

## 6. Temelji na šipovima

### 6.1 Uvod

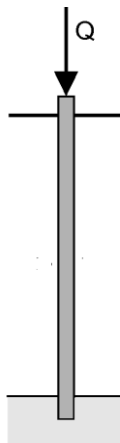
Duboko fundiranje se primenjuje u slučajevima kada površinski slojevi tla male otpornosti, a opterećenje od objekta takvo da se povećanjem dimenzija osnove temelja ne može obezbediti njegova stabilnost, ili je ekonomičnije da se povećanjem dubine fundiranja obezbedi stabilnost objekta.

Duboko fundiranje je svako ono temeljenje pri kojem je dubina fundiranja  $D_f > 4B$ , gdje je  $B$  širina temeljne stope, ispod najniže kote objekta koju temelj nosi, a vertikalno opterećenje na tlo, osim preko pritiska u kontaktnoj površi, prenosi se i trenjem po omotaču ugrađene konstrukcije u tlo.

Konstruktivni oblici dubokog fundiranja su najčešće različite vrste šipova, ali se koriste i dija-fragme, bunari ili kesoni. Ovde će se razmotriti samo jedan od najčešće primenjivanih oblika posrednog ili dubokog temeljenja koji podrazumeva upotrebu šipova.

### 6.2 Temelji na stojećim šipovima

U grupu stojećih šipova spadaju šipovi koji se oslanjaju na stenu ili su u nju uklješteni. Ako se temelji oslanjaju na čvrstu stenu sleganja temeljne konstrukcije na šipovima su relativno mala i mogu se zanemariti. U tom slučaju nosivost stojećih šipova zavisi od otpornosti materijala od koga su šipovi napravljeni. Izvijanje, nezavisno od dimenzija poprečnog preseka i dužine šipa i u veoma stišljivom tlu, ne treba uzimati u obzir. U ovom slučaju, nosivost armirano betonskih šipova se određuje kao i za svaki drugi aksijalno pritisnut stub.



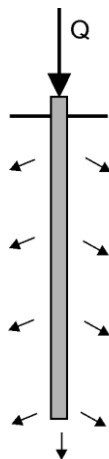
Slika VI.1

Opterećenje se direktno preko šipova prenosi na stenu. Treba težiti da se broj šipova svede na minimalno potrebni na račun povećanja površine poprečnog preseka šipa. Pri konstruisanju temeljnih stopa na stojećim šipovima treba težiti da dimenzije temelja u osnovi budu što manje na račun smanjenja rastojanja između šipova, ako rastojanje između šipova nije određeno nekim posebnim uslovima.

### 6.3 Temelji na lebdećim šipovima

U grupu lebdećih šipova spadaju svi šipovi koji se nalaze u tlu koje omogućava njihovo sleganje. Nosivost lebdećeg šipa sastoji se od nosivosti omotača i baze šipa (slika VI.2). Ako se šip oslanja bazom na sloj tla veće otpornosti, ispod kojeg zaleže sloj manje otpornosti potrebno je proveriti da li je nosivost tog sloja dovoljna.

Ponašanje temelja na lebdećim šipovima zavisi od osobina tla i načina izrade šipa.



Slika VI.2

### 6.4 Nosivost lebdećih šipova

Zbog značaja što tačnijeg određivanja veličine graničnog opterećenja šipova, razvijene su brojne metode – kako teorijske, tako i eksperimentalne – koje se koriste u inženjerskoj praksi. Međutim, pokazalo se da postoje znatne razlike u veličinama dobijenih rezultata.

Nosivost lebdećih šipova može se odrediti na jedan od sledećih načina:

- prema iskustvu sa šipovima u sličnom tlu,
- obrascima prema parametrima otpornosti tla,
- obrascima u kojima se koriste podaci penetracionih opita,
- probnim opterećenjem,
- na bazi dinamičkih podataka dobijenih pri pobijanju šipova.

#### 6.4.1 Određivanje nosivosti lebdećih šipova prema parametrima otpornosti tla

Postoji veoma mnogo obrazaca, prema predlozima raznih autora, u kojima se daje veza između nosivosti šipa i parametara otpornosti tla. Uprošćena shema za određivanje nosivosti šipova prikazana je na slici VI. 3.

Prema ovoj shemi granična nosivost šipa, težine  $W$ , sastoji se od nosivosti baze i nosivosti omotača:

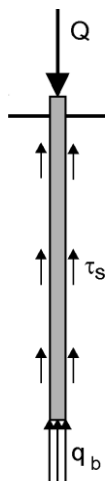
$$Q_f = Q_{b,f} + Q_{s,f} + W \quad (6.1)$$

Granična nosivost baze šipa je:

$$Q_{b,f} = q_{b,f} \cdot a_b \quad (6.2)$$

gde je:

$q_{b,f}$  - granična nosivost tla u nivou baze šipa,  
 $a_b$  - površina baze šipa.



Slika VI.3

Granična nosivost omotača šipa je:

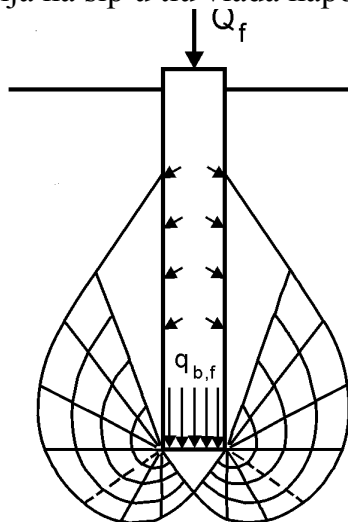
$$Q_{b,s} = \sum_{i=1}^n \tau_{s,f} \cdot a_{s,i} \quad (6.3)$$

gde je:

$\tau_{s,f}$  - srednja vrednost graničnog napona smicanja po omotaču šipa,  
 $a_{s,i}$  - površina omotača na posmatranoj dužini šipa.

Teorijske metode za približno određivanje granične nosivosti baze lebdećih šipova, ako se iskoriste uslovi granične ravnoteže u tlu, najčešće su bazirane na sledećim pretpostavkama:

1. raspodela napona u tlu je kao u homogenom, elastičnom i izotropnom telu,
2. tlo se tretira kao krutoplastičan materijal
3. ugrađivanjem šipa u tlo ne menja se početno naponsko stanje u okolini šipa, tako da pre nanošenja opterećenja na šip u tlu vlada naponsko stanje "mirovanja".



Slika VI.4

Pri određivanju nosivosti šipova Meyerhof polazi od stanja granične ravnoteže u tlu oko šipa, kada se oko šipa formiraju prostorne kontinualne površine klizanja, koje u preseku

imaju oblik spirale (slika VI.4), koja se povija prema omotaču šipa. Granični otpor tla ispod baze šipa određuje vodeći računa o smicanju po ovim površinama.

Granična nosivost tla ispod baze šipa prečnika  $d$  na dubini  $t$ , u homogenom tlu, može se prikazati u sledećem obliku:

$$q_{b,f} = c \cdot N_c + \gamma \cdot t \cdot k_s \cdot N_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot d \cdot N_\gamma \quad (6.4)$$

gde je:

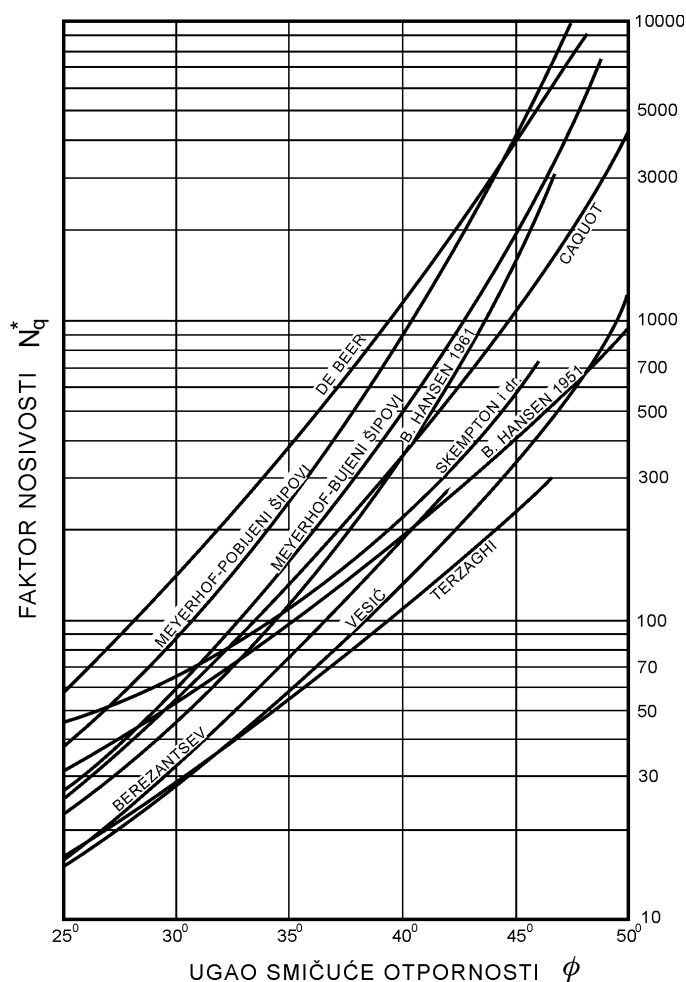
$\gamma$  - zapreminska težina tla,

$k_s$  - koeficijent bočnog pritiska tla za stanje "mirovanja" u nivou baze šipa,

$N_c$ ,  $N_q$  i  $N_\gamma$  - faktori nosivosti koji zavise od ugla unutrašnjeg trenja, njihove vrednosti određene po Meyerhof-u.

Ako je odnos  $t/d$  veliki, poslednji član u izrazu 6.4 se može zanemariti, tako da se za graničnu nosivost tla u nivou baze šipa dobija sledeći izraz:

$$q_{b,f} = c \cdot N_c + \gamma \cdot t \cdot k_s \cdot N_q \quad (6.5)$$



Slika VI.5

Faktori nosivosti  $N_q^*$  za dubok kružni ili kvadratni temelj, dobijeni teorijskim postupcima ili predloženi poluempirijski od strane raznih autora, prikazani su na slici VI.5. Dve krive Meyerhofa uzimaju u obzir uticaj zbijanja pri pobijanju šipa u pesak. Po ovom autoru, pobijanjem se postiže povećanje zbijenosti i povećanje ugla unutrašnjeg trenja za  $2^\circ$  do  $5^\circ$  u odnosu na vrednost pre pobijanja, dok u slučaju bušenih šipova ugao unutrašnjeg trenja ostaje nepromenjen. Prema rešenju Meyerhofa, imajući u vidu

pretpostavljeni oblik mehanizma loma (slika VI.4), za veličinu nosivosti baze veći uticaj imaju horizontalni naponi u području mehanizma loma nego vertikalni.

Radi ilustracije, može se zapaziti da se za ugao unutrašnjeg trenja od 30 stepeni faktor nosivosti  $N_q$  kreće u granicama od 30 do 140 i za ugao unutrašnjeg trenja od 35 stepeni u granicama od 55 do 400.

Granične sile u šipovima, određene prema izrazu 6.5, se ne mogu dozvoliti, jer je pri tim silama iskorišćena nosivost tla. Za dopuštenu silu u šipu može se uzeti samo deo od ukupne nosivosti. Sa aspekta stabilnosti tla u kome se nalazi šip, veličina dopuštenog sleganja šipa je merodavna za određivanje dopuštenog opterećenja.

Faktori sigurnosti se mogu definisani na više načina, jer za određenu veličinu sleganja neće u istoj meri biti mobilisane nosivost po bazi i omotaču šipa. Izbor faktora sigurnosti, između ostalog, zavisi od pouzdanosti prognozirane nosivosti šipova i od dopuštenih sleganja temeljne konstrukcije na šipovima. Ukoliko su vršena probna opterećenja, faktori sigurnosti mogu biti u zoni donje granice, a ukoliko su nosivosti šipa izračunate na osnovu podataka o tlu, u zavisnosti od pouzdanosti parametara otpornosti i iskustva na toj teritoriji, mogu se usvojiti u rasponu srednjih ili maksimalnih vrednosti. Nosivost šipova je regulisana odgovarajućim normativima.

Proračun konstrukcija prema Evrokodovima postao je važeći standard u našoj praksi, uz usvajanje odgovarajućih SRPS EN standarda i Nacionalnih aneksa. Za proračun armiranobetonskih elemenata temeljnih konstrukcija, a posebno temelja na šipovima, se može reći da odredbe Evrokoda 7 unose značajne izmene u konceptu i pretpostavkama proračuna, preporučenim parametrima i koeficijentima sigurnosti. S druge strane, pojedine odredbe Evrokoda 8, koje se odnose na proračun uticaja u temeljima, uvode nove koncepte vezane za programirano ponašanje i rezerve nosivosti. Navedene novine u odnosu na do sada uobičajen način proračuna aksijalne nosivosti ili maksimalne dopuštene sile u šipu, prema još uvek važećim pravilnicima, dovode do određenih razlika u rezultatima proračuna.

Evrokod 7 uvodi pojam proračunska nosivost  $R_{c;d}$  koja je izražena kao:

$$R_{c;d} = R_{b;d} + R_{s;d} = \left( \frac{R_{b;k}}{\gamma_b} + \frac{R_{s;k}}{\gamma_s} \right) \cdot \frac{1}{\gamma_R} = \frac{R_{c;k}}{\gamma_t \gamma_R} \quad (6.6)$$

gde je:

$R_{b;d}$  - proračunska nosivost baze šipa,

$R_{s;d}$  - proračunska nosivost omotača šipa,

$R_{b;k}$  - karakteristična nosivost baze šipa

$R_{s;k}$  - karakteristična nosivost omotača šipa

$R_{c;k}$  - karakteristična nosivost šipa  $R_{c;k} = R_{b;k} + R_{s;k}$

$\gamma_b$  - parcijalni faktori sigurnosti za nosivost baze šipa

$\gamma_s$  - parcijalni faktori sigurnosti za nosivost omotača šipa

$\gamma_t$  - parcijalni faktori sigurnosti za ukupnu nosivost šipa

$\gamma_R$  - modelski faktor, prema predlogu nacionalnog aneksa za Evrokod 7 za proračunski pristup 2  $\gamma_R = 1.5$

$\gamma$	Proračun. pristup 1 kombinacija 1	Proračun. pristup 1 kombinacija 2*	Proračunski pristup 2	Proračunski pristup 3**
$\gamma_G$	1.35	1.0	1.35	1.35 (1.0)
$\gamma_Q$	1.5	1.3	1.5	1.5 (1.3)
$\gamma_{\phi'}$	1.0	1.25	1.0	1.25
$\gamma_{c'}$	1.0	1.25	1.0	1.25
$\gamma_{\gamma}$	1.0	1.0	1.0	1.0
$\gamma_{cu}$	1.0	1.0 (1.4)	1.4	1.0

*Tabela 6.1 Parcijalni faktori sigurnosti za dejstva i parametre smičuće čvrstoće tla*

*\*vrednosti u zagradi se koriste za proračun negativnog trenja po omotaču šipa*

*\*\*vrednosti u zagradi se koriste za geotehnička dejstva*

#### **6.4.2 Određivanje nosivosti lebdećih šipova probnim opterećenjem**

Određivanje nosivosti lebdećih šipova probnim opterećenjem sastoji se od postepenog povećanja opterećenja i merenja odgovarajućih sleganja šipa.

Za obezbeđenje reakcije za vertikalno opterećenje šipa mogu se primenjivati različite dispozicije opita probnog opterećenja. Najjednostavniji, ali i najpouzdaniji opit podrazumeva balast, kao što je to prikazano na slici VI.6.



*Slika VI.6*

Balast mora biti dovoljne težine kako bi se suprotstavio reaktivnom opterećenju hidrauličke prese kojom se opterećuje vrh šipa. Oslanjanje balasta treba izvesti što dalje

od probnog šipa, kako bi se minimizirao uticaj balasta na ispitivani šip. Ovo odstojanje ne treba da bude manje od oko 2 m za šipove standardnih dimenzija.

Osim primene balasta, reakcije se mogu obezbediti sidrenjem krutog čeličnog nosača za susedne šipove koji će reaktivnim opterećenjem biti opterećeni na zatezanje (slika VI.7).



*Slika VI.7*

Nanošenje opterećenja se vrši u inkrementima, obično u iznosu od  $1/10$  do  $1/15$  od pretpostavljene nosivosti. Svaki inkrement traje 1 h. Može se smatrati da je konsolidacija završena kada je između prethodnog čitanja i čitanja, sleganje glave šipa iznosilo manje od 0.1 mm u periodu od 20 minuta između dva čitanja.

Rezultati ispitivanja prikazuju se u odgovarajućim tabelama i na dijagramima koji su sastavni deo Izveštaja. U svim fazam opterećenja i rasterećenja potrebno je crtati vremenski tok sleganja u dijagramu u kome apscise predstavljaju vreme  $t$  a ordinate veličine sleganja u mm.

Na osnovu registrovanih veličina sleganja tokom opita probnog opterećenja potrebno je nacrtati krivu "opterećenje-sleganje", koja će poslužiti za određivanje graničnog opterećenja šipa i za dalje kontrolne proračune.

#### **6.4.3 Određivanje nosivosti lebdećih šipova prema obrascima u kojima se koriste podaci penetracionih opita**

Da bi se izbegao nepovoljan uticaj mehaničke i naponske poremećenosti uzoraka tla pri laboratorijskom određivanju ugla unutrašnjeg trenja, kao i pri pretpostavljanju oblika kliznih ravni ispod i oko baze šipa u raznim metodama, pouzdanije je određivanje nosivosti lebdećih šipova prema obrascima u kojima se koriste podaci penetracionih opita. Pri tome, treba imati na umu da je vrlo teško doći do neporemećenih uzoraka iz nekoherentnih slojeva tla radi određivanja njihovog ugla unutrašnjeg trenja.

### 6.4.3.1 Statički penetracioni opit (CPT)

Granična nosivost baze šipa može se proceniti korišćenjem rezultata dobijenih iz terenskog opita statičkim penetrometrom koji, osim otpornosti vrha penetrometra daje i rezultate merenja bočnog trenja. Opit statičke penetracije se, pre svega koristi za ispitivanje peskova.

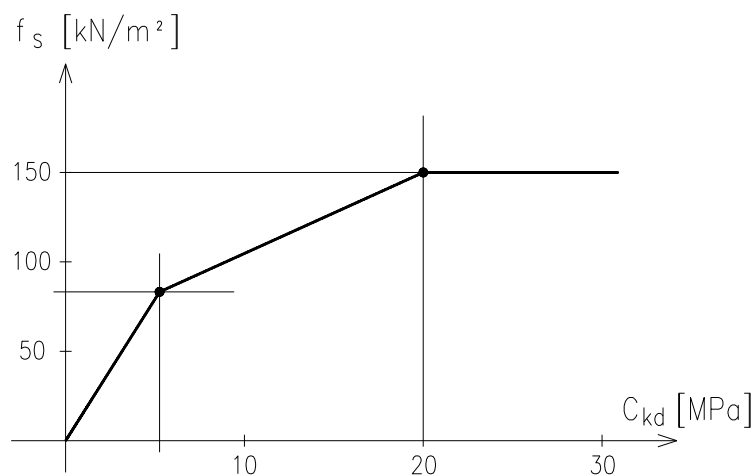
Granična nosivost baze šipa je proporcionalna otporu vrha penetrometra:

$$q_{b,f} = \alpha \cdot q_c \quad (6.7)$$

Koeficijent  $\alpha$  zavisi od načina ugrađivanja šipa u tlo. Za šipove koji se izvode pobijanjem može se usvojiti da je granična nosivost baze šipa jednaka otporu vrha statičkog penetrometra ( $\alpha = 1.0$ ). Za bušene šipove može se usvojiti da je  $\alpha \approx 0.5$ , uzimajući u obzir mogućnost korekcije koeficijenta na bazi rezultata probnih opterećenja i lokalnim iskustvima tako da može biti i manji, do  $\alpha \approx 1/3$ .

S obzirom na moguću promenljivost otpora konusa i razlike dimenzija penetrometra i šipa, za računsku veličinu otpora vrha statičkog penetrometra jedna od mogućnosti je da se usvaja srednja vrednost otpora vrha na potezu dužine 4 prečnika šipa, i to 1 (jedan) prečnik ispod baze i 3 (tri) prečnika iznad baze šipa.

Za procenu smičućeg otpora po omotaču šipa koriste se razne empirijske korelacije sa otporom vrha penetrometra, (Bustamante i Gianeselli 1981), iako se mehanizam proloma tla pod vrhom penetrometra u velikoj meri razlikuje od oblika interakcije omotača šipa i okolnog tla (slika VI.7).



Slika VI.7

De Beer (1985) predlaže korelaciju u obliku:

ako je  $q_c \leq 10$  MPa  $\rightarrow \tau_{s,f} = q_c/150$ , odnosno,

ako je  $q_c \geq 20$  MPa  $\rightarrow \tau_{s,f} = q_c/200$ , pri čemu je gornja granica smičućeg otpora po omotaču šipa 100-120 kPa.

Opit statičke penetracije treba uvek predvideti programom geotehničkih istražnih radova ukoliko se ocenjuje da će se temeljenje izvesti na šipovima u krupnozrn timeru.



### 6.4.3.2 Standardni penetracioni opit (SPT)

Rezultati standardnog penetracionog opita (SPT) mogu se upotrebiti za određivanje nosivosti baze šipa na tri načina. Prvi način podrazumeva da se na osnovu empirijskih korelacija procene parametri smičuće čvrstoće, koji se zatim uvrste u odgovarajuće teorijske izraze koji te parametre sadrže, drugi način obuhvata primenu korelacije između broja udara u standardnom penetracionom opitu sa otporom vrha statičkog penetrometra i treći koji bi bio direktno empirijski. Direktno empirijski, pri čemu se obično koristi oblik:

$$q_{b,f} = K \cdot N \quad (6.8)$$

gde je:

K koeficijent koji zavisi od vrste tla i načina ugrađivanja šipa ( $\text{MN/m}^2$ ),

N broj udara u standardnom penetracionom opitu (SPT).

Kao što je već navedeno, određivanje proračunske nosivosti šipa prema odredbama Evrokoda 7, prikazano je izrazom:

$$R_{c;d} = R_{b;d} + R_{s;d} = \frac{R_{b;k}}{\gamma_b} + \frac{R_{s;k}}{\gamma_s} \quad (6.9)$$

gde je:

$$R_{b;k} = \min \left\{ \frac{(R_{b;\text{racun}})_{\text{srednje}}}{\xi_3}, \frac{(R_{b;\text{racun}})_{\text{min}}}{\xi_4} \right\} \quad (6.9a)$$

$$R_{s;k} = \min \left\{ \frac{(R_{s;\text{racun}})_{\text{srednje}}}{\xi_3}, \frac{(R_{s;\text{racun}})_{\text{min}}}{\xi_4} \right\} \quad (6.9b)$$

Ako se za određivanje nosivosti šipa koristi n rezultata CPT opita, onda je  $(R_{b;\text{racun}})_{\text{srednje}}$  i  $(R_{s;\text{racun}})_{\text{srednje}}$  prosečna vrednost nosivosti baze šipa i omotača šipa sračunata za svaki rezultat CPT opita.  $(R_{b;\text{racun}})_{\text{min}}$  i  $(R_{s;\text{racun}})_{\text{min}}$  je minimalna vrednost nosivosti baze šipa i omotača šipa sračunata za svaki rezultat CPT opita.

n	1	2	3	4	5	7	10
$\xi_3$	1.4	1.35	1.33	1.31	1.29	1.27	1.25
$\xi_4$	1.4	1.27	1.23	1.20	1.15	1.12	1.08

Tabela 6.2 Vrednosti korelacionih faktora u zavisnosti od n (broja opita)

### 6.4.4 Određivanje nosivosti lebdećih šipova na bazi dinamičkih podataka dobijenih pri pobijanju šipova

Metoda se sastoji u određivanju nosivosti šipa na bazi veličine prodiranja šipa u tlo pod udarcima malja. Dinamički obrasci za određivanje nosivosti šipa su empirijski. Postoji veliki broj predloženih obrzaca kojima se određuje veza između nosivosti šipa i veličine prodiranja šipa u tlo, tj. "otkaza" šipa. Otkazom se propisuje veličina prodiranja šipa u tlo od jednog udara malja. Veličina "otkaza" se određuje kao srednja vrednost veličine prodiranja šipa u tlo od unapred definisanog broja udara.