

## 6.6 Proračun temelja na šipovima

### 6.6.1 Određivanje potrebnog broja šipova

Određivanje potrebnog broja šipova je vezano, u prvom redu, sa izborom vrste šipova i pravilnom procenom osobina slojeva tla u kome se predviđa fundiranje na šipovima. Pri izboru vrste i dužine šipova treba poći od postavke da šipovima treba proći sve slabe slojeve i da šipovi treba da uđu u slojeve tla male deformabilnosti.

Veoma često u tlu nije jasno izražena granica između slabih i otpornih slojeva. Ako plitko fundiranje ne dolazi u obzir, dužine šipova treba odrediti na osnovu ekonomskih pokazatelja, vodeći računa o dimenzijama temeljne stope, opterećenju temelja i racionalnom tipu šipa.

Ako se stena nalazi na dubini od 15-20 m, obično se primenjuju stojeći šipovi. U takvim slučajevima treba težiti što manjem broju šipova na račun povećanja dimenzija poprečnog preseka.

Za određivanje broja lebdećih šipova nema posebnih uslova. Pri primeni lebdećih šipova treba izabrati vrstu šipa, njegovu dužinu i odrediti njegovu nosivost, imajući u vidu da je, gotovo uvek, ekonomski povoljniji temelj sa manjim brojem dužih šipova nego temelj sa većim brojem kraćih šipova. Dubina, na kojoj treba postaviti stopu iznad šipova, zavisi kako od konstrukcije objekta isto tako i od vrste šipova.

Donja ivica temeljne stope iznad drvenih šipova treba uvek da bude ispod najnižeg nivoa vode, bilo da je u pitanju podzemna voda ili voda u otvorenom vodotoku. Pošto je usvojen položaj donje ivice temelja, izabrana vrsta šipova i usvojene njihove dimenzije, treba odrediti dozvoljeno opterećenje šipa kako je to ranije pokazano.

U sledećem koraku treba odrediti potreban broj šipova. Za centrično opterećenje, tj. kada rezultanta opterećenja deluje u težištu grupe šipova, broj šipova se može odrediti pomoću formule:

$$n = \frac{1.1 \cdot V_d}{R_{c;d}} \quad (\text{VI.10})$$

gde je:

$n$  - potreban broj šipova

$V_d$  - vertikalna komponenta proračunske rezultante opterećenja

1.1 - koeficijent kojim se obuhvata težina nadglavne ploče i tla iznad nadglavne ploče

$R_{c;d}$  - proračunska nosivost šipa.

Ako je opterećenje ekscentrično, rezultanta opterećenja može imati stalan tako i promenljiv ekscentritet pri kome ona može zauzimati povremeno položaj sa leve ili desne strane od težišne ose.

Broj šipova za temelje sa stalnim ekscentricitetom se može odrediti po istom obrascu po kome se određuje broj šipova ispod centrično opterećenih temelja, ali tada šipove treba rasporediti tako da se položaj rezultante poklapa sa težištem šipova. Pri tome mora biti zadovoljen uslov da najmanje rastojanje između šipova ne bude manje od 3d. Posmatrajmo sada slučaj kada nije moguće ostvariti centrično opterećenje šipova, bilo da je u pitanju stalan ili promenljiv ekscentricitet.

Pretpostavimo oblik i dimenzije temelja. Dalje, pretpostavimo da temelj ima pravougaonu osnovu. Ako redukujemo rezultantu opterećenja koja deluje u ravni u težište osnove temelja imaćemo vertikalnu silu  $V$ , horizontalnu silu  $H$  i momenat

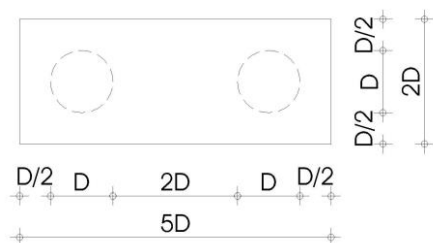
savijanja  $M$ . Ako ispod temelja ne bi bilo šipova tada bi se od vertikalne sile i momenta savijanja pojavili pritisci na tlo. Dijagram ovih pritisaka ima oblik trapeza. Ako se ispod temelja nalaze šipovi tada pritiske u kontaktnoj površi temelja treba potpuno da preuzmu šipovi. Broj šipova, ako je usvojena vrsta šipova, njihova dužina, dimenzije poprečnog preseka i određena njihova nosivost, možemo približno odrediti po obrascu:

$$n = \frac{1.1 \cdot V_d}{R_{c;d}} \cdot \eta \quad (\text{VI.11})$$

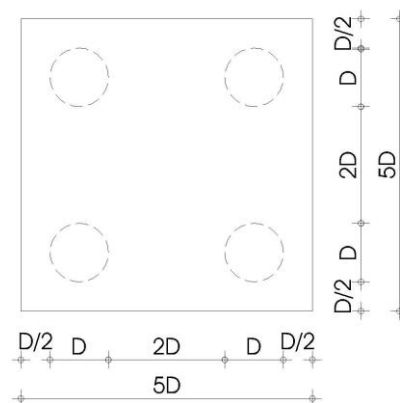
gde je:

$\eta$  - koeficijent koji se kreće u granicama od 1.1 do 1.3, kojim se obuhvata promenljivost položaja rezultante ( $\eta = 1$  za centrično opterećenje).

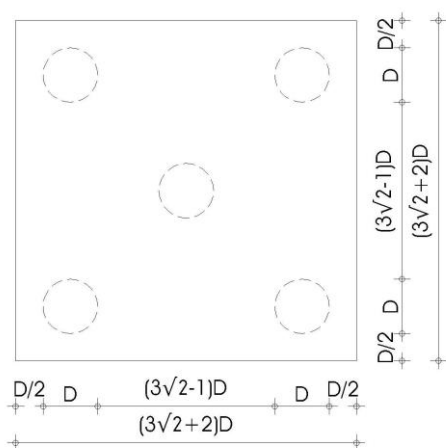
Dobijeni broj šipova treba rasporediti ispod temelja. Najracionalniji raspored šipova je onaj pri kome su svi šipovi podjednako opterećeni. Šipove, pošto se odredi potreban broj, treba rasporediti u osnovi temelja. Šipovi se mogu rasporediti u osnovi u redovima ili šahmatnom poretku (videti slike VI.17-a do VI.17-h). Raspored šipova u redovima ili po šahmatnom poretku se u suštini ne razlikuje. U oba slučaja treba težiti smanjivanju dimenzija temeljne stope do konstruktivnog minimuma, kako bi do maksimuma smanjili zemljane radove i količinu betona temeljne stope. Razmak između šipova treba da bude minimalan. Međutim, ako su dimenzije temeljne stope iz konstruktivnih razloga znatno veće od potrebnih minimalnih dimenzija, šipovi u ovom slučaju mogu da budu i na međusobnim rastojanjima većim od minimalnih.



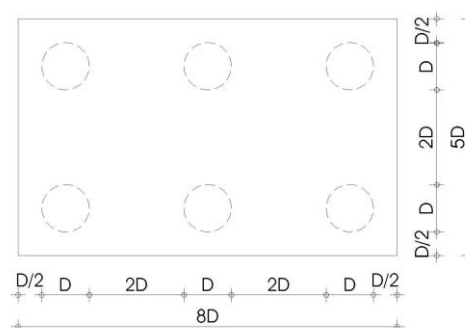
Slika VI.17-a



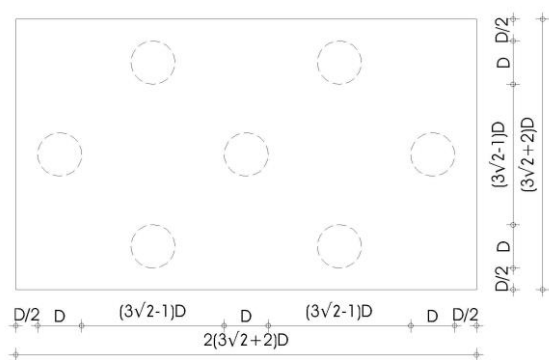
Slika VI.17-b



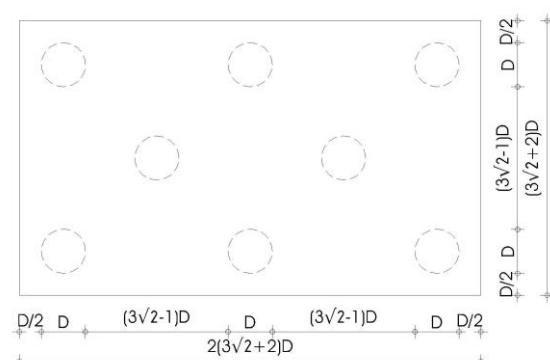
Slika VI.17-c



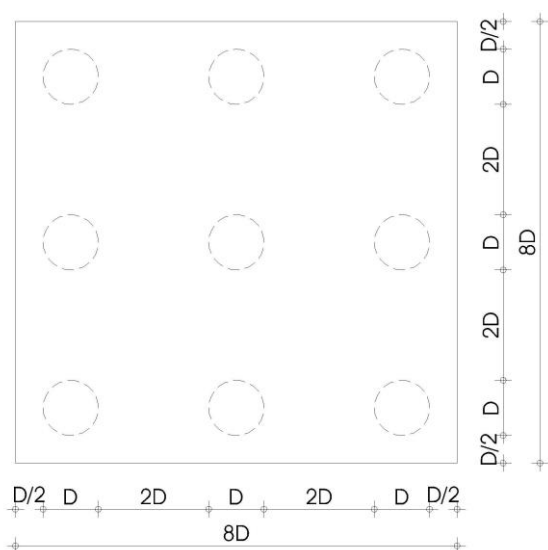
Slika VI.17-d



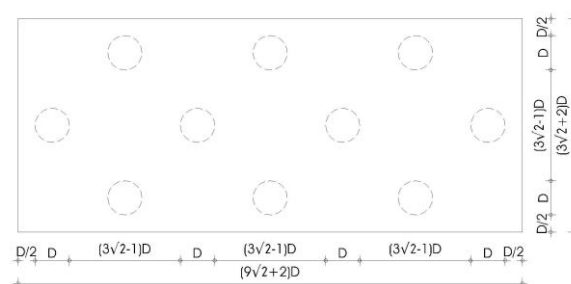
Slika VI.17-e



Slika VI.17-f



Slika VI.17-g



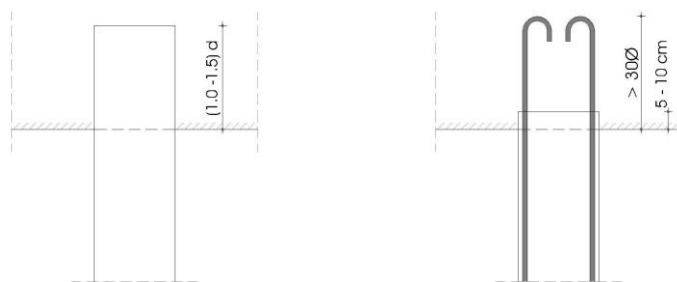
Slika VI.17-h

Rastojanje između osa pobijenih šipova ne treba da bude manje od trostrukog prečnika šipa u ravni baza šipova a ni manje od 1.5-strukog prečnika šipa u ravni donje ivice temeljne stope. U ovakvim uslovima mogu se dobiti veoma ekonomične temeljne stope ako se primene kosi šipovi.

Ako se za pobijanje šipova u peskovito tlo koriste vibromaljevi, usled velikog povećanja gustine tla između šipova, rastojanje između osa šipova u nivou njihovih baza ne bi trebalo da bude manje od  $4d$ . Praksa je pokazala da nepoštovanje ove preporuke može dovesti do nemogućnosti izvođenja svih šipova do projektovane dubine.

Odstojanje od ivice temeljne stope do osa šipova u krajnjim redovima ne bi trebalo da bude manje od  $0.7d$  ako je temeljna stopa od armiranog betona i  $1.5d$  ako je od nearmiranog betona. Za  $d$  se uzima prečnik za šipove kružnog poprečnog preseka ili prečnik opisanog kruga, ako su šipovi mnogougaoanog poprečnog preseka. Za šipove kvadratnog poprečnog preseka za  $d$  treba uzeti veličinu strane kvadrata.

Ako je iznad šipova temeljna stopa od nearmiranog betona gornji kraj šipa treba upustiti u temeljnu stopu. Veza šipa sa armirano betonskom temeljnom stopom može se izvesti ako se šip upusti u temeljnu stopu 5-10 cm, ali zato se mora obezbediti usidrenje podužne armature u temeljnu stopu (slika VI.18).



Slika VI.18

Za ravnomernu raspodelu pritiska u kontaktnoj površi temelja šipovi se raspoređuju ravnomerno na ovoj površi. Ako se pritisci u kontaktnoj površi menjaju po zakonu trapeza ili trougla šipove treba raspodeliti tako da sile u šipovima budu jednake. U takvim slučajevima na strani sa većim pritiscima biće i veći broj šipova.

Ako se posle izvršenog rasporeda šipova i kontrole položaja težišta šipova pokaže neznatno odstupanje težišta šipova od mesta gde deluje rezultanta treba, za veličinu ove razlike, pomeriti temeljnu stopu.

Ravnomeran raspored šipova u osnovi znatno uprošćava i pojednostavljuje izvođenje radova na šipovima. Treba skrenuti pažnju da pri trapezastom dijagramu pritisaka u ravni donje ivice temeljne stope, raspoređivanje šipova prema dijagramu jednakih površina radi prenošenja jednakih sila na sve šipove, dovodi do neravnomernog rasporeda šipova u osnovi. Ako su šipovi vertikalni ovim se ne izravnavaju pritisci u nivou baza šipova, a to dovodi do nejednakog sleganja temelja na lebdećim šipovima.

Radi izravnavanja pritisaka na nivou baza šipova, u ovakvim slučajevima, treba ispod temelja na strani većih pritisaka, predvideti odgovarajući broj kosih šipova. U principu treba težiti da rezultanta od stalnog opterećenja, koje deluje na temelj, prolazi što je moguće bliže i težištu grupe šipova, kako u osnovi ispod temeljne stope tako i u nivou baza šipova.

## 6.6.2 Određivanje sila u šipovima

### 6.6.2.1 Temeljna stopa na vertikalnim šipovima

Pošto se rasporede šipovi potrebno je proveriti sile u njima. Sila u bilo kom šipu, od ukupne vertikalne komponente rezultante koja deluje centrično data je izrazom:

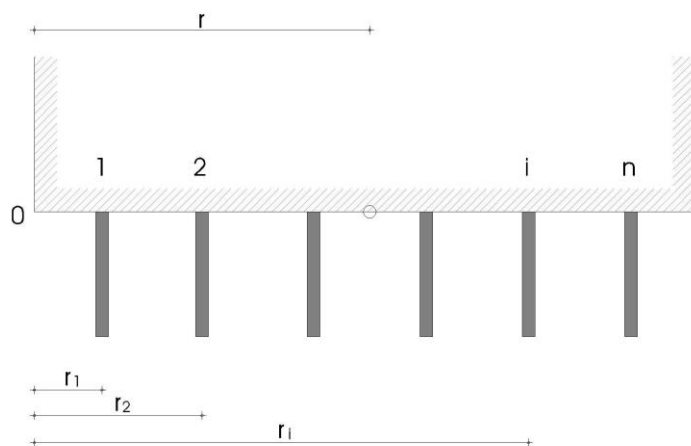
$$S = \frac{\sum V}{n} \quad (\text{VI.12})$$

Ako je  $a_i$  površina poprečnog preseka šipa  $i$ , a  $r_i$  odstojanje ose istoga šipa od neke ose O, na primer ose koja prolazi kroz prednju ivicu temeljne stope (slika VI.19). Odstojanje težišta grupe šipova od tačke O je:

$$r = \frac{\sum a_i \cdot r_i}{\sum a_i} \quad (\text{VI.13})$$

Ako su svi šipovi istog poprečnog preseka, dobija se:

$$r = \frac{\sum r_i}{n} \quad (\text{VI.14})$$



Slika VI.19

Promenom rastojanja između osa šipova menjaće se i veličina  $r$ . Rasporedom šipova možemo uticati na položaj težišta grupe šipova.

Moment inercije grupe šipova  $I$ , u odnosu na osu koja prolazi kroz zajedničko težište grupe šipova, jednak je momentu inercije svih šipova u odnosu na istu osu:

$$I = \sum_{i=1}^n I_i \quad (\text{VI.15})$$

Ako sa  $y_i$  obeležimo odstojanje ose šipa  $i$  od težišne ose, za svaki šip iz grupe možemo napisati:

$$I_i = I_i^0 + a_i \cdot y_i^2 \quad (\text{VI.16})$$

gde je:

$I_i^0$  - sopstveni moment inercije poprečnog preseka šipa

$a_i \cdot y_i^2$  - položajni moment inercije poprečnog preseka šipa  $i$ .

Kako je sopstveni moment inercije poprečnog preseka šipa u poređenju sa položajnim momentom inercije mali, možemo ga zanemariti.

U tom slučaju izraz za momenat inercije grupe šipova možemo napisati u sledećem obliku:

$$I = \sum_{i=1}^n a_i \cdot y_i^2 \quad (\text{VI.17})$$

Ako su površine poprečnih preseka svih šipova jednake, izraz (VI.24) možemo napisati u obliku:

$$I = a \sum_{i=1}^n y_i^2 \quad (\text{VI.18})$$

Ako izraz za normalni napon u poprečnom preseku nekog elementa pri ekscentričnom pritisku pomnožimo sa  $a$

$$a \cdot \sigma = \frac{a \cdot V}{A} + \frac{a \cdot M \cdot y_i}{a \sum_{i=1}^n y_i^2} \quad (\text{VI.19})$$

Kako je  $A = n \cdot a$  a  $S = a \cdot \sigma$ , dobija se:

$$S = \frac{V}{n} + \frac{M \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n y_i^2} \quad (\text{VI.20})$$

Ako na temeljnu konstrukciju deluje opterećenje koje daje momente savijanja u obe ravni, analogno možemo odrediti sile u šipovima:

$$S = \frac{V}{n} + \frac{M_x \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n y_i^2} + \frac{M_y \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (\text{VI.21})$$

#### 6.6.2.2 Temelj koji se sastoji iz dve grupe kosih šipova

Ako su horizontalne sile znatne u poređenju sa vertikalnim i uticaji koji se predaju u glavama šipova izvan prihvatljivih granica, bilo u pogledu nosivosti bilo u pogledu mogućeg horizontalnog pomeranja, tada, pored vertikalnih šipova, treba predvideti i kose šipove. Ako horizontalna sila menja smer a ugao između rezultante i vertikale je veći od  $5^\circ$  mogu se primeniti grupe šipova sa različitim nagibima. Ovakvi temelji imaju veliku krutost za bilo koji pravac rezultante.

Za temelj, koji se sastoji od dve grupe kosih šipova, pretpostavićemo, radi uprošćenja proračuna, da su šipovi zglobovno vezani sa nadglavnom pločom i sa tlom. Odredi se položaj težišta svake grupe posebno, zatim se nađe tačka O preseka linija koje prolaze kroz težišta šipova a paralelne su sa osama šipova (slika VI.20). Zatim se rezultanta opterećenja redukuje na tačku O i razloži na komponente u  $R_A$  i  $R_B$  paralelno pravcima šipova grupe A i grupe B.

Ako je u grupi A broj šipova  $n_A$  a u grupi B broj šipova  $n_B$  sile u šipovima od komponenti  $R_A$  i  $R_B$  biće:

$$\text{u grupi A:} \quad S_A = R_A / n_A \quad (\text{VI.22.a})$$

$$\text{u grupi B:} \quad S_B = R_B / n_B \quad (\text{VI.22.b})$$

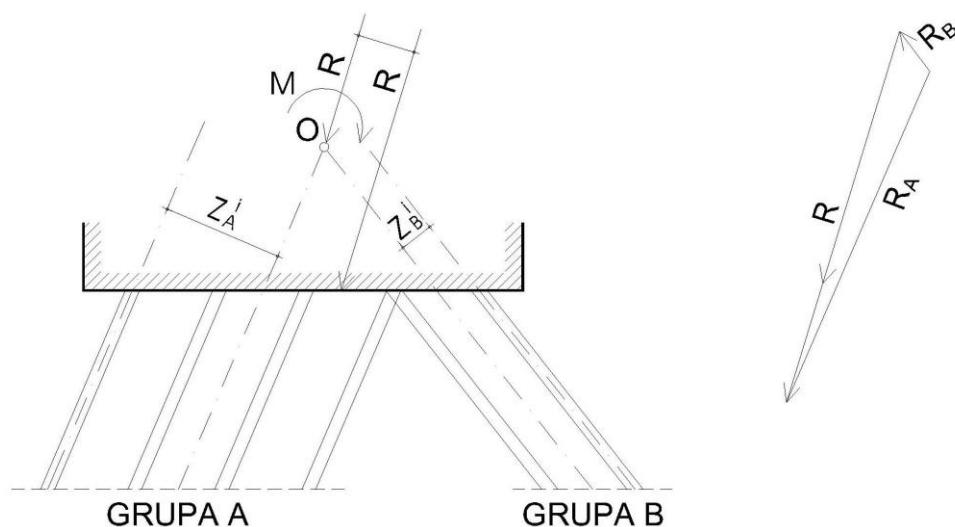
Od momenta savijanja M jedni šipovi biće pritisnuti a drugi zategnuti. Sile u šipovima od momenta M biće:

$$S_i = \frac{M \cdot z_i}{\sum z_{A+B}^2} \quad (\text{VI.23})$$

gde je:

$z_i$  - normalno rastojanje od tačke O do ose šipa u kojem se određuje sila. Tačka O je u ovom slučaju uslovno težište svih šipova.

$\sum z_{A+B}^2$  - zbir ekvivalentnih momenata inercije svih šipova u odnosu na tačku O.



Slika VI.20

Ukupna sila u šipovima određuje se po formuli:

$$S_A^i = S_A + S_{MA} = \frac{R_A}{n_A} + \frac{M \cdot z_A^i}{\sum z_{A+B}^2} \quad (\text{VI.31})$$

$$S_B^i = S_B + S_{MB} = \frac{R_B}{n_B} + \frac{M \cdot z_B^i}{\sum z_{A+B}^2} \quad (\text{VI.32})$$

Veličine  $z_A^i$  i  $z_B^i$  biće pozitivne ili negativne zavisno od smera rotacije. Radi postizanja ravnomernije raspodele sila u šipovima treba težiti da se tako šipovi rasporede i odredi broj šipova u grupi da moment rezultante u odnosu na tačku O bude jednak nuli i da pravac rezultante bude bisektrisa između pravaca obe grupe šipova.

Kada u ravni temelja imamo više od tri različita pravca šipova, tada, predhodno iznetim postupcima ne možemo izračunati sile u šipovima. Slučaj je statički neodređen. U proračun se uvode deformacije temelja.