

## Plitko fundiranje - trakasti temelji i temelji samci

**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 $\gamma_t$	$\gamma_{\gamma.M2} := 1.0$
koef. sigurnosti za tangens ugla unutrašnjeg trenja u tlu $\varphi$	$\gamma_{\varphi.M2} := 1.25$
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 $\sigma_{tem}$	$\gamma_{R3.\sigma} := 1.0$
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.

## Trakasti temelji

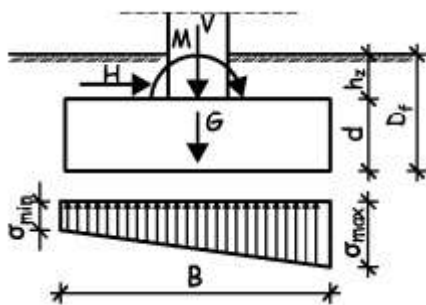
**Trakasti temelji** su plitki temelji koji se primenjuju za fundiranje zidova. Trakasti temelji su linijski oslonci za koje je dužina temelja  $L$  veća dve širine temelja  $B$  -  $L > 2 \cdot B$ . Da bi se temelj mogao tretirati kao trakasti neophodno je da je opterećen ujednačenim linijskim raspodeljenim opterećenjem i da su uslovi oslanjanja duž temelja isti. Kada su ti uslovi zadovoljeni trakasti temelj se nalazi u ravnom stanju deformacija, odnosno deformacije postoje samo u jednoj ravni – vertikalnoj ravni poprečnog preseka. U tom slučaju uticaji u svim presecima su isti, pa se za trakaste temelje proračunava samo jedna lamela jedinične dužine ( $l_1=1\text{m}$ ), a dobijene dimenzije važe za bilo koju lamelu trakastog temelja, odnosno za ceo temelj.

**Dimenzionisanje trakastih temelja** podrazumeva:

- određivanje dimenzija naležuće površine (tj. 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

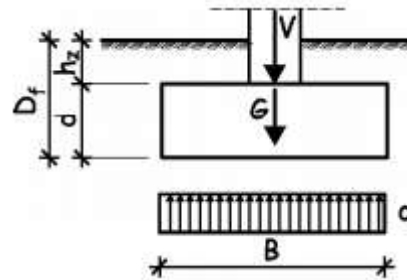
**Dimenzije naležuće površine** se određuju iz uslova da pritisak na tlo (od opterećenja sa konstrukcije iznad temelja, težine temelja i tla iznad temelja), na usvojenoj dubini fundiranja, bude jednak nosivosti tla. Pošto su trakasti temelji u ravnom stanju deformacija dimenzionisanje naležuće površine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



Uslov ravnoteže:

$$\sigma_{max} = \frac{V + G}{F} + \frac{\Sigma M}{W} \leq \sigma_{doz}$$

$V, H, M$	- granične presečne sile na kontaktu zida i temelja (na dubini $h_z$ )
$G$	- težina temelja i tla iznad temelja (granična vrednost)
$V + G$	- vertikalna sila na dubini fundiranja $D_f$
$\Sigma M = M + H \cdot d$	- moment savijanja na dubini fundiranja $D_f$
$F = B \cdot l_1$	- površina naležuće površi
$W = B^2 \cdot l_1 / 6$	- otporni moment naležuće površi
$B$	- širina temelja
$l_1 = 1\text{m}$	- dužina jedinične lamele temelja
$h_z$	- kota donje ivice zida
$d$	- visina temelja
$D_f = h_z + d$	- dubina fundiranja temelja
$\gamma_t$	- zapreminska težina tla
$\gamma_{ab} = 25\text{kN/m}^3$	- zapreminska težina armiranog betona (od kog se gradi temelj)
$\sigma_{doz}$	- dozvoljena nosivost tla



Uslov ravnoteže:

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

**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.

**Za centrično opterećen trakasti temelj** (desna slika na predhodnoj strani):

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

$$G = \gamma_{g.p.A1} \cdot F \cdot (\gamma_{ab} \cdot d + \gamma'_t \cdot h_z) = \gamma_{g.p.A1} \cdot \beta \cdot F \cdot D_f \cdot \gamma_{ab}$$

granična težina temelja i tla iznad temelja

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

$$\beta = 1 - \frac{h_z}{D_f} \cdot \left(1 - \frac{\gamma'_t}{\gamma_{ab}}\right)$$

koef. razlike težine tla i temelja

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

$$\sigma_{doz.neto} = \sigma_{doz} - \gamma_{g.p.A1} \cdot \beta \cdot D_f \cdot \gamma_{ab}$$

neto dozvoljena nosivost tla (umanjena za težinu temelja i tla iznad temelja)

**Za ekscentrično opterećen trakasti temelj** (leva slika na predhodnoj strani):

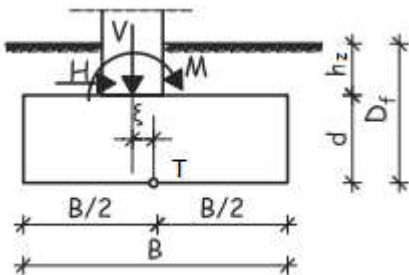
Iz uslova ravnoteže: 
$$\sigma_{max} = \frac{V+G}{F} + \frac{\Sigma M}{W} \leq \sigma_{doz}$$

analognim postupkom se dobija kvadratna jednačina za određivanje potrebne širine temelja:

$$B^2 \cdot \sigma_{doz.neto} - B \cdot V - 6 \cdot \Sigma M = 0$$

**Centrično opterećeni temelji** su povoljniji jer je kod njih raspodela napona u tlu ispod temelja ravnomernija, pa su i sleganja u tlu ispod temelja manja (a da ne spominjemo jednostavnije uslove ravnoteže i lakše određivanje dimenzija naležuće površine). Zbog toga se, kad god je to moguće, temelji **centrišu**.

**Centrisanje temelja** podrazumeva pomeranje položaja težišta naležuće površine temelja u odnosu na težište konstruktivnog elementa iznad temelja (zida kod trakastih temelja), u cilju eliminacije momenata savijanja u nivou temeljne spojnice. Prema EC7 temelj se centriše za granično opterećenje.



U opštem slučaju je:

$$\Sigma M_T = 0 \quad M + H \cdot d = V \cdot \xi \quad \rightarrow \quad \xi = \frac{M + H \cdot d}{V}$$

Vrednost  $\xi$  za koju je potrebno pomeriti težište temelja u odnosu na težište zida, dobijena na osnovu uslova ravnoteže u težištu temeljne spojnice T, omogućava da se na nivou temeljne spojnice (tj na dubini  $D_f$ ) na tlo prenosi samo vertikalno opterećenje.

**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:

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

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

$M_2$  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  $\sigma_{doz} = \frac{q_f}{\gamma_{R3,\sigma}} \quad \gamma_{R3,\sigma} = 1$

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	$\gamma_t$	dubina fundiranja	$D_f$
kohezija u tlu	$c$	širina temelja	$B$
ugao unutrašnjeg trenja u tlu	$\varphi$	dužina temelja	$L \rightarrow \infty$

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

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

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 trakasti temelj $L \rightarrow \infty$	<b>s</b>	$s_q := 1$	$s_c := 1$	$s_\gamma := 1$
faktori nagiba temeljne spojnice - za horiz. temeljnu spojnicu	<b>b</b>	$b_q := 1$	$b_c := 1$	$b_\gamma := 1$
faktori nagiba opterećenja - za centrisan temelj	<b>i</b>	$i_q := 1$	$i_\gamma := 1$	$i_c := 1$

### Određivanje visine temelja i njegovo armiranje

**Visina temelja** određuje se iz uslova nosivosti materijala od kog je temelj napravljen.

Visina temelja **d** zaokružuje se na punih 5 cm ili 10 cm.

Opterećenje se sa zida na temeljno tlo prenosi preko temelja, a u naležućoj površini se uravnotežuje reaktivnim pritiskom - **neto graničnim kontaktnim naponom** samo usled spoljašnjeg graničnog opterećenja (bez težine temelja i tla iznad temelja)

$$\sigma_n = \frac{V}{F} + \frac{\sum M}{W} \quad \text{ako je temelj centrisan, tada je:} \quad \sigma_n = \frac{V}{F}$$

**Merodavan granični momenat savijanja** za dimenzionisanje AB trakastog temelja zavisi od krutosti zida iznad temelja, i prema Leonhardu je karakterističan presek za dimenzionisanje definisan na sledećoj slici:



**Statička visina temelja prema transferzalnim silama ht**

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

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

**Statička visina temelja**

$$h = \max(h_M, h_T)$$

**Ukupna visina temelja**

$$d = h + a_1 \quad a_1 \geq 5 \text{ cm}$$

**Potrebna količina armature**

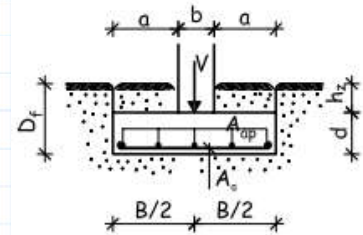
**Glavna armatura** - u pravcu širine temelja B

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

**Podeona armatura** - upravno na pravac glavne armature

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

Preporučuje se usvajanje pravih profila armature na rastojanjima manjim od 20cm.

**1. primer**

Projektovati AB temelj ispod AB zida debljine 0.4m, kota terena je  $\pm 0.0\text{m}$ , a donja ivica stuba na koti  $-1.0\text{m}$ . Zid se fundira na tlu čija je zapreminska težina  $20\text{kN/m}^3$ , ugao unutrašnjeg trenja  $29.5^\circ$ , kohezija  $11\text{kN/m}^2$ , a NPV je ispod kote fundiranja. Zid je na donjoj ivici opterećen: stalnim opterećenjem - vertikalna sila  $400\text{kN/m}$ , moment savijanja  $80\text{kNm/m}$  (u smeru kazaljke sata); povremenim opterećenjem - vertikalna sila  $200\text{kN/m}$ , moment savijanja  $\pm 40\text{kNm/m}$  (alternativnog znaka). Temelj projektovati u skladu sa odredbama Evrokoda (EC7 i EC2).

Zid	$b := 40 \text{ cm}$	$h_z := 100 \text{ cm}$	
Tlo	$\gamma_t := 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$	$\varphi := 29.5^\circ$	$c := 11 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
Stalno opterećenje	$V_g := 400 \text{ kN}$	$M_g := 80 \text{ kN} \cdot \text{m}$	
Povremeno opterećenje	$V_p := 200 \text{ kN}$	$M_p = \pm 40 \text{ kN} \cdot \text{m}$	
Temelj	$\gamma_{ab} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$	<i>Napomena: u zadatku je kao pozitivan smer momenta usvojen smer kazaljke sata (i smer sile i pomeranje u desno)</i>	

**1. Nosivost temeljnog tla**

pretpostavlja se dubina fundiranja  $D_f := 1.55 \text{ m}$  visina temelja  $d := D_f - h_z = 0.55 \text{ m}$

pretpostavlja se širina temelja  $B := 1.55 \text{ m}$  dužina temelja  $L := \infty$

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

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

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

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

$$c' := \frac{c}{\gamma_{c.M2}} = 8.8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\varphi' := \text{atan}\left(\frac{\tan(\varphi)}{\gamma_{\varphi.M2}}\right) = 24.352^\circ$$

opterećenje na nivou spojnice  $q' := \gamma'_t \cdot D_f = 31 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

$$N_q := \left( \tan \left( 45^\circ + \frac{\varphi'}{2} \right) \right)^2 \cdot \exp(\pi \cdot \tan(\varphi')) = 9.962 \quad s_q := 1 \quad b_q := 1 \quad i_q := 1$$

$$N_c := (N_q - 1) \cdot \cot(\varphi') = 19.801 \quad s_c := 1 \quad b_c := 1 \quad i_c := 1$$

$$N_\gamma := 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi') = 8.113 \quad s_\gamma := 1 \quad b_\gamma := 1 \quad i_\gamma := 1$$

$$q_f := c' \cdot N_c \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q + 0.5 \cdot \gamma_t \cdot B \cdot N_\gamma \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma = 594.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_{doz} := \frac{q_f}{\gamma_{R3,\sigma}} = 594.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \gamma_{R3,\sigma} = 1$$

$$\text{koef. razlike težine temelja i tla} \quad \beta := 1 - \frac{h_z}{D_f} \cdot \left( 1 - \frac{\gamma'_t}{\gamma_{ab}} \right) = 0.871$$

$$\text{neto granična nosivost tla} \quad \sigma_{doz.neto} := \sigma_{doz} - \gamma_{g.p.A1} \cdot \beta \cdot D_f \cdot \gamma_{ab} = 548.938 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

## 2. Centrisanje temelja

$$V := \gamma_{g.p.A1} \cdot V_g + \gamma_{p.p.A1} \cdot V_p = 840 \text{ kN} \quad \gamma_{g.p.A1} = 1.35 \quad \gamma_{p.p.A1} = 1.5$$

$$M_g = 80 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{u smeru kazaljke sata}$$

$$M_p = \pm 40 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{alternativno delovanje momenta savijanja od povremenog opterećenja}$$

Potrebno je proanalizirati oba smera delovanja momenta savijanja usled povremenog opterećenja

$$\text{kada } M_p \text{ deluje u smeru kazaljke sata} \quad M_p := 40 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \gamma_{g.p.A1} = 1.35 \quad \gamma_{p.p.A1} = 1.5$$

$$M_A := \gamma_{g.p.A1} \cdot M_g + \gamma_{p.p.A1} \cdot M_p = 168 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{u smeru kazaljke sata}$$

$$\text{kada } M_p \text{ deluje u smeru suprotno od kazaljke sata} \quad M_p := -40 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

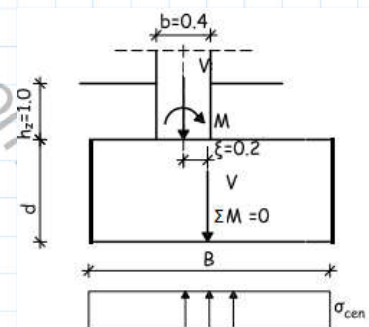
$$M_{B.1} := \gamma_{g.p.A1} \cdot M_g + \gamma_{p.n.A1} \cdot M_p = 108 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{u smeru kazaljke sata} \quad \gamma_{g.p.A1} = 1.35 \quad \gamma_{p.n.A1} = 0$$

$$M_{B.2} := \gamma_{g.n.A1} \cdot M_g + \gamma_{p.p.A1} \cdot M_p = 20 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{u smeru kazaljke sata} \quad \gamma_{g.n.A1} = 1 \quad \gamma_{p.p.A1} = 1.5$$

Dakle, u ovom zadatku je merodavan / kritičan slučaj u kome momenat savijanja usled povremenog opterećenja deluje u istom smeru u kom deluje i momenat savijanja od stalnog opterećenja.

$$M := \max(M_A, M_{B.1}, M_{B.2}) = 168 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{u smeru kazaljke sata}$$

$$\text{centrisanje temelja} \quad \xi := \frac{M}{V} = 20 \text{ cm} \quad \text{u desno}$$



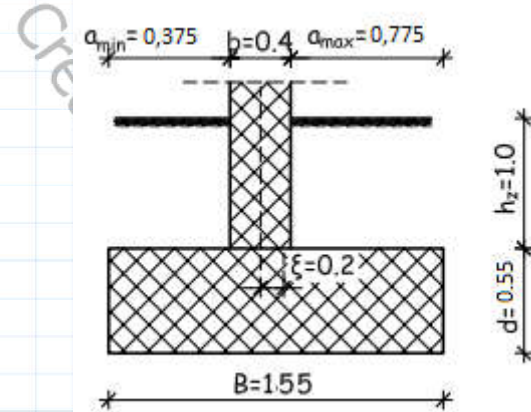
## 3. Dimenzije naležuće površine

$$\text{potrebna naležuća površina} \quad F := \frac{V}{\sigma_{doz.neto}} = 1.53 \text{ m}^2$$

kod trakastog temelja se dimenzionisanje vrši za 1m po dužini temelja, pa je:  $l_1 := 1 \text{ m}$

$$F = B \cdot l_1 \quad B := \frac{F}{l_1} = 1.53 \text{ m} \quad \text{usvojeno} \quad B := 1.55 \text{ m}$$

dimenzije temelja se **uvek** zaokružuju na punih 5cm ili 10cm



Širine prepusta temelja

$$a_{max} := \frac{B-b}{2} + \xi = 0.775 \text{ m}$$

$$a_{min} := \frac{B-b}{2} - \xi = 0.375 \text{ m}$$

#### 4. Visina temelja i potrebna armatura

neto kontaktni napon u temeljnoj spojnici  $\sigma_n := \frac{V}{B} = 541.935 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

merodavni moment savijanja  $M_\alpha := \frac{\sigma_n \cdot a_{max}^2}{2} = 162.75 \text{ kN} \cdot \text{m}$

merodavna transferzalna sila  $T_\gamma := \sigma_n \cdot (a_{max} - (d - 7 \text{ cm})) = 159.871 \text{ kN}$

pretpostavlja se: C 25/30, B 500 B

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

potrebna statička visina preseka prema momentu savijanja  $h_M := \sqrt{\frac{M_\alpha}{0.096 \cdot l_1 \cdot f_{cd}}} = 34.593 \text{ cm}$

potrebna statička visina preseka prema transferzalnoj sili

pretpostavljeno je  $d = 55 \text{ cm}$   $h := d - 7 \text{ cm} = 48 \text{ cm}$   $k := 1 + \sqrt{\frac{200 \cdot \text{mm}}{h}} = 1.645$

$$h_T := \frac{T_\gamma}{0.035 \cdot k^{1.5} \cdot \text{MPa} \cdot l_1 \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}}} = 43.28 \text{ cm}$$

$$h := \max(h_M, h_T) = 43.28 \text{ cm}$$

ukupna visina preseka  $d := h + 7 \text{ cm} = 50.28 \text{ cm}$

usvojeno  $d := 55 \text{ cm}$

$$h := d - 7 \text{ cm} = 48 \text{ cm}$$

$$D_f := d + h_z = 1.55 \text{ m}$$

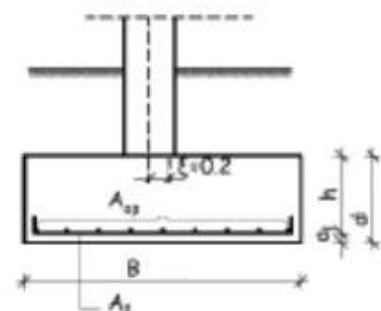
#### Potrebna količina armature

glavna armatura  $A_{a.1} := \frac{M_\alpha}{0.9 \cdot h \cdot f_{yd}} = 8.665 \text{ cm}^2$

usvojeno 8Ø12 (9.05cm<sup>2</sup>) Ø12/12.5cm

podeona armatura  $A_{a.pod} := 0.2 \cdot A_{a.1} = 1.733 \text{ cm}^2$

usvojeno 7Ø6 (1.98cm<sup>2</sup>) Ø6/15cm



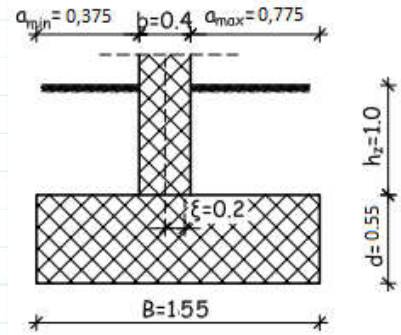
**5. Kontrola napona u tlu**

Analiza opterećenja

Granično opterećenje sa zida  $V = 840 \text{ kN}$

Težina temelja  $G_{tem} := B \cdot l_1 \cdot d \cdot \gamma_{ab} = 21.313 \text{ kN}$

Težina tla  $G_{tla} := (B - b) \cdot l_1 \cdot h_z \cdot \gamma'_t = 23 \text{ kN}$



$$\Sigma V := V + \gamma_{g.p.A1} \cdot (G_{tem} + G_{tla}) = 899.822 \text{ kN}$$

Temelj je centrisan, pa je:  $\Sigma M := 0 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$$\sigma_u := \frac{\Sigma V}{B \cdot l_1} = 580.53 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \sigma_u < \sigma_{doz} \quad \sigma_{doz} = 594.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

**2. primer**

Projektovati AB temelj ispod AB zida debljine 0.3m, kota terena je  $\pm 0.0\text{m}$ , a donja ivica stuba na koti  $-0.8\text{m}$ . Zid se fundira na tlu čija je zapreminska težina  $18.5\text{kN/m}^3$ , ugao unutrašnjeg trenja  $28^\circ$ , kohezija  $10\text{kN/m}^2$ , a NPV je ispod kote fundiranja. Zid je na donjoj ivici opterećen: stalnim opterećenjem - vertikalna sila  $310\text{kN/m}$ , moment savijanja  $120\text{kNm/m}$  (u smeru kazaljke sata), horizontalna sila  $40\text{kN/m}$  (u levo); povremenim opterećenjem - vertikalna sila  $150\text{kN/m}$ , moment savijanja  $80\text{kNm/m}$  (u smeru suprotno od kazaljke sata), horizontalna sila  $30\text{kN/m}$  (u desno). Temelj projektovati u skladu sa odredbama Evrokoda (EC7 i EC2).

Zid  $b := 30 \text{ cm}$   $h_z := 80 \text{ cm}$

Tlo  $\gamma_t := 18.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$   $\varphi := 28^\circ$   $c := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Stalno opterećenje  $V_g := 310 \text{ kN}$   $M_g := 120 \text{ kN} \cdot \text{m}$   $H_g := -40 \text{ kN}$

Povremeno opterećenje  $V_p := 150 \text{ kN}$   $M_p := -80 \text{ kN} \cdot \text{m}$   $H_p := 30 \text{ kN}$

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  $D_f := 1.30 \text{ m}$  visina temelja  $d := D_f - h_z = 0.5 \text{ m}$

pretpostavlja se širina temelja  $B := 1.55 \text{ m}$  dužina temelja  $L := \infty$

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

$\gamma_{c.M2} = 1.25$

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

$\gamma'_t := \frac{\gamma_t}{\gamma_{\gamma.M2}} = 18.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

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

$\varphi' := \text{atan} \left( \frac{\tan(\varphi)}{\gamma_{\varphi.M2}} \right) = 23.043^\circ$

opterećenje na nivou spojnice  $q' := \gamma'_t \cdot D_f = 24.05 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

$N_q := \left( \tan \left( 45^\circ + \frac{\varphi'}{2} \right) \right)^2 \cdot \exp(\pi \cdot \tan(\varphi')) = 8.7$

$s_q := 1$

$b_q := 1$

$i_q := 1$

$N_c := (N_q - 1) \cdot \cot(\varphi') = 18.102$

$s_c := 1$

$b_c := 1$

$i_c := 1$

$N_\gamma := 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi') = 6.55$

$s_\gamma := 1$

$b_\gamma := 1$

$i_\gamma := 1$

$$q_f := c' \cdot N_c \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q + 0.5 \cdot \gamma_t \cdot B \cdot N_\gamma \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma = 447.96 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_{doz} := \frac{q_f}{\gamma_{R3,\sigma}} = 447.96 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \gamma_{R3,\sigma} = 1$$

$$\text{koef. razlike težine temelja i tla} \quad \beta := 1 - \frac{h_z}{D_f} \cdot \left( 1 - \frac{\gamma'_t}{\gamma_{ab}} \right) = 0.84$$

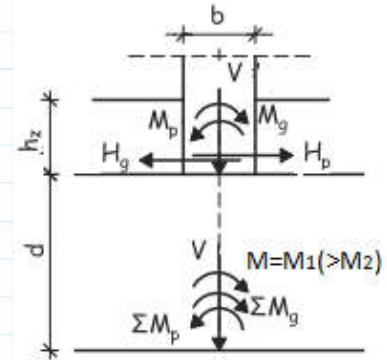
$$\text{neto granična nosivost tla} \quad \sigma_{doz.neto} := \sigma_{doz} - \gamma_{g.p.A1} \cdot \beta \cdot D_f \cdot \gamma_{ab} = 411.105 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

## 2. Centrisanje temelja

$$V := \gamma_{g.p.A1} \cdot V_g + \gamma_{p.p.A1} \cdot V_p = 643.5 \text{ kN} \quad \gamma_{g.p.A1} = 1.35 \quad \gamma_{p.p.A1} = 1.5$$

$$\Sigma M_g := M_g + H_g \cdot d = 100 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{u smeru kazaljke sata}$$

$$\Sigma M_p := M_p + H_p \cdot d = -65 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{u smeru suprotno od kazaljke sata}$$



Ukupni momenti savijanja od stalnog  $\Sigma M_g$ , tj. povremenog  $\Sigma M_p$  opterećenja, predstavljaju zbir spoljašnjeg momenta savijanja ( $M_g$ , tj.  $M_p$ ) i doprinosa horizontalne sile ( $H_g \cdot d$ , tj.  $H_p \cdot d$ ), i u ovom primeru te komponente deluju u suprotnim smerovima, pa se međusobno oduzimaju.

Ukupni momenti savijanja od stalnog  $\Sigma M_g$  i povremenog  $\Sigma M_p$  opterećenja deluju u suprotnim smerovima, pa je ukupni granični momenat jedan od sledeća 2:

$$M_1 := \gamma_{g.p.A1} \cdot \Sigma M_g + \gamma_{p.n.A1} \cdot \Sigma M_p = 135 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \gamma_{g.p.A1} = 1.35 \quad \gamma_{p.n.A1} = 0$$

$$M_2 := \gamma_{g.n.A1} \cdot \Sigma M_g + \gamma_{p.p.A1} \cdot \Sigma M_p = 2.5 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \gamma_{g.n.A1} = 1 \quad \gamma_{p.p.A1} = 1.5$$

$$M := \max(M_1, M_2) = 135 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{u smeru kazaljke sata}$$

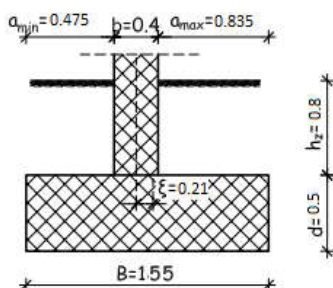
$$\text{centrisanje temelja} \quad \xi := \frac{M}{V} = 20.979 \text{ cm} \quad \text{u desno} \quad \text{usvojeno} \quad \xi := 21 \text{ cm}$$

## 3. Dimenzije naležuće površine

$$\text{potrebna naležuća površina} \quad F := \frac{V}{\sigma_{doz.neto}} = 1.565 \text{ m}^2$$

kod trakastog temelja se dimenzionisanje vrši za 1m po dužini temelja, pa je:  $l_1 := 1 \text{ m}$

$$F = B \cdot l_1 \quad B := \frac{F}{l_1} = 1.565 \text{ m} \quad \text{usvojeno} \quad B := 1.55 \text{ m}$$



širine prepusta temelja

$$a_{max} := \frac{B-b}{2} + \xi = 0.835 \text{ m}$$

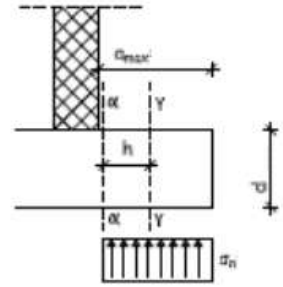
$$a_{min} := \frac{B-b}{2} - \xi = 0.415 \text{ m}$$

**4. Visina temelja i potrebna armatura**

neto kontaktni napon u temeljnoj spojnici  $\sigma_n := \frac{V}{B} = 415.161 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

merodavni moment savijanja  $M_\alpha := \frac{\sigma_n \cdot a_{\max}^2}{2} = 144.73 \text{ kN} \cdot \text{m}$

merodavna transferzalna sila  $T_\gamma := \sigma_n \cdot (a_{\max} - (d - 7 \text{ cm})) = 168.14 \text{ kN}$



pretpostavlja se: C 25/30, B 500 B

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

potrebna statička visina preseka prema momentu savijanja  $h_M := \sqrt{\frac{M_\alpha}{0.096 \cdot l_1 \cdot f_{cd}}} = 32.622 \text{ cm}$

potrebna statička visina preseka prema transferzalnoj sili

pretpostavljeno je  $d = 50 \text{ cm}$   $h := d - 6 \text{ cm} = 44 \text{ cm}$   $k := 1 + \sqrt{\frac{200 \cdot \text{mm}}{h}} = 1.674$

$$h_T := \frac{T_\gamma}{0.035 \cdot k^{1.5} \cdot \text{MPa} \cdot l_1 \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}}} = 44.353 \text{ cm}$$

$$h := \max(h_M, h_T) = 44.353 \text{ cm}$$

ukupna visina preseka  $d := h + 6 \text{ cm} = 50.353 \text{ cm}$

usvojeno  $d := 50 \text{ cm}$

$$h := d - 6 \text{ cm} = 44 \text{ cm}$$

$$D_f := d + h_z = 1.3 \text{ m}$$

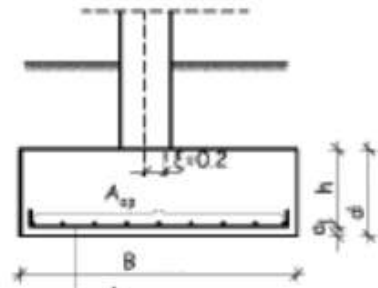
**Potrebna količina armature**

glavna armatura  $A_{a.1} := \frac{M_\alpha}{0.9 \cdot h \cdot f_{yd}} = 8.406 \text{ cm}^2$

usvojeno 8Ø12 (9.05cm<sup>2</sup>) Ø12/12.5cm

podeona armatura  $A_{a.pod} := 0.2 \cdot A_{a.1} = 1.681 \text{ cm}^2$

usvojeno 7Ø6 (1.98cm<sup>2</sup>) Ø6/15cm

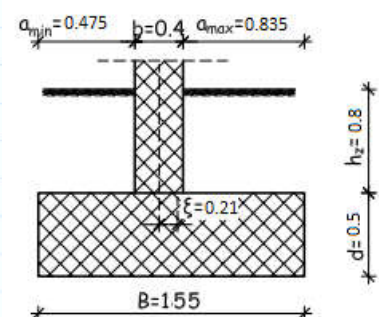
**5. Kontrola napona u tlu**

Analiza opterećenja

Granično opterećenje sa zida  $V = 643.5 \text{ kN}$

Težina temelja  $G_{tem} := B \cdot l_1 \cdot d \cdot \gamma_{ab} = 19.375 \text{ kN}$

Težina tla  $G_{tla} := (B - b) \cdot l_1 \cdot h_z \cdot \gamma'_t = 18.5 \text{ kN}$



$$\Sigma V := V + \gamma_{g.p.A1} \cdot (G_{tem} + G_{tla}) = 694.631 \text{ kN}$$

Temelj je centrisan, pa je:  $\Sigma M := 0 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$$\sigma_u := \frac{\Sigma V}{B \cdot l_1} = 448.149 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_u = \sigma_{doz}$$

$$\sigma_{doz} = 447.96 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\frac{\sigma_{doz} - \sigma_u}{\sigma_{doz}} = -0.042\%$$

## Temelji samci

**Temelji samci** su plitki temelji koji se primenjuju za fundiranje pojedinačnih stubova. To su tačkasti oslonci, za koje je odnos strana naležuce površine  $L \leq B \cdot 3$ . Temelji samci se primenjuju kada je tlo ispod temelja otporno i malo deformabilno i/ili ako su opterećenja koja preko temelja treba preneti na tlo mala. Fundiranje na temeljima samcima je ekonomski opravdano ukoliko je rastojanje između temelja ne manje od dimenzija temelja.

**Dimenzionisanje temelja samaca** podrazumeva:

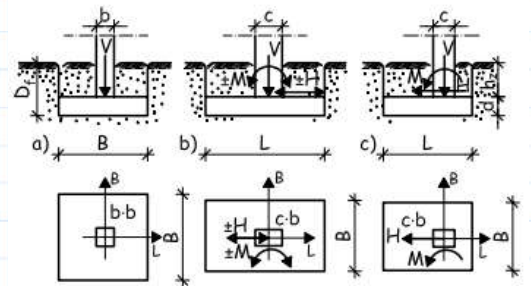
- određivanje dimenzija naležuce površine (tj. širine  $B$  i dužine  $L$  temelja), na osnovu nosivosti tla, a u zavisnosti od veličine opterećenja koje se preko temelja prenosi na tlo
- određivanje visine temelja ( $d$ ), na osnovu čvrstoće materijala od kog se temelj gradi.

### Određivanje dimenzija naležuce površine temelja

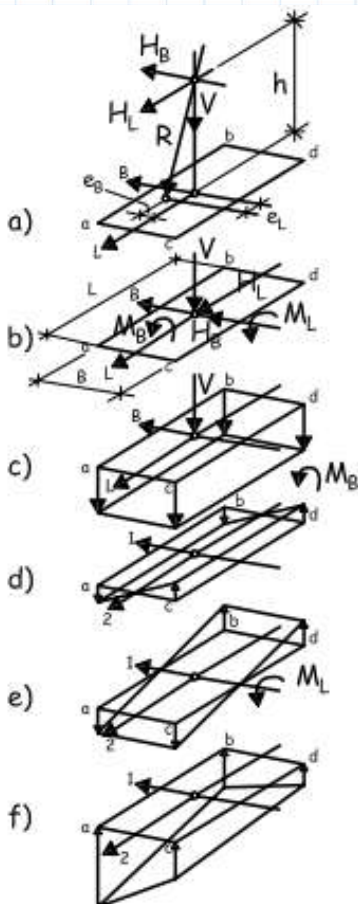
**Dimenzije naležuce površine** se određuju iz uslova da pritisak na tlo (od opterećenja sa konstrukcije iznad temelja, težine temelja i tla iznad temelja), na usvojenoj dubini fundiranja, bude jednak nosivosti tla.

Širina temelja  $B$  i dužina temelja  $L$  zaokružuju se na punih 5 cm ili 10 cm.

Oblik temelja u osnovi treba da prati oblik konstrukcije iznad temelja. Odnos strana temelja ne mora uvek (ali može) biti jednak odnosu strana stuba, a nekada je najracionalniji oblik osnove temelja samca kada su prepusti temelja u odnosu na stub u oba pravca približno jednaki ( $B = b + 2a$ ,  $L = c + 2a$ ;  $b$ ,  $c$  – dimenzije preseka stuba,  $a$  – širina prepusta). Najčešće je odnos strana temelja samca  $k = L / B = 1/1$  do  $3/1$ .



Kada je temelj samac opterećen ekscentričnim opterećenjem u prostoru, odnosno kada na njega deluju momenti savijanja u obe ravni prostiranja temelja:



Ekstremne vrednosti napona u tlu u uglovima temelja, usled spoljašnjeg opterećenja su:

$$\sigma_{\text{ext}} = \frac{V}{F} \pm \frac{M_B}{W_B} \pm \frac{M_L}{W_L} = \frac{V}{B \cdot L} \pm \frac{6 \cdot M_B}{B^2 \cdot L} \pm \frac{6 \cdot M_L}{B \cdot L^2}$$

Uslov ravnoteže na nivou temeljne spojnice (tj. na dubini fundiranja  $D_f$ ) koji se u ovom slučaju postavlja je

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{V + G}{F} + \frac{\Sigma M_L}{W_L} + \frac{\Sigma M_B}{W_B} \leq \sigma_{\text{doz}}$$

Ako je opterećenje ekscentrično samo u pravcu jedne ose temelja, uslovi ravnoteže su:

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{V + G}{F} + \frac{\Sigma M_L}{W_L} \leq \sigma_{\text{doz}} \quad \text{ili}$$

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{V + G}{F} + \frac{\Sigma M_B}{W_B} \leq \sigma_{\text{doz}}$$

Kada je opterećenje centrično u oba pravca, uslov ravnoteže je:

$$\sigma = \frac{V + G}{F} \leq \sigma_{\text{doz}}$$

V	- granične vertikalna sila na kontaktu stuba i temelja (na dubini $h_z$ )
$H_L, M_L$	- granične presečne sile u pravcu dužine temelja L (na dubini $h_z$ )
$H_B, M_B$	- granične presečne sile u pravcu širine temelja B (na dubini $h_z$ )
G	- težina temelja i tla iznad temelja (granična vrednost)
V + G	- vertikalna sila na dubini fundiranja $D_f$
$\Sigma M_L = M_L + H_L \cdot d$	- moment savijanja u pravcu dužine temelja L, na dubini fundiranja $D_f$
$\Sigma M_B = M_B + H_B \cdot d$	- moment savijanja u pravcu širine temelja B, na dubini fundiranja $D_f$
$F = B \cdot L$	- površina naležuće površi
$W_L = B \cdot L^2 / 6$	- otporni moment naležuće površi u pravcu dužine temelja L
$W_B = B^2 \cdot L / 6$	- otporni moment naležuće površi u pravcu širine temelja B
B	- širina temelja
L	- dužina temelja
b	- širina stuba (dimenzija stuba u pravcu širine temelja B)
c	- visina stuba (dimenzija stuba u pravcu dužine temelja L)
$h_z$	- kota donje ivice stuba
d	- visina temelja
$D_f = h_z + d$	- dubina fundiranja temelja
$\gamma_t$	- zapreminska težina tla
$\gamma_{ab} = 25 \text{ kN/m}^3$	- zapreminska težina armiranog betona (od kog se gradi temelj)
$\sigma_{doz}$	- 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.

### Za centrično opterećen temelj:

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

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

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

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

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

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

Da bi se iz potrebne površine temelja dobile njegove dimenzije B i L potrebno je postaviti i dodatni uslov u pogledu oblika temelja. Najčešće se primenjuje jedan od sledeća dva uslova (zavisno od uslova u konkretnom zadatku, odnosno u konkretnoj konstrukciji čiji temelj projektujemo):

a) odnos dimenzija naležuće površine prati odnos dimenzija strana stuba  $\frac{L}{B} = \frac{c}{b} = k$

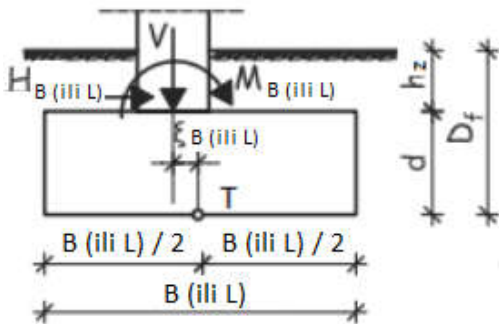
b) uslov jednakosti prepusta - prepusti temelja sa svake strane stuba (a) su jednaki  $L = c + 2 \cdot a$   
 $B = b + 2 \cdot a$

**Za ekscentrično opterećen temelj** analognim postupkom se iz uslova ravnoteže dobija jednačina trećeg stepena po nepoznatoj jednoj od dimenzija temelja (npr. B, uz uslov da je  $L = k \cdot B$ )

$B^3 \cdot k^2 \cdot \sigma_{doz.neto} - B \cdot k \cdot V + 6 \cdot (k \cdot \Sigma M_B + \Sigma M_L) = 0$

**Centrično opterećeni temelji** su povoljniji jer je kod njih raspodela napona u tlu ispod temelja ravnomernija, pa su i sleganja u tlu ispod temelja manja (plus, jednostavniji uslovi ravnoteže i lakše određivanje dimenzija naležuće površine). Zbog toga se, kad god je to moguće, temelji **centrišu**.

**Centrisanje temelja** podrazumeva pomeranje položaja težišta naležuće površine temelja u odnosu na težište konstruktivnog elementa iznad temelja (stuba kod temelja samca), u cilju eliminacije momenata savijanja u nivou temeljne spojnice. Prema EC7 temelj se centriše za granično opterećenje. Temelji samci se centrišu u obe ravni, odnosno u pravcu obe ose temelja (ako postoje momenti savijanja u pravcu tih osa), kao za 2 odvojena slučaja opterećenja.



Kod temelja samca je:

$$\begin{aligned} \Sigma M_{T,L} = 0 \quad M_L + H_L \cdot d = V \cdot \xi_L \rightarrow \quad \xi_L &= \frac{M_L + H_L \cdot d}{V} \\ \Sigma M_{T,B} = 0 \quad M_B + H_B \cdot d = V \cdot \xi_B \rightarrow \quad \xi_B &= \frac{M_B + H_B \cdot d}{V} \end{aligned}$$

Vrednost  $\xi_{L/B}$  za koju je potrebno pomeriti težište temelja u odnosu na težište stuba, dobijena na osnovu uslova ravnoteže u težištu temeljne spojnice T, omogućava da se na nivou temeljne spojnice (tj na dubini  $D_f$ ) na tlo prenosi samo vertikalno opterećenje.

### 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 u pravcu L ili B** (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:

$$\begin{aligned} M_L &= \gamma_{g.p.A1} \cdot M_{L,g} + \gamma_{p.p.A1} \cdot M_{L,p} \\ M_B &= \gamma_{g.p.A1} \cdot M_{B,g} + \gamma_{p.p.A1} \cdot M_{B,p} \end{aligned} \quad \gamma_{g.p.A1} = 1.35 \quad \gamma_{p.p.A1} = 1.5$$

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:

$$\begin{aligned} M_{L,1} &= \gamma_{g.p.A1} \cdot M_{L,g} + \gamma_{q.n.A1} \cdot M_{L,p} & \gamma_{g.p.A1} &= 1.35 & \gamma_{q.n.A1} &= 0 & \text{deluje u smeru } M_g \\ M_{B,1} &= \gamma_{g.p.A1} \cdot M_{B,g} + \gamma_{q.n.A1} \cdot M_{B,p} \\ M_{L,2} &= \gamma_{g.n.A1} \cdot M_{L,g} + \gamma_{p.p.A1} \cdot M_{L,p} & \gamma_{g.n.A1} &= 1 & \gamma_{p.p.A1} &= 1.5 & \text{momenti } M_g \text{ i } M_p \text{ su} \\ M_{B,2} &= \gamma_{g.n.A1} \cdot M_{B,g} + \gamma_{p.p.A1} \cdot M_{B,p} & & & & & \text{suprotnog znaka} \end{aligned}$$

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

$$M_L = \max(|M_{L,1}|, |M_{L,2}|)$$

( $M_2$  je merodavan samo ako je  $M_p \gg M_g$ )

$$M_B = \max(|M_{B,1}|, |M_{B,2}|)$$

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	$\gamma_t$	dubina fundiranja	$D_f$
kohezija u tlu	$c$	širina temelja	$B$
ugao unutrašnjeg trenja u tlu	$\varphi$	dužina temelja	$L$

$\gamma'_t = \frac{\gamma_t}{\gamma_{\gamma.M2}}$	$\gamma_{\gamma.M2} = 1$	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**

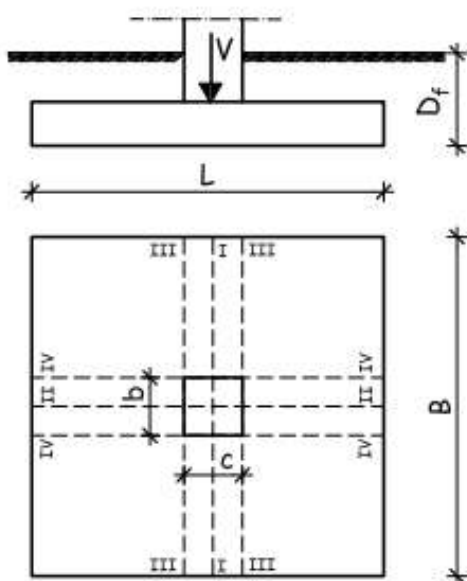
$$N_q = \left( \tan \left( 45^\circ + \frac{\varphi'}{2} \right) \right)^2 \cdot \exp(\pi \cdot \tan(\varphi')) \quad N_c = (N_q - 1) \cdot \cot(\varphi') \quad N_\gamma = 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi')$$

faktori oblika temeljne spojnice **s**

$$s_q = 1 + \frac{B}{L} \cdot \sin(\varphi') \quad s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1} \quad s_\gamma = 1 - 0.3 \cdot \frac{B}{L}$$

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**  $i_q := 1$   $i_\gamma := 1$   $i_c := 1$ **Određivanje visine temelja i njegovo armiranje****Visina temelja** određuje se iz uslova nosivosti materijala od kog je temelj napravljen.Visina temelja **d** zaokružuje se na punih 5 cm ili 10 cm.

**Merodavan preseki i u njima odgovarajuće granične presečne sile** za dimenzionisanje AB temelja samca zavisi od krutosti temelja i deformabilnosti tla. Stvarna raspodela napona u tlu ispod temelja samca je složena, pa se u praktičnim proračunima koriste približna rešenja bazirana na neto graničnom reaktivnom pritisku u kontaktnoj spojnici samo usled spoljašnjeg graničnog opterećenja (bez težine temelja i tla iznad temelja). Rešenje prema Loseru daje sledeće preseke i granične presečne sile:



Merodavni granični momenti savijanja se javljaju u presecima I-I i II-II

$$M_L = M_I = \frac{V \cdot (L - c)}{8}$$

$$M_B = M_{II} = \frac{V \cdot (B - b)}{8}$$

Merodavne granične transferzalne sile se javljaju u presecima III-III i IV-IV

$$T_L = T_{III} = \frac{V \cdot (L - c)}{2 \cdot L}$$

$$T_B = T_{IV} = \frac{V \cdot (B - b)}{2 \cdot B}$$

Kada su granične presečne sile za dimenzionisanje određene, **statička visina temelja h** se određuje u skladu sa **EC 2** kao i za bilo koji drugi AB element (slobodno dimenzionisanje preseka prema momentima savijanja i transferzalnim silama; proboj stuba kroz temelj nećemo razmatrati), posebno u oba pravca temelja, pri čemu se, zbog neravnomerne raspodele naprezanja u tlu ispod temelja, u izrazima za dimenzionisanje pojavljuju i sledeći koeficijenti raspodele presečnih sila (prema Grotkampu):

$$\text{za temelj stalne visine} \quad \alpha := 1.94 \quad \beta := 0.97 \quad \gamma := 0.97$$

$$\text{za temelj promenljive visine} \quad \alpha := 2.25 \quad \beta := 1.11 \quad \gamma := 1.34$$

Karakteristična čvrstoća betona pri pritisku **f<sub>ck</sub>** i računska čvrstoća betona pri pritisku **f<sub>cd</sub>**

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

$$\text{EC2} \quad f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad \alpha_{cc} = 0.85 \quad \text{uticaj dugotrajnog dejstva}$$

$$\gamma_c = 1.5 \quad \text{koef. sigurnosti za beton}$$

C f <sub>ck</sub> /f <sub>ck,cube</sub>	12/15	16/20	20/25	25/30	30/37	35/45	40/50	45/55	50/60
f <sub>cd</sub> [MPa]	6.8	9.07	11.33	14.17	17	20.97	22.67	25.5	28.33

Granica razvlačenja armature **f<sub>yk</sub>** i računska čvrstoća armature pri zatezanju **f<sub>yd</sub>**

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

$$\text{EC2} \quad f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad \gamma_s = 1.15 \quad \text{koef. sigurnosti za čelik}$$

za B 500 B f<sub>yd</sub> = 434,78 MPa

### Statička visina temelja prema momentima savijanja h<sub>M</sub>

Za izabranu vrstu loma, odnosno vrednosti graničnih dilatacija u betonu **ε<sub>c2</sub>** i u armaturi **ε<sub>s1</sub>**, iz tabela za dimenzionisanje se očitava vrednost bezdimenzionog koeficijenta za dimenzionisanje **μ<sub>sd</sub>**. Za određivanje statičke visine temelja optimalna rešenja se dobijaju za usvojen simultani lom:

$$\text{za } \epsilon_{c2} / \epsilon_{s1} = 3.5 / 20 \text{ ‰} \quad \mu_{sd} := 0.096 \quad \alpha \quad \text{koef. raspodele momenta savijanja (Grotkamp)}$$

$$h_{ML} = \sqrt{\frac{\alpha \cdot M_L}{0.096 \cdot B \cdot f_{cd}}}$$

$$h_{MB} = \sqrt{\frac{\alpha \cdot M_B}{0.096 \cdot L \cdot f_{cd}}}$$

### Statička visina temelja prema transferzalnim silama h<sub>T</sub>

Postupak određivanja visine je iterativan: pretpostavi se statička visina preseka h<sub>T</sub>, odredi se vrednost koeficijenta k, i sa njim nova vrednost statičke visine temelja. Postupak se ponavlja dok se k ne odredi sa tačnim h<sub>T</sub>.

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200 \text{ mm}}{h_T}} \leq 2.0$$

γ koef. raspodele transferzalnih sila (Grotkamp)

$$h_{TL} = \frac{\gamma \cdot T_L}{0.035 \cdot k^{1.5} \cdot \text{MPa} \cdot B \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}}} \quad h_{TB} = \frac{\gamma \cdot T_B}{0.035 \cdot k^{1.5} \cdot \text{MPa} \cdot L \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}}}$$

Ovaj postupak daje neracionalno velike visine preseka prema smičućim silama zbog male smičuće nosivosti betona bez poprečne armature prema EC2, kao i velika transferzalna sila u presecima III-III i IV-IV prema Loserovom rešenju. Stoga dimenzije temelja određene preko ovog uslova moraju uzeti s rezervom.

**Statička visina temelja**  $h = \max(h_{ML}, h_{MB}, h_{TL}, h_{TB})$

**Ukupna visina temelja**  $d = h + a_1$   $a_1 \geq 5 \text{ cm}$

### Potrebna količina armature

Temelji samci se armiraju nosećom armaturom u donjoj (zategnutoj) zoni temelja, u oba pravca:

$$\text{pot}A_{aL} = \frac{\beta \cdot M_L}{0.9 \cdot h \cdot f_{yd}} \quad \text{pot}A_{aB} = \frac{\beta \cdot M_B}{0.9 \cdot h \cdot f_{yd}} \quad \beta \quad \text{koef. raspodele momenta savijanja (Grotkamp)}$$

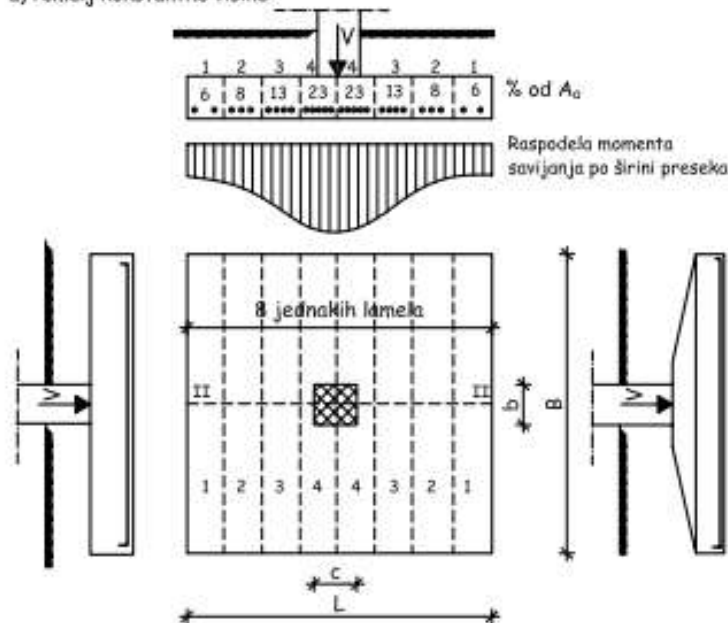
Preporučuje se usvajanje pravih profila armature na rastojanjima manjim od 20cm.  $e_{a.1} \leq 20 \text{ cm}$

### Raspodela armature

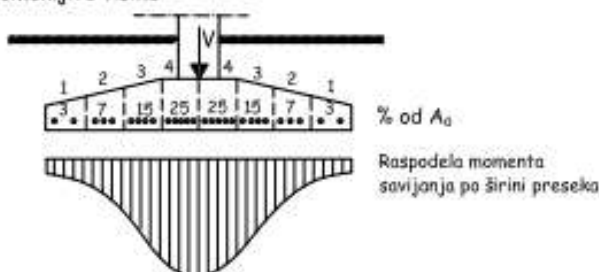
Neravnomerna raspodela napona u tlu ispod temelja uslovljava i raspored armature u temelju. Zbog koncentracije napona, veća količina armature se postavlja u sredini kontaktne površine (tj u zoni ispod stuba). Praktična orijentaciona preporuka je da se 50% potrebne armature rasporedi u srednjoj četvrtini dimenzije temelja, a u ivične zone sa svake strane temelja po 25%.

Raspodela armature prema preporuci Losera data je na sledećoj slici:

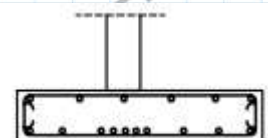
a) Temelj konstantne visine



b) Temelj promenljive visine



Noseća (proračunska) armatura se, kao što je već rečeno, postavlja u donjoj (zategnutoj) zoni temelja. Kod temelja većih visina je poželjno postaviti konstruktivnu armaturu i u gornjoj zoni temelja (da bi se prihvatili lokalni naponi zatezanja ispod stubova).



## 1. primer

Projektovati AB temelj samac ispod AB stuba dimenzija 0.4/0.8m, kota terena je  $\pm 0.0\text{m}$ , a donja ivica stuba na koti  $-1.0\text{m}$ . Stub se fundira na tlu čija je zapreminska težina  $20\text{kN/m}^3$ , ugao unutrašnjeg trenja  $29.5^\circ$ , kohezija  $11\text{kN/m}^2$ , a NPV je ispod kote fundiranja. Stub je na donjoj ivici opterećen: stalnim opterećenjem - vertikalna sila  $400\text{kN}$ , moment savijanja u pravcu duže stane stuba  $80\text{kNm}$  (u smeru kazaljke sata), moment savijanja u pravcu kraće stane stuba  $50\text{kNm}$  (u smeru kazaljke sata); povremenim opterećenjem - vertikalna sila  $200\text{kN}$ , moment savijanja u pravcu duže stane stuba  $\pm 40\text{kNm}$  (alternativnog znaka), moment savijanja u pravcu kraće stane stuba  $\pm 25\text{kNm}$  (alternativnog znaka). Temelj projektovati u skladu sa odredbama Evrokoda (EC7 i EC2).

Stub	$b_s := 40 \text{ cm}$	$c_s := 80 \text{ cm}$	$h_z := 100 \text{ cm}$
Tlo	$\gamma_t := 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$	$\varphi := 29.5^\circ$	$c := 11 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
Stalno opterećenje	$V_g := 400 \text{ kN}$	$M_{gL} := 80 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M_{gB} := 50 \text{ kN}\cdot\text{m}$
Povremeno opterećenje	$V_p := 200 \text{ kN}$	$M_{pL} = \pm 40\text{kN}\cdot\text{m}$	$M_{pB} = \pm 25\text{kN}\cdot\text{m}$
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	$D_f := 1.55 \text{ m}$	visina temelja	$d := D_f - h_z = 0.55 \text{ m}$
pretpostavlja se širina temelja	$B := 1 \text{ m}$	dužina temelja	$L := 1.4 \text{ m}$
$\gamma_{\gamma.M2} = 1$	$\gamma_{c.M2} = 1.25$	$\gamma_{\varphi.M2} = 1.25$	
$\gamma'_t := \frac{\gamma_t}{\gamma_{\gamma.M2}} = 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$	$c' := \frac{c}{\gamma_{c.M2}} = 8.8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$\varphi' := \text{atan}\left(\frac{\tan(\varphi)}{\gamma_{\varphi.M2}}\right) = 24.352^\circ$	
opterećenje na nivou spojnice	$q' := \gamma'_t \cdot D_f = 31 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$		
$N_q := \left(\tan\left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2}\right)\right)^2 \cdot \exp(\pi \cdot \tan(\varphi')) = 9.962$	$s_q := 1 + \frac{B}{L} \cdot \sin(\varphi') = 1.295$	$b_q := 1$	$i_q := 1$
$N_c := (N_q - 1) \cdot \cot(\varphi') = 19.801$	$s_c := \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1} = 1.327$	$b_c := 1$	$i_c := 1$
$N_\gamma := 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi') = 8.113$	$s_\gamma := 1 - 0.3 \cdot \frac{B}{L} = 0.786$	$b_\gamma := 1$	$i_\gamma := 1$
$q_f := c' \cdot N_c \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q + 0.5 \cdot \gamma_t \cdot B \cdot N_\gamma \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma = 694.84 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$			
$\sigma_{doz} := \frac{q_f}{\gamma_{R3.\sigma}} = 694.84 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$\gamma_{R3.\sigma} = 1$		
koef. razlike težine temelja i tla	$\beta := 1 - \frac{h_z}{D_f} \cdot \left(1 - \frac{\gamma'_t}{\gamma_{ab}}\right) = 0.871$		
neto granična nosivost tla	$\sigma_{doz.neto} := \sigma_{doz} - \gamma_{g.p.A1} \cdot \beta \cdot D_f \cdot \gamma_{ab} = 649.277 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$		

### 2. Centrisanje temelja

$V := \gamma_{g.p.A1} \cdot V_g + \gamma_{p.p.A1} \cdot V_p = 840 \text{ kN}$	$\gamma_{g.p.A1} = 1.35$	$\gamma_{p.p.A1} = 1.5$
$M_{gL} = 80 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M_{gB} = 50 \text{ kN}\cdot\text{m}$	u smeru kazaljke sata
$M_{pL} = \pm 40\text{kN}\cdot\text{m}$	$M_{pB} = \pm 20\text{kN}\cdot\text{m}$	alternativno delovanje momenta savijanja od povremenog opterećenja

Za svaki pravac temelja (L, B) je potrebno proanalizirati oba smera delovanja momenta savijanja usled povremenog opterećenja

### Pravac dužine temelja L

kada  $M_{pL}$  deluje u smeru kazaljke sata  $M_{pL} := 40 \text{ kN} \cdot \text{m}$   $\gamma_{g.p.A1} = 1.35$   $\gamma_{p.p.A1} = 1.5$

$M_{L.a} := \gamma_{g.p.A1} \cdot M_{gL} + \gamma_{p.p.A1} \cdot M_{pL} = 168 \text{ kN} \cdot \text{m}$  u smeru kazaljke sata

kada  $M_{pL}$  deluje u smeru suprotno od kazaljke sata  $M_{pL} := -40 \text{ kN} \cdot \text{m}$

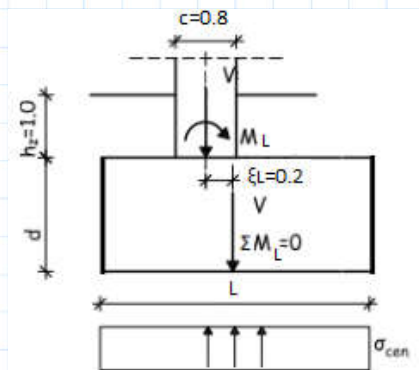
$M_{L.b.1} := \gamma_{g.p.A1} \cdot M_{gL} + \gamma_{p.n.A1} \cdot M_{pL} = 108 \text{ kN} \cdot \text{m}$  u smeru kazaljke sata  $\gamma_{g.p.A1} = 1.35$   $\gamma_{p.n.A1} = 0$

$M_{L.b.2} := \gamma_{g.n.A1} \cdot M_{gL} + \gamma_{p.p.A1} \cdot M_{pL} = 20 \text{ kN} \cdot \text{m}$  u smeru kazaljke sata  $\gamma_{g.n.A1} = 1$   $\gamma_{p.p.A1} = 1.5$

Dakle, u ovom zadatku je merodavan / kritičan slučaj u kome momenat savijanja usled povremenog opterećenja deluje u istom smeru u kom deluje i momenat savijanja od stalnog opterećenja.

$M_L := \max(M_{L.a}, M_{L.b.1}, M_{L.b.2}) = 168 \text{ kN} \cdot \text{m}$  u smeru kazaljke sata

centrisanje temelja  $\xi_L := \frac{M_L}{V} = 20 \text{ cm}$  u desno



### Pravac širine temelja B

kada  $M_{pB}$  deluje u smeru kazaljke sata  $M_{pB} := 25 \text{ kN} \cdot \text{m}$   $\gamma_{g.p.A1} = 1.35$   $\gamma_{p.p.A1} = 1.5$

$M_{B.a} := \gamma_{g.p.A1} \cdot M_{gB} + \gamma_{p.p.A1} \cdot M_{pB} = 105 \text{ kN} \cdot \text{m}$  u smeru kazaljke sata

kada  $M_{pB}$  deluje u smeru suprotno od kazaljke sata  $M_{pB} := -25 \text{ kN} \cdot \text{m}$

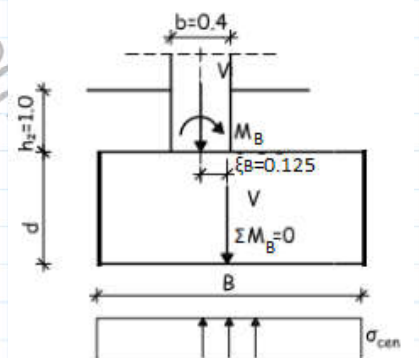
$M_{B.b.1} := \gamma_{g.p.A1} \cdot M_{gB} + \gamma_{p.n.A1} \cdot M_{pB} = 67.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$  u smeru kazaljke sata  $\gamma_{g.p.A1} = 1.35$   $\gamma_{p.n.A1} = 0$

$M_{B.b.2} := \gamma_{g.n.A1} \cdot M_{gB} + \gamma_{p.p.A1} \cdot M_{pB} = 12.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$  u smeru kazaljke sata  $\gamma_{g.n.A1} = 1$   $\gamma_{p.p.A1} = 1.5$

Dakle, u ovom zadatku je merodavan / kritičan slučaj u kome momenat savijanja usled povremenog opterećenja deluje u istom smeru u kom deluje i momenat savijanja od stalnog opterećenja.

$M_B := \max(M_{B.a}, M_{B.b.1}, M_{B.b.2}) = 105 \text{ kN} \cdot \text{m}$  u smeru kazaljke sata

centrisanje temelja  $\xi_B := \frac{M_B}{V} = 12.5 \text{ cm}$  u desno



### 3. Dimenzije naležuće površine

potrebna naležuća površina  $F_{pot} := \frac{V}{\sigma_{doz.neto}} = 1.294 \text{ m}^2$

Potreban je dodatni uslov za određivanje dimenzija naležuće površine. Mogu se primeniti sledeća 2 rešenja:

- odnos dimenzija naležuće površine prati odnos dimenzija strana stuba
- uslov jednakosti prepusta

**a) odnos dimenzija naležuce površine prati odnos dimenzija strana stuba**  $\frac{L}{B} = \frac{c_s}{b_s} = k$

$$k := \frac{c_s}{b_s} = 2 \quad L = k \cdot B = 2 \cdot B \quad F = B \cdot L = 2 \cdot B^2 \quad B := \sqrt{\frac{F_{pot}}{2}} = 0.804 \text{ m}$$

usvojeno  $B := 0.8 \text{ m} \quad L := 2 \cdot B = 1.6 \text{ m} \quad F := B \cdot L = 1.28 \text{ m}^2$

**b) uslov jednakosti prepusta**  $L = c_s + 2 \cdot a \quad B = b_s + 2 \cdot a$   
prepusti temelja sa svake strane stuba (a) su jednaki  $F = B \cdot L = (c_s + 2 \cdot a) \cdot (b_s + 2 \cdot a)$

$$a := \frac{-2 \cdot (c_s + b_s) + \sqrt{4 \cdot (c_s + b_s)^2 - 16 \cdot (c_s \cdot b_s - F_{pot})}}{8} = 0.277 \text{ m usvojeno} \quad a := 0.3 \text{ m}$$

$$B := b_s + 2 \cdot a = 1 \text{ m} \quad L := c_s + 2 \cdot a = 1.4 \text{ m} \quad F := B \cdot L = 1.4 \text{ m}^2$$

dimenzije temelja se **uvek** zaokružuju na punih 5cm ili 10cm

U ovom primeru, s obzirom na relativno malo opterećenje sa stuba i relativno dobru nosivost tla, dimenzije temelja u osnovi nisu značajno različite koje god rešenje od ovih da se usvoji.

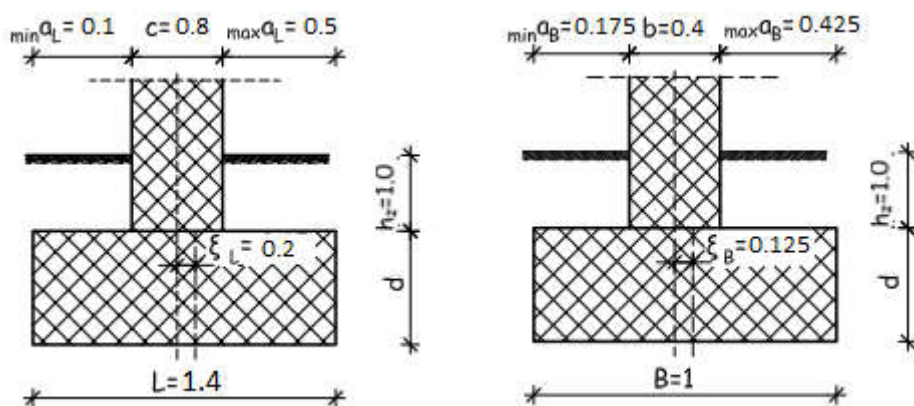
Na dalje se radi sa dimenzijama temelja dobijenim iz uslova jednakosti prepusta

$$B := b_s + 2 \cdot a = 1 \text{ m} \quad L := c_s + 2 \cdot a = 1.4 \text{ m} \quad F := B \cdot L = 1.4 \text{ m}^2$$

širine prepusta temelja

$$a_{max.L} := \frac{L - c_s}{2} + \xi_L = 0.5 \text{ m} \quad a_{max.B} := \frac{B - b_s}{2} + \xi_B = 0.425 \text{ m}$$

$$a_{min.L} := \frac{L - c_s}{2} - \xi_L = 0.1 \text{ m} \quad a_{min.B} := \frac{B - b_s}{2} - \xi_B = 0.175 \text{ m}$$



#### 4. Visina temelja i potrebna armatura

##### Merodavni granični momenti savijanja

$$M_L := \frac{V \cdot (L - c_s)}{8} = 63 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad M_B := \frac{V \cdot (B - b_s)}{8} = 63 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

##### Merodavne granične transferzalne sile

$$T_L := \frac{V \cdot (L - c_s)}{2 \cdot L} = 180 \text{ kN} \quad T_B := \frac{V \cdot (B - b_s)}{2 \cdot B} = 252 \text{ kN}$$

**Kvalitet materijala:** pretpostavlja se: C 25/30, B 500 B

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

Grotkampovi koef. raspodele presečnih sila za temelj stalne visine  $\alpha := 1.94$   $\beta := 0.97$   $\gamma := 0.97$

**potrebna statička visina preseka prema momentima savijanja**

$$h_{ML} := \sqrt{\frac{\alpha \cdot M_L}{0.096 \cdot B \cdot f_{cd}}} = 29.978 \text{ cm} \quad h_{MB} := \sqrt{\frac{\alpha \cdot M_B}{0.096 \cdot L \cdot f_{cd}}} = 25.336 \text{ cm}$$

**potrebna statička visina preseka prema transferzalnim silama**

**iterativni postupak** određivanja vrednosti faktora k, i preko njega h<sub>T</sub> (dok razlika u vrednosti iz 2 susedne iteracije ne bude manja od 1cm)

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200 \text{ mm}}{h_T}} \leq 2.0$$

za  $k := 1$  min vrednost k → max vrednost h<sub>T</sub>

$$h_{TL,1} := \frac{\gamma \cdot T_L}{0.035 \cdot k^{1.5} \cdot MPa \cdot B \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{MPa}}} = 99.771 \text{ cm} \quad h_{TB,1} := \frac{\gamma \cdot T_B}{0.035 \cdot k^{1.5} \cdot MPa \cdot L \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{MPa}}} = 99.771 \text{ cm}$$

za  $k := 2$  max vrednost k → min vrednost h<sub>T</sub>

$$h_{TL,2} := \frac{\gamma \cdot T_L}{0.035 \cdot k^{1.5} \cdot MPa \cdot B \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{MPa}}} = 35.275 \text{ cm} \quad h_{TB,2} := \frac{\gamma \cdot T_B}{0.035 \cdot k^{1.5} \cdot MPa \cdot L \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{MPa}}} = 35.275 \text{ cm}$$

za  $h_T := \frac{h_{TL,1} + h_{TL,2}}{2} = 67.523 \text{ cm}$   $k := 1 + \sqrt{\frac{200 \text{ mm}}{h_T}} = 1.544$

$$h_{TL} := \frac{\gamma \cdot T_L}{0.035 \cdot k^{1.5} \cdot MPa \cdot B \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{MPa}}} = 51.992 \text{ cm} \quad h_{TB} := \frac{\gamma \cdot T_B}{0.035 \cdot k^{1.5} \cdot MPa \cdot L \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{MPa}}} = 51.992 \text{ cm}$$

za  $h_T := \frac{h_{TL} + h_{TB}}{2} = 51.992 \text{ cm}$   $k := 1 + \sqrt{\frac{200 \text{ mm}}{h_T}} = 1.62$

$$h_{TL} := \frac{\gamma \cdot T_L}{0.035 \cdot k^{1.5} \cdot MPa \cdot B \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{MPa}}} = 48.378 \text{ cm} \quad h_{TB} := \frac{\gamma \cdot T_B}{0.035 \cdot k^{1.5} \cdot MPa \cdot L \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{MPa}}} = 48.378 \text{ cm}$$

za  $h_T := \frac{h_{TL} + h_{TB}}{2} = 48.378 \text{ cm}$   $k := 1 + \sqrt{\frac{200 \text{ mm}}{h_T}} = 1.643$

$$h_{TL} := \frac{\gamma \cdot T_L}{0.035 \cdot k^{1.5} \cdot MPa \cdot B \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{MPa}}} = 47.376 \text{ cm} \quad h_{TB} := \frac{\gamma \cdot T_B}{0.035 \cdot k^{1.5} \cdot MPa \cdot L \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{MPa}}} = 47.376 \text{ cm}$$

za  $h_T := \frac{h_{TL} + h_{TB}}{2} = 47.376 \text{ cm}$   $k := 1 + \sqrt{\frac{200 \text{ mm}}{h_T}} = 1.65$

$$h_{TL} := \frac{\gamma \cdot T_L}{0.035 \cdot k^{1.5} \cdot MPa \cdot B \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{MPa}}} = 47.085 \text{ cm} \quad h_{TB} := \frac{\gamma \cdot T_B}{0.035 \cdot k^{1.5} \cdot MPa \cdot L \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{MPa}}} = 47.085 \text{ cm}$$

**Statička visina temelja**  $h := \max(h_{ML}, h_{MB}, h_{TL}, h_{TB}) = 47.085 \text{ cm}$

**Ukupna visina temelja**  $d := h + 7 \text{ cm} = 54.085 \text{ cm}$  usvojeno  $d := 55 \text{ cm}$

$h := d - 7 \text{ cm} = 48 \text{ cm}$   $D_f := d + h_z = 1.55 \text{ m}$

### Potrebna količina armature

Temelji samci se armiraju nosećom armaturom u donjoj (zategnutoj) zoni temelja, u oba pravca:

$$potA_{aL} := \frac{\beta \cdot M_L}{0.9 \cdot h \cdot f_{yd}} = 3.254 \text{ cm}^2 \quad potA_{aB} := \frac{\beta \cdot M_B}{0.9 \cdot h \cdot f_{yd}} = 3.254 \text{ cm}^2$$

Kod temelja kod kojih su strane naležuće površine određene iz uslova jednakosti prepusta potrebna je ista količina armature u oba pravca.

U ovom zadatku je potrebna količina armature mala, pa se temelj može armirati mrežastom armaturom. Q mreže su obostrano nosive mreže, sa istom količinom noseće armature u oba ortogonalna pravca:

usvojena armature MA 500/560 mreža Q 335  $A_{aL} := 3.35 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}^1}$   $A_{aB} := A_{aL}$

u mreži Q 335 glavna armatura je  $\emptyset 8/15\text{cm}$   $A_{aL} > potA_{aL}$

Ukoliko se temelj armira šipkama armature koje nisu fabrički zavarene, tada je raspodela armature sledeća:

širina i dužina temelja se dele na po 8 jednakih lamela širine:  $B_i := \frac{B}{8} = 12.5 \text{ cm}$   $L_i := \frac{L}{8} = 17.5 \text{ cm}$

površina 1 šipke armature  $\emptyset 6$   $a_{a1} := 0.28 \text{ cm}^2$   $\frac{potA_{aL}}{a_{a1}} = 11.62$  potrebno je 12 $\emptyset 6$  za armiranje temelja

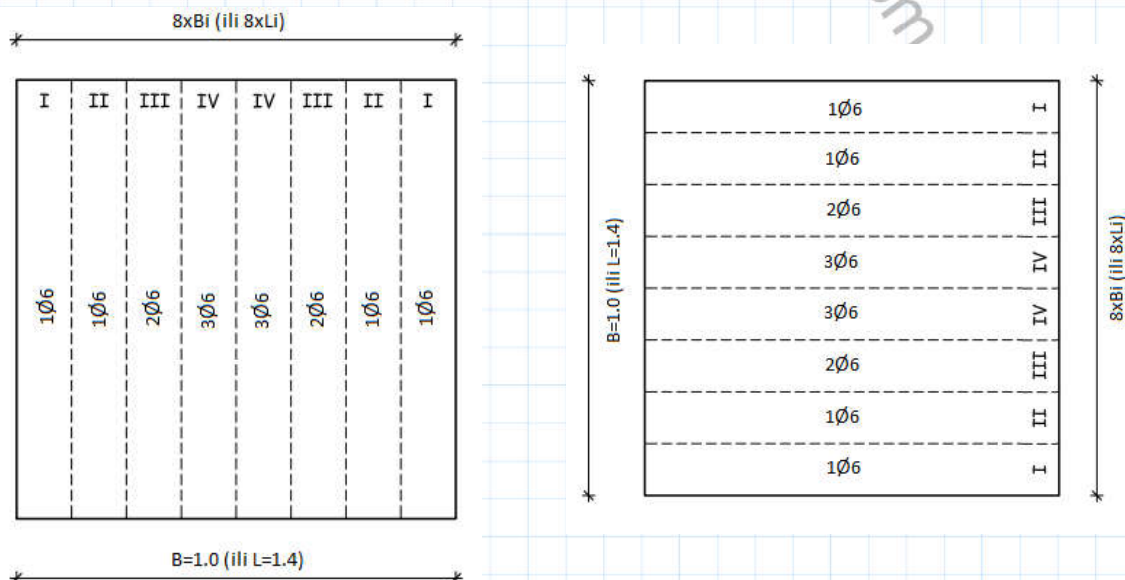
I lamela - ivična  $potA_{a.I} := 6\% \cdot potA_{aL} = 0.195 \text{ cm}^2$   $1\emptyset 6$   $A_{a.I} := 1 \cdot a_{a1} = 0.28 \text{ cm}^2$

II lamela  $potA_{a.II} := 8\% \cdot potA_{aL} = 0.26 \text{ cm}^2$   $1\emptyset 6$   $A_{a.II} := 1 \cdot a_{a1} = 0.28 \text{ cm}^2$

III lamela  $potA_{a.III} := 13\% \cdot potA_{aL} = 0.423 \text{ cm}^2$   $2\emptyset 6$   $A_{a.III} := 2 \cdot a_{a1} = 0.56 \text{ cm}^2$

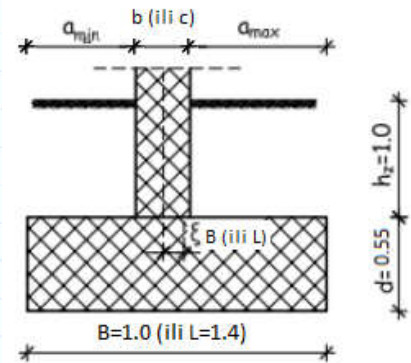
IV lamela - središnja  $potA_{a.IV} := 23\% \cdot potA_{aL} = 0.748 \text{ cm}^2$   $3\emptyset 6$   $A_{a.IV} := 3 \cdot a_{a1} = 0.84 \text{ cm}^2$

$stvA_{aL} := 2 \cdot (A_{a.I} + A_{a.II} + A_{a.III} + A_{a.IV}) = 3.92 \text{ cm}^2$   $stvA_{aL} > potA_{aL}$



**5. Kontrola napona u tlu**

Analiza opterećenja

Granično opterećenje sa stuba  $V = 840 \text{ kN}$ Težina temelja  $G_{tem} := B \cdot L \cdot d \cdot \gamma_{ab} = 19.25 \text{ kN}$ Težina tla  $G_{tla} := (B - b_s) \cdot (L - c_s) \cdot h_z \cdot \gamma'_t = 7.2 \text{ kN}$ 

$$\Sigma V := V + \gamma_{g.p.A1} \cdot (G_{tem} + G_{tla}) = 875.708 \text{ kN}$$

Temelj je centrisan, pa je:  $\Sigma M_L := 0 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 

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

$$\sigma_u := \frac{\Sigma V}{B \cdot L} = 625.505 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \sigma_u < \sigma_{doz} \quad \sigma_{doz} = 694.84 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

**2. primer**

Projektovati AB temelj samac ispod AB stuba dimenzija 0.3/0.6m, kota terena je  $\pm 0.0\text{m}$ , a donja ivica stuba na koti  $-0.8\text{m}$ . Zid se fundira na tlu čija je zapreminska težina  $18.5\text{kN/m}^3$ , ugao unutrašnjeg trenja  $28^\circ$ , kohezija  $10\text{kN/m}^2$ , a NPV je ispod kote fundiranja. Zid je na donjoj ivici opterećen: stalnim opterećenjem - vertikalna sila  $310\text{kN}$ , moment savijanja u pravcu duže strane stuba  $120\text{kNm}$  (u smeru kazaljke sata), moment savijanja u pravcu kraće strane stuba  $80\text{kNm}$  (u smeru suprotno od kazaljke sata); povremenim opterećenjem - vertikalna sila  $150\text{kN/m}$ , horizontalna sila u pravcu duže strane stuba  $40\text{kN}$  (u desno), horizontalna sila u pravcu kraće strane stuba  $25\text{kN}$  (u levo). Temelj projektovati u skladu sa odredbama Evrokoda (EC7 i EC2).

Zid	$b_s := 30 \text{ cm}$	$c_s := 60 \text{ cm}$	$h_z := 80 \text{ cm}$
Tlo	$\gamma_t := 18.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$	$\varphi := 28^\circ$	$c := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
Stalno opterećenje	$V_g := 310 \text{ kN}$	$M_{gL} := 120 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$M_{gB} := -80 \text{ kN} \cdot \text{m}$
Povremeno opterećenje	$V_p := 150 \text{ kN}$	$H_{pL} := 40 \text{ kN}$	$H_{pB} := -25 \text{ kN}$
Temelj	$\gamma_{ab} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$	<i>Napomena: u zadatku je kao pozitivan smer momenta usvojen smer kazaljke sata (i smer sile i pomeranje u desno)</i>	

**1. Nosivost temeljnog tla**pretpostavlja se dubina fundiranja  $D_f := 1.60 \text{ m}$  visina temelja  $d := D_f - h_z = 0.8 \text{ m}$ pretpostavlja se širina temelja  $B := 0.85 \text{ m}$  dužina temelja  $L := 1.7 \text{ m}$ 

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

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

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

$$\gamma'_t := \frac{\gamma_t}{\gamma_{\gamma.M2}} = 18.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

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

$$\varphi' := \text{atan} \left( \frac{\tan(\varphi)}{\gamma_{\varphi.M2}} \right) = 23.043^\circ$$

opterećenje na nivou spojnice  $q' := \gamma'_t \cdot D_f = 29.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ 

$$N_q := \left( \tan \left( 45^\circ + \frac{\varphi'}{2} \right) \right)^2 \cdot \exp(\pi \cdot \tan(\varphi')) = 8.7$$

$$s_q := 1 + \frac{B}{L} \cdot \sin(\varphi') = 1.196$$

$$b_q := 1 \quad i_q := 1$$

$$N_c := (N_q - 1) \cdot \cot(\varphi') = 18.102$$

$$s_c := \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1} = 1.221$$

$$b_c := 1 \quad i_c := 1$$

$$N_\gamma := 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi') = 6.55$$

$$s_\gamma := 1 - 0.3 \cdot \frac{B}{L} = 0.85$$

$$b_\gamma := 1 \quad i_\gamma := 1$$

$$q_f := c' \cdot N_c \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q + 0.5 \cdot \gamma_t \cdot B \cdot N_\gamma \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma = 528.526 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_{doz} := \frac{q_f}{\gamma_{R3,\sigma}} = 528.526 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \gamma_{R3,\sigma} = 1$$

$$\text{koef. razlike težine temelja i tla} \quad \beta := 1 - \frac{h_z}{D_f} \cdot \left(1 - \frac{\gamma'_t}{\gamma_{ab}}\right) = 0.87$$

$$\text{neto granična nosivost tla} \quad \sigma_{doz.neto} := \sigma_{doz} - \gamma_{g.p.A1} \cdot \beta \cdot D_f \cdot \gamma_{ab} = 481.546 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

## 2. Centrisanje temelja

$$V := \gamma_{g.p.A1} \cdot V_g + \gamma_{p.p.A1} \cdot V_p = 643.5 \text{ kN} \quad \gamma_{g.p.A1} = 1.35 \quad \gamma_{p.p.A1} = 1.5$$

$$M_{gL} = 120 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad M_{pL} := H_{pL} \cdot d = 32 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{u smeru kazaljke sata}$$

$$M_{gB} = -80 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad M_{pB} := H_{pB} \cdot d = -20 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{u smeru suprotno od kazaljke sata}$$

Za svaki pravac temelja (L, B) je potrebno proanalizirati oba smera delovanja momenta savijanja usled povremenog opterećenja

### Pravac dužine temelja L

$$M_{gL} = 120 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad M_{pL} := H_{pL} \cdot d = 32 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{u smeru kazaljke sata}$$

Oba momenta u pravcu L deluju u istom smeru, povećavaju napone u tlu, pa je

$$M_L := \gamma_{g.p.A1} \cdot M_{gL} + \gamma_{p.p.A1} \cdot M_{pL} = 210 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \gamma_{g.p.A1} = 1.35 \quad \gamma_{p.p.A1} = 1.5$$

$$\text{centrisanje temelja} \quad \xi_L := \frac{M_L}{V} = 32.634 \text{ cm} \quad \text{u desno} \quad \text{usvojeno} \quad \xi_L := 33 \text{ cm}$$

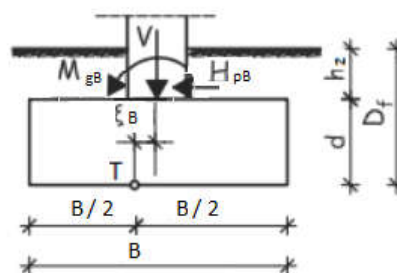
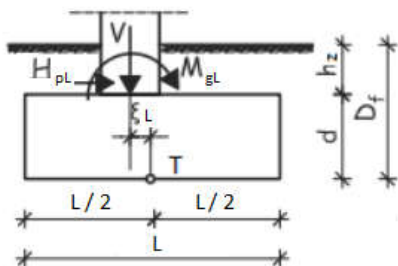
### Pravac širine temelja B

$$M_{gB} = -80 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad M_{pB} := H_{pB} \cdot d = -20 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{u smeru suprotno od kazaljke sata}$$

Oba momenta u pravcu B deluju u istom smeru, povećavaju napone u tlu, pa je

$$M_B := \gamma_{g.p.A1} \cdot M_{gB} + \gamma_{p.p.A1} \cdot M_{pB} = -138 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \gamma_{g.p.A1} = 1.35 \quad \gamma_{p.p.A1} = 1.5$$

$$\text{centrisanje temelja} \quad \xi_B := \frac{M_B}{V} = -21.445 \text{ cm} \quad \text{u levo} \quad \text{usvojeno} \quad \xi_B := 22 \text{ cm}$$



## 3. Dimenzije naležuće površine

$$\text{potrebna naležuća površina} \quad F_{pot} := \frac{V}{\sigma_{doz.neto}} = 1.336 \text{ m}^2$$

Potreban je dodatni uslov za određivanje dimenzija naležuće površine. Mogu se primeniti sledeća 2 rešenja:

- uslov jednakosti prepusta
- odnos dimenzija naležuće površine prati odnos dimenzija strana stuba

### a) uslov jednakosti prepusta

$$L = c_s + 2 \cdot a \quad B = b_s + 2 \cdot a$$

prepusti temelja sa svake strane stuba (a) su jednaki

$$F = B \cdot L = (c_s + 2 \cdot a) \cdot (b_s + 2 \cdot a)$$

$$a := \frac{-2 \cdot (c_s + b_s) + \sqrt{4 \cdot (c_s + b_s)^2 - 16 \cdot (c_s \cdot b_s - F_{pot})}}{8} = 0.358 \text{ m} \quad \text{usvojeno} \quad a := 0.4 \text{ m}$$

$$B := b_s + 2 \cdot a = 1.1 \text{ m} \quad L := c_s + 2 \cdot a = 1.4 \text{ m} \quad F := B \cdot L = 1.54 \text{ m}^2$$

### b) odnos dimenzija naležuće površine prati odnos dimenzija strana stuba

$$\frac{L}{B} = \frac{c_s}{b_s} = k$$

$$k := \frac{c_s}{b_s} = 2 \quad L = k \cdot B = 2 \cdot B \quad F = B \cdot L = 2 \cdot B^2 \quad B := \sqrt{\frac{F_{pot}}{2}} = 0.817 \text{ m}$$

$$\text{usvojeno} \quad B := 0.85 \text{ m} \quad L := 2 \cdot B = 1.7 \text{ m} \quad F := B \cdot L = 1.445 \text{ m}^2$$

dimenzije temelja se **uvek** zaokružuju na punih 5cm ili 10cm

U ovom primeru, s obzirom na relativno malo opterećenje sa stuba i relativno dobru nosivost tla, dimenzije temelja u osnovi nisu značajno različite koje god rešenje od ovih da se usvoji.

Na dalje se radi sa dimenzijama temelja dobijenim iz uslova da odnos dimenzija naležuće površine prati odnos dimenzija strana stuba

$$B = 0.85 \text{ m} \quad L = 1.7 \text{ m} \quad F := B \cdot L = 1.445 \text{ m}^2$$

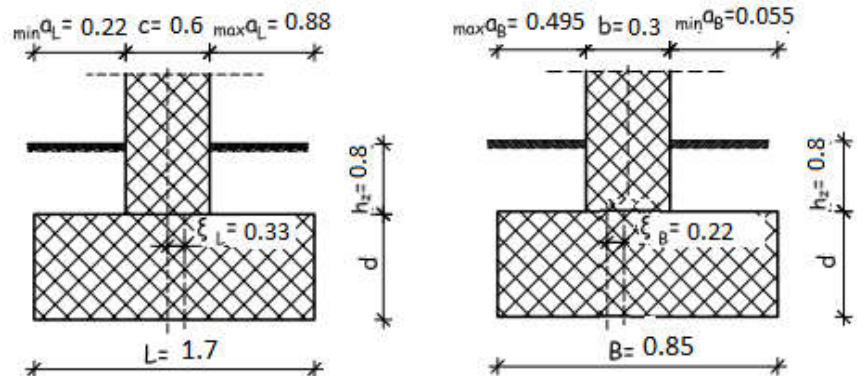
širine prepusta temelja

$$a_{max.L} := \frac{L - c_s}{2} + \xi_L = 0.88 \text{ m}$$

$$a_{min.L} := \frac{L - c_s}{2} - \xi_L = 0.22 \text{ m}$$

$$a_{max.B} := \frac{B - b_s}{2} + \xi_B = 0.495 \text{ m}$$

$$a_{min.B} := \frac{B - b_s}{2} - \xi_B = 0.055 \text{ m}$$



## 4. Visina temelja i potrebna armatura

### Merodavni granični momenti savijanja

$$M_L := \frac{V \cdot (L - c_s)}{8} = 88.481 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad M_B := \frac{V \cdot (B - b_s)}{8} = 44.241 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

### Merodavne granične transferzalne sile

$$T_L := \frac{V \cdot (L - c_s)}{2 \cdot L} = 208.191 \text{ kN} \quad T_B := \frac{V \cdot (B - b_s)}{2 \cdot B} = 208.191 \text{ kN}$$

**Kvalitet materijala:** pretpostavlja se: C 25/30, B 500 B

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

Grotkampovi koef. raspodele presečnih sila za temelj stalne visine  $\alpha := 1.94$   $\beta := 0.97$   $\gamma := 0.97$

**potrebna statička visina preseka prema momentima savijanja**

$$h_{ML} := \sqrt{\frac{\alpha \cdot M_L}{0.096 \cdot B \cdot f_{cd}}} = 38.534 \text{ cm} \quad h_{MB} := \sqrt{\frac{\alpha \cdot M_B}{0.096 \cdot L \cdot f_{cd}}} = 19.267 \text{ cm}$$

**potrebna statička visina preseka prema transferzalnim silama**

iterativni postupak određivanja vrednosti faktora  $k$ , i preko njega  $h_T$  - u ovom primeru se polazi od na početku zadatka pretpostavljene visine temelja

za pretpostavljeno  $d = 80 \text{ cm}$   $h_T := d - 7 \text{ cm} = 73 \text{ cm}$   $k := 1 + \sqrt{\frac{200 \text{ mm}}{h_T}} = 1.523$

$$h_{TL} := \frac{\gamma \cdot T_L}{0.035 \cdot k^{1.5} \cdot \text{MPa} \cdot B \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}}} = 72.201 \text{ cm} \quad h_{TB} := \frac{\gamma \cdot T_B}{0.035 \cdot k^{1.5} \cdot \text{MPa} \cdot L \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}}} = 36.101 \text{ cm}$$

Ovo pokazuje da je visina temelja dobro pretpostavljena na početku zadatka :-)

**Statička visina temelja**  $h := \max(h_{ML}, h_{MB}, h_{TL}, h_{TB}) = 72.201 \text{ cm}$

**Ukupna visina temelja**  $d := h + 7 \text{ cm} = 79.201 \text{ cm}$  usvojeno  $d := 80 \text{ cm}$

$$h := d - 7 \text{ cm} = 73 \text{ cm} \quad D_f := d + h_z = 1.6 \text{ m}$$

**Potrebna količina armature**

Temelji samci se armiraju nosećom armaturom u donjoj (zategnutoj) zoni temelja, u oba pravca:

$$potA_{aL} := \frac{\beta \cdot M_L}{0.9 \cdot h \cdot f_{yd}} = 3.005 \text{ cm}^2 \quad potA_{aB} := \frac{\beta \cdot M_B}{0.9 \cdot h \cdot f_{yd}} = 1.502 \text{ cm}^2$$

Kod temelja kod kojih su strane naležuće površine određene iz uslova da prate odnos strana stuba, potrebna je duplo veća količina armature u pravcu duže dimenzije temelja.

Ukoliko se temelj armira šipkama armature koje nisu fabrički zavarene, tada je raspodela armature sledeća:

širina i dužina temelja se dele na po 8 jednakih lamela širine:  $B_i := \frac{B}{8} = 10.625 \text{ cm}$   $L_i := \frac{L}{8} = 21.25 \text{ cm}$

površina 1 šipke armature  $\emptyset 6$   $a_{a1} := 0.28 \text{ cm}^2$   $\frac{potA_{aL}}{a_{a1}} = 10.731$  potrebno je 11 $\emptyset 6$  za armiranje temelja u pravcu L

I lamela - ivična  $potA_{a,I} := 6\% \cdot potA_{aL} = 0.18 \text{ cm}^2$   $1\emptyset 6$   $A_{a,I} := 1 \cdot a_{a1} = 0.28 \text{ cm}^2$

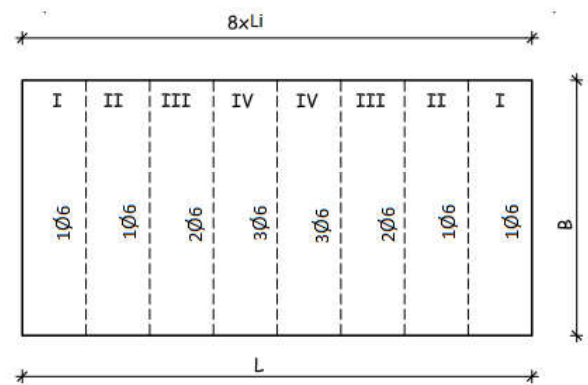
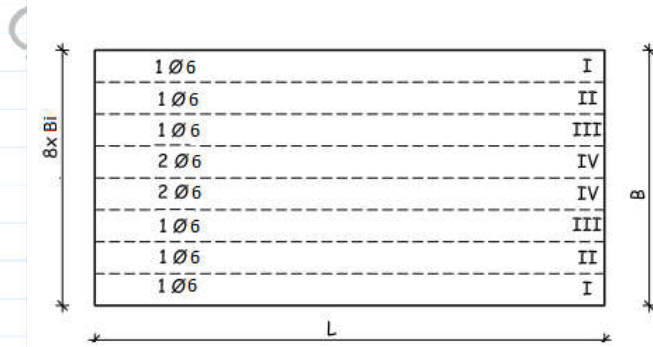
II lamela  $potA_{a,II} := 8\% \cdot potA_{aL} = 0.24 \text{ cm}^2$   $1\emptyset 6$   $A_{a,II} := 1 \cdot a_{a1} = 0.28 \text{ cm}^2$

III lamela  $potA_{a,III} := 13\% \cdot potA_{aL} = 0.391 \text{ cm}^2$   $2\emptyset 6$   $A_{a,III} := 2 \cdot a_{a1} = 0.56 \text{ cm}^2$

IV lamela - središnja  $potA_{a,IV} := 23\% \cdot potA_{aL} = 0.691 \text{ cm}^2$   $3\emptyset 6$   $A_{a,IV} := 3 \cdot a_{a1} = 0.84 \text{ cm}^2$

$$stvA_{aL} := 2 \cdot (A_{a,I} + A_{a,II} + A_{a,III} + A_{a,IV}) = 3.92 \text{ cm}^2 \quad stvA_{aL} > potA_{aL}$$

U pravcu širine temelja B se usvaja duplo manja količina armature nego u pravcu L, a u ovom primeru, s obzirom na mali broj profila koji je potreban, to će biti ovako:



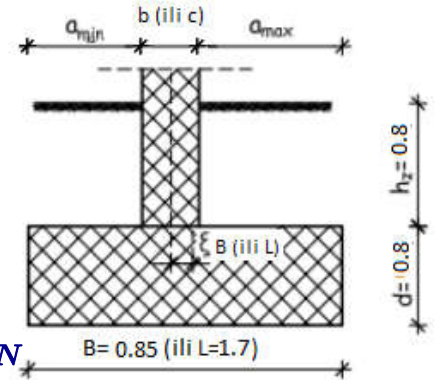
## 5. Kontrola napona u tlu

Analiza opterećenja

Granično opterećenje sa zida  $V = 643.5 \text{ kN}$

Težina temelja  $G_{tem} := B \cdot L \cdot d \cdot \gamma_{ab} = 28.9 \text{ kN}$

Težina tla  $G_{tla} := (B - b_s) \cdot (L - c_s) \cdot h_z \cdot \gamma'_t = 8.954 \text{ kN}$



$$\Sigma V := V + \gamma_{g.p.A1} \cdot (G_{tem} + G_{tla}) = 694.603 \text{ kN}$$

Temelj je centrisan, pa je:  $\Sigma M_L := 0 \text{ kN} \cdot \text{m}$

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

$$\sigma_u := \frac{\Sigma V}{B \cdot L} = 480.694 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

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

$$\sigma_{doz} = 528.526 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$