

Plitko fundiranje - zajednički temelji

Plitki temelji (direktni, površinski, neposredni) su temelji koji se grade u otvorenom, relativno plitkom iskopu i koji opterećenje na podlogu prenose uglavnom preko naležuće površine temelja (kontaktne spojnice). Plitki temelji se primenjuju ukoliko se na relativno maloj dubini ispod površine terena nalazi tlo dovoljne otpornosti i male deformabilnosti. Plitki temelji se najčešće izvode od nearmiranog i armiranog betona.

Granična nosivost plitkih temelja prema Evrokodu 7 podrazumeva kontrolu graničnih stanja STR i GEO, pri čemu se projektna dejstva i uticaji od njih, kao i proračunske nosivosti tla određuju prema projektnom pristupu 3 - PP3.

projektni pristup 3 (STR/GEO PP3) - A1/A2* + M2 + R3 * - A1 - dejstva na konstrukciju;
A2 - geotehnička dejstva (kosine)
parcijalni koeficijenti se primenjuju na dejstva/uticaje i na parametre čvrstoće tla

Parcijalni koef. sigurnosti za dejstva A1

koef. sigurnosti za stalna dejstva koja povećavaju napone u tlu ispod temelja	$\gamma_{g.p.A1} := 1.35$
koef. sigurnosti za stalna dejstva koja smanjuju napone u tlu ispod temelja	$\gamma_{g.n.A1} := 1.0$
koef. sigurnosti za povremena dejstva koja povećavaju napone u tlu ispod temelja	$\gamma_{p.p.A1} := 1.5$
koef. sigurnosti za povremena dejstva koja smanjuju napone u tlu ispod temelja	$\gamma_{p.n.A1} := 0$

Parcijalni koef. sigurnosti za parametre svojstava tla M2

koef. sigurnosti za zapreminsku težinu tla γ_t	$\gamma_{\gamma.M2} := 1.0$
koef. sigurnosti za tangens ugla unutrašnjeg trenja u tlu φ	$\gamma_{\varphi.M2} := 1.25$
koef. sigurnosti za koheziju u tlu c	$\gamma_{c.M2} := 1.25$

Parcijalni koef. sigurnosti za otpor u tlu R3

koef. sigurnosti za nosivost temeljnog tla σ_{tem}	$\gamma_{R3.\sigma} := 1.0$
koef. sigurnosti za klizanje po temeljnoj spojnici	$\gamma_{R3.kl} := 1.0$

Granični uticaji koji na posmatrani plitki temelj deluju dobijaju se kombinovanjem uticaja od stalnog i od povremenog opterećenja uz primenu parcijalnih koeficijenata sigurnosti za uticaje/dejstva A1.

Dozvoljena nosivost temeljnog tla u skladu sa kojom se određuju dimenzije naležuće površine plitkog temelja dobija se uz primenu parcijalnih koeficijenata sigurnosti za parametre svojstva tla M2 i parcijalnih koeficijenata sigurnosti za otpor u tlu R3.

Proračunska nosivost temelja kao i vrednost čvrstoće materijala od kog se temelj gradi određuje se u skladu sa Evrokodom 2 za betonske konstrukcije.

Zajednički temelji

Zajednički temelji (temeljni nosači, temeljne kontragrede) su vrsta plitkih temelja koji se primenjuju za fundiranje više stubova u nizu na deformabilnom tlu manje nosivosti i/ili kada su stubovi znatno opterećeni, pa bi pojedinačni temelji samci tih stubova bili na malim međurastojanjima ili bi se dodirivali. Takođe, zajednički temelji se primenjuju i kada se javljaju neravnomerna sleganja, u konstrukcijama koje su na njih osetljive ili kada sleganja umanjuju upotrebljivost objekta. Zajednički temelji predstavljaju linijske oslonce opterećene nizom koncentrisanih sila, sa odnosom strana naležuće površine $L/B \geq 3$. Poželjno je da dužina zajedničkog temelja bude $L \leq 20$ m

Dimenzionisanje zajedničkih temelja podrazumeva:

- određivanje dimenzija naležuće površine (tj. dužine i širine temelja), na osnovu nosivosti tla, a u zavisnosti od veličine opterećenja koje se preko temelja prenosi na tlo
- određivanje visine temelja, na osnovu čvrstoće materijala od kog se temelj gradi.

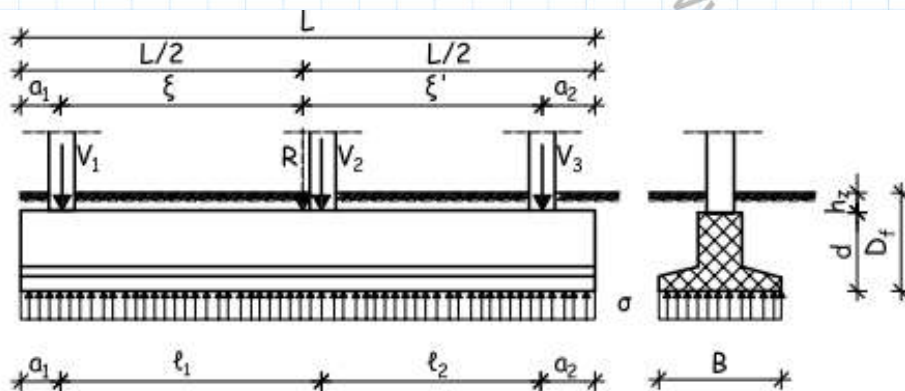
Određivanje dimenzija naležuće površine temelja

Dimenzije naležuće površine se određuju iz uslova da pritisak na tlo (od opterećenja sa konstrukcije iznad temelja, težine temelja i tla iznad temelja), na usvojenoj dubini fundiranja, bude jednak nosivosti tla. Pošto su trakasti temelji u ravnom stanju deformacija dimenzionisanje naležuće površine podrazumeva određivanje širine samo jedne lamele jedinične dužine, a usvojena širina važi za ceo temelj. Širina temelja **B** i dužina temelja **L** zaokružuju se na punih 5 cm ili 10 cm.

Kod zajedničkih temelja uvek treba težiti tome da temelj bude **centrično opterećen**, tj. da rezultanta opterećenja prolazi kroz težište kontaktne površine temelja. To se može postići na sledeće načine:

a1) dužina temelja nije ograničena

tada se izborom veličine prepusta temelja izvan krajnjih stubova može postići centrično opterećenje temelja. U tom slučaju se zajednički temelj izvodi konstantne širine naležuće površine, što je povoljno.



orijentaciono je:

$$a_i \approx (0,25 + 0,3) \cdot l_{\max}$$

l_{\max} – najveće rastojanje stubova

$$\min a_i = \frac{b}{2} + 5 \text{ cm} (\approx 50 \text{ cm})$$

b – dimenzija stuba

Postupak proračuna je sledeći:

1. Položaj rezultante opterećenja $R = \sum V_i$ u odnosu na jedan od stubova se određuje iz uslova ravnoteže:

$$\text{iz } \sum M_1 = 0 \quad \xi = \frac{\sum V_i \cdot x_i}{R} = \frac{V_2 \cdot l_1 + V_3 \cdot (l_1 + l_2)}{V_1 + V_2 + V_3}$$

odnosno, u opštem slučaju:

$$\xi = \frac{\sum V_i \cdot x_i + \sum M_i + \sum H_i \cdot d}{R}$$

$$\text{iz } \sum M_3 = 0 \quad \xi' = \frac{\sum V_i \cdot y_i}{R} = \frac{V_2 \cdot l_2 + V_1 \cdot (l_1 + l_2)}{V_1 + V_2 + V_3}$$

uz kontrolu

$$\xi + \xi' = \sum l_i$$

2. Usvoji se veličina prepusta na opterećenijem kraju prema orijentacionoj vrednosti: $a_i \approx (0,25 + 0,3) \cdot l_{\max}$

3. Dužina zajedničkog temelja je: $\frac{L}{2} = a_1 + \xi \Rightarrow L = 2 \cdot (a_1 + \xi)$

4. Veličina drugog prepusta je: $a_2 = \frac{L}{2} - \xi' \quad a_2 \geq \min a_i$

a2) dužina temelja ograničena, ali nije fiksiran položaj stubova u odnosu na temelj ovakav slučaj se ne sreće u praksi, samo u ispitnim zadacima ;-)

tada se „šetanjem“ stubova duž temelja postiže da rezultanta opterećenja prolazi kroz težište naležuće površine.

Položaj rezultante opterećenja u odnosu na krajnje stubove se određuje kao u predhodnom slučaju a1), a dužine prepusta moraju zadovoljiti uslov:

$$a_1 + \xi = a_2 + \xi' = \frac{L}{2} \quad \text{odnosno:} \quad a_1 = \frac{L}{2} - \xi \quad a_2 = \frac{L}{2} - \xi'$$

a) u oba predhodna slučaja a1) i a2)

Sa određenom dužinom temelja L tako da rezultanta opterećenja prolazi kroz težište naležuće površine **naležuća površina je centrično opterećena**, reaktivno opterećenje u tlu je ravnomerno raspodeljeno, i konstantna širina temelja B se određuje iz uslova da napon u tlu bude manji od dozvoljene nosivosti tla.

$$\sigma = \frac{\Sigma V_i + G}{F} \leq \sigma_{doz}$$

V_i, H_i, M_i	- granične presečne sile na kontaktu stubova i temelja (na dubini h_z)
G	- težina temelja i tla iznad temelja (granična vrednost)
$\Sigma V + G$	- vertikalna sila na dubini fundiranja D_f
$F = B \cdot L$	- površina naležuće površi
B	- širina temelja
L	- dužina temelja
h_z	- kota donje ivice stubova
d	- visina temelja
$D_f = h_z + d$	- dubina fundiranja temelja
γ_t	- zapreminska težina tla
$\gamma_{ab} = 25 \text{ kN/m}^3$	- zapreminska težina armiranog betona (od kog se gradi temelj)
σ_{doz}	- dozvoljena nosivost tla

Napomena: vrednosti graničnih presečnih sila i težina, kao i dozvoljena nosivost tla određuju se primenom odgovarajućih parcijalnih koeficijenata sigurnosti, i biće detaljnije objašnjene u nastavku.

Iz uslova ravnoteže:
$$\sigma = \frac{\Sigma V_i + G}{F} \leq \sigma_{doz} \quad \rightarrow \quad \Sigma V_i + G = F \cdot \sigma_{doz}$$

$$G = \gamma_{g.p.A1} \cdot F \cdot (\gamma_{ab} \cdot d + \gamma'_t \cdot h_z) = \gamma_{g.p.A1} \cdot \beta \cdot F \cdot D_f \cdot \gamma_{ab} \text{ granična težina temelja i tla iznad temelja}$$

$\gamma_{g.p.A1}$ koef. sigurnosi za stalna dejstva koja povećavaju napone u tlu

$$\beta = 1 - \frac{h_z}{D_f} \cdot \left(1 - \frac{\gamma'_t}{\gamma_{ab}} \right) \text{ koef. razlike težine tla i temelja}$$

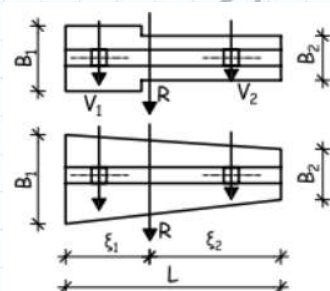
$$\Sigma V_i + G = F \cdot \sigma_{doz} \rightarrow \Sigma V_i + \gamma_{g.p.A1} \cdot \beta \cdot F \cdot D_f \cdot \gamma_{ab} = F \cdot \sigma_{doz} \rightarrow F = \frac{\Sigma V_i}{\sigma_{doz} - \gamma_{g.p.A1} \cdot \beta \cdot D_f \cdot \gamma_{ab}} = \frac{\Sigma V_i}{\sigma_{doz.neto}}$$

$$\sigma_{doz.neto} = \sigma_{doz} - \gamma_{g.p.A1} \cdot \beta \cdot D_f \cdot \gamma_{ab} \text{ neto dozvoljena nosivost tla (umanjena za težinu temelja i tla iznad temelja)}$$

b) dužina temelja ograničena i fiksiran položaj stubova u odnosu na temelj

tada se projektuje temelj promeljive širine tako da se težište osnove poklopi sa položajem rezultante spoljašnjeg opterećenja.

Kada se projektuje temelj promenljive širine, promena širine može biti stepenasta ili linearna.



Određivanje vrednosti graničnih presečnih sila

Vertikalne sile uvek povećavaju napone u tlu, pa je njihova granična vrednost:

$$V = \gamma_{g.p.A1} \cdot V_g + \gamma_{p.p.A1} \cdot V_p \quad \gamma_{g.p.A1} = 1.35 \quad \gamma_{p.p.A1} = 1.5$$

Vrednost **graničnog momenta savijanja** (analogno i horizontalne sile) zavisi od smerova delovanja momenata (odnosno sile) usled stalnog i povremenog opterećenja:

a) kada momenti od stalnog i od povremenog opterećenja deluju u istom smeru, tada oni zajedno povećavaju napone u tlu ispod temelja, pa je:

$$M = \gamma_{g.p.A1} \cdot M_g + \gamma_{p.p.A1} \cdot M_p \quad \gamma_{g.p.A1} = 1.35 \quad \gamma_{p.p.A1} = 1.5$$

b) kada momenti od stalnog i od povremenog opterećenja deluju u suprotnim smerovima, tada jedan smanjuje napone u tlu izazvane drugim, pa se razmatraju sledeće 2 mogućnosti:

$$M_1 = \gamma_{g.p.A1} \cdot M_g + \gamma_{q.n.A1} \cdot M_p \quad \gamma_{g.p.A1} = 1.35 \quad \gamma_{p.n.A1} = 0 \quad \text{deluje u smeru } M_g$$

$$M_2 = \gamma_{g.n.A1} \cdot M_g + \gamma_{p.p.A1} \cdot M_p \quad \gamma_{g.n.A1} = 1 \quad \gamma_{p.p.A1} = 1.5 \quad \text{momenti } M_g \text{ i } M_p \text{ su suprotnog znaka}$$

M_2 deluje u smeru M_p ako je $1.5|M_p| > |M_g|$, a u smeru M_g ako je $1.5|M_p| < |M_g|$

$$M = \max(|M_1|, |M_2|) \quad (M_2 \text{ je merodavan samo ako je } M_p \gg M_g)$$

c) kada je moment savijanja od povremenog opterećenja alternativnog znaka (tj. promenljiv, može delovati u oba smera), tada se svaki smer njegovog delovanja posebno analizira, odnosno, analiziraju se obe predhodno date varijante (i pod a) i pod b)).

Dozvoljena nosivost tla

Dozvoljena nosivost tla se određuje na osnovu granične nosivosti tla $\sigma_{doz} = \frac{q_f}{\gamma_{R3,\sigma}}$ $\gamma_{R3,\sigma} = 1$

Granična nosivost tla q_f : $q_f = c' \cdot N_c \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q + 0.5 \cdot \gamma'_t \cdot B \cdot N_\gamma \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma$

zapreminska težina tla	γ_t	dubina fundiranja	D_f	
kohezija u tlu	c	širina temelja	B	
ugao unutrašnjeg trenja u tlu	φ	dužina temelja	L	$L \gg B$

$\gamma'_t = \frac{\gamma_t}{\gamma_{\gamma.M2}}$ $\gamma_{\gamma.M2} = 1$ opterećenje na nivou spojnice $q' = \gamma'_t \cdot D_f$

$\tan(\varphi') = \frac{\tan(\varphi)}{\gamma_{\varphi.M2}}$ $\gamma_{\varphi.M2} = 1.25$ $c' = \frac{c}{\gamma_{c.M2}}$ $\gamma_{c.M2} = 1.25$

faktori nosivosti **N**

$$N_q = \left(\tan \left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2} \right) \right)^2 \cdot \exp(\pi \cdot \tan(\varphi')) \quad N_c = (N_q - 1) \cdot \cot(\varphi') \quad N_\gamma = 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi')$$

faktori oblika temeljne spojnice - za zajednički temelj $L \gg B$	s	$s_q := 1$	$s_c := 1$	$s_\gamma := 1$
faktori nagiba temeljne spojnice - za horiz. temeljnu spojnicu	b	$b_q := 1$	$b_c := 1$	$b_\gamma := 1$
faktori nagiba opterećenja - za centrisan temelj	i	$i_q := 1$	$i_\gamma := 1$	$i_c := 1$

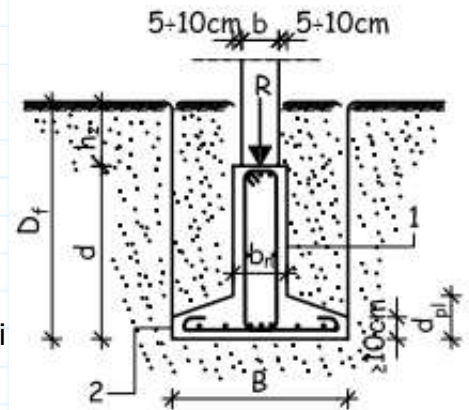
Dimenzionisanje temelja - određivanje visine nosača i debljine temeljne ploče i njihovo armiranje

U statičkom smislu zajednički temelji su obrnuti gredni nosači - na više oslonaca (od stubova) odozgo, opterećeni otporom tla odozdo.

Zajednički temelji (kontragrede) se najčešće izvode poprečnog preseka oblika obrnuto T, odnosno ploče ojačane rebrom sa gornje strane. U tom slučaju razlikujemo dva dela temelja:

- 1 – **temeljni nosač** (rebro), dimenzija b_n i d
- 2 – **temeljna ploča**, dimenzija B i d_{pl} .

Retko, za manje visine i/ili širine temelja, zajednički temelji mogu biti konstantne visine (pravougaonog preseka), dimenzija B i d .



Širina temeljne ploče B se određuje iz uslova nosivosti temeljnog tla, kao što je već objašnjeno. **Širina temeljnog nosača b_n** se određuje iz konstruktivnih uslova kao $b_n = b + 2 \cdot (5 \div 10)$ cm (zbog lakšeg oslanjanja oplata stuba).

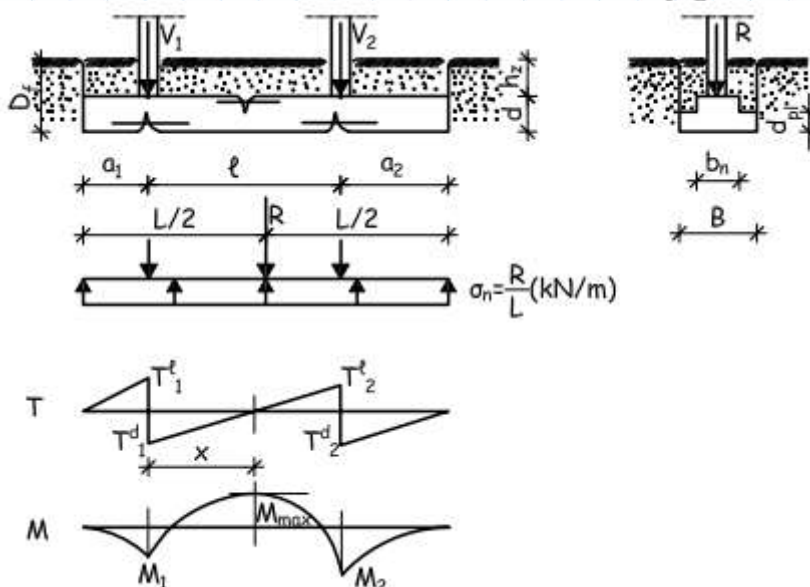
Visina temeljnog nosača d i debljina temeljne ploče d_{pl} određuju se iz uslova nosivosti materijala od kog je temelj napravljen. Visina temelja d se određuje prema graničnim uticajima (M i T) u podužnom pravcu, a debljina temeljne ploče d_{pl} prema graničnim uticajima (M i T) u poprečnom pravcu. Dimenzije preseka po visini temelja zaokružuju se na punih 5 cm ili 10 cm.

Visina temeljnog nosača - uticaji u podužnom pravcu

Na određivanje visine temelja utiče samo spoljašnje opterećenje sa konstrukcije (bez težine temelja i tla iznad temelja), odnosno nosač je opterećen neto reaktivnim opterećenjem u podužnom pravcu:

$$\sigma_n = \frac{\Sigma V_i}{F} \cdot B = \frac{\Sigma V_i}{L}$$

Kada se na zajednički temelj oslanjaju 2 stuba, temelj je u statičkom smislu statički određeni sistem - greda s prepustima opterećena otporom tla.



Preseci ispod stubova su merodavni za određivanje visine temeljnog nosača (prema M i prema T), kao i potrebne količine podužne armature u donjoj zoni (usled M) i poprečne armature - uzengija (usled T). Presek u sredini raspona je merodavan za određivanje potrebne količine podužne armature u gornjoj zoni (usled M).

Karakteristična čvrstoća betona pri pritisku f_{ck}

EC2 $C f_{ck}/f_{ck,cube}$ [MPa/MPa] $f_{ck} < f_{ck,cube}$

Računska čvrstoća betona pri pritisku f_{cd}

EC2 $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$ $\alpha_{cc} = 0.85$ uticaj dugotrajnog dejstva
 $\gamma_c = 1.5$ koef. sigurnosti za beton

$C f_{ck}/f_{ck,cube}$	12/15	16/20	20/25	25/30	30/37	35/45	40/50	45/55	50/60
f_{cd} [MPa]	6.8	9.07	11.33	14.17	17	20.97	22.67	25.5	28.33

Granica razvlačenja armature f_{yk}

EC2 $B f_{yk} Y$ [MPa] $\sigma_v \approx f_{yk}$ **B 500 B**

Računska čvrstoća armature pri zatezanju f_{yd}

EC2 $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$ $\gamma_s = 1.15$ koef. sigurnosti za čelik
za B 500 B $f_{yd} = 434,78$ MPa

Presek ispod stuba Pritisnuta zona preseka je gornja zona, širina pritisnute zone i najmanja širina zategnute zone je širina nosača (rebra) b_n

$$M_o = \max(M_1, M_2) \quad T = \max(T_{1.l}, T_{1.d}, T_{2.l}, T_{2.d})$$

Statička visina temelja prema momentima savijanja h_M

Za izabranu vrstu loma, odnosno vrednosti graničnih dilatacija u betonu ϵ_{c2} i u armaturi ϵ_{s1} , iz tabela za dimenzionisanje se očitava vrednost bezdimenzionog koeficijenta za dimenzionisanje μ_{sd} . Za određivanje statičke visine zajedničkih temelja optimalna rešenja se dobijaju za usvojen lom po betonu i dilataciju u armaturi oko 7‰:

$$\text{za } \epsilon_{c2} / \epsilon_{s1} = 3.5 / 7 \text{ ‰} \quad \mu_{sd} := 0.197 \quad h_M = \sqrt{\frac{M_o}{0.197 \cdot b_n \cdot f_{cd}}}$$

Statička visina temelja prema transferzalnim silama h_T

Za razliku od trakastih temelja i temelja samaca, kod kojih je uslov određivanja visine temelja prema T silama bio taj da se u nosaču ne postavljaju uzengije, tj. da je smičuća nosivost betona veća od smičuće sile u preseku ($V_{Rd.c.min} \geq T$), kod zajedničkih temelja se projektuju uzengije duž nosača, a uslov za određivanje visine nosača je da je $T \approx V_{Rd.c.max}$

$$h_T = \frac{T}{0.3 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250 \text{ MPa}}\right) \cdot f_{cd} \cdot b_n}$$

Statička visina temeljnog nosača $h = \max(h_M, h_T)$

Ukupna visina temeljnog nosača $d = h + a_1$ $a_1 \geq 5 \text{ cm}$

Glavna podužna armatura

u pravcu dužine temelja L, u donjoj zoni nosača, smeštena u zoni širine b_n

$$A_{a.1} = \frac{M_o}{0.9 \cdot h \cdot f_{yd}}$$

Poprečna armatura - uzengijeza usvojeno: $\theta = 45^\circ$ $22^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ $\alpha = 90^\circ$ $m = 2, 3$ ili 4
UØ6, UØ8, UØ10, max UØ12 $A_{sw.1}$ $\rho_{w.min} = 0.07\%$ za $C \leq 20/25$ $\rho_{w.min} = 0.11\%$ za $C 25/30, 30/37, 35/45$ $\rho_{w.min} = 0.13\%$ za $C \geq 30/37$ $z = 0.9 \cdot h$

$$s_{w1} = m \cdot A_{sw.1} \cdot \frac{z \cdot f_{yd}}{T} \cdot \cot(\theta) \quad s_{w2} = \frac{m \cdot A_{sw.1}}{b} \cdot \frac{1}{\rho_{w.min}} \quad s_w = \max(s_{w1}, s_{w2})$$

 $s_{w.min} = 7.5 \text{ cm}$ uobičajeni razmaci uzengija: 7.5cm, 10cm, 12.5cm, 15cm $s_{w.max} = 0.3 \cdot d \leq 20 \text{ cm}$ (najstrožiji uslov) $\lambda = l_{o1} \cdot \left(1 - \frac{V_{Rd.c}}{T}\right)$ dužina osiguranja uzengijama l_{o1} dužina na kojoj je T sila istog znaka

$$V_{Rd.c} = \left(C_{Rd.c} \cdot MPa \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_{s1} \cdot \frac{f_{ck}}{MPa}\right)^{\frac{1}{3}} \right) \cdot b \cdot h \quad C_{Rd.c} = 0.12 \quad \rho_{s1} = \frac{A_{a.1}}{b \cdot h} \quad k = 1 + \sqrt{\frac{200 \text{ mm}}{h}}$$

vrednost T sile za koju nije potrebno osiguranje od smicanja

Presek u sredini raspona Pritisnuta zona preseka je donja zona, širina pritisnute zone je širina temelja B

$M_p = M_{max} \quad T = 0$

Statička visina temelja prema momentima savijanja h_M

kontrola vrednosti usvojene za presek ispod stuba

$$\text{za } \epsilon_{c2} / \epsilon_{s1} = 3.5 / 7 \text{ ‰} \quad \mu_{sd} := 0.197 \quad h_M = \sqrt{\frac{M_p}{0.197 \cdot B \cdot f_{cd}}} \quad h_M \leq h$$

Glavna podužna armaturau pravcu dužine temelja L, u gornjoj zoni nosača, smeštena u temeljnom nosaču širine b_n

$$A_{a.1} = \frac{M_p}{0.9 \cdot h \cdot f_{yd}}$$

Debljina temeljne ploče - uticaji u poprečnom pravcu

Temeljna ploča se tretira kao trakasti temelj ispod temeljnog nosača, i dimenzioniše se kao trakasti AB temelj ispod AB zida

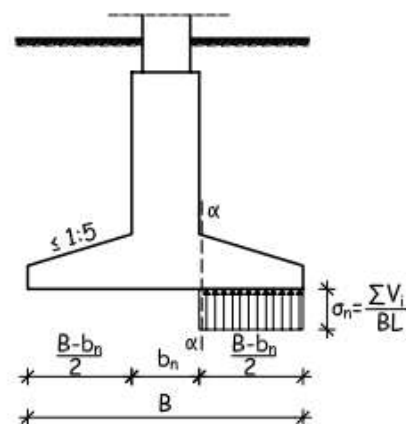
Razmatra se lamela jedinične dužine, a na određivanje debljine ploče utiče samo spoljašnje opterećenje sa konstrukcije (bez težine temelja i tla iznad temelja), odnosno nosač je opterećen neto reaktivnim opterećenjem u poprečnom pravcu (za lamelu jedinične dužine)

$$\sigma_n = \frac{\sum V_i}{F} \cdot l_1 = \frac{\sum V_i}{B \cdot L} \quad l_1 := 1 \text{ m}$$

Merodavan presek za dimenzionisanje prema M je presek α - α , a prema T presek γ - γ (na pola visine udaljen od preseka α - α). Merodavni granični uticaji su:

$$M_\alpha = \frac{\sigma_n \cdot (B - b_n)^2}{8}$$

$$T_\gamma = \sigma_n \cdot \frac{B - b_n - h_{pl}}{2}$$

(iterativno određivanje jer je h_{pl} nepoznato)

Statička visina temeljne ploče prema momentima savijanja $h_{pl.M}$

Za izabranu vrstu loma, odnosno vrednosti graničnih dilatacija u betonu ϵ_{c2} i u armaturi ϵ_{s1} , iz tabela za dimenzionisanje se očitava vrednost bezdimenzionog koeficijenta za dimenzionisanje μ_{sd} . Za određivanje statičke visine, kao i kod trakastih temelja, optimalna rešenja se dobijaju za usvojen simultani lom:

$$\text{za } \epsilon_{c2} / \epsilon_{s1} = 3.5 / 20 \text{ ‰} \quad \mu_{sd} := 0.096 \quad h_{pl.M} = \sqrt{\frac{M_{\alpha}}{0.096 \cdot l_1 \cdot f_{cd}}}$$

Statička visina temeljne ploče prema transferzalnim silama $h_{pl.T}$

Postupak je iterativan: pretpostavi se statička visina preseka $h_{pl.T}$, odredi se vrednost koeficijenta k , i sa njim nova vrednost statičke visine temelja. Postupak se ponavlja dok se k ne odredi sa tačnim $h_{pl.T}$.

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200 \text{ mm}}{h_{pl.T}}} \leq 2.0 \quad h_{pl.T} = \frac{T_{\gamma}}{0.035 \cdot \text{MPa} \cdot k^{1.5} \cdot l_1 \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}}}$$

Statička visina temeljne ploče

$$h_{pl} = \max(h_{pl.M}, h_{pl.T})$$

Ukupna visina temeljne ploče

$$d_{pl} = h_{pl} + a_1 \quad a_1 \geq 5 \text{ cm}$$

Potrebna količina armature

Glavna armatura - u pravcu širine temelja B , u donjoj zoni ploče, duž celog temelja

$$A_{a.1} = \frac{M_{\alpha}}{0.9 \cdot h \cdot f_{yd}} \quad e_{a.1} \leq 20 \text{ cm}$$

Podeona armatura - upravno na pravac glavne armature, u zonama prepusta temeljne ploče u odnosu na temeljni nosač

$$A_{a.pod} = 0.2 \cdot A_{a.1} \quad e_{a.pod} \leq 20 \text{ cm}$$

1. primer

Projektovati AB zajednički temelj ispod 2 AB stuba dimenzija $0.3 \times 0.3 \text{ m}$ na međusobnom razmaku od 8 m . Kota terena je $\pm 0.0 \text{ m}$, a donje ivice stubova na koti -0.7 m . Stubovi se fundiraju na tlu čija je zapreminska težina 19 kN/m^3 , ugao unutrašnjeg trenja 27° , kohezije nema, a NPV je ispod kote fundiranja. Stubovi su na donjoj ivici opterećeni: vertikalnim silama: levi silom od stalnog opterećenja od 492.6 kN i od povremenog od 690 kN ; desni silom od stalnog opterećenja od 818.55 kN i od povremenog od 930 kN ; momentima savijanja u pravcu dužine temelja: levi momentom od stalnog opterećenja od 90 kNm i od povremenog od 119 kNm (oba u smeru suprotno od kazaljke sata). Temelj projektovati u skladu sa odredbama Evrokoda (EC7 i EC2).

Stubovi	$b := 30 \text{ cm}$	$l := 8 \text{ m}$	$h_z := 70 \text{ cm}$
Tlo	$\gamma_t := 19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$	$\varphi := 27^\circ$	$c := 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
Stalno opterećenje	$V_{g.1} := 492.6 \text{ kN}$	$V_{g.2} := 818.55 \text{ kN}$	$M_{g.1} := -90 \text{ kN} \cdot \text{m}$
Povremeno opterećenje	$V_{p.1} := 690 \text{ kN}$	$V_{p.2} := 930 \text{ kN}$	$M_{p.1} := -119 \text{ kN} \cdot \text{m}$
Temelj	$\gamma_{ab} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$	Napomena: u zadatku je kao pozitivan smer momenta usvojen smer kazaljke sata (i smer sile i pomeranje u desno)	

1. Nosivost temeljnog tla

pretpostavlja se dubina fundiranja	$D_f := 2 \text{ m}$	visina temelja	$d := D_f - h_z = 1.3 \text{ m}$
pretpostavlja se širina temelja	$B := 1.2 \text{ m}$	dužina temelja	$L \gg B$

$$\gamma_{\gamma.M2} = 1 \quad \gamma_{c.M2} = 1.25 \quad \gamma_{\varphi.M2} = 1.25$$

$$\gamma'_t := \frac{\gamma_t}{\gamma_{\gamma.M2}} = 19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad c' := \frac{c}{\gamma_{c.M2}} = 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \varphi' := \text{atan} \left(\frac{\tan(\varphi)}{\gamma_{\varphi.M2}} \right) = 22.177^\circ$$

opterećenje na nivou spojnice $q' := \gamma'_t \cdot D_f = 38 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

$$N_q := \left(\tan \left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2} \right) \right)^2 \cdot \exp(\pi \cdot \tan(\varphi')) = 7.963 \quad s_q := 1 \quad b_q := 1 \quad i_q := 1$$

$$N_c := (N_q - 1) \cdot \cot(\varphi') = 17.082 \quad s_c := 1 \quad b_c := 1 \quad i_c := 1$$

$$N_\gamma := 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi') = 5.676 \quad s_\gamma := 1 \quad b_\gamma := 1 \quad i_\gamma := 1$$

$$q_f := c' \cdot N_c \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q + 0.5 \cdot \gamma_t \cdot B \cdot N_\gamma \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma = 367.297 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_{doz} := \frac{q_f}{\gamma_{R3.\sigma}} = 367.297 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \gamma_{R3.\sigma} = 1$$

koef. razlike težine temelja i tla $\beta := 1 - \frac{h_z}{D_f} \cdot \left(1 - \frac{\gamma'_t}{\gamma_{ab}} \right) = 0.916$

neto granična nosivost tla $\sigma_{doz.neto} := \sigma_{doz} - \gamma_{g.p.A1} \cdot \beta \cdot D_f \cdot \gamma_{ab} = 305.467 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

2. Granično opterećenje na dubini fundiranja

$$V_1 := \gamma_{g.p.A1} \cdot V_{g.1} + \gamma_{p.p.A1} \cdot V_{p.1} = 1700 \text{ kN} \quad \gamma_{g.p.A1} = 1.35 \quad \gamma_{p.p.A1} = 1.5$$

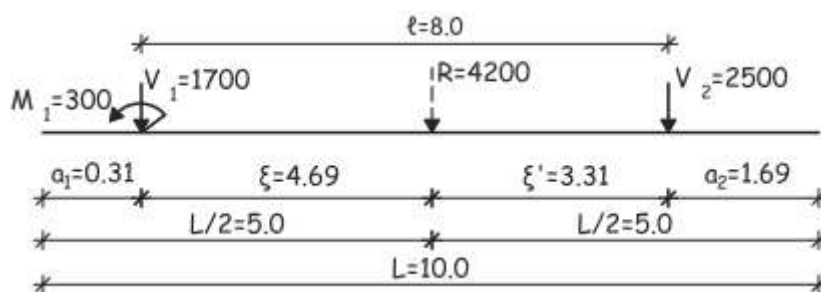
$$V_2 := \gamma_{g.p.A1} \cdot V_{g.2} + \gamma_{p.p.A1} \cdot V_{p.2} = 2500 \text{ kN}$$

$$M_1 := \gamma_{g.p.A1} \cdot M_{g.1} + \gamma_{p.p.A1} \cdot M_{p.1} = -300 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{u smeru suprotno od kazaljke sata} \quad M_1 := |M_1|$$

U ovom primeru momenti savijanja deluju samo ispod levog stuba i istog su smera, pa je rezultujući moment savijanja sa koeficijentima 1.35 i 1.5. U slučaju da su momenti različitog smera, kontrolišu se 2 varijante - sa koeficijentima 1.35 i 0, odnosno 1.0 i 1.5.

Kada ispod nekog stuba deluju i moment savijanja i horizontalna sila (od stalnog i/ili od povremenog), tada se najpre određuje rezultujući moment savijanja ispod tog stuba na nivou temeljne spojnice, tj na dubini D_f , $\Sigma M = M + H \cdot d$ (od stalnog i/ili od povremenog), a onda i odgovarajući granični moment savijanja.

3. Određivanje dužine naležuće površine temelja



$$R := V_1 + V_2 \quad R = 4200.053 \text{ kN} \quad \text{rezultanta vertikalnog opterećenja}$$

$$\text{iz uslova } \Sigma M_1 = 0 \quad \xi := \frac{V_2 \cdot l - M_1}{R} \quad \xi = 4.69 \text{ m} \quad \text{položaj rezultante u odnosu na levi stub}$$

$$\text{iz uslova } \Sigma M_2 = 0 \quad \xi' := \frac{V_1 \cdot l + M_1}{R} \quad \xi' = 3.31 \text{ m} \quad \text{položaj rezultante u odnosu na desni stub}$$

$$\text{kontrola:} \quad \xi + \xi' = 8 \text{ m} \quad \xi + \xi' = l \quad l = 8 \text{ m} \quad \text{rastojanje stubova}$$

$$\text{minimalna dužina prepusta temelja} \quad \text{mina}_i := \frac{b}{2} + 5 \text{ cm} \quad \text{mina}_i = 20 \text{ cm}$$

$$\text{usvaja se dužina levog prepusta} \quad a_1 := 31 \text{ cm} \quad (\text{levi stub je opterećeniji})$$

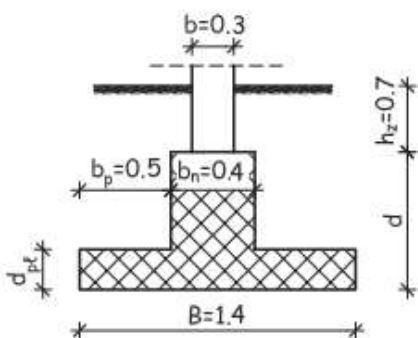
$$\text{odakle je dužina temelja:} \quad L := 2 \cdot (\xi + a_1) \quad L = 10 \text{ m}$$

$$\text{a dužina desnog prepusta} \quad a_2 := \frac{L}{2} - \xi' \quad a_2 = 1.69 \text{ m}$$

4. Određivanje širine naležuće površine temelja

$$\text{potrebna naležuća površina} \quad F := \frac{R}{\sigma_{\text{doz.neto}}} = 13.75 \text{ m}^2 \quad F = B \cdot L$$

$$\text{potrebna širina temelja} \quad B := \frac{F}{L} \quad B = 1.375 \text{ m} \quad \text{usvojeno} \quad B := 1.4 \text{ m}$$



širina temeljnog nosača

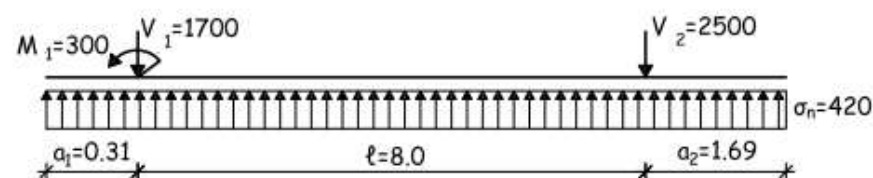
$$b_n := b + 10 \text{ cm} \quad b_n = 40 \text{ cm}$$

širina prepusta ploče

$$b_p := \frac{B - b_n}{2} \quad b_p = 50 \text{ cm}$$

5. Statički uticaji u podužnom pravcu

$$\text{neto reaktivno opterećenje tla u podužnom pravcu} \quad \sigma_n := \frac{R}{L} \quad \sigma_n = 420 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



$$T_{1.L} := \sigma_n \cdot a_1 = 130.202 \text{ kN}$$

$$T_{1.D} := T_{1.L} - V_1 = -1569.808 \text{ kN}$$

$$T_{2.L} := T_{1.D} + \sigma_n \cdot l = 1790.234 \text{ kN}$$

$$T_{2.D} := T_{2.L} - V_2 = -709.809 \text{ kN}$$

$$M_{1.L} := \sigma_n \cdot \frac{a_1^2}{2} = 20.181 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

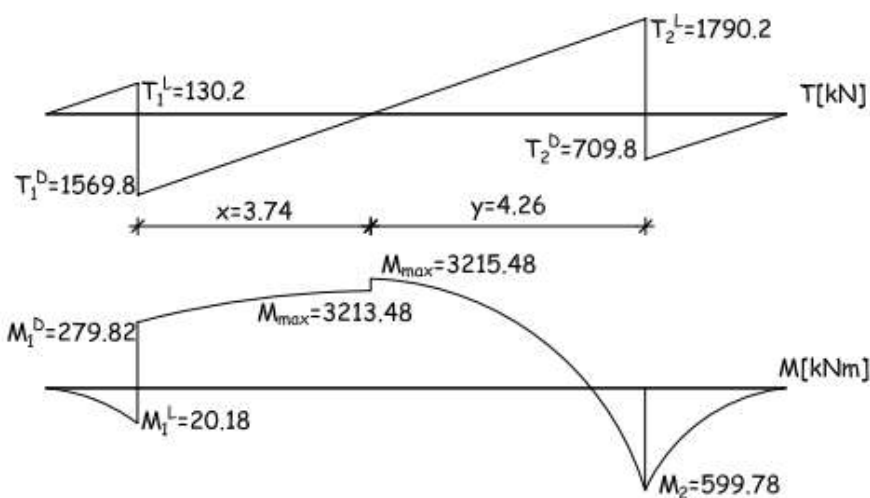
$$M_{1.D} := M_{1.L} - M_1 = -279.819 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_2 := \sigma_n \cdot \frac{a_2^2}{2} = 599.788 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$y := \frac{T_{2.L}}{T_{2.L} - T_{1.D}} \cdot l = 4.262 \text{ m}$$

$$M_{\text{max}} := V_2 \cdot y - \sigma_n \cdot \frac{(a_2 + y)^2}{2}$$

$$M_{\text{max}} = 3215.564 \text{ kN} \cdot \text{m}$$



$$\text{merodavni moment savijanja ispod stuba} \quad M_o := M_2 \quad M_o = 599.788 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{merodavni moment savijanja ispod stuba} \quad M_p := M_{\text{max}} \quad M_p = 3215.564 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{merodavna transferzalna sila} \quad T := T_{2.L} \quad T = 1790.234 \text{ kN} \quad l_{o1} := y$$

6. Određivanje visine temeljnog nosača i potrebne armature

pretpostavlja se: C 25/30, B 500 B

$$f_{ck} := 2.5 \frac{kN}{cm^2} \quad f_{cd} := 0.85 \cdot \frac{f_{ck}}{1.5} = 1.417 \frac{kN}{cm^2} \quad f_{yd} := \frac{50}{1.15} \frac{kN}{cm^2} = 43.478 \frac{kN}{cm^2}$$

Presek ispod stuba 2

$$\text{statička visina prema M} \quad h_M := \sqrt{\frac{M_o}{0.197 \cdot b_n \cdot f_{cd}}} \quad h_M = 73.3 \text{ cm}$$

$$\text{statička visina prema T} \quad h_T := \frac{T}{0.3 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250 \text{ MPa}}\right) \cdot f_{cd} \cdot b_n} \quad h_T = 117 \text{ cm}$$

$$\text{statička visina} \quad h := \max(h_M, h_T) \quad h = 117.009 \text{ cm}$$

$$\text{ukupna visina temeljnog nosača} \quad d := h + 7 \text{ cm} \quad d = 124 \text{ cm} \quad \text{usvojeno} \quad d := 130 \text{ cm}$$

$$\text{stvarna statička visina temeljnog nosača} \quad h := d - 7 \text{ cm} \quad h = 123 \text{ cm}$$

$$\text{dubina fundiranja} \quad D_f := d + h_z \quad D_f = 2 \text{ m}$$

Glavna podužna armatura

u pravcu dužine temelja L, u donjoj zoni nosača, smeštena u zoni širine b_n

$$A_{a.1} := \frac{M_o}{0.9 \cdot h \cdot f_{yd}} \quad A_{a.1} = 12.462 \text{ cm}^2$$

$$\text{usvojeno: } \mathbf{5\text{Ø}18} \quad stvA_{a.1} := 12.72 \text{ cm}^2$$

Poprečna armatura - uzengije

$$\theta := 45^\circ \quad \text{sečnost uzengija} \quad m := 4 \quad \text{UØ10} \quad A_{sw.1} := 0.79 \text{ cm}^2$$

$$\text{za C 25/30} \quad \rho_{w.min} := 0.11\% \quad \text{krak unutrašnjih sila} \quad z := 0.9 \cdot h \quad z = 110.7 \text{ cm}$$

$$\text{rastojanje uzengija} \quad s_{w1} := m \cdot A_{sw.1} \cdot \frac{z \cdot f_{yd} \cdot \cot(\theta)}{T} \quad s_{w1} = 8.496 \text{ cm}$$

$$s_{w2} := \frac{m \cdot A_{sw.1}}{b} \cdot \frac{1}{\rho_{w.min}} \quad s_{w2} = 95.758 \text{ cm}$$

usvojeno: **m=4 UØ10/7.5cm**

$$c_{Rd.c} := 0.12 \quad k := 1 + \sqrt{\frac{200 \text{ mm}}{h}} \quad k = 1.403 \quad \rho_{s1} := \frac{A_{a.1}}{b \cdot h} \quad \rho_{s1} = 0.003$$

$$V_{Rd.c} := \left(c_{Rd.c} \cdot \text{MPa} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_{s1} \cdot \frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\frac{1}{3}} \right) \cdot b \cdot h \quad V_{Rd.c} = 126.523 \text{ kN}$$

vrednost T sile za koju nije potrebno osiguranje od smicanja

$$\text{dužina osiguranja uzengijama} \quad \lambda := l_{o1} \cdot \left(1 - \frac{V_{Rd.c}}{T} \right) \quad \lambda = 3.961 \text{ m} \quad l_{o1} = 4.262 \text{ m}$$

Presek u sredini raspona

$$\text{kontrola statičke visine nosača} \quad \mu_{Sd} := 0.197 \quad h_M := \sqrt{\frac{M_p}{0.197 \cdot B \cdot f_{cd}}} \quad h_M = 90.719 \text{ cm} \\ h_M \leq h$$

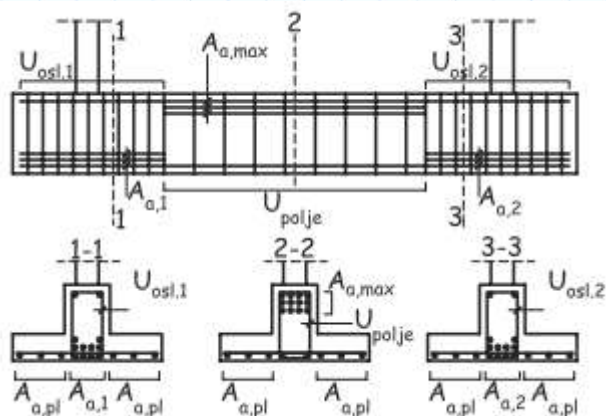
Glavna podužna armatura

u pravcu dužine temelja L, u gornjoj zoni nosača, smeštena u temeljnom nosaču širine b_n

$$A_{a.1} := \frac{M_p}{0.9 \cdot h \cdot f_{yd}} \quad A_{a.1} = 66.809 \text{ cm}^2$$

$$\text{usvojeno: } \mathbf{11\text{Ø}28} \quad stvA_{a.1} := 67.73 \text{ cm}^2$$

Šematski prikaz armature



6. Određivanje debljine temeljne ploče i potrebne armature

neto reaktivno opterećenje u poprečnom pravcu $\sigma_n := \frac{R}{B \cdot L} \cdot l_1 = 300 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ $l_1 := 1 \text{ m}$

pretpostavlja se $d_{pl} := 30 \text{ cm}$

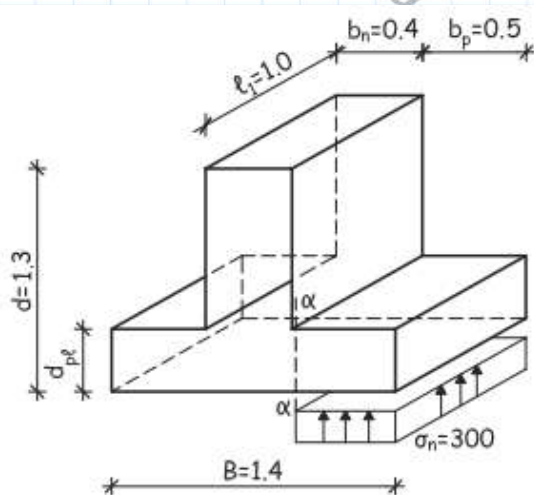
$$h_{pl} := d_{pl} - 5 \text{ cm} = 25 \text{ cm}$$

merodavni moment savijanja

$$M_\alpha := \frac{\sigma_n \cdot b_p^2}{2} = 37.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

merodavna transferzalna sila

$$T_\gamma := \sigma_n \cdot \left(b_p - \frac{h_{pl}}{2} \right) = 112.501 \text{ kN}$$



statička visina prema M $h_{pl.M} := \sqrt{\frac{M_\alpha}{0.096 \cdot l_1 \cdot f_{cd}}} = 16.605 \text{ cm}$

statička visina prema T

$$k := 1 + \sqrt{\frac{200 \text{ mm}}{h_{pl}}} = 1.894$$

$$h_{pl.T} := \frac{T_\gamma}{0.035 \cdot \text{MPa} \cdot k^{1.5} \cdot l_1 \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}}} = 24.655 \text{ cm}$$

Statička visina temeljne ploče $h_{pl} := \max(h_{pl.M}, h_{pl.T}) = 24.655 \text{ cm}$

Ukupna visina temeljne ploče $d_{pl} := h_{pl} + 5 \text{ cm}$ usvojeno $d_{pl} := 30 \text{ cm}$

stvarna statička visina $h_{pl} := d_{pl} - 5 \text{ cm}$ $h_{pl} = 25 \text{ cm}$

Glavna armatura - u pravcu širine temelja B, u donjoj zoni ploče, duž celog temelja

$$A_{a.1} := \frac{M_\alpha}{0.9 \cdot h_{pl} \cdot f_{yd}} = 3.833 \text{ cm}^2$$

usvojeno: **3Ø14** $stvA_{a.1} := 4.62 \text{ cm}^2$

Podeona armatura - upravno na pravac glavne armature, u zonama prepusta temeljne ploče u odnosu na temeljni nosač

$$A_{a.pod} := 0.2 \cdot stvA_{a.1} = 0.924 \text{ cm}^2$$

usvojeno: **2Ø12** $stvA_{a.pod} := 2.26 \text{ cm}^2$

7. Kontrola napona u tlu

Analiza opterećenja

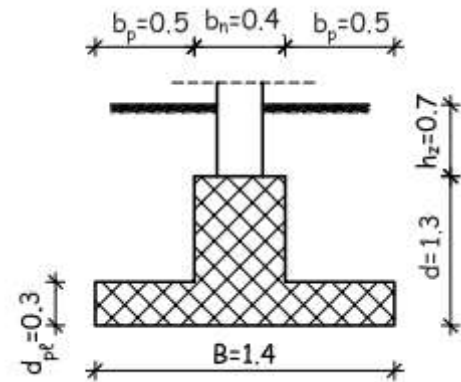
Granično opterećenje sa stubova $R = 4200 \text{ kN}$

Težina temelja

$$G_{tem} := (2 \cdot b_p \cdot d_{pl} + b_n \cdot d) \cdot L \cdot \gamma_{ab} = 205 \text{ kN}$$

Težina tla

$$G_{tla} := (2 \cdot b_p \cdot (D_f - d_{pl}) + b_n \cdot h_z) \cdot L \cdot \gamma'_t = 376.2 \text{ kN}$$



$$\Sigma V := R + \gamma_{g.p.A1} \cdot (G_{tem} + G_{tla}) = 4984.673 \text{ kN}$$

Rezultanta opterećenja deluje
u težištu temelja, pa je:

$$\Sigma M := 0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma_u := \frac{\Sigma V}{B \cdot L} = 356.048 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_u < \sigma_{doz}$$

$$\sigma_{doz} = 367.297 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

2. primer

Projektovati AB zajednički temelj dužine 8m ispod 2 AB stuba dimenzija 0.3x0.3m na međusobnom razmaku od 6m. Kota terena je $\pm 0.0\text{m}$, a donje ivice stubova na koti -0.5m . Stubovi se fundiraju na tlu čija je zapreminska težina 17kN/m^3 , ugao unutrašnjeg trenja 29.5° , kohezija 11kN/m^2 , a NPV je ispod kote fundiranja. Stubovi su na donjoj ivici opterećeni: vertikalnim silama: levi silom od stalnog opterećenja od 492.5kN i od povremenog od 690kN ; desni silom od stalnog opterećenja od 818.5kN i od povremenog od 930kN ; horizontalnim silama u pravcu dužine temelja: desni silom od stalnog opterećenja od 29.65kN i od povremenog od 40kN (obe u levo). Temelj projektovati u skladu sa odredbama Evrokoda (EC7 i EC2).

Stubovi	$b := 50 \text{ cm}$	$l := 6 \text{ m}$	$h_z := 50 \text{ cm}$
Tlo	$\gamma_t := 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$	$\varphi := 30^\circ$	$c := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
Stalno opterećenje	$V_{g,1} := 492.6 \text{ kN}$	$V_{g,2} := 437.1 \text{ kN}$	$H_{g,2} := -29.65 \text{ kN}$
Povremeno opterećenje	$V_{p,1} := 690 \text{ kN}$	$V_{p,2} := 540 \text{ kN}$	$H_{p,2} := -40 \text{ kN}$
Temelj	$L := 8 \text{ m}$	$\gamma_{ab} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$	Napomena: u zadatku je kao pozitivan smer momenta usvojen smer kazaljke sata (i smer sile i pomeranje u desno)

1. Nosivost temeljnog tlapretpostavlja se dubina fundiranja $D_f := 1.4 \text{ m}$ visina temelja $d := D_f - h_z = 0.9 \text{ m}$ pretpostavlja se širina temelja $B := 0.8 \text{ m}$ dužina temelja $L \gg B$

$$\gamma_{\gamma.M2} = 1$$

$$\gamma_{c.M2} = 1.25$$

$$\gamma_{\varphi.M2} = 1.25$$

$$\gamma'_t := \frac{\gamma_t}{\gamma_{\gamma.M2}} = 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$c' := \frac{c}{\gamma_{c.M2}} = 8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\varphi' := \text{atan} \left(\frac{\tan(\varphi)}{\gamma_{\varphi.M2}} \right) = 24.791^\circ$$

opterećenje na nivou spojnice

$$q' := \gamma'_t \cdot D_f = 28 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$N_q := \left(\tan \left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2} \right) \right)^2 \cdot \exp(\pi \cdot \tan(\varphi')) = 10.431 \quad s_q := 1 \quad b_q := 1 \quad i_q := 1$$

$$N_c := (N_q - 1) \cdot \cot(\varphi') = 20.418 \quad s_c := 1 \quad b_c := 1 \quad i_c := 1$$

$$N_\gamma := 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi') = 8.712 \quad s_\gamma := 1 \quad b_\gamma := 1 \quad i_\gamma := 1$$

$$q_f := c' \cdot N_c \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q + 0.5 \cdot \gamma_t \cdot B \cdot N_\gamma \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma = 525.1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_{doz} := \frac{q_f}{\gamma_{R3,\sigma}} = 525.1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \gamma_{R3,\sigma} = 1$$

$$\text{koef. razlike težine temelja i tla} \quad \beta := 1 - \frac{h_z}{D_f} \cdot \left(1 - \frac{\gamma'_t}{\gamma_{ab}} \right) = 0.929$$

$$\text{neto granična nosivost tla} \quad \sigma_{doz.neto} := \sigma_{doz} - \gamma_{g.p.A1} \cdot \beta \cdot D_f \cdot \gamma_{ab} = 481.225 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

2. Granično opterećenje na dubini fundiranja

$$V_1 := \gamma_{g.p.A1} \cdot V_{g.1} + \gamma_{p.p.A1} \cdot V_{p.1} = 1700 \text{ kN} \quad \gamma_{g.p.A1} = 1.35 \quad \gamma_{p.p.A1} = 1.5$$

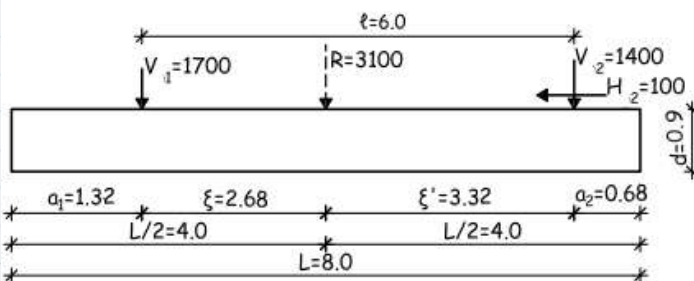
$$V_2 := \gamma_{g.p.A1} \cdot V_{g.2} + \gamma_{p.p.A1} \cdot V_{p.2} = 1400 \text{ kN}$$

$$H_2 := \gamma_{g.p.A1} \cdot H_{g.2} + \gamma_{p.p.A1} \cdot H_{p.2} = -100 \text{ kN} \quad \text{u levo} \quad H_2 := |H_2|$$

$$M_2 := H_2 \cdot d = 90 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{u smeru suprotno od kazaljke sata}$$

Ukupna granična horiz. sila pravi granični moment savijanja na dubini fundiranja ispod desnog stuba.

3. Određivanje dužine naležuće površine temelja



$$R := V_1 + V_2 \quad R = 3100 \text{ kN} \quad \text{rezultanta vertikalnog opterećenja}$$

$$\text{iz uslova } \Sigma M_1 = 0 \quad \xi := \frac{V_2 \cdot l - M_2}{R} \quad \xi = 2.68 \text{ m} \quad \text{položaj rezultante u odnosu na levi stub}$$

$$\text{iz uslova } \Sigma M_2 = 0 \quad \xi' := \frac{V_1 \cdot l + M_2}{R} \quad \xi' = 3.32 \text{ m} \quad \text{položaj rezultante u odnosu na desni stub}$$

$$\text{kontrola:} \quad \xi + \xi' = 6 \text{ m} \quad \xi + \xi' = l \quad l = 6 \text{ m} \quad \text{rastojanje stubova}$$

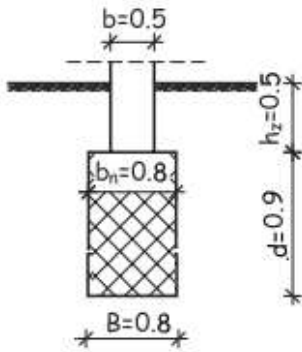
$$\text{dužina levog prepusta} \quad a_1 := \frac{L}{2} - \xi \quad a_1 = 1.32 \text{ m}$$

$$\text{dužina desnog prepusta} \quad a_2 := \frac{L}{2} - \xi' \quad a_2 = 0.68 \text{ m}$$

4. Određivanje širine naležuće površine temelja

$$\text{potrebna naležuća površina} \quad F := \frac{R}{\sigma_{doz.neto}} = 6.442 \text{ m}^2 \quad F = B \cdot L$$

potrebna širina temelja $B := \frac{F}{L}$ $B = 0.805 \text{ m}$ usvojeno $B := 0.8 \text{ m}$



u ovom slučaju je potrebna širina temelja mala, pa je neracionalno projektovati temelj obrnutog T preseka, jer bi širine prepusta bile neekonomične:

$$b_n := b + 10 \text{ cm} \quad b_n = 60 \text{ cm}$$

$$b_p := \frac{B - b_n}{2} \quad b_p = 10 \text{ cm}$$

zato se usvaja temelj konstantne širine $b_n := B = 0.8 \text{ m}$

5. Statički uticaji u podužnom pravcu

neto reaktivno opterećenje tla u podužnom pravcu $\sigma_n := \frac{R}{L} \quad \sigma_n = 387.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

$$T_{1,L} := \sigma_n \cdot a_1 = 511.516 \text{ kN} \quad M_1 := \sigma_n \cdot \frac{a_1^2}{2} = 337.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$T_{1,D} := T_{1,L} - V_1 = -1188.494 \text{ kN} \quad M_{2,D} := \sigma_n \cdot \frac{a_2^2}{2} = 89.593 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$T_{2,L} := T_{1,D} + \sigma_n \cdot l = 1136.577 \text{ kN} \quad M_{2,L} := M_{2,D} + M_2 = 179.617 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$T_{2,D} := T_{2,L} - V_2 = -263.508 \text{ kN} \quad y := \frac{T_{2,L}}{T_{2,L} - T_{1,D}} \cdot l = 2.933 \text{ m} \quad x := l - y = 3.067 \text{ m}$$

$$M_{max} := V_2 \cdot y - M_2 - \sigma_n \cdot \frac{(a_2 + y)^2}{2} = 1487.179 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

merodavni moment savijanja $M_p := M_{max} \quad M_p = 1487.179 \text{ kN} \cdot \text{m}$

merodavna transferzalna sila $T := |T_{1,D}| \quad T = 1188.494 \text{ kN} \quad l_{o1} := x = 3.067 \text{ m}$

Pošto je temelj stalne širine, to je merodavan presek za dimenzionisanje prema M presek sa brojno najvećim momentom, tj presek u sredini raspona

6. Određivanje visine temeljnog nosača

pretpostavlja se: C 25/30, B 500 B

$$f_{ck} := 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad f_{cd} := 0.85 \cdot \frac{f_{ck}}{1.5} = 1.417 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad f_{yd} := \frac{50}{1.15} \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 43.478 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

statička visina prema M $h_M := \sqrt{\frac{M_p}{0.197 \cdot B \cdot f_{cd}}} \quad h_M = 81.615 \text{ cm}$

statička visina prema T $h_T := \frac{T}{0.3 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250 \text{ MPa}}\right) \cdot f_{cd} \cdot b_n} \quad h_T = 38.8 \text{ cm}$

statička visina $h := \max(h_M, h_T) \quad h = 81.615 \text{ cm}$

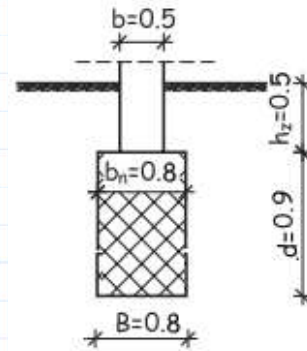
ukupna visina temeljnog nosača $d := h + 7 \text{ cm} \quad d = 88.6 \text{ cm}$ usvojeno $d := 90 \text{ cm}$

stvarna statička visina temeljnog nosača $h := d - 7 \text{ cm} \quad h = 83 \text{ cm}$

dubina fundiranja $D_f := d + h_z \quad D_f = 1.4 \text{ m}$

6. Kontrola napona u tlu

Analiza opterećenja

Granično opterećenje sa stubova $R = 3100 \text{ kN}$ Težina temelja $G_{tem} := B \cdot d \cdot L \cdot \gamma_{ab} = 144 \text{ kN}$ Težina tla $G_{tla} := B \cdot h_z \cdot L \cdot \gamma'_t = 64 \text{ kN}$ 

$$\Sigma V := R + \gamma_{g.p.A1} \cdot (G_{tem} + G_{tla}) = 3380.9 \text{ kN}$$

Rezultanta opterećenja deluje
u težištu temelja, pa je:

$$\Sigma M := 0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma_u := \frac{\Sigma V}{B \cdot L} = 528.26 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \sigma_u \approx \sigma_{doz}$$

$$\sigma_{doz} = 525.1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\Delta \sigma := \frac{\sigma_{doz} - \sigma_u}{\sigma_{doz}} = -0.603\%$$

prekoračenje dopuštenog
napona u tlu