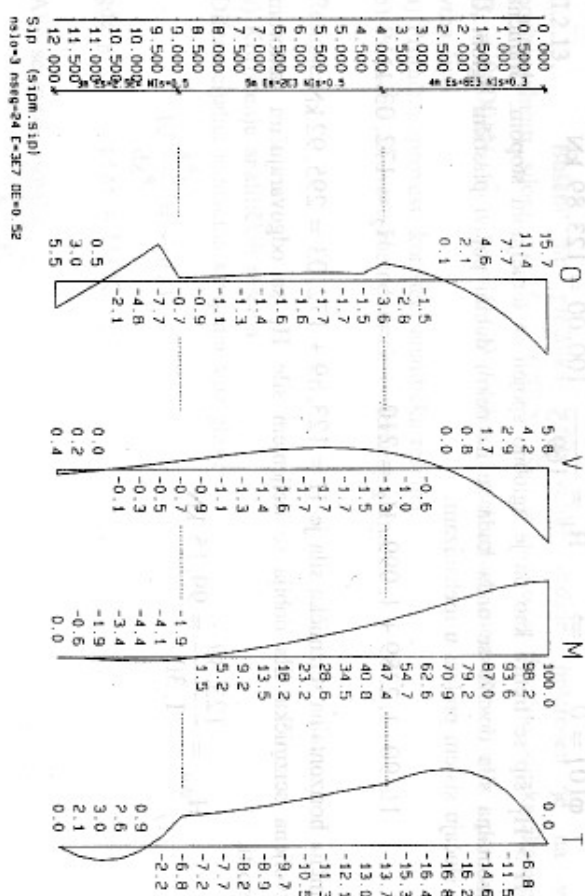


II.12.2.

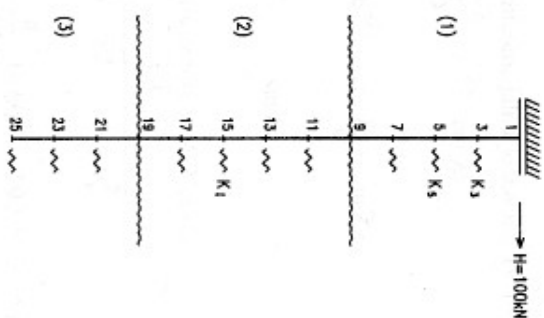
II.12.3.



II.12.4.



I.2.12-5.



Određujemo silu H_1 usled koje dolazi do pojave momenta pune plastičnosti u šipu na mestu spoja šipa i temeljne stope.

Iz uslova da je

$$\varphi(0) = 0 \Rightarrow H_1 = \frac{210}{169,5} \cdot 100,00 = 123,89 \text{ kN}$$

Za $H > H_1$ šip se tretira kao da je zglobno spojen sa temeljnom stopom. Granična horizontalna sila dostiže se onda kada se na nekoj dubini pojavi plastični zglob. U tom slučaju sistem prelazi u mehanizam.

$$16,90 \cdot 1,2389 + 1,099 \cdot H_2 = 210 \Rightarrow H_2 = 172,03 \text{ kN}$$

Granična horizontalna seizmička sila je $H = 123,89 + 172,03 = 295,92 \text{ kN}$

Dovoljena seizmička sila dobija se deljenjem sile H_1 sa odgovarajućim faktorom sigurnosti.

$$H_{\text{dovr}} = \frac{123,89}{1,30} = 99,15 \text{ kN}$$

II.2.13.

Bušeni šip prečnika 0,60 velike dužine, opterećen je na vrhu horizontalnom silom od $H_0 = 100 \text{ kN}$. Šip se nalazi u tlu čije su karakteristike $E_s = 8000 \text{ kN/m}^2$ i $\nu_s = 0,30$. Sračunati maksimalni moment savijanja i pomeranje vrha šipa.

a) Proračun sprovediti koristeći analitička rešenja.

b) Proračun sprovediti metodom ekvivalentnog rama.

Rešenje:

a) Korišćenje analitičkih rešenja.

Diferencijalna jednačina savijanja šipa glasi:

$$EI \frac{d^4 y}{dz^4} = -p(z) \quad (1)$$

gde je

$$p(z) = D \cdot K_s \cdot y$$

Ako se uvede oznaka:

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{K_s \cdot D}{4 \cdot EI}}$$

jednačina (1) svodi se na diferencijalnu jednačinu IV reda čije je rešenje:

$$y(z) = \frac{2 \cdot H_0 \cdot \lambda}{K_s \cdot D} \cdot e^{-\lambda z} \cdot \cos \lambda z$$

$$T(z) = -H_0 \cdot e^{-\lambda z} \cdot (\cos \lambda z - \sin \lambda z)$$

$$M(z) = -\frac{H_0}{\lambda} \cdot e^{-\lambda z} \cdot \sin \lambda z$$

Koeficijent bočne krutosti tla prema prof. Vesicu

$$K_s = \frac{0,65}{D} \cdot \sqrt[12]{\frac{K_s \cdot D^4}{EI}} \cdot \frac{E_s}{1 - \nu_s^2}$$

$$EI = 30 \cdot 10^6 \cdot \frac{\pi}{64} \cdot 0,60^4 = 190,852 \text{ kNm}^2$$

$$K_s = \frac{0,65}{0,60} \cdot \sqrt[12]{\frac{8000 \cdot 0,60^4}{190,852}} \cdot \frac{8000}{1 - 0,30^2} = 6,167 \text{ kN/m}^3$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{6 \cdot 167 \cdot 0,60}{4 \cdot 190 \cdot 852}} = 0,2638$$

$$y(0) = \frac{2 \cdot 100 \cdot 0,2638}{6 \cdot 167 \cdot 0,60} = 0,01426 \text{ m} = 1,4 \text{ cm}$$

Mesto maksimalnog momenta:

$$T(z) = 0 \Rightarrow \cos \lambda z - \sin \lambda z = 0 \Rightarrow \lambda z = 0,7854$$

$$0,2687 \cdot z = 0,7854$$

$$M_{\max} = \frac{100}{0,2638} \cdot e^{-0,7854} \cdot \sin 0,7854 = 0,3224 \cdot \frac{H_0}{\lambda}$$

$$M_{\max} = 122,21 \text{ kNm}$$

b) Metod ekvivalentnog rama:

$$E_b = 30 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2$$

$$J = 0,0063617 \text{ m}^4$$

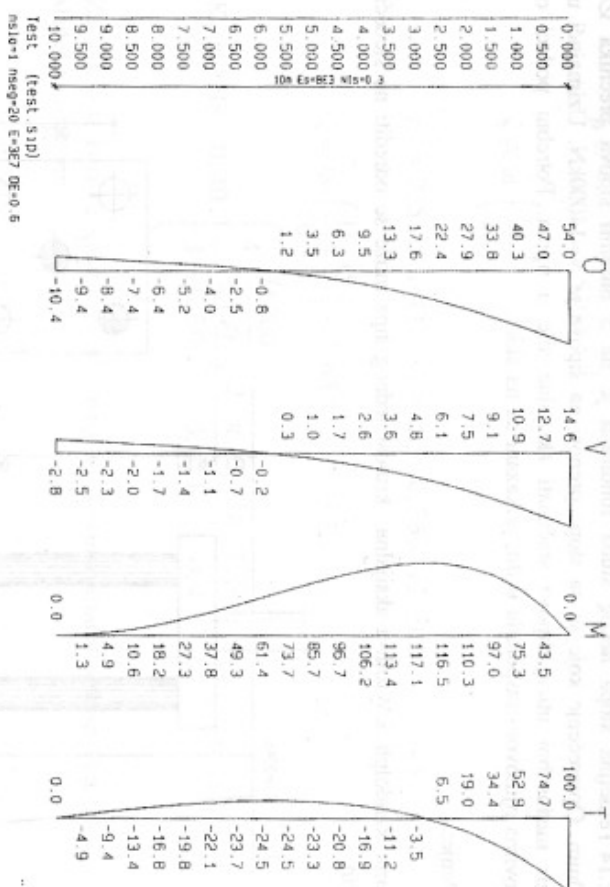
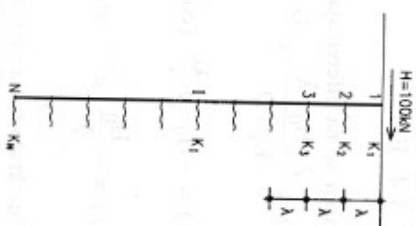
$$\text{za } \lambda = 0,10 \text{ m}$$

$$K_1 = 0,05 \cdot 0,60 \cdot 6167 = 185,01 \text{ kN/m'}$$

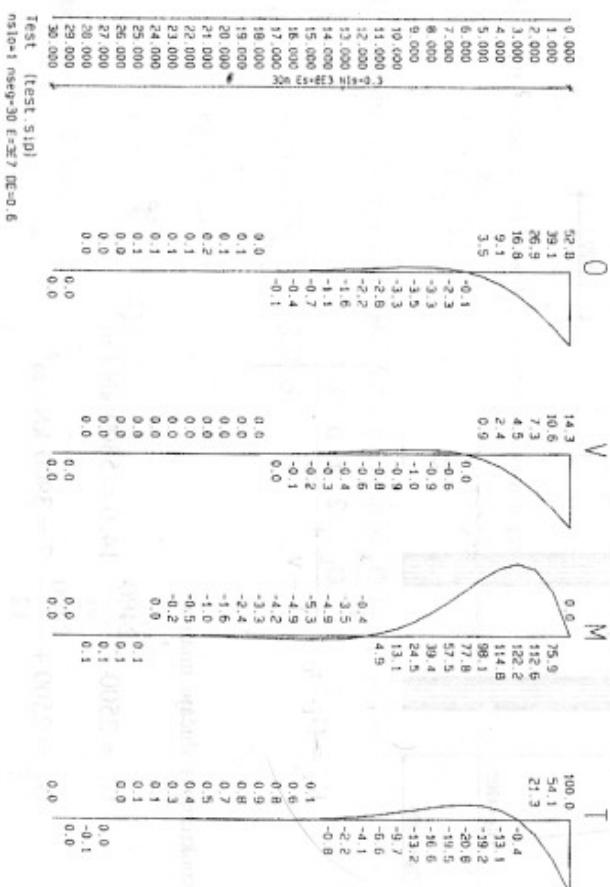
$$K_2 = K_3 = K_1 = 370,02 \text{ kN/m'}$$

Na slikama II.2.13-2 i II.2.13-3 prikazani su

diagrami uticaja u šipu dobijeni metodom ekvivalentnog rama. Može se zaključiti da se ovi uticaji dobro slažu sa uticajima dobijenim analitičkom metodom. Ukoliko se usvoji veća dužina šipa (odnosno ekvivalentnog rama) slaganja su bolja. Za dužinu šipa od 30m (sl.II.2.13.-3) razlika u rezultatima je na drugoj decimali.



II.2.13-2.

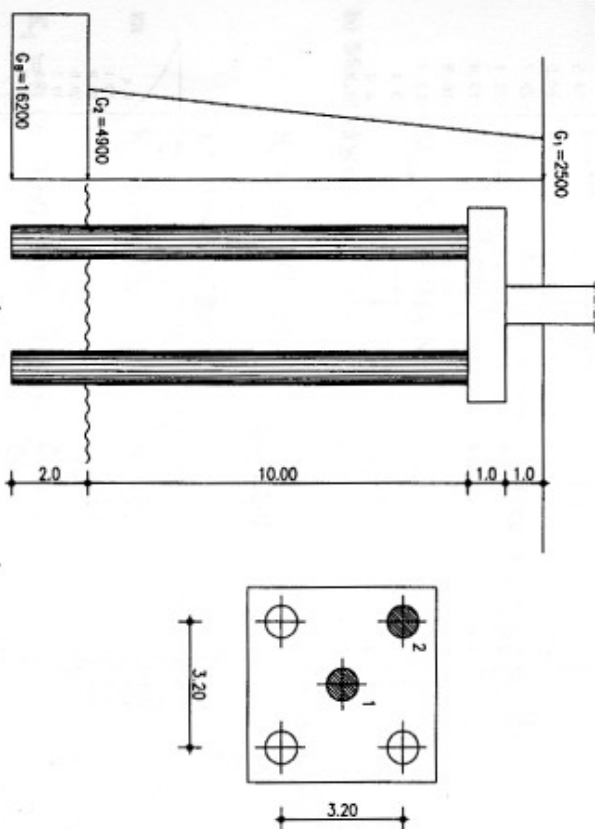


II.2.13-3

II.2.14 Temeljna stopa nekog stuba fundirana je na 5 bušenih šipova prečnika $\varnothing 800\text{mm}$. Opterećenje koje se sa stope prenosi na šipove je $V=14000\text{kN}$. Uzimajući u obzir međusobni uticaj šipova sračunati aksijalne sile u njima. Potrebni podaci o šipovima njihovom rasporedu u tlu, prikazani su na skici.

Rešenje:

Prema Randolph- & Wroth-u aksijalna krutost jednog šipa može se odrediti na sledeći način:



$$K_1 = G_L \cdot r_0 \cdot \left(\frac{4 \cdot \frac{G_B}{G_L}}{1 - \nu} + \frac{2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot 1}{\zeta \cdot r_0} \right)$$

U konkretnom slučaju imamo:

$$G_L \approx 2500 + \frac{2400}{12} \cdot 14,0 = 5300 \text{ kN / m}^2$$

$$G_L = 2500 + \frac{2400}{12} \cdot 7 = 3900 \text{ kN / m}^2$$

$$\rho = \frac{G_{(L/2)}}{G_{(L)}} = \frac{3900}{5300} = 0,736$$

$$\zeta = \ln \left(\frac{r_m}{r_0} \right)$$

$$r_m = 2,5 \cdot \rho \cdot 1 \cdot (1 - \nu) = 2,5 \cdot 0,736 \cdot 12 \cdot 0,70 = 15,45$$

$$\zeta = \ln \left(\frac{15,45}{0,40} \right) = 3,654$$

$$K_1 = 5300 \cdot 0,40 \cdot \left(\frac{4 \cdot \frac{16200}{5300}}{1 - 0,30} + \frac{2 \cdot \pi \cdot 0,736 \cdot 12,0}{3,654 \cdot 0,4} \right) = 117,519 \text{ kN / m}$$

Za dva šipa koja se nalaze na odstojanju e aksijalna krutost jednog šipa određena je sledećim izrazom:

$$K_2 = G_L \cdot r_0 \cdot \left(\frac{4 \cdot \frac{G_B}{G_L}}{1 - \nu} \cdot \frac{e}{r_0 \cdot \frac{2}{\pi} + e} + \frac{2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot 1}{\zeta + l_u \cdot (r_m / e)} \cdot \frac{1}{r_0} \right)$$

Uticajni faktor za sračunavanje sleganja šipova u grupi je:

$$\alpha = \frac{K_1}{K_2} - 1$$

U konkretnom slučaju ovaj faktor treba sračunati za tri odstojanja i to:

$$e_1 = 3,20 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 2,26 \text{ m}$$

$$e_2 = 3,2 \text{ m}$$

$$e_3 = 2 \cdot e_1 = 4,25 \text{ m}$$

za $e_1 = 2,26 \text{ m}$

$$K_2 = 5300 \cdot 0,4 \cdot \left(\frac{4 \cdot \frac{16200}{5300}}{1 - 0,30} \cdot \frac{2,26}{0,4 \cdot \frac{2}{\pi} + 2,26} + \frac{2 \cdot \pi \cdot 0,736}{3,654 + l_u \cdot (15,45 / 2,26)} \cdot \frac{12,0}{0,40} \right)$$

$$K_2 = 86,023 \text{ kN / m'}$$

$$\alpha = \frac{117,519}{86023} - 1 = 0,366$$

$$\text{za } e_2 = 3,2 \text{ m}$$

$$K_2 = 5300 \cdot 0,4 \cdot \left(\frac{4 \cdot \frac{16200}{5300}}{1 - 0,30} \cdot \frac{3,20}{0,4 \cdot \frac{2}{\pi} + 3,20} + \frac{2 \cdot \pi \cdot 0,736}{3,654 + l_u \cdot (15,45 / 3,20)} \cdot \frac{12,0}{0,40} \right)$$

$$K_2 = 90,489 \text{ kN / m'}$$

$$\alpha = \frac{117,519}{90489} - 1 = 0,299$$

$$\text{za } e_3 = 4,52 \text{ m}$$

$$K_2 = 5300 \cdot 0,4 \cdot \left(\frac{4 \cdot \frac{16200}{5300}}{1 - 0,30} \cdot \frac{4,52}{0,4 \cdot \frac{2}{\pi} + 4,52} + \frac{2 \cdot \pi \cdot 0,736}{3,654 + l_u \cdot (15,45 / 4,52)} \cdot \frac{12,0}{0,40} \right)$$

$$K_2 = 95213 \text{ kN / m'}$$

$$\alpha = \frac{117,519}{95213} - 1 = 0,234$$

Ispod temeljne stope imamo samo dva različita tipa šipova i to srednji i ivični, odnosno ugaoni.

Veza između sleganja šipova i opterećenja može se prikazati matricno na sledeći način:

$$\begin{Bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{11} & F_{12} \\ F_{21} & F_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} P_1 \\ P_2 \end{Bmatrix}$$

Elementi matrice F predstavljaju sleganja šipova usled jediničnih sila.

$$F_{11} = \frac{1}{K_1} = \frac{1}{117,519} = 8,509 \cdot 10^{-6}$$

$$F_{12} = 8,509 \cdot 10^{-6} (4 \cdot 0,366) = 12,457 \cdot 10^{-6}$$

$$F_{21} = 8,509 \cdot 10^{-6} \cdot 0,366 = 3,114 \cdot 10^{-6}$$

$$F_{22} = 8,509 \cdot 10^{-6} \cdot (1,0 + 2 \cdot 0,299 + 0,234) = 15,589 \cdot 10^{-6}$$

Matrica krutosti šipova dobija se inverzijom matrice fleksibilnosti

$$K = F^{-1} = \begin{bmatrix} 0,1661 & -0,1327 \\ -0,0332 & 0,0907 \end{bmatrix} \cdot 10^6$$

$$\begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P_1 \\ P_2 \end{Bmatrix}$$

Pošto je stopa kruta, sleganja svih šipova su jednaka.

$$s_1 = s_2 \Rightarrow \begin{matrix} 33400 \cdot s = P_1 \\ 57546 \cdot s = P_2 \end{matrix} \quad \} P_1 = 0,5804 \cdot P_2$$

Iz uslova ravnoteže dobijamo:

$$P_1 + 4 \cdot P_2 = 14000$$

$$(0,5804 + 4) \cdot P_2 = 14000 \Rightarrow P_2 = 3056,50 \text{ kN} \quad P_1 = 1773,99 \text{ kN}$$

Zadatak se može rešiti kraće koristeći uslove

$$s_1 = s_2 \quad \text{i} \quad P_1 + 4 \cdot P_2 = \Sigma V,$$

U tom slučaju se dobija jednačina

$$P_1 + 4 \cdot 0,366 \cdot P_2 = 0,366 \cdot P_1 + (1 + 2 \cdot 0,299 + 0,234) \cdot P_2$$

$$0,634 \cdot P_1 = 0,368 \cdot P_2 \Rightarrow P_1 = 0,5804 \cdot P_2$$

$$(0,5804 + 4) \cdot P_2 = 14000$$

$$P_2 = 3056,50 \text{ kN}$$

$$P_1 = 1773,99 \text{ kN}$$

Isti zadatak se može rešiti u iteracijama postupnim približavanjem ka tačnom rešenju, što je pogodno kada se zadatak rešava korišćenjem računara. Pokazaćemo sada radi ilustracije nekoliko iteracija.

I iteracija

Predpostavimo da su sile u svim šipovima jednake:

$$s_1 = (1 + 4 \cdot 0,366) \cdot P = 6899,20$$

$$s_2 = (1 + 0,366 + 2 \cdot 0,299 + 0,234) \cdot 2800 = 6154,40$$

$$K_1 = \frac{2800}{6899,20} = 0,4058$$

$$K_2 = \frac{2800}{6154,40} = 0,4549$$

$$P_1^{(1)} = \frac{0,4058}{2,2254} \cdot 14000 = 2552,88 \text{ kN}$$

$$P_2^{(1)} = \frac{0,4549}{2,2254} \cdot 14000 = 2861,77 \text{ kN}$$

II iteracija

$$s_1 = 1,0 \cdot 2552,88 + 4 \cdot 0,366 \cdot 2861,77 = 6742,51$$

$$s_2 = (1 + 2 \cdot 0,299 + 0,234) \cdot 2861,77 + 0,366 \cdot 2552,88 = 6177,12$$

$$K_1^{(2)} = \frac{2552,88}{6742,51} = 0,3786$$

$$K_2^{(2)} = 0,4633$$

$$\Sigma K^{(2)} = K_1^{(2)} + K_2^{(2)} = 2,2317$$

$$P_1^{(1)} = \frac{0,3786}{2,2317} \cdot 14000 = 2375,00 \text{ kN}$$

$$P_2^{(2)} = \frac{0,4633}{2,2317} \cdot 14000 = 2906,34 \text{ kN}$$

III iteracija

$$s_1 = 1,0 \cdot 2375,00 + 4 \cdot 0,366 \cdot 2906,34 = 6629,88$$

$$s_2 = 1,832 \cdot 2906,34 + 0,366 \cdot 2375,00 = 6193,66$$

$$K_1^{(3)} = 0,3582$$

$$K_2^{(3)} = 0,4692$$

$$\Sigma K^{(3)} = 2,235$$

$$P_1^{(3)} = \frac{0,3582}{2,235} \cdot 14000 = 2243,58 \text{ kN}$$

$$P_2^{(3)} = \frac{0,4692}{2,235} \cdot 14000 = 2938,83 \text{ kN}$$

IV iteracija

$$s_1 = 1,0 \cdot 2243,58 + 4 \cdot 0,366 \cdot 2938,83 = 6546,03$$

$$s_2 = 1,832 \cdot 2938,83 + 0,366 \cdot 2243,58 = 6205,09$$

$$K_1^{(4)} = 0,3427$$

$$K_2^{(4)} = 0,4736$$

$$P_1^{(4)} = 2144,59 \text{ kN}$$

$$P_2^{(4)} = 2963,75 \text{ kN}$$

Vidi se da vrednosti sile u šipovima relativno sporo konvergiraju ka tačnom rešenju.

II.2.15 Pod pretpostavkom da se može ostvariti puno uklještenje šipa u naglavici, odrediti momenat uklještenja, ako je vrh šipa opterećen horizontalnom silom $H = 40$ kN. Modul elastičnosti tla ispod temelja je $E_s = 10000$ kN / m², Poisson-ov koeficijent $\nu_0 = 0,35$. Modul elastičnosti betona od koga je izveden posmatrani šip $E_{bet} = 2,1 \cdot 10^7$ kN / m² a prečnik šipa $D=0,6$ m.

Veza između generalisanih pomeranja i sila za šip je oblika:

$$Q = K \cdot u = \begin{bmatrix} K_{11} & 0 & K_{13} \\ 0 & K_{22} & 0 \\ K_{31} & 0 & K_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u \\ v \\ \varphi \end{bmatrix}$$

Gornja veza napisana za horizontalnu silu i momenat savijanja

$$\begin{bmatrix} H \\ M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{13} \\ K_{31} & K_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u \\ \varphi \end{bmatrix} \Rightarrow M = K_{31} \cdot u + K_{33} \cdot \varphi$$

koeficijent horizontalne reakcije tla

$$K_s = \frac{0,65}{d} \cdot \sqrt[12]{\frac{E_s \cdot d^4}{E_{bet}}} \cdot \frac{E_s}{1 - \nu_0^2}$$

$$K_s = \frac{0,65}{0,6} \sqrt[12]{\frac{10000 \cdot 0,6^4 \cdot 64}{2,1 \cdot 10^7 \cdot 0,6^4 \cdot \pi}} \cdot \frac{10000}{1 - 0,35^2} = 8389,75$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{8389,75 \cdot 0,6 \cdot 64}{4 \cdot 2,1 \cdot 10^7 \cdot 0,6^4 \cdot \pi}} = 0,3115$$

Koeficijenti fleksibilnosti za dug šip ako je krutost tla po dužini šipa konstantna:

$$F_{11} = \frac{2 \cdot 1,0 \cdot 0,3115}{8389,75 \cdot 0,6} = 1,2376 \cdot 10^{-4}$$

$$F_{13} = F_{31} = \frac{2 \cdot 1,0 \cdot 0,3115^2}{8389,75 \cdot 0,6} = 3,8552 \cdot 10^{-5}$$

$$F_{33} = \frac{4 \cdot 1,0 \cdot 0,3115^3}{8389,75 \cdot 0,6} = 2,4018 \cdot 10^{-5}$$

Inverzijom matrice fleksibilnosti dobija se matrica krutosti šipa

$$K = F^{-1} = \begin{bmatrix} 16160,559 & -25939,790 \\ -25939,790 & 83272,161 \end{bmatrix}$$

Određivanje momenta uklještenja, pod pretpostavkom da se može ostvariti puno uklještenje šipa u naglavnicu ($\varphi = 0$)

$$K_{11} \cdot u + K_{13} \cdot \varphi = -40$$

$$u = \frac{-40}{16160,559} = -2,475 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

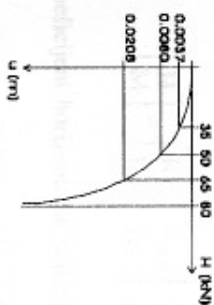
$$K_{13} \cdot u + K_{33} \cdot \varphi = M$$

Moment uklještenja šipa je

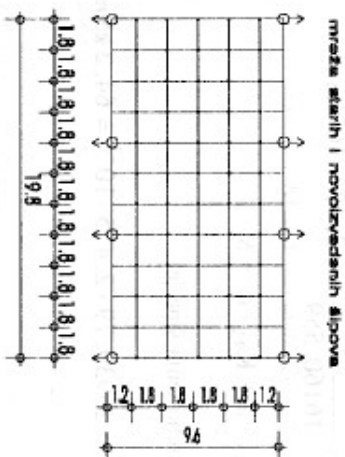
$$M = 25939,79 \cdot 2,475 \cdot 10^{-3} = 64,2 \text{ kNm}$$

II.2.16 Konstrukcija je fundirana na 60 vertikalnih šipova. Ispitivanjem šipa, uključenoj u temeljnu stopu, na dejstvo horizontalne sile, dobijena je hiperbolička zavisnost sile i horizontalnog pomeranja. Usled seizmičkih uticaja horizontalna sila po šipu iznosi 65 kN. Ispitivanja su pokazala da vertikalni šipovi ne mogu sa dovoljnom sigurnošću da prime tu silu, izvršena je sanacija temelja dodavanjem 8 kosih šipova nagiba 4:1. Za tako saniranu konstrukciju odrediti horizontalnu silu u vertikalnom šipu za dejstvo seizmičkih uticaja, ako je matrica krutosti vertikalnog novoizvedenog šipa

$$K = \begin{bmatrix} 0,06 & 0 & 0,10 \\ 0 & 1,20 & 0 \\ 0,10 & 0 & 1,0 \end{bmatrix} \cdot 10^5$$



$$H = \frac{u}{0,00006 + 0,0125u}$$



Određivanje horizontalne krutosti na osnovu hiperboličke zavisnosti sile i horizontalnog pomeranja

$$H = \frac{u}{0,00006 + 0,0125u}$$

Za horizontalnu silu

$$H = 65 \text{ kN}$$

$$65 = \frac{u}{0,00006 + 0,0125u}$$

$$u = 0,0208 \text{ m}$$

Horizontalna krutost postojećeg šipa je

$$K_{11} = \frac{65}{0,0208} = 3125 \text{ kN / m'}$$

Određivanje ukupne horizontalne krutosti usled sistema horizontalne krutosti pridatog šipa

$$\begin{bmatrix} 0,95 & 0,2425 & 0 \\ -0,2425 & 0,95 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0,06 & 0 & 0,1 \\ 0 & 1,2 & 0 \\ 0,1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0,97 & 0,2425 & 0 \\ 0,2425 & 0,97 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot 10^5$$

Iz gornjeg proizvoda odgovarajućih matrica sračunavamo samo potreban član

$$K_{11}^n = 12705,87 \text{ kN / m'}$$

Ukupna horizontalna krutost celog sistema

$$\sum K = 60 \cdot K_{11}^p + 8 \cdot K_{11}^n$$

$$\sum K = 60 \cdot 3125 + 8 \cdot 12705,87 = 289147 \text{ kN / m'}$$

Uslovna jednačina sistema

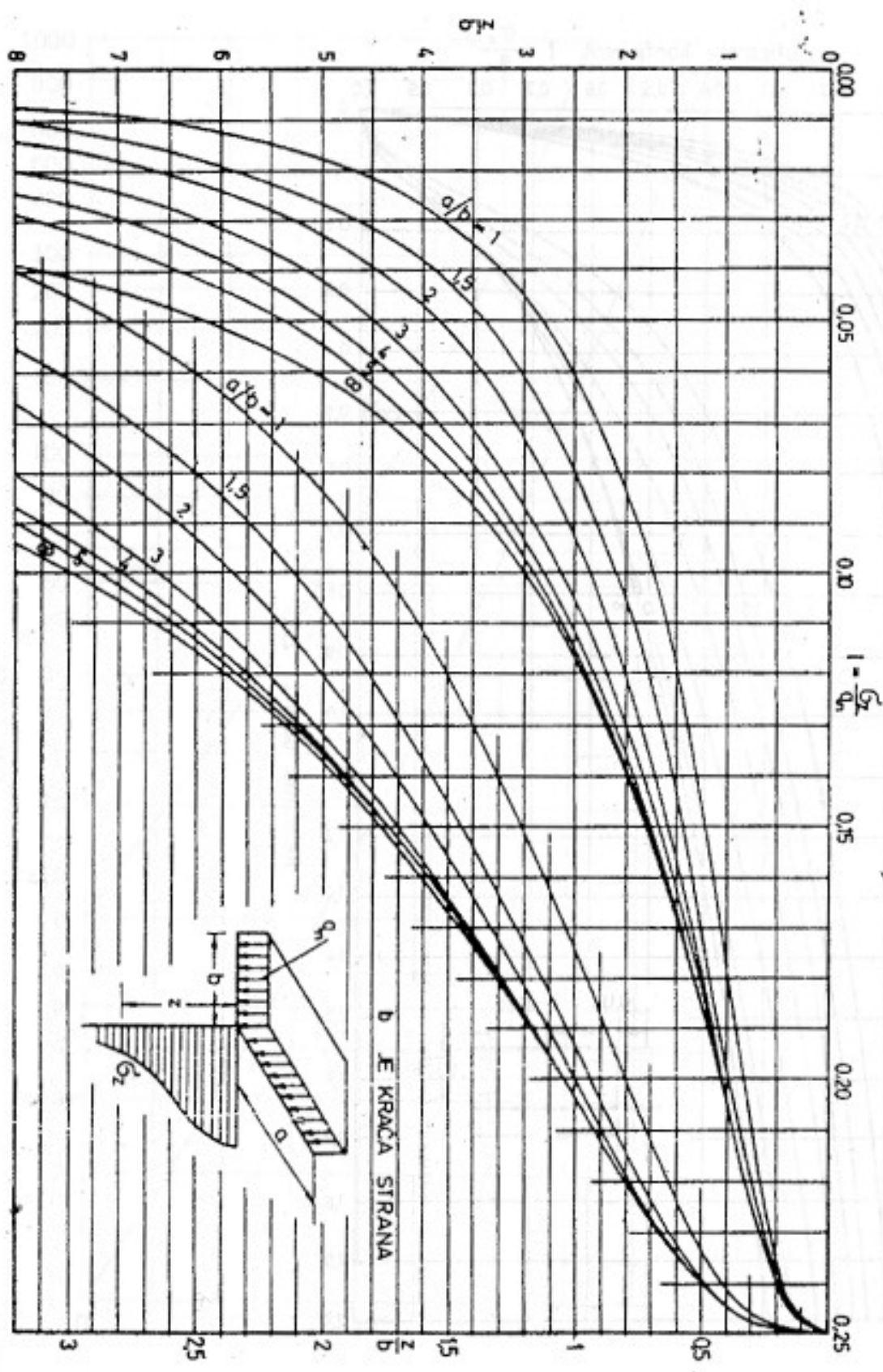
$$\sum K \cdot u = H \rightarrow 289147 \cdot u = 3900$$

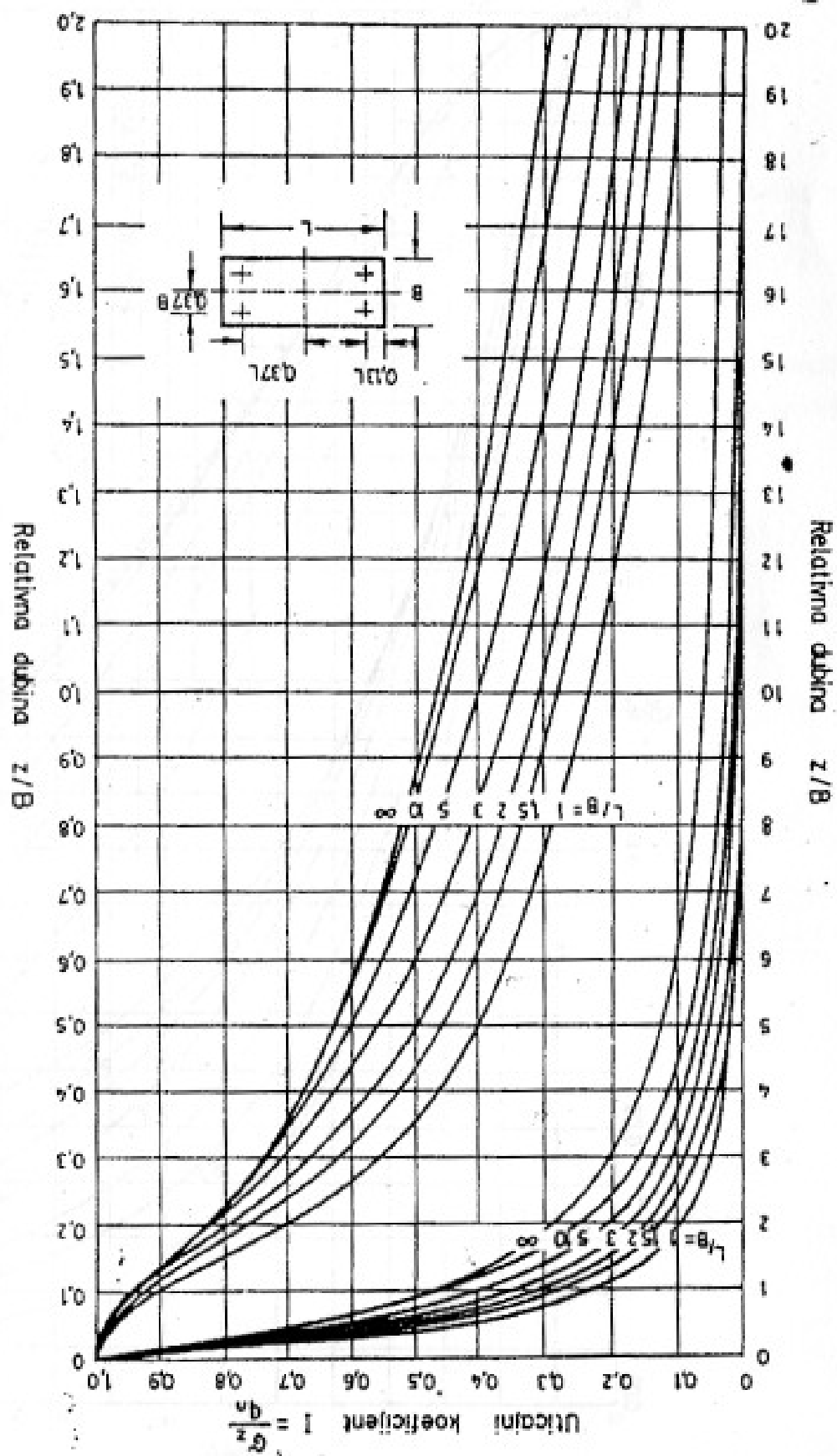
$$u = 0,0135 \text{ m}$$

Horizontalna sila u vertikalnom šipu je

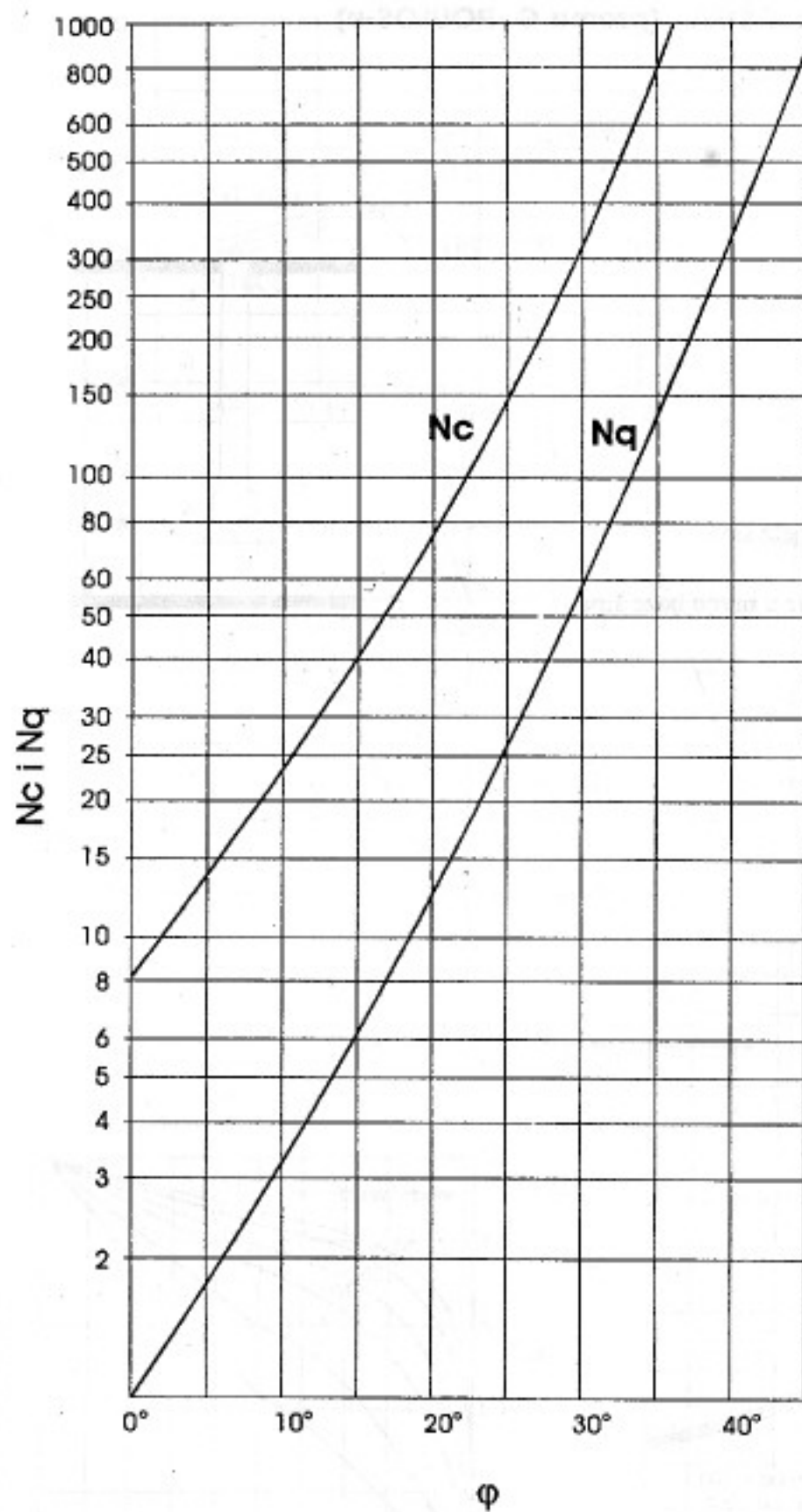
$$H = K_{11}^p \cdot u = 3215 \cdot 0,0135 = 42,15 \text{ kN}$$

Prilog I





Prilog III



Prilog IV

SLEGANJE ŠIPA (prema G. POULOS-u)

$$s = \frac{P}{E_s d} I \quad \text{gde je:}$$

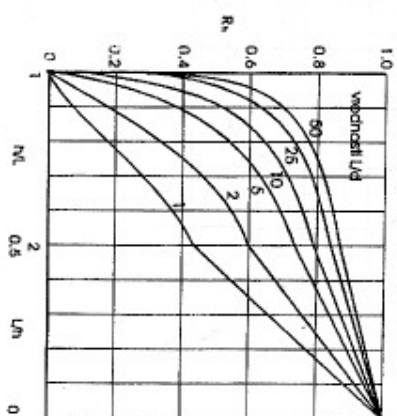
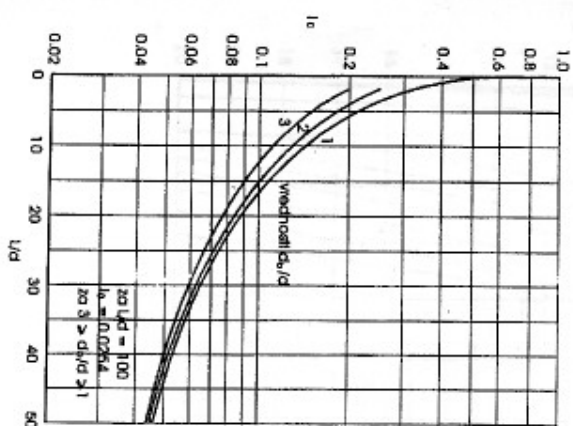
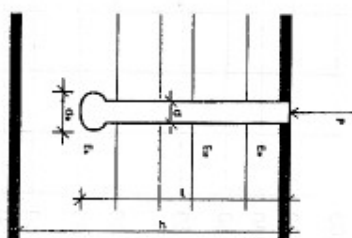
$$I = I R_1 R_h R_s R_b$$

$$E_s = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^n E_s h_i$$

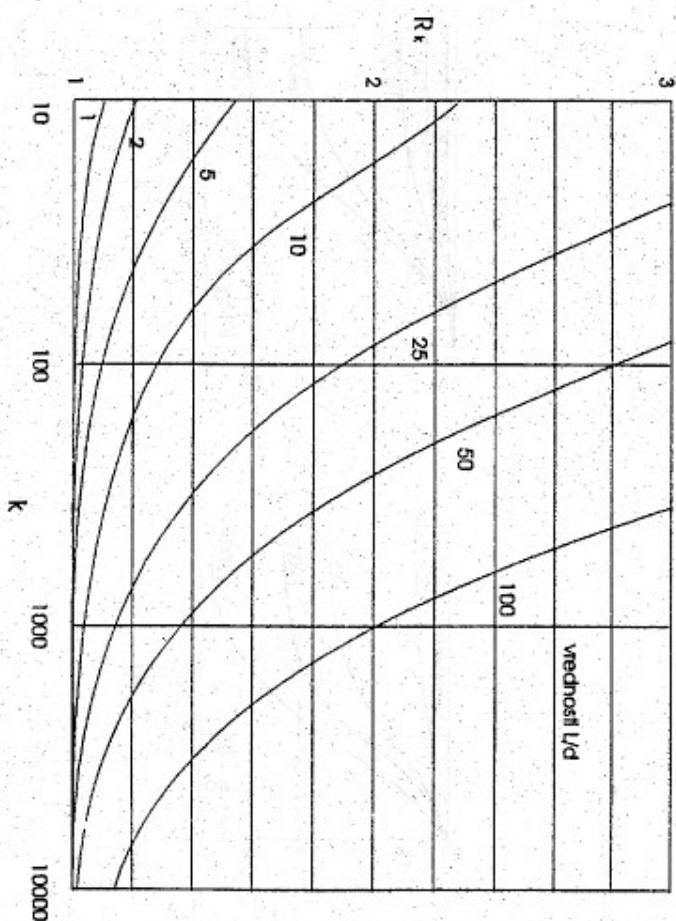
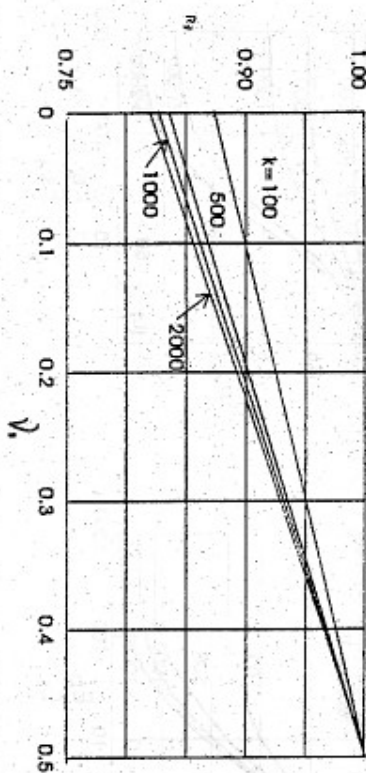
$$k = \frac{E_p}{E_s}$$

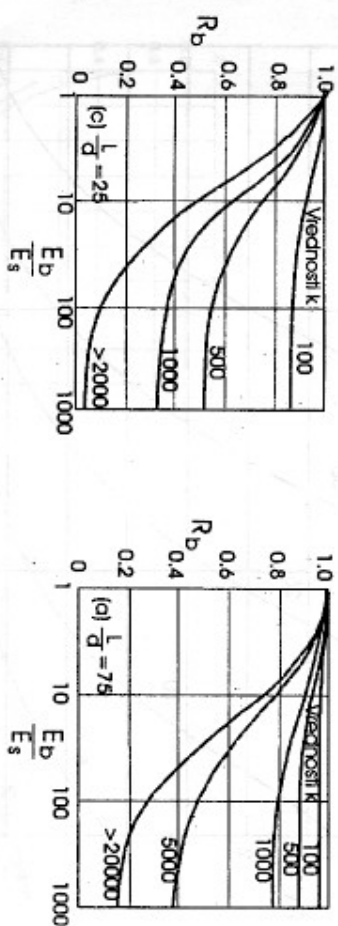
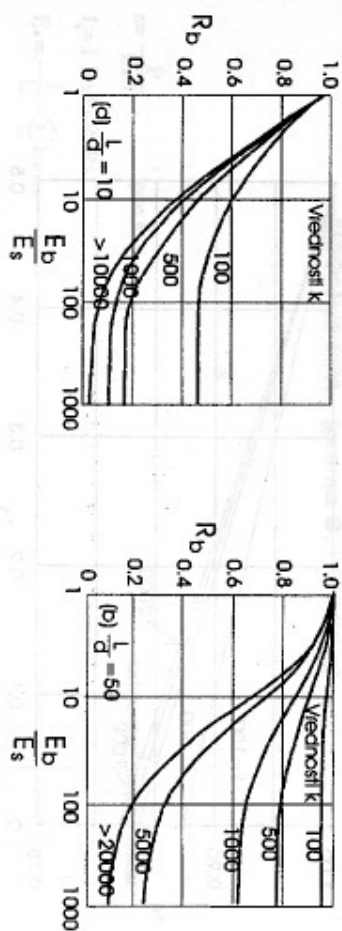
E_p - modulu elastičnosti materijala šipa

E_s - modulu elastičnosti sloja tla u nivou baze šipa



Prilog V





ŠIP OPTEREĆEN POPREČNIM OPTEREĆENJEM

$$EI \frac{d^4 y}{dz^4} = -p(z) \quad p(z) = k_s y$$

koefficient horizontalne reakcije tla:

$$k_s = \frac{0.65}{d} \sqrt{\frac{E_s d^4}{EI}} \frac{E_s}{1 - \nu_s^2}$$

rešenja za dug šip ako je krutost tla konstantna po dužini šipa:

$$y = \frac{2H_0 \lambda^2}{k_s d} e^{-\lambda z} \cos \lambda z$$

$$\varphi = \frac{2H_0 \lambda^2}{k_s d} e^{-\lambda z} (\cos \lambda z + \sin \lambda z)$$

$$T = H_0 e^{-\lambda z} (\cos \lambda z - \sin \lambda z)$$

$$M = \frac{H_0}{\lambda} e^{-\lambda z} \sin \lambda z$$

$$y = \frac{2M_0 \lambda^2}{k_s d} e^{-\lambda z} (\cos \lambda z - \sin \lambda z)$$

$$\varphi = \frac{4M_0 \lambda^2}{k_s d} e^{-\lambda z} \cos \lambda z$$

$$T = -2M_0 \lambda e^{-\lambda z} \sin \lambda z$$

$$M = M_0 e^{-\lambda z} (\cos \lambda z + \sin \lambda z)$$

gde je:

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{k_s d}{4EI}}$$

LITERATURA

1. Bowles J.E. Foundation Analysis and Design, Mc Graw-Hill Book Co., New York (1970)
2. Stevanović S., Fundiranje I, Naučna knjiga, Beograd (1989)
3. Stevanović S., Fundiranje (sveska III), DS Mašinar , Novi Sad (1976)
4. Šuklje L., Objašnjenja uz pravilnik o tehničkim normativima za projektovanje i izvođenje radova i kod temeljenja građevinskih objekata, Izgradnja, Posebno izdanje (1979)
5. Nonveiller E., Mehanika tla i temeljenje građevina, Školska knjiga, Zagreb (1990)
6. Maksimović M., Otterbein K., Santrač P., Zbirka zadataka sa vežbanjima iz osnova mehanike tla, Globus, Subotica (1989)
7. Radosavljević Ž., Bajić D., Armirani Beton III, Građevinska knjiga, Beograd (1988)
8. Grupa autora, Beton i armirani beton 87, Građevinska knjiga, Beograd (1991)
8. Randolph M.F., Wroth C.P., An analaysis of the vertical deformation of pile groups, Geotechnique 29, 4, pp 423-439 (1979)
9. Poulos H. G., Davis E. H., Pile founadation analysis and design, John Wiley & Sons, New York (1980)