

## Zajednički temelj za više stubova u nizu (kontragreda)

Za velika opterećenja stubova i malu otpornost tla, dimenzije kontaktne površine temelja samaca mogu biti velike u odnosu na rastojanja između stubova. U ovakvim slučajevima umesto pojedinačnih temelja ispod svakog stuba može se predvideti zajednički temelj preko koga bi se prenelo opterećenje od više stubova na tlo.

Zajednički temelj za više stubova može se predvideti i u slučaju kada postoji mogućnost diferencijalnih sleganja, a konstrukcija iznad temelja je osetljiva na neravnomerna sleganja. Diferencijalna sleganja mogu biti posledica velikih razlika u veličinama sila u stubovima ili nehomogenosti tla na koje se prenosi opterećenja sa temeljne konstrukcije. Primenom zajedničkog temelja za više stubova povećava se krutost konstrukcije kao celine, a razlike u sleganjima se svode na prihvatljive veličine.

Za proračun temeljnih nosača postoji više postupaka koji su zasnovani na pretpostavkama o raspodeli pritisaka u kontaktnoj površini ili na pretpostavkama o osobinama i ponašanju tla kao podloge pod opterećenjem.

Najjednostavniji postupak za proračun temeljnih nosača zasnovan je na pretpostavci da je raspodela pritisaka u kontaktnoj površini pravolinijska. Proračun temeljnih nosača, zasnovan na pravolinijskoj raspodeli kontaktnih pritisaka, obuhvata određivanje dimenzija kontaktne površine, određivanje presečnih sila i izboru poprečnog preseka temeljnog nosača.

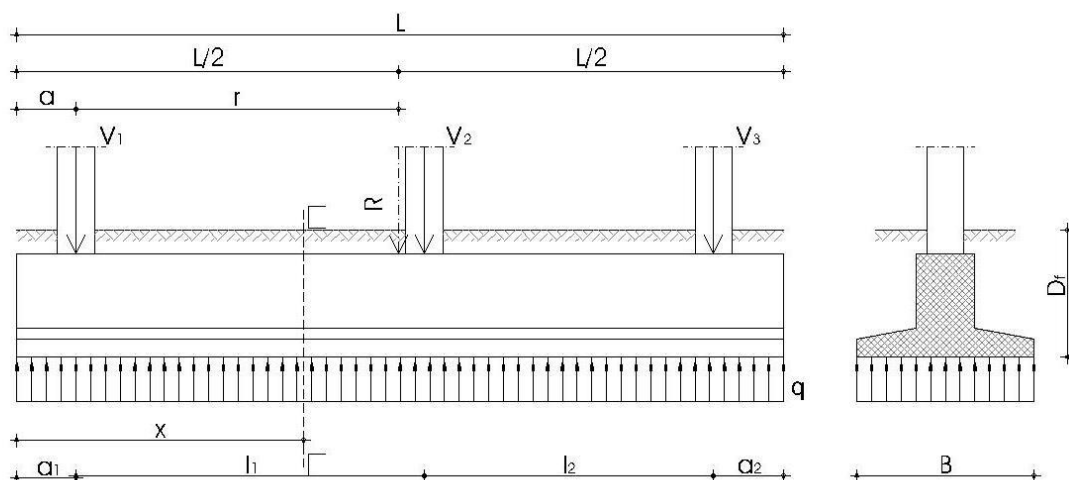
Dimenzije kontaktne površine se određuju iz uslova da za merodavnu kombinaciju opterećenja pritisak na tlo ne bude veći od dozvoljenog pritiska za usvojenu dubinu fundiranja. Potrebno je temeljni nosač bude centrično opterećen, tj. da se napadna tačka rezultante opterećenja podudara sa težištem kontaktne površine. Neophodno je da ovaj uslov bude ispunjen za stalno opterećenje, dok se za povremeno opterećenje može odstupiti od ovog uslova.

Centrično opterećenje temelja možemo postići izborom veličine prepusta temeljnog nosača. Veličine prepusta biramo tako da raspodela momenata savijanja bude što ravnomernija po dužini nosača. Širina temeljnog nosača treba da bude konstantna i od tog uslova ne treba odstupiti ako za to ne postoje posebni zahtevi.

Usvajanjem veličine jednog prepusta, kod temelja konstantne širine, veličina drugog prepusta je određena iz uslova da je temelj centrično opterećen. Veličina prvog prepusta se može usvojiti u granicama

$$a_1 \approx (0.25 - 0.30) \cdot l \quad (3.1)$$

gde je  $l$  najveće rastojanje između stubova koji se nalaze na temeljnom nosaču.



Slika III.1

Posmatrajmo temeljni nosač za tri povezana stuba, prikazan na slici III.1, i pretpostavimo da smo usvojili veličinu prepusta  $a_1$  prema izrazu 3.1.

Rezultanta sila koje deluju na zajednički temelj je

$$R = \sum_{i=1}^3 V_i = V_2 \cdot l_1 + V_3 \cdot (l_1 + l_2) \quad (3.2)$$

sa napadnom tačkom na rastojanju  $r$  od ose prvog stuba, koje je određeno jednačinom

$$R \cdot r = \sum V_i \cdot a_i \quad (3.3)$$

gde su:

$V_i$  - sile na donjoj ivici stubova,

$a_i$  - odstojanje sile  $V_i$  od tačke u odnosu na koju određujemo položaj rezultante.

Kako napadna tačka rezultante treba da se poklopi sa težištem kontaktne površine, to znači da će se napadna tačka rezultante nalaziti na polovini njegove dužine.

$$L/2 = a_1 + r \rightarrow L = 2 \cdot (a_1 + r) \quad (3.4)$$

Korišćenjem uslova da zbir prepusta i svih rastojanja između stubova mora biti jednak dužini temeljnog nosača može se odrediti i veličina drugog prepusta  $a_2$ . Pošto je određena dužina temeljnog nosača može se preći na određivanje presečnih sila merodavnih za dimenzionisanje temeljnog nosača.

Pri dimenzionisanju temeljnog nosača potrebno je voditi računa o statičkim uticajima u podužnom i poprečnom pravcu. U poprečnom pravcu su obično merodavni momenti savijanja i prema njima se određuje potrebna visina temeljne ploče. Za dimenzionisanje temeljnog nosača, u podužnom pravcu, merodavni su momenti savijanja ili transverzalne sile. Potrebno je odrediti veličine presečnih sila i prema njihovim vrednostima izvršiti dimenzionisanje temeljnog nosača. Način na koji se određuju presečne sile po dužini temeljnog nosača zavisi od usvojenog statičkog sistema za temeljni nosač.

Ako su određene sile koje sa stubova deluju na temeljni nosač i otpor tla kao reakcija njihovog delovanja, temeljni nosači su u statičkom smislu statički određeni. Iz uslova ravnoteže mogu se odrediti presečne sile po dužini temeljnog nosača.

Moment savijanja u preseku koji se nalazi na rastojanju  $x$  od levog kraja temeljnog nosača je:

$$M_x = \frac{1}{2} \cdot q \cdot x^2 - V_1 \cdot (x - a_1) \quad (3.4)$$

Veličina transverzalnih sila:

$$T_x = q \cdot x - V_1 \quad (3.5)$$

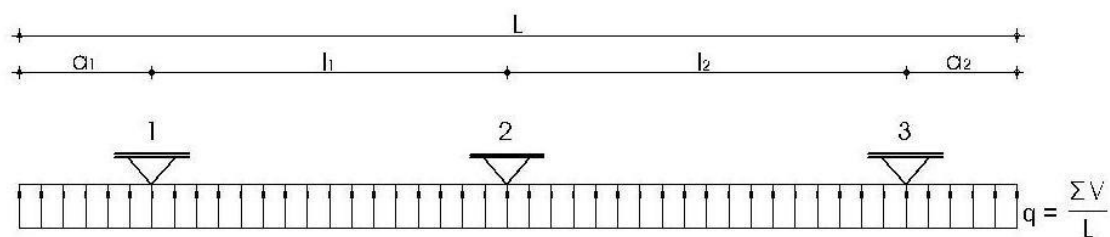
gde je:

$$q = \frac{\sum_{i=1}^3 V_i}{L} \quad (3.6)$$

reaktivno opterećenje bez uticaja težine temeljnog nosača i težine tla iznad njega.

Ovako usvojen statički sistem temeljnog nosača daje veoma male vrednosti momenata savijanja ispod unutrašnjih stubova. Ako se pretpostavi da su na mestima stubova nepomerljivi oslonci, tada je temeljni nosač statički neodređen ako je broj stubova veći od dva i u statičkom smislu predstavlja kontinualni nosač. Ovako usvojen statički sistem je realniji ukoliko je konstrukcija iznad temelja kruća.

Na slici III.2 prikazan je statički sistem zajedničkog temelja za tri stuba i opterećenje koje deluje na temeljni nosač.

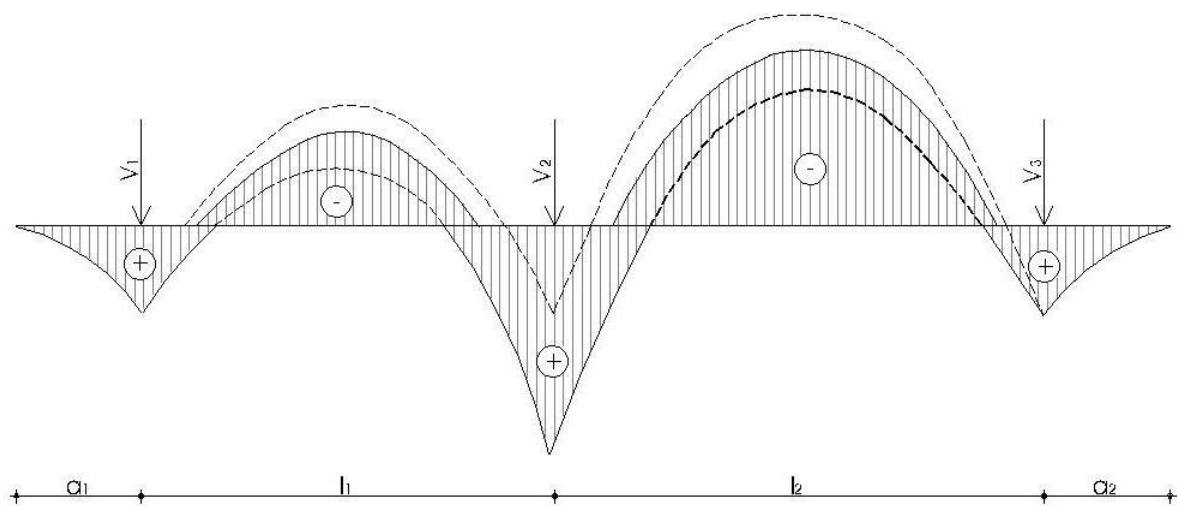


Slika III.2

U ovako usvojenom statičkom sistemu reakcije oslonaca  $R_1$ ,  $R_2$  i  $R_3$  se ne slažu pojedinačno sa silama u stubovima  $V_1$ ,  $V_2$  i  $V_3$ , mada je njihov zbir jednak rezultanti sila u stubovima. Neusaglašenost je posledica raspodele pritisaka u kontaktnoj površini temeljnog nosača. Raspodela pritisaka na tlo odstupa od pretpostavljene pravolinijske raspodele, ukoliko su rastojanja između stubova veća, ukoliko su veće razlike između sila u stubovima i što je manja krutost temelja i konstrukcije iznad temelja. Na mestima delovanja koncentrisanih sila pritisci su veći, a između stubova manji uz uslov da je uslov ravnoteže ispunjen  $\sum V = 0$ .

Momente savijanja u poljima kod statički određenog nosača treba smanjiti, a momente savijanja ispod stubova povećati. Momente savijanja ispod stubova određujemo iz uslova da temeljni nosač statički neodređen i da predstavlja kontinualni nosač.

Na slici III.3 prikazan je dijagram momenata savijanja temeljnog nosača za tri povezana stuba. Punom linijom prikazan je dijagram momenata savijanja prema kome treba dimenzionisati temeljni nosač. Isprekidanom linijom prikazan je dijagram momenata savijanja za temeljni nosač posmatran kao statički određen sistem.



Slika III.3

Za poprečni presek temeljnog nosača usvaja se ploča ojačana rebrom. Dimenzije rebra se određuju prema merodavnim presečnim silama. Iz konstruktivnih razloga širina rebra treba da bude veća od širine stuba za 10 do 20 cm. U slučaju mogućeg odstupanja temelja od projektom predviđenog položaja, na taj način se omogućava da se stubovi izvedu na predviđenim mestima. Prema maksimalnoj veličini momenta savijanja ispod stubova određuje se potrebna visina temeljnog nosača.

Određivanje zamenjujućeg parcijalnog koeficijenta sigurnosti za dejstva:

$$\bar{\gamma}_u = 0.75 \cdot \gamma_G + 0.25 \cdot \gamma_Q \quad (3.7)$$

Proračunska vrednost merodavnog momenta savijanja je:

$$M_{Ed} = \bar{\gamma}_u \cdot M_{max} \quad (3.8)$$

Proračunska vrednost čvrstoće betona na pritisak za usvojenu klasu betona je:

$$f_{cd} = \alpha \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (3.9)$$

Potrebna statička visina temeljnog nosača prema proračunskoj vrednosti merodavnog momenta savijanja:

$$d_M \geq k \cdot \sqrt{\frac{M_{Ed}}{b_0 \cdot f_{cd}}} = 2.311 \cdot \sqrt{\frac{M_{Ed}}{b_0 \cdot f_{cd}}} \quad (3.10)$$

gde je

$b_0$  - usvojena širina rebra temeljnog nosača.

Statičku visinu temeljnog nosača treba odrediti i prema merodavnim transverzalnim silama, odnosno glavnim naponima zatezanja.

Proračunska vrednost merodavne transverzalne sile je:

$$V_{Ed} = \bar{\gamma}_u \cdot T_{max} \quad (3.11)$$

Potrebna statička visina temeljnog nosača prema proračunskoj vrednosti transverzalne sile:

$$v_{Rd,max} = 0.5 \cdot 0.6 \cdot \left[ 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] \cdot f_{cd} \quad (3.12)$$

$$d_T \geq \frac{2 \cdot V_{Ed}}{0.9 \cdot b_0 \cdot v_{Rd,max}} \quad (3.13)$$

Za statičku visinu temeljnog nosača usvaja se veća vrednost od sračunatih statičkih visina prema merodavnim proračunskim vrednostima momenta savijanja i transverzalne sile.

Pri usvajanju ukupne visine temeljnog nosača debljinu zaštitnog sloja treba odrediti tako da odstojanje armature od donje ivice temelja ne bude manje od 5 cm. Gornja ivica temeljnog nosača treba da bude najmanje 15 cm ispod poda objekta ili površine terena, osim ako nije nekim posebnim zahtevima drugačije usvojeno. Ispod armiranobetonskog temelja obavezan je tamponski sloj od nearmiranog betona debljine 5-10 cm.

Za određivanje presečnih sila po dužini temeljnog nosača nije neophodno predhodno određivanje dimenzija kontaktne površine (širina temeljne ploče B), već samo njegova dužina L jer se presečne sile određuju za "neto" napon. Od veličine presečnih sila zavise dimenzije poprečnog preseka temeljnog nosača, njegova visina, koja je merodavna za usvajanje dubine fundiranja.

Ako je temeljni nosač centrično opterećen tada potrebnu naležuću površinu (širinu temeljne ploče B) možemo odrediti iz sledećeg izraza:

$$B = \frac{\bar{\gamma}_u \cdot R}{L \cdot (\sigma_{Rd} - \gamma_G \cdot 0.85 \cdot \gamma_b \cdot D_f)} \quad (3.14)$$

gde je

R - ukupno vertikalno opterećenje koje se preko temeljnog nosača prenosi na tlo. Ostale oznake su poznate od ranije.

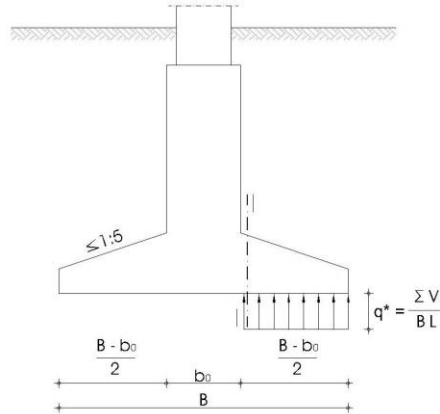
Debljinu temeljne ploče treba odrediti prema momentima savijanja. Posmatra se traka širine jednake jedinici i za najnepovoljniji presek odredi momenat savijanja (slika III.4). Prema ovom momentu savijanja odredi se statička visina temeljne ploče.

Momenat savijanja je dat sledećim izrazom:

$$M_{I-I} = \frac{q^* \cdot (B - b_0)^2}{8} \quad (3.15)$$

gde je

$$q^* = \frac{1.0 \cdot R}{B \cdot L} \quad (3.16)$$



Slika III.4

Potrebna statička visina temeljne ploče prema proračunskoj vrednosti merodavnog momenta savijanja:

$$d_M^{ploce} \geq 2.311 \cdot \sqrt{\frac{\bar{\gamma}_u \cdot M_{I-I}}{1.0 \cdot f_{cd}}} \quad (3.17)$$

Transverzalna sila data je sledećim izrazom:

$$T_{I-I} = \frac{q^* \cdot (B - b_0)}{2} \quad (3.18)$$

dok je proračunska vrednost transverzalne sile:

$$V_{Ed}^{I-I} = \bar{\gamma}_u \cdot T_{I-I} \quad (3.19)$$

Potrebna statička visina temeljne ploče iz uslova nosivosti ploče pri smicanju:

$$V_{Ed}^{I-I} \leq V_{Rd} = V_{Rd,c} = \max \left\{ \begin{array}{l} C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot 1.0 \cdot d_T^{ploce} \\ 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} \cdot 1.0 \cdot d_T^{ploce} \end{array} \right. \quad (3.20)$$

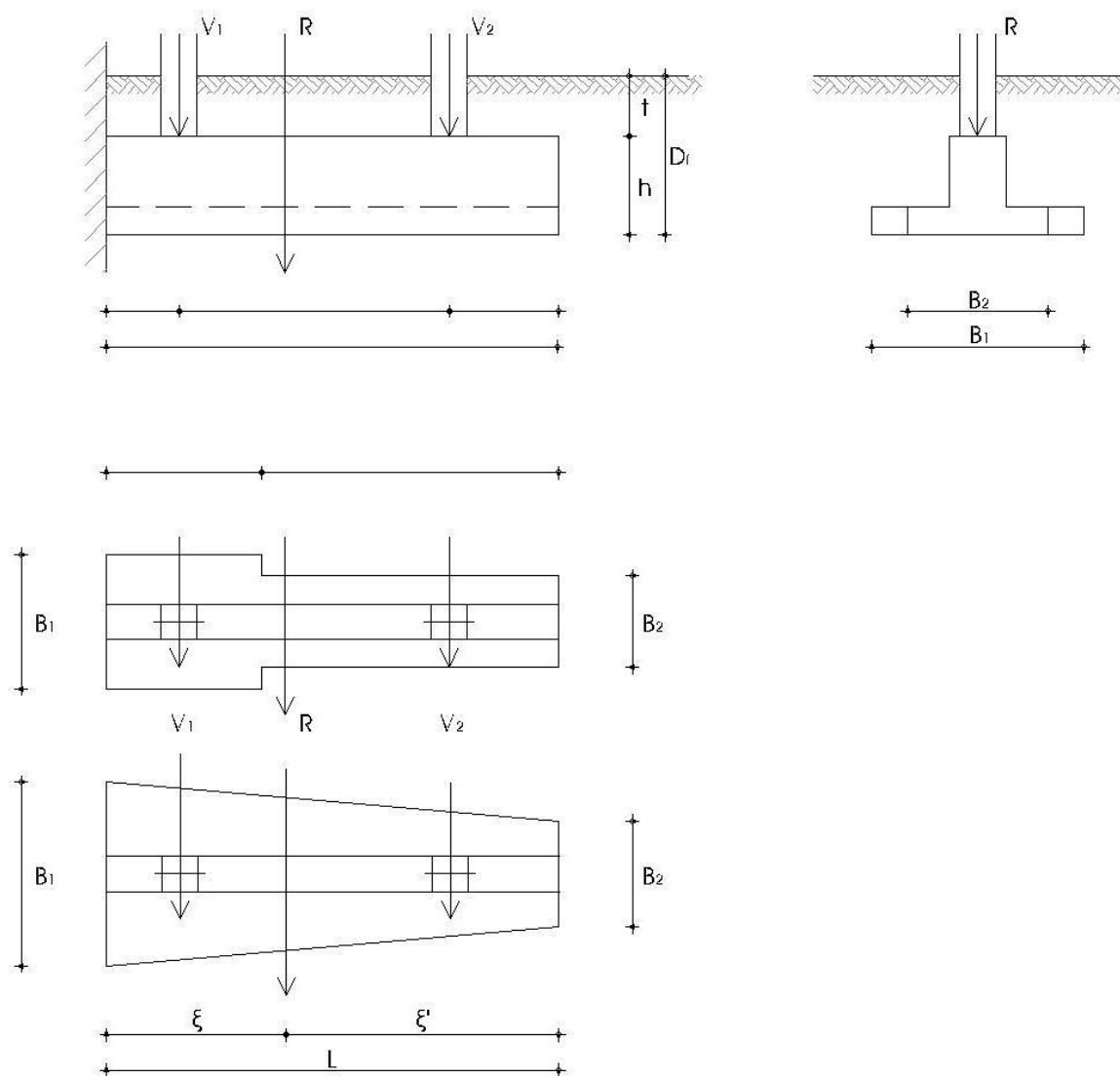
Prema izrazu (3.18) određivanje potrebne visine temeljne ploče na osnovu nosivosti pri smicanju izvršeno je na osnovu proračunske sile smicanja  $V_{Ed}^{I-I}$  u preseku I-I. Ovakav postupak je na strani sigurnosti, s obzirom da EC2 dozvoljava da se proračun nosivosti za smicanje sprovodi za  $V_{Ed}$  na rastojanju jednakom  $d$  od ivice oslonca.

Ukoliko nema nekih specijalnih razloga, uobičajeno je da se ploča temeljnog nosača gradi konstantne širine ( $B$ ) duž čitave dužine ( $L$ ) temeljnog nosača. Kada je onemogućen izbor, ili građenje prepusta ( $a$ ) na krajevima nosača, onda se izvodi osnova trapeznog ili stepenastog oblika. Za slučaj da je neki od stubova iznad temeljnog nosača opterećen znatno većom silom od susednih stubova, u području tog stuba može se, na delu oko stuba predvideti ploča temeljnog nosača veće širine.

Kada je usvojena osnova trapeznog oblika (videti sliku III.5), nepoznate širine temeljne ploče na njenim krajevima, možemo odrediti prema izrazima za potrebnu kontaktnu površinu i uslovu da se napadna tačka rezultante poklopa sa težištem kontaktne površine:

$$F = 1/2 \cdot (B_1 + B_2) \cdot L \quad (3.21.a)$$

$$\xi = \frac{B_1 + 2 \cdot B_2}{B_1 + B_2} \cdot \frac{L}{3} \quad (3.21.b)$$



Slika III.5

Koeficijent relativne krutosti temelja određen je sledećim izrazom:

$$k = \frac{1}{12} \cdot \frac{E_b}{E_0} \cdot \left( \frac{h}{L} \right)^3 \quad (3.22)$$

gde su:

$E_b$  - modul elastičnosti betona temeljne konstrukcije,

$E_0$  - modul elastičnosti tla,

$h$  - visina temeljne konstrukcije,

$L$  - dužina temeljne konstrukcije.

Prema našim propisima za fundiranje, ako je koeficijent relativne krutosti temelja  $k \geq 0.40$  može se usvojiti linearna raspodela pritisaka temelja na tlo u kontaktnoj površini.